

300618

22

24



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

INCORPORADA A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

CONCRETOS DE ALTA-RESISTENCIA,
ESTADO DE ARTE Y PERSPECTIVAS DE
DESARROLLO EN MEXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A :

BERNARDO ADULFO DE JESUS VERA TOLEDO

ASESOR DE TESIS:

M. en I. Javier Ribe Mtz. de V.

México, D. F.

1990

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

TABLA DE CONTENIDO.

Índice de tablas.	3
Índice de ilustraciones.	4
Introducción.	5
Capítulo 1	
Antecedentes.	7
1.1 Historia de los concretos de alta resistencia (GAR).	7
1.2 Su evolución en los países desarrollados.	13
Capítulo 2	
Aplicaciones.	15
2.1 Aplicaciones en los Países desarrollados.	15
2.1.1 Aplicaciones para edificios.	15
2.1.2 Puentes.	17
2.1.3 Aplicaciones especiales.	18
2.1.3.1 Por sus características.	20
2.1.3.2 Estructuras especiales.	20
2.1.4 Posibles aplicaciones.	21
2.2 Infraestructura desarrollada en el mundo.	23
Capítulo 3	
Selección de materiales.	25
3.1 Cemento.	25
3.2 Agregados pétreos.	31
3.2.1 Agregado de partículas finas.	31
3.2.2 Agregado grueso.	34
3.3 Agua.	34
3.4 Aditivos.	35
Generalidades.	35
3.4.1 Aditivos químicos.	36
3.4.1.1 Acelerantes.	36
3.4.1.2 Inhibidores de aire.	41
3.4.1.3 Reguladores de agua y reductores de agua.	42
Retardantes.	44
Reductores de agua.	45
Reductores de agua de alto rango.	45
3.4.2 Aditivos minerales finamente divididos.	54
3.4.2.1 Ceniza volante.	54
3.4.2.2 Humo de sílice.	59
Capítulo 4	
Diseño de mezclas.	64

Capítulo 5

Propiedades y Diseño de los CCR.

- 5.1 Propiedades de los concretos de alta-resistencia.
 - 5.1.1 Curva esfuerzo-deformación.
 - 5.1.2 Módulo de elasticidad.
 - 5.1.3 Flujo.
 - 5.1.4 Fatiga.
 - 5.1.5 Pese unitario.
 - 5.1.6 Efecto de la edad en la resistencia.
 - 5.1.7 Evaluación del calor debido a la hidratación.
 - 5.1.8 Agrilamiento inducido por la contracción.
 - 5.1.9 Propiedades térmicas.
- 5.2 Diferencias esenciales de diseño.

Capítulo 6

Proceso constructivo.

- 6.1 Necesidad y transporte.
- 6.2 Cimbra.
- 6.3 Colocación.
- 6.4 Curado en obra.
- 6.5 Superficie.

Capítulo 7

Pruebas de laboratorio.

- 7.1 Resistencia a la compresión.
- 7.2 Control estadístico de la calidad.
- 7.3 Procesos de curado.
- 7.4 Otras ensayos de laboratorio.

Capítulo 8

Perspectivas de uso y aprovechamiento en México.

- 8.1 Comparativa de costos.
- Conclusiones.

Glosario de términos y abreviaturas.

Terminología Técnica.

Factores de conversión.

NORMAS OFICIALES MEXICANAS relacionadas con el concreto.

Bibliografía.

Índice de tablas.

1.- Edificios más representativos de alta-resistencia.	23
2.- Puentes a base de concreto de alta resistencia.	24
3.- Edificios más altos en el mundo de concreto.	25
4.- Proyección Australiana.	26
5.- Composición típica de los cementos I y III.	30
6.- Capacidad de los superplastificantes en la reducción de agua.	51
7.- Influencia de los superplastificantes en la resistencia.	52
8.- Marcas de cementos y aditivos en las mezclas de prueba.	69
9.- Mezclas de prueba para concretos de alta-resistencia.	67
9a.- Mezclas de prueba para concretos de alta-resistencia (continuación).	68
10.- Evaluación de resistencias.	69
11.- Estado y porcentaje de la puzolana utilizada.	70
12.- Valores promedio de módulos de elasticidad según 4 ^o	75
13.- Módulos de elasticidad de las mezclas de prueba del INCEC.	81
14.- Peso volumétrico de los concretos de alta-resistencia.	87
15.- Frecuencias de máximos.	122
16.- Promedio de pruebas consecutivas según ASTM-C-109.	127

Índice de Ilustraciones.

1.-	Variación de la resistencia del cemento tipo I y III con la edad.	33
2.-	Influencia de los superfluidificantes en la resistencia a temprana edad del concreto.	53
3.-	Curvas esfuerzo-deformación de un concreto de alta-resistencia vs concreto convencional.	73
2a.-	Relación entre la resistencia y el módulo de elasticidad para concretos de alta-resistencia.	82
2b.-	Relación entre la resistencia y el módulo de elasticidad para concretos de alta-resistencia según ACI.	83
4.-	Curva empírico-analítica esfuerzo-deformación para el concreto.	77
5.-	Relaciones esfuerzo-deformación para la pasta de cemento, el agregado y el concreto.	78
5.1.-	Distribución de esfuerzos para vigas rectangulares.	103
5.2.-	Parámetros del bloque de esfuerzos K2/K1K3 vs f'c.	104
5.3.-	Comparación del cemento resistente de vigas bajo diferentes distribuciones de esfuerzos en compresión.	105
6.-	Desarrollo de la resistencia con el tiempo (muestras de prueba del INCECO).	80
7.-	Desarrollo de la resistencia con el tiempo (muestras de prueba del INCECO).	91
8.-	Humedad vs pérdida del revenimiento.	111
9.-	Compartamiento del PIB vs industria nacional de la construcción.	120
10.-	Costo del concreto #3, f'c = 8500g/cm ²	143
11.-	Costo del concreto #3, f'c = 25000g/cm ²	144

Introducción.

El siguiente informe tiene como objetivo cumplir con dos finalidades específicas:

La primera es presentar el estudio del estado de arte de los concretos de alta-resistencia, en base a las investigaciones realizadas en el extranjero y en México principalmente y, de la información que existen año con año las diversas instituciones interesadas en el uso y aprovechamiento de los concretos.

La segunda, es que debido al acelerado desarrollo tecnológico que se viene presentando en la industria de la construcción, específicamente en el área de concretos, es necesario analizar y evaluar las experiencias que desde hace aproximadamente 20 años se vienen adquiriendo de la observación del desarrollo de los concretos de alta-resistencia, para así poder presentar un panorama actual y visualizar las perspectivas de desarrollo en México de cara al siglo XXI.

Se analizan tópicos relacionados con su elaboración y ensayo, selección de los agregados y aditivos característicos de estos, procedimiento constructivo, control de calidad etc..

Hechos tales como la poca información disponible acerca del tema, la realidad de México en tecnología de concreto y la disponibilidad de los materiales necesarios para su elaboración han constituido por muchos años obstáculos para su realización, obstáculos que gracias al desarrollo de programas específicos que se llevan a cabo por diversas instituciones se están a punto de librar.

Debido a que los concretos de alta-resistencia son un producto resultado de la calidad, se pretende demostrar la necesidad de desarrollar normas y especificaciones especiales para este tipo en particular de concreto.

Del como también presentar en base a su costo, otra opción económica para la construcción en general, principalmente, en el área de edificación.

CAPITULO I ANTECEDENTES

1.1 Historia de los concretos de alta-resistencia.

Muy larga, extensa y variada es y ha sido la historia de los concretos y de los materiales de construcción, desde las primeras civilizaciones hasta nuestros días.

Aunque el concreto que conocemos como tal en nuestros días es una evolución de los procedimientos y técnicas de antaño.

El empleo de los cementantes en la construcción se remonta hasta los orígenes mismos de la historia, apareciendo ya con los primeros pueblos sedentarios.

Al plantearse la pregunta sobre la edad histórica del concreto, la mayoría no le concede más antigüedad que la que va de este siglo.

Hay quien sitúa su origen entre 1880 y 1900, y los menos recuerdan al "Cementitius" de los romanos, quien a su vez lo había adoptado de los griegos, donde recibía el nombre de "espiacton". Por su parte, los expertos hasta hace poco le atribuían una edad de 2200 años.

Origen Inglés.

En la lengua inglesa "CONCRETE" procede del latín, se define como "una composición de piedras menudas, arena, grava, quijarros, etc.", que forman una masa con el cemento.

Las primeras menciones sobre la palabra "concreto" surgen en Inglaterra, en pleno siglo XIX. La enciclopedia

Británica señala su uso, poco a poco, a partir de 1900, para designar de forma abreviada, al "Portland Cement Concrete."

Origen Castellano.

La palabra CONCRETO es un derivado de crecer, del latín CRESCERE, crecer por aglomeración, espesarse, endurecer.

La palabra CONCRETO, en el sentido de material de construcción, presenta dificultades, por no ser palabra castellana. Sin embargo, dicho anglicismo ha tenido una gran difusión, pasando a formar parte del habla hispana.

La resistencia a la compresión es una propiedad estructural de las mallas que posee el concreto, que para satisfacer las necesidades de proyecto y diseño que exigen las estructuras de hoy, se ha mejorado continuamente por la industria de la construcción.

Aunque los concretos de alta-resistencia, (del inglés high-strength en adelante mencionados como CAR) son frecuentemente considerados relativamente como un nuevo material. Su desarrollo ha sido gradual a través de los años.

La disponibilidad de los CAR en Estados Unidos se remonta a poco de sus de 40 años. En 1947 el concreto usado en las construcciones era de una resistencia a la compresión de 2400/caf. En el transcurso de la siguiente década, concretos

con 3500 kg/cm² estuvieron disponibles en muchas localidades de los EUA.

En los años 40's concretos con 400 y 5250 kg/cm² de resistencia a la compresion fueron usados comercialmente.

Más recientemente en los años 70's concretos con 6300 kg/cm² se empezaron a producir, y continuaron aumentando día con día.

Hoy 770 y 8400 kg/cm² son frecuentemente usados en los diseños de elementos estructurales.

Diversas estructuras están siendo construidas con 9800 kg/cm² y más. En los laboratorios están logrando resistencias de 16200 kg/cm², gracias en parte a diábras confinantes metálicas usadas en las muestras.

La definición de alta-resistencia en concretos ha cambiado así como han mejorado los concretos. en los 50's concretos con resistencias de 3500 kg/cm² fueron llamados de alta-resistencia.

En muchas partes donde no se cuenta con la tecnología necesaria para la elaboración de los CRR, se piensa que al lograr rebasar los 4200 kg/cm² (6000-Psi) se ha conseguido entrar en la alta-resistencia. Pero los avances en diseño de concretos se suven rápidamente, principalmente en ciudades como Chicago y Seattle, donde existen en la actualidad plantas dosificadoras de concreto, capaces de proporcionar concretos de hasta 9800 kg/cm² (14000-Psi).

No es necesario hacer mención de cuanto se seguirá evolucionando la técnica en los concretos, y la necesidad de presentar de manera objetiva y verídica los requerimientos y propiedades de estos.

Para dicho objetivo el American Concrete Institute (ACI) formó el Comité 363 en 1977, encargado de certificar los avances en tecnología de los CRR, específicamente.

Desde que la definición de alta-resistencia comenzó a variar a través de los años, ha sido necesario adecuar el concepto de resistencia en un rango aplicable para poderse llevar a efecto.

Los 4200kg/cm² (6000-Psi - 41MPa) fueron seleccionados como el límite inferior de resistencia a la compresión especificada por diseño para ser llamados de alta-resistencia. Actualmente no se considera incluir concretos hechos usando materiales o técnicas "exóticas".

La palabra "exótica" se incluye debido a que el presente informe no tocará ningún punto concerniente a concretos elaborados con espécicos, concretos de impregnación de polímero o con técnicas y materiales no convencionales.

Sin embargo, es necesario también aclarar que la definición de alta-resistencia varía de acuerdo a bases geográficas. No todas las regiones disponen del mismo nivel tecnológico, así como experiencia en el uso, manejo y aprovechamiento de todas sus propiedades.

Además, las condiciones de explotación de los bancos de arcadas, la selección de los materiales, el transporte, las especificaciones y procedimientos en general, son factores de vital importancia para la calidad del concreto.

A excepción de aplicaciones de laboratorio los límites del concreto para altas-resistencias intrínsecamente quedan bajo la influencia económica, y no técnicas como podría suponerse.

Entre las resistentes es el concreto más caro, pero el costo, entre las caras sea el concreto de alta-resistencia probablemente más redituable será su aprovechamiento durante su vida útil, al obtenerse más áreas de uso, cargas fuertes menores, menores diseños de refuerzo y además reduce los costos de mano de obra.

También, intrínsecamente incluido en la alta-resistencia están los aditivos, tanto minerales como químicos que otorgan al concreto de otras ventajas técnicas (que se verán en el Cap 5 "Propiedades de los CCR"), que son importantes para tomar criterios en el diseño y proyecto económico del concreto.

No solo el caso de aplicación de los CCR se reduce a la especificación, por esa importancia social-económica que este tenga, aunque cabe señalar que es en este campo particular de la ingeniería donde se ha logrado dar un resque a la alta-resistencia.

A pesar de que otras estructuras no sean de extraordinaria espectacularidad como los puentes, se han

desarrollado proyectos tales como algunos sitios para misiles nucleares, o grandes secciones de puentes atirantados, que sin el desarrollo de la autoseristencia no hubieran sido posibles, así como el puente Pasco-Kennecook, Wash. sobre el río Columbia.

1.2 Evolución en los países desarrollados.

El desarrollo de los materiales de construcción es mundial, en algunos lugares forzado por sus condiciones geográficas y climáticas, en algunos otros aprovechando y rescatando viejas técnicas de construcción para transformarlas en rentables, y también por el desempeño y la disponibilidad de los materiales en la zona.

De cualquier manera por estos factores, y muchos más que difícilmente se podrían enumerar, en algunas regiones específicas del planeta diversos tipos de materiales han tenido un desarrollo particular. Tal es el caso del concreto; que no obstante ser un material de relativa fácil fabricación, y excelente desempeño, su tecnología ha avanzado a pasos gigantescos en solo algunos países desarrollados del mundo. Y así interesante aún, en algunas localidades específicas.

Como lo es en Chicago, que por más de tres décadas ha marcado la vanguardia en aprovechamiento de los CCR, en gran parte por la excelente calidad de los agregados disponibles en la zona.

En 1947 los constructores no lograban aún erigir estructuras de concreto superiores a los 30 niveles. Como lo fue el "Medical Arts Building" la construcción más alta de Estados Unidos localizada en Dallas Texas, de 70 mts de altura construida en 1922.

Las grandes estructuras de concreto fueron antisecundarias por las grandes secciones necesarias de las columnas para dar soporte estructural, ocupando mucho espacio.

Chicago comienza su historia en los CBR en 1959 cuando el "Executive House Hotel" rompió la record de altura con 113 mts.

El "Bank of Georgia Building" se convirtió en la estructura más alta en 1960 con sus 119 mts.

En 1964 "1000 Lake Shore Drive" impuso un nuevo record de altura con 193 mts. Utilizando por primera vez concreto de 420Kg/cm² en las columnas de la parte baja.

El mercado de las grandes estructuras de concreto comienza con los avances en la resistencia del concreto, combinados con la reducción de las cargas muertas, la posibilidad de ocupar menores secciones de columnas y el uso de concretos aligerados en las losas de los niveles superiores.

El siguiente rompimiento del record fue en 1968 con la construcción de "Lake Point Tower" de casi 197 mts. Esta nueva construcción de 70 niveles utilizó concreto aligerado en las losas con una densidad de 1617 Kg/m³. El concreto utilizado en las columnas inferiores tuvo una resistencia de 525kg/cm². Por vez primera un concreto de esta resistencia fue usado.

En 1973, el edificio "Water Tower Place" se convirtió en la estructura más alta del mundo con 240 mts de altura continuando hasta la techs. La resistencia de diseño de las

columnas inferiores fue de 630kg/cm^2 . La resistencia del concreto en las columnas fue decreciendo en porciones del edificio a 525, 420 y 390kg/cm^2 . Todas las losas fueron construidas con concreto aligerado.

Sin embargo once años después de su finalización han comenzado los trabajos en "311 South Wacker Drive" también en Chicago. Con el propósito de erigir una estructura superior a la "Water Tower Place" por aproximadamente 24.5 mts, es decir, de más de 288 mts. altura rebasada en la actualidad solamente por 10 estructuras de acero en el mundo.

En Seattle en septiembre de 1987 se logró un récord en resistencia al conseguir colar columnas de 980kg/cm^2 convirtiéndose en el concreto más resistente usado en estructuras convencionales, indirectamente los requerimientos de diseño del concreto fueron de 1330kg/cm^2 para obtener un alto módulo de elasticidad de $3.04 \times 10^7 \text{ Kg/cm}^2$.

En otros países su aplicación se ha centrado en diversas áreas de la ingeniería y para usos muy especiales. En Japón son ya varios los puentes que se construyen usando esta tecnología, reportando resistencias de 790kg/cm^2 .

CAPITULO 2 APLICACIONES

2.1 Aplicaciones en los países desarrollados.

La versatilidad del concreto y su adaptabilidad hacen de él un material mas competitivo tanto técnica como económicamente, actualmente existen docenas de concretos especiales para necesidades específicas.

Aunque la aplicación de los CAP se ha popularizado en los edificios de gran altura aprovechando su gran resistencia a la compresión, también se pueden aprovechar características específicas que se generan con los aditivos necesarios para lograr la alta-resistencia.

Tal es el caso del Hueso de sílice que como se verá más adelante, las diversas aplicaciones que de él se dan, así como sus posibles aplicaciones potenciales.

2.1.1 Aplicaciones para edificios.

Como ya se ha dicho, es en esta área específica de la Ingeniería donde mas se ha popularizado. Su uso respecto a los concretos tradicionales que en función del costo se ve compensado por:

- * La generación de mayor superficie utilizable en planta.
- * La reducción de las cargas muertas.
- * Menores cantidades de acero de refuerzo.
- * Menor cantidad de mano de obra requerida.

- * Proporciona mayor rigidez.
- * Mejor concordancia estructural con respecto a los proyectos arquitectónicos.

En México es necesario tener en cuenta que la demanda de obra civil requerida para fortalecer la planta productiva se resume en una sola palabra, "infraestructura", y se edo grandes edificios para oficinas o condominios.

3.1.2 Puentes

Son muchas las aplicaciones que para puentes con elementos preesforzados se pueden aprovechar los DAR. En los elementos postensados pueden ser usados para incrementar la capacidad de carga y las luces de los mismos.

Sin embargo, hasta el momento es un obstáculo transferir los preesfuerzos al elemento estructural debido a los requerimientos de alta-resistencia.

Algunos puentes en el cual se han utilizado los DAR aparecen en la TABLA 2. Cabe hacer mención que se poca la información publicada acerca de ellos.

2.1.3 Aplicaciones especiales.

Aprovechando las características especiales de los CMA, además de la resistencia a la compresión, son muchas y variados sus usos, como se mencionan a continuación.

2.1.3.1 Por sus características.

Resistencia a la abrasión.

Las primeras aplicaciones en gran escala en CMA, fueron para reparar estructuras hidráulicas sujetas a daños de abrasión-erosión.

Resistencia a la reacción Alkali-agregados.

Las adiciones de humo de silicio han sido usadas para controlar la reacción Alkali de los agregados en Canada.

Cuando el cemento tipo II de baja reacción Alkali no se encontraba disponible para la construcción de la presa "Allard" en Quebec, el uso de cemento tipo I fue aprobado incluyendo de un 6 al 8% de humo de silicio.

El ministerio de transporte de Quebec también aprobó la utilización de una mezcla similar cemento-humo de silicio para combatir problemas con la reacción Alkali-agregados en diversas estructuras.

Resistencia al ataque de agentes químicos.

La baja permeabilidad de los concretos elaborados con hundo de silicio lo convierten en una insustituible coraza contra el ataque de ácidos industriales. Algunas de sus más recientes aplicaciones en esta área ha sido en una planta expuesta a soluciones con un contenido del 5% de ácido sulfúrico, en una planta de procesamiento de tosata, y en los alrededores de una planta de almacenaje de químicos.

Resistencia ion-cátodo

Las primeras aplicaciones en esta área son estructuras de estacionamientos y cubiertas de puentes. La densidad e impermeabilidad del concreto a base de hundo de silicio lo capacita como una protección extra para el acero de refuerzo en la protección de las soluciones salinas.

Protección contra la lluvia ácida.

Los efectos de la lluvia ácida en lagos y ríos están deteriorando la vida acuática como también la vida vegetal y causando considerables daños a obras civiles.

Los descubrimientos en Canadá han sido a través de la investigación de cemento Portland en estructuras expuestas permanentemente a estos efectos continuados. Observándose la neutralización del ácido en el agua. Actualmente se encuentran bajo consideración estructuras a manera de rejillas (grit-line) que serán instalarse en la corriente de las aguas para

aliviar de la presencia de materiales Alkalinos a los rios y lagunas hasta reducir y eliminar los niveles de ácido.

2.1.3.2 Estructuras especiales.

En 1948 fue usado un concreto con resistencia a la compresión de 430kg/cm² en paneles precolados para la casa de máquinas en "Por Beck Dam", Montana. El CAR fue especificado para proveer una extrema densidad que pudiera resistir la severa exposición. Actualmente su resistencia se reportó considerablemente superior a los 430kg/cm².

En 1970 los CAR fueron seleccionados para reducir la sección de los postes de un puente atirantado.

Han sido usados en pilas por la "marine foundations" en el noroeste de los Estados Unidos, diseñados para alcanzar una resistencia a la compresión en un rango entre los 353 y 493kg/cm² a los 28 días.

CAR con resistencia a la compresión de por encima de los 559kg/cm² también han sido usados para cubiertas de muelles.

CAR a base de hundo de silicio fueron ideales para la construcción de plataformas de perforación, gracias a la densidad y a la impermeabilidad con respecto a los concretos

tradicionales al mismo tiempo que mejora su desempeño al congelamiento y a las sales marinas. En suma, los CAR permitieron obtener una estructura más liviana y un tiro más profundo, lo cual hizo posible remolcar la plataforma alrededor del hornó de Alaska hasta el mar de Buefort.

2.1.4 Posibles aplicaciones.

En obras relacionadas con las vías de transportes:

- Pavimentos rígidos con alto módulo de ruptura.
- Pistas principales de aeropuertos.
- Estructuras de protección de alta-resistencia al impacto:
 - En vías terrestres.
 - En sistemas portuarios.
- Aplicaciones especiales a la ingeniería de construcción militar.
- Programas especiales, tales como los concretos en la luna.

Como se puede ver son muchas las aplicaciones potenciales de los CAR, de lo cual resulta particularmente la aplicación en los programas especiales. Cuando los Estados Unidos construyan una base en la luna alrededor del cambio de siglo, esta tendrá que ser sumamente sólida, resistente a la abrasión, tendrá que resistir cambios extremos de temperatura

(-121°C a +121°C), servir de coraza contra micrometeoritos, y resistir las condiciones operantes de vacío.

El material ideal será el concreto

Anticipándose al uso de concretos para la base, la "National Aeronautics and Space Administration" (NASA) ha dado una muestra de suelo recogida sobre la superficie lunar a la "Construcción Technologies Laboratories" (CTL) para determinar la viabilidad de los agregados para elaborar concretos en la luna y para conocer las propiedades físicas del concreto lunar.

Los resultados de los exámenes comprobaron que el suelo lunar podría ser un excelente agregado para la elaboración del concreto. El concreto fabricado por la NASA mostró una resistencia a la compresión de 700Kg/cm² y una resistencia a la tracción de 84Kg/cm².

3.2 Infraestructura construida con CaR en el mundo

TABLA 1

A continuación se presenta una lista no oficial de los edificios más representativos del continuo mejoramiento de la resistencia a la compresión en los concretos.

AÑOS	EDIFICIO	LOCALIZACIÓN	NIVELES	f'c
1960	Pacific Place Plaza	Emeryville CA	30	405
1962	S. E. Financial Center	Miami	93	490
1962	Petrocanada Building	Calgary	34	507
1965	Lane Field Tower	Chicago	70	325
	1130 S. Michigan Ave.	Chicago		325
1961	Texas Commerce Tower	Houston	75	328
1970	Helmsler Palace Hotel	New York	50	560
	Trump Tower	New York	68	560
1961	City Center Project	Minneapolis	52	560
	Cellina Plaza	St. Louis	44	560
1960	Larimer Plaza Condominios	Denver	31	560
1966	Metropolitan Tower	New York	56	561
	400 Park Avenue	New York	27	561
1975	Bank One Plaza	Toronto	45	610
1976	Richmond-Adelaide Centre	Toronto	33	610
1973	Midcontinental Plaza	Chicago	50	630
1972	Frontiers Tower	Chicago	65	630
1975	Water Tower Place	Chicago	73	630
1976	River Plaza	Chicago	56	630*
1962	Chicago Mercantile Exchange	Chicago	46	630*
1966	Columbia Center	Seattle	70	665
1966	Century Square	Seattle	30	660
1966	First & Second Building	Seattle	13	770
1966	311 South Market Drive***	Seattle	30	640
1967	Two Union Square	Seattle	58	1300
1967	Pacific First Center	Seattle	44	1300
1968	Two Union Square****	Seattle	62	1300

f'c Resistencia última de diseño del concreto en tensión.

** No en el caso del caso el concreto de alta resistencia.

*** En construcción a la fecha de esta lista.

† Son columnas experimentales de 1000 libras incluidas.

‡ Son columnas experimentales de 1000 libras incluidas.

§ Son el récord de resistencia alcanzado en el caso del U.S.A. Los demás concretos tienen una relación un alrededor de 0.45.

TABLA 2

Se presentan a continuación algunos de los puentes que se han elaborado con GAR en el mundo.

AÑO	PUENTE	LOCALIZACIÓN	CLASE	l'c
1967	Millies Bridge	Toronto	40	420
1961	Bouston Ship Canal	Texas	220	420
1969	San Diego a Coronado	California	43	420a
1970	Linn Cove Viaducto	North Carolina	65	420
1970	Pasco-Kennecott Intercity	Washington	230	420
	Coverman Steel Bridges	Washington	45	480
1964	Huntington a Proctorville	W. Va. a Ohio	274	500
1960	Nitta Highway Bridge	Japan	30	505
1970	Kanmochiwa Highway Bridge	Japan	68	505
1974	Fukuzato Highway Bridge	Japan	30	700
1973	Detenabe Railway Bridge	Japan	24	780
1970	Abegawa Railway Bridge	Japan	48	780

a No en el cual se usó el concreto de alta-resistencia.

a Se utilizó concreto aligerado.

l'c Resistencia mínima de modo del concreto en kg/cm².

Clase Clase básica de las secciones del puente en metros.

TABLA 3

Edificios más altos en el mundo de concreto.

311 South Wacker Drive, Chicago, Illinois *	355 metros.
Water Tower Place, Chicago, Illinois	352 metros.
City Spire, New York, New York	348 metros.
NBC Center, Sydney, Australia	346 metros.
Sealife Center, Melbourne, Australia *	342 metros.
Tan Abdul Razak, Pinang, Malasia	332 metros.
Two Wells Square, Seattle	331 metros.
Raffles City Hotel, Singapore, Malasia	328 metros.
Egyptia Center, Chicago, Illinois	322 metros.
Peacefare Plaza Hotel, Atlanta, Georgia	320 metros.
Carlenton Center, Johannesburgo, S. Africa	320 metros.
Renaissance (Westin) Hotel, Detroit, Michigan ..	318 metros.
Metropolitan Tower, New York, New York	318 metros.

* En construcción a la fecha Abril 1990

TABLA 4

En algunos países el aprovechamiento de los CWR es de especial mención debido a la cantidad de ellos que se encuentran en etapa de proyecto o de construcción, como el caso de Australia, que es un claro ejemplo de la gran demanda de los CWR.

Proyectos Australianos.

PROYECTO	NIVEL(S)	ft. *	ELEMENTOS
Melbourne			
The Rialto Project Collins Street	60	600 @ 100ft	Columnas
Shell House Spring and Filanders Streets	35	400 @ 100ft	Columnas
530 Collins Street	45	400 @ 100ft	Columnas
120 Collins Street	55	710 @ 100ft	Columnas
Melbourne Central La Trobe Street	55	600 @ 200ft 600 @ 200ft 710 @ 100ft	Columnas Col. centro Col. centro
Brisbane			
Waterfront Place 1 Eagle Street	35	600 @ 200ft	Columnas
Central Place Ann Street	107**	710	Col. centro
Perth			
5015 Airlie St Georges Terrace	12	600 @ 100ft	Columnas
B & J Tower St Georges Terrace	48	600 @ 100ft	Columnas

Proyectos Australianos. (Continuación)

PROYECTO	NIVELES	f'c *	f'c #	ELEMENTOS
St. Georges Square St. Georges Terrace	20	600	6 90 días	Columnas
QV I St. Georges Terrace	42	600	6 280 días	Columnas
Sydney				
135 King Street	30	600	6 250 días	Columnas
Four Seasons Hotel Darling Harbour	18**	600	6 98 días	Columnas

f'c = Secuencia del concreto en f'c/fc# # Tiempo especificado para alcanzar la resistencia de diseño en niveles organizados.

CAPITULO 3. SELECCION DE LOS MATERIALES.

3.1 Cemento.

El cemento Portland, un polvo mágico que se ha convertido en la piedra del siglo XX.

Extremadamente importante es la elección del tipo de Cemento Portland para los CAR. La extensa variedad de editivos que existen en el mercado nos permiten modificar la estructura del concreto para lograr un mejor desempeño en su vida útil.

A pesar de esto, los diferentes tipos de cemento nos garantizan un mejor servicio en la aplicación específica que de ellos se dan. Es por esto que dentro de los tipos de cementos dados, diferentes marcas tendrán diferentes resistencias y diferente desenvolvimiento de sus características por las variaciones al combinar los agregados y grados de finura que son permitidas por la ASTM C150.

En México se elaboran actualmente diversos tipos de cemento Portland, como el "I" de color gris para usos generales, o blanco para fines ornamentales; el "II" modificado que se destina a construcciones generales de concreto expuestas a una acción moderada de los sulfatos, o cuando se requiere un calor de hidratación moderado; el "III" de rápida acción resistencia inicial; el "IV" de bajo calor de hidratación; el "V" de alta resistencia a los sulfatos; el C-2

puzolánico; el C-175 de Escoria de Alto horno, especialmente destinado a obras marítimas y construcciones con grandes masas de concreto, como presas de irrigación; y el especial, empleado para cementar pozos petroleros profundos.

A no ser que la resistencia inicial sea el objetivo, así como los que manufacturan productos de concreto, usan frecuentemente cemento de alta-resistencia inicial para permitir ciclos más rápidos en locales de cura limitados, durante periodos de producción acelerada, no hay necesidad de usar cemento Tipo III. Sin embargo en los reportes de la mayoría de las estructuras con DAR se ha utilizado concreto a base de cemento Tipo III porque los métodos actuales de construcción en los que se emplea equipo externo, enfatizan la velocidad de construcción.

El cemento Tipo III es manufacturado básicamente por el mismo principio que el Tipo I, pero se distingue de este en que desarrolla resistencia más rápidamente (ver figura 11). Esto debido a una selección cuidadosa de la materia prima y un control rigido de la composición y manufactura, la composición química puede ser alterada ligeramente del Tipo I para aumentar el contenido de silicato tricálcico (C_3S) y el producto terminado es molido hasta obtenerse un alto grado de finura. Ambos cambios ayudan a obtener una alta-resistencia inicial. El color del Cemento Tipo III es similar al del Tipo I, y cemento blanco Tipo III puede ser obtenido en diferentes localidades.

Las Especificaciones para el cemento Portland Tipo III están dadas por la ASTM Designación C150. En Canadá, por la Asociación Canadiense de estándares (CSA) Estandar A5. Las especificaciones para el cemento Portland de alta-resistencia inicial con aire incluido, o Tipo III-A, están dadas por ASTM Designación C175. La TABLA 5 muestra la composición típica de los cementos y la finura para los cementos Portland tipos I y III.

TABLA 5.

TIPO DE CEMENTO PORTLAND	Composición del compuesto, porcentaje †				Finura C ₁₀₀ Por 1.000
	C ₁	C ₂	C ₃ III	C ₄ ‡	
I	50	34	11	5	2800
III	50	32	8	8	2800

- † Las composiciones mostradas de los cementos son típicas. Desviaciones de estos valores se indican comportamiento no satisfactorio. Véase los límites de las especificaciones ASTM C150.
- ‡ Cuando se requiere una moderada resistencia a los sulfatos para el cemento Tipo III, el sulfato trisulfato puede sustituirse a un 8 por ciento. Cuando se necesita una alta resistencia a los sulfatos el sulfato trisulfato puede limitarse a un 6 por ciento. El estándar A5 de la CSA no especifica límites para C₄ para el cemento Portland de alta resistencia inicial.
- §§ La finura determinada por el tamizado de Vigor.

Además de proveer mayor resistencia inicial, la mayor finura del Tipo III tiene tres efectos en el concreto fresco.

Tiende a contrarrestar las deficiencias de los finos, en el concreto grueso y por lo tanto mejora su trabajabilidad.

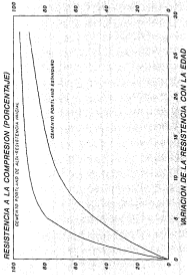
Con cementos finos, la mezcla es más cohesiva y la segregación y la exudación pueden ser reducidas. La

composición química del cemento Tipo III no produce efectos significativos en la trabajabilidad. Debido a su mayor finura, los cementos Tipo III generalmente requieren mayores cantidades de aditivos inclusiones de aire por unidad de cemento para mantener un volumen constante de aire incluido.

El tiempo requerido de fraguado varía de acuerdo al tipo y cantidad de cemento, espesor de acelerantes, dimensiones y forma de la masa de concreto, resistencia requerida y uso futuro de la estructura. El concreto hecho con cemento de alta-resistencia inicial, endurece rápidamente; por lo tanto, debe prestarse una debida atención al curado inicial, aún así que a concretos hechos con otros cementos.

VARIACION DE LA RESISTENCIA CON LA EDAD

FIGURA - 1



3.2 Agregados Pótreos.

Los CAR generalmente contienen grandes cantidades de materiales pesantes de partículas finas, tanto en el cemento mismo como en los aditivos minerales, de tal manera que la granulometría de los agregados usados carecen de relativa importancia comparado con los concretos convencionales.

Los agregados de partículas finas usados en la elaboración de los CAR deberán como mínimo, satisfacer los requerimientos de la NOM-C-111-82 "Concreto.- Agregados.- Especificaciones". No obstante las siguientes recomendaciones pueden resultar benéficas para un mejor desempeño.

3.2.1 Agregados de partículas finas.

Los agregados finos con partículas de forma redondeada y textura lisa han sido estudiados y utilizados para reducir los requerimientos de agua en las seccías y por esto son frecuentemente usados en los CAR.

La mejor manera para determinar la óptima especificación del agregado fino es prestando atención a los requerimientos de agua.

Reportes de arenas usadas en CAR marcan parámetros de módulos de finura (FM). Con un FM por debajo de 2.5 el concreto toma una consistencia viscosa haciéndose difícil de trabajar. Arenas con FM por encima de 3.0 son las que

presentan la mejor trabajabilidad y resistencia a la compresión.

Para características específicas como la resistencia a temprana edad, la granulometría no presenta efectos de consideración.

3.2.2 Agregado grueso.

Recientes investigaciones en granulometría para alcanzar altas resistencias han mostrado que para una óptima resistencia a la compresión con altos contenido de cementos y baja relación agua/cemento la medida del agregado grueso deberá mantenerse como mínimo a 1/2 pulg. (12.7mm) a 3/8 pulg. (9.5mm).

3.3 Agua.

Los requerimientos y calidades del agua necesaria para la elaboración de los CAR no son mayores que para la elaboración de los concretos convencionales.

Generalmente el agua para concreto es especificada con calidad de potable.

El aprovisionamiento de agua como agregado tal vez sea el que menos constituya problema para la elaboración de CAR, puesto que en la mayoría de las localidades del país existen plantas purificadoras.

De no existir agua que cumpla con estas calidades será necesario comparar un espécimen de laboratorio de acuerdo a las dosificaciones y calidades requeridas contra una muestra del concreto fabricado con dicha agua. Si está es igual o superior al 90% de la resistencia a compresión del espécimen, podrá considerarse aceptable.

Este método de verificación es más fácil de realizar que someter el agua en cuestión a análisis para cubrir las especificaciones NOM-C-122-82 "Agua para concreto".

Los métodos de exámenes de agua para concretos especiales están dados por la ASTM C94 y la AASHTO T26.

3.4 Aditivos.

Los aditivos pueden emplearse para modificar las propiedades del concreto haciéndolo más adecuado para determinado trabajo, por economía, o con otros propósitos tales como el ahorro de energía.

En algunos casos, un aditivo puede ser el único medio de alcanzar el resultado deseado. En otros casos, los objetivos deseados pueden lograrse mediante cambios en la composición o dosificación de la mezcla del concreto y no mediante el empleo de un aditivo.

Algunos de los fines más importantes para los que se emplean los aditivos son:

En el concreto fresco:

- Para aumentar la trabajabilidad sin incrementar el contenido de agua, o para reducir el contenido de agua con la misma trabajabilidad.
- Para retardar y/o acelerar el tiempo de fraguado inicial.
- Para reducir o evitar el fraguado o para crear expansión ligera.
- Para modificar la tasa o capacidad de sangrado, o ambas.
- Para reducir la segregación.
- Para mejorar la penetración y la bombeabilidad.
- Para reducir la tasa de pérdida de revenimiento.

En el concreto endurecido:

- Para retardar o reducir la evolución de calor durante el endurecimiento temprano.
- Para acelerar la tasa de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- Para incrementar la resistencia a la compresión, a la tensión o a la flexión).
- Para incrementar la durabilidad y/o resistencia a condiciones severas de exposición, incluyendo la aplicación de sales descongelantes.
- Para reducir el flujo capilar de agua.
- Para reducir la permeabilidad a los líquidos.

- Para controlar la expansión causada por la reacción de álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.
- Para producir concreto celular.
- Para incrementar la adherencia del concreto con el refuerzo.
- Para incrementar la adherencia entre concreto viejo y nuevo.
- Para mejorar la resistencia al impacto y/o a la abrasión.
- Para impedir la corrosión del metal ahogado.
- Para producir concreto o mortero coloreado.

Los aditivos deben usarse de acuerdo con las especificaciones aplicables de la NOM, ASTM o con otras especificaciones. Debe prestarse especial atención a las instrucciones proporcionadas por el fabricante del aditivo. Un aditivo debe utilizarse solo después de haber evaluado apropiadamente sus efectos; hay que probarlo de preferencia con los materiales particulares y en las condiciones de utilización. Esta evaluación es importante cuando:

1. Se especifican tipos especiales de cemento.
2. Se va a emplear más de un aditivo.
3. El meclado y el colado se lleven a cabo a temperaturas por arriba o por a bajo de las temperaturas de colado generalmente recomendadas.

Además debe de señalarse que:

1. Es conveniente un cambio en el tipo o fuente de cemento, variar la cantidad de cemento empleado, o una modificación en la composición granulométrica del agregado o de las proporciones de la mezcla.
2. Muchos aditivos afectan a más de una de las propiedades del concreto, alterando adversamente, algunas veces, propiedades deseables.
3. Algunos factores tales como el contenido de agua y el contenido de cemento de la mezcla, modifican de manera importante los efectos de algunos aditivos debido al tipo de composición granulométrica del agregado y por la duración del secado.

El amplio campo de aplicaciones de los aditivos, la introducción continua de materiales nuevos o modificados, así como las variaciones de efectos con diferentes materiales y condiciones de colado, impiden presentar una lista detallada de los aditivos comerciales y de sus efectos sobre el concreto.

Los aditivos comerciales pueden contener materiales que, separadamente, podrían pertenecer a dos o más grupos.

Para este informe se han clasificado de acuerdo con el tipo de material que corresponde a su origen, sean éstos químicos o físicamente divididos. Algunos aditivos químicos se

presentan como sólidos acuosos que se deben escoger en el sitio en el que se van a emplear, esto no implica que sea otro su origen o clasificación de acuerdo a este informe.

3.4.1 Aditivos Químicos.

3.4.1.1 Acelerantes.

La resistencia temprana del concreto puede incrementarse materialmente y acortarse el tiempo de fraguado con el empleo de aditivos acelerantes. Los beneficios de la resistencia temprana acelerada puede comprender:

1. Remoción más temprana de las cimbras.
2. Periodos más cortos de protección necesaria para evitar daños al concreto por concreto por congelación u otros factores.
3. Terminación más temprana de una estructura o de una reparación.
4. Compensación parcial o completa por los efectos de bajas temperaturas sobre la velocidad del desarrollo de la resistencia.

A no ser que los puntos anteriores sean realmente críticos, los acelerantes no son usados normalmente en los CAS.

La decisión de utilizar un acelerante en el concreto a veces se basa en razones económicas. Frecuentemente puede obtenerse el mismo resultado con otros medios, tales como:

1. El empleo de cemento de fraguado rápido, Tipo III.
2. El empleo de cemento adicional.
3. El empleo de un método de curado diferente y/o más prolongado y de protección.
4. Calentamiento del agua y del agregado.
5. Una combinación de éstos.

En muchos casos el empleo de un acelerante es el método más económico y conveniente de obtener resultados deseados.

Los aditivos que aceleran el endurecimiento de las mezclas de concreto pueden dividirse en tres grupos.

1. Sales inorgánicas solubles.
2. Compuestos orgánicos solubles.
3. Diversos materiales sólidos.

Sin embargo las mezclas de CMR pueden proveer resistencia adecuada para formas verticales en muros y columnas a esa temprana edad, esto debido a los contenidos de cemento y a los aditivos químicos (superfluidificantes), que aparte de ser esenciales para la alta resistencia, intrínsecamente proporcionan un incremento en el tiempo de fraguado.

Algunos autores afirman que los aditivos usados para incrementar la probocion o salida de fraguado serán normalmente contraproductivos a largo plazo para el desarrollo de la resistencia.

Los aditivos que se compran para utilizarse en concreto para este fin específico deben de cumplir con los requisitos Tipo C o E de la NOM-D-255-88; "Industria de la construcción aditivos químicos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado del concreto". El cloruro de calcio debe de cumplir también con los requisitos de la ASTM D 79; "Specifications for Calcium Chloride".

3.4.1.2 Inclusiones de Aire.

Se recomienda el uso de inclusiones de aire para aumentar la durabilidad y resistir la acción de los ciclos de congelamientos y deshielo en condiciones de saturación crítica.

Al incrementarse la resistencia a la compresión el cociente de la relación agua/cemento disminuye, mejoran los parámetros de la relación aire-vacio y los porcentajes de la inclusión de aire pueden ser colocados hasta el límite más bajo de los rangos aceptables, recomendados por el ACI 309. La inclusión de aire tiene el efecto de reducir la resistencia a la compresión, particularmente en mezclas de alta-resistencia, por esta razón, solo es usado donde la durabilidad es un aspecto crítico. Por lo que en el mayoría de las regiones del país con un clima privilegiado hacen de la durabilidad en base al congelamiento deshielo un aspecto de poca importancia para el diseño del concreto.

Todo material que se proponga como aditivo inclusor de aire debe verificarse en las especificaciones NOM-C-200-70, "Aditivos inclusores de aire para concreto".

3.4.1.3 Aditivos reguladores de fraguado y reductores de agua.

Ciertos compuestos orgánicos o sales de compuestos orgánicos e inorgánicos se utilizan como aditivos, tanto para concreto con aire incluido, como para concreto sin aire incluido, para reducir los requisitos de agua de la masa, o para modificar las propiedades de fraguado, o para ambos fines. La disminución de agua da como resultado una adecuada reducción en la relación agua/cemento para una revenimiento y un contenido de cemento dados, o un incremento en el revenimiento con la misma relación agua/cemento y el mismo contenido de cemento.

Generalmente el efecto del empleo de estos materiales en el concreto endurecido es un incremento en la resistencia a la compresión y alguna reducción en la permeabilidad. Así como, en combinación con una adecuada inclusión de aire, una mejor resistencia a la congelación y al deshielo. Una reducción en la relación agua/cemento incrementa la resistencia del concreto, pero lo que se gana en resistencia a la compresión a veces es mayor que lo indicado por esa sola relación.

Dichos aditivos también pueden modificar las propiedades de fraguado del concreto o de lechadas, y producir un efecto retardante.

Las combinaciones de materiales en la elaboración de los aditivos puede variar sus condiciones de desempeño. El grado de estas condiciones depende de su fórmula, es decir, de las cantidades relativas de cada componente utilizadas en la fórmula. Estas fórmulas pueden contener otros materiales para producir o modificar otros efectos tales como la adición de aditivos inclusores de aire para producir concreto con aire incluido, o un aditivo excluser de aire para reducir o nulificar el aire incluido producido por ciertos componentes en la fórmula, cuando no se desea el aire incluido o cuando el aire producido es excesivo.

Los aditivos reductores de agua y reguladores de fraguado deben cumplir con los requisitos aplicables de la NOM-C-255-88. Esta especificación de la NOM proporciona requisitos detallados para los siguientes tipos de aditivos respecto a requisitos de agua, tiempo de fraguado, resistencia (a la compresión y a la flexión), contracción y durabilidad que los clasifica en los siete tipos siguientes:

1. Reductores de agua.
2. Retardantes.
3. Acelerantes.
4. Reductores de agua y retardantes.

5. Reductores de agua y acelerantes.
6. Reductores de agua de alto rango.
7. Reductores de agua de alto rango y retardantes.

Retardantes.

La adición de aditivos retardantes a la mezcla de CAR es frecuentemente benéfica en el control de la pronta hidratación. El diseño de mezclas de los CAR incorpora altos contenidos de cemento que no son comunes en los concretos convencionales. De ahí que sean esperadas altas temperaturas dentro del concreto, como en la "Water Tower Place" que en sus columnas (1.2m) con un contenido de 502kg de cemento/m³ se elevó la temperatura a 66°C desde 24°C durante la hidratación. El calor fue disipado a los 4 días sin efectos perjudiciales.

Cuando el diseño estructural requiere de grandes áreas de acero de refuerzo y forma complicada, atendiendo a esta dificultad de colocación del concreto, un reductor puede controlar el tiempo del trabado con el objeto de eliminar juntas frías y proveer de mayor trabajabilidad (en cuanto al tiempo) al concreto.

Sin embargo es posible utilizar cemento Tipo II como solución alternativa para las fuertes reacciones de hidratación por los altos contenidos de cemento.

Los aditivos que se compran para utilizarse en concreto para este fin específico deben de cumplir con los requisitos Tipo B o D de la NOM-C-255-88.

Reductores de Agua.

Los aditivos convencionales reductores de agua también llamados fluidificantes, nos proveerán de incrementos en la resistencia sin alterar los proporciones de fraguado. Como nuestro objetivo es la alta-resistencia, su selección deberá estar basada en su desempeño en el desenvolvimiento a altas resistencias.

Los aditivos que se compran para utilizarse en concreto para este fin específico deben de cumplir con los requisitos Tipo A de la NOM-C-255-88.

Reductores de agua de alto rango.

También llamados superfluidificantes. Son químicamente diferentes a los fluidificantes normales. Como consecuencia, se utilizan a altos niveles de dosificación sin causar los problemas de retrasos y/o de exceso de inclusión de aire asociados con la adición de grandes cantidades de materiales convencionales.

Como resultado de la muy aumentada trabajabilidad que la adición de un superfluidificante proporciona al concreto elaborado con una relación agua/cemento normal, es posible

hacer un concreto con una trabajabilidad convencional (reventamiento = 5 a 7.5), pero con esa relación muy disminuida. Sin embargo, gran parte del desarrollo en el uso de los superfuidificantes como reductores de agua ha tenido lugar en el Japon, donde la trabajabilidad convencional es de 20 ca de reventamiento mas o menos. No obstante, las tendencias generales son las mismas.

La tecnica para producir concreto con una relación agua/cemento baja, con el objeto de obtener una alta-resistencia o de mantener la trabajabilidad con un requerimiento reducido de agua, se inicio en el Japon hace doce años, utilizando un aditivo de la categoría B (Las categorías de los superfuidificantes seencionan a continuación). Debe hacerse notar que en el Japon se comen utilizar concretos con grandes cantidades de arena y de alto reventamiento para la construcción en general, ya que, con el objeto de resistir temblores y terremotos, los edificios contienen una gran cantidad de acero de refuerzo.

Los superfuidificantes se usan para reducir los requerimiento de agua de tales seccias, manteniendo al mismo tiempo un reventamiento de 20 ca.

En 1974 se despertó el interés por esta tecnica en la Gran Bretaña, y se estima que durante aquel año se colocaron aproximadamente 15,000 m³ de concreto con reducción de agua.

La relación entre los superfuidificantes y otros aditivos comúnmente disponibles diseñados para aumentar la

trabajabilidad o reducir los requerimientos de agua se muestra a continuación.



La longitud de cada línea constituye una indicación aproximada del rendimiento (la capacidad de aumentar la trabajabilidad y de reducir el contenido de agua). También representa el aumento en el costo. No debe dársele importancia a las longitudes de las líneas las cuales son aproximadas.

Por lo tanto debe considerarse que los superfluidificantes incrementan marcadamente el rendimiento y el costo de las funciones básicas de los aditivos fluidificantes y reductores de agua normales.

El superfluidificante es una sustancia química, o una combinación de sustancias químicas que cuando se adicionan al concreto normal:

- a) Le imparten una trabajabilidad extrema;
- b) Le proporcionan una gran reducción de agua, lo cual sobrepasa los límites de aquella obtenida por medio de los aditivos fluidificantes normales.

En general son muchos los superfluidificantes disponibles, por lo que sería muy difícil e inútil tratar de mencionarlos, principalmente por los cambios que ocurren en el mercado internacional.

Estas sustancias químicas pueden agruparse en cuatro categorías:

Categoría A - Condensados de formaldehído melamina sulfonados.

Categoría B - Condensados de formaldehído Nafteína sulfonados.

Categoría C - Lignosulfonatos sodificados.

Categoría D - otros.

Cada categoría sufre variaciones: por ejemplo, los materiales químicamente similares pueden tener diferentes pesos moleculares que alteraran su efectividad. Mas aun, pueden adicionarse otras sustancias químicas, lo cual también cambiará el rendimiento en detalle. Al seleccionar un producto, debe obtenerse información del proveedor sobre el aditivo deseado en particular.

Los superfluidificantes de las categorías A y B se distinguen de los demás en que su sustancia química activa no origina una disminución significativa en la tensión superficial.

Las mediciones de las temperaturas de los calores de hidratación de las pastas de cemento Portland ordinario,

realizadas con la misma relación agua/cemento y contenido de superfluidificantes de la categoría A y B, han demostrado que la producción total de calor definitivamente no se afecta con la adición del aditivo, a pesar que puede observarse alguna variación en el retardo inicial.

Es infortunado que la mayoría de las prácticas comunes de colocación de concreto piden un nivel de trabajabilidad que normalmente es imposible de obtenerse sin la adición de una poca, y en ocasiones de bastante, agua en una cantidad por encima del requerimiento teórico 0.27 (ver capítulo 4 Diseño de mezclas.), reduciendo de esta manera la resistencia posible. Con una relación agua/cemento de alrededor de 0.3 la trabajabilidad de la mayor parte del concreto se perjudica para fines de alta-resistencia.

El incremento del contenido del cemento para lograr a una alta-resistencia a temprana edad puede producir calor excesivo, ocasionando agrietamiento y una contracción indeseable. El incremento del cemento por sí solo no es tan recomendable como una reducción en la relación agua/cemento para lograr el mismo fin, es decir, a una alta-resistencia a temprana edad.

Resulta claro, por lo tanto, que cualquier medio que se emplee para reducir esta relación más rápidamente al nivel teórico es deseable, siempre y cuando se respeten las prácticas adecuadas de colocación del concreto. Se afirma que los superfluidificantes se encuentran en vías de satisfacer

este requerimiento, ya que las reducciones de agua, en una proporción del 20 al 35%, se obtienen por medio de su uso apropiado, a pesar que se presentan limitaciones con respecto a la finura del cemento, el agregado y la temperatura.

En comparación se obtienen reducciones de agua de únicamente el 15 al 18% con fluidificantes basados en Licneulfenato. Los concretos con reducción de agua que contienen superfluidificantes se caracterizan por su alta resistencia a temprana edad y última, por su excelente durabilidad y por su impermeabilidad.

Capacidad de los superfluidificantes en la reducción de agua.

LA TABLA 6 muestra información acerca de un concreto elaborado con una trabajabilidad fija (revesamiento) de 10 cm.

El contenido de agua se reduce gradualmente en la medida que se aumenta el contenido de superfluidificante. En una mezcla 1:2:4 con un contenido de cemento de 300Kg/m³. Utilizando un superfluidificante de la categoría B.

Se observan tendencias similares en concretos con contenidos de cemento superiores a los 300 Kg/m³.

TABLA 6.

Dosificación del concreto	Relación Agua/Cemento	Reducción del Agua (%)	Resistencia (MPa)
I	0.8	0	30
Normal	0.87	5	30
De once veces	0.92	15	30
Tres veces normal	0.98	20	30

Una característica de los superplastificantes es que, dentro de los límites normales de dosificación, no reducen significativamente la tensión superficial de la fase de agua en el concreto. Esta propiedad les permite utilizarse a altos niveles de dosificación y obtener resistencias que se logran con relaciones agua/cemento muy bajas. Los incrementos en la resistencia que pueden lograrse son muy marcados a edades tempranas, volviéndose menores con el tiempo. Como se muestra en la TABLA 7.

La capacidad de resistencia a temprana edad de este concreto con reducción de agua se muestra en la figura 2, para un contenido de cemento de 400kg/m^3 . Se puede observar la gran diferencia de pendientes de la recta que representa la evolución de la resistencia en los periodos de tiempos especificados.

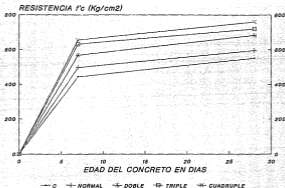
TABLA 7.

Resistencia a la compresión de un concreto conteniendo un aditivo de la Categoría B con cemento Portland ordinario; revenimiento = 21 ± 3 cm.

Dosisificación del aditivo	Relación agua/cemento (a)	Cemento (kg/m ³)	Revenimiento (cm)	f'c (kg/cm ²)	
				7Días	28Días
0	0.53	400	21.5	366	363
Normal	0.49		21.5	366	437
Doble	0.46		20.9	332	485
Triplic	0.43		21.0	386	542
Cuádruplic	0.40		19.5	436	603
0	0.45	500	26.7	371	515
Normal	0.43		26.3	447	599
Doble	0.39		21.9	497	627
Triplic	0.37		21.9	566	671
Cuádruplic	0.34		21.2	614	735
0	0.36	600	22.5	443	551
Normal	0.37		22.7	467	596
Doble	0.34		21.3	567	683
Triplic	0.32		22.9	631	720
Cuádruplic	0.30		22.9	685	786

f'_c DE UN CONCRETO SUPERFLUIDIFICADO

FIGURA - 2



CAR

3.4.2 Aditivos Minerales Finamente Divididos.

3.4.2.1 Ceniza Volante (Fly Ash).

Las cenizas se producen cuando el carbón pulverizado se inyectado a alta velocidad a las calderas, en donde entra en combustión instantáneamente a una temperatura superior a los 1500°C que es mayor a la temperatura de fusión de la mayoría de los minerales contenidos en el carbón.

Como resultado de este proceso, se obtiene en un 75% las llamadas cenizas volantes que al ser arrastradas con los gases de combustión hacia las chimeneas, son recolectadas por los precipitadores electrostáticos que reducen a un mínimo la contaminación ambiental.

El 25% restante son las llamadas cenizas de fondo que por ser más pesadas se depositan en la parte inferior de las calderas, recolectándose en una tolva de donde son extraídas por sistemas hidráulicos y apiladas hacia áreas de almacenamiento.

Las características Físico-Químicas de las cenizas dependen del tipo de carbón, de la temperatura de la caldera, de la finura de la molienda y del periodo de retención en la zona caliente de la caldera.

Las cenizas se componen principalmente de esferas vitreas, material cristalino y ciertas cantidades de carbono.

El color varía generalmente del crema al gris oscuro dependiendo de las proporciones de carbono, hierro y humedad.

El tamaño de las cenizas se puede expresar de diferentes maneras. Para algunos propósitos el análisis granulométrico es satisfactorio, sin embargo para estas partículas muy finas, por ejemplo las inferiores a 53 micrones, este método no es aplicable.

La mayoría de los precipitadores, retienen más del 70% en peso, de finos inferiores a 53 micrones, lo que ha hecho necesario buscar sus métodos más apropiados.

uno de estos métodos es la medida de la superficie específica, que es la superficie total (en metros cuadrados) que ocupa un kilogramo de material.

El peso específico de las cenizas es aproximadamente las dos terceras partes del peso del cemento Portland y se sitúa en el rango de 1.9 a 2.3 toneladas por metro cúbico.

Los elementos químicos que predominan son óxidos de sílice, hierro y aluminio que constituyen del 75% al 78% del material.

El análisis mineralógico de las cenizas de Río Escondido muestra la presencia de los siguientes elementos expresados como porcentaje del peso.

Sílice(SiO ₂)	63.19
Aluminio(Al ₂ O ₃)	25.67
Hierro(Fe ₂ O ₃)	3.30
Calcio(CaO)	1.54
Magnesio(MgO)	0.86
Potasio(K ₂ O)	1.16
Sodio(Na ₂ O)	0.55
Titanio(TiO ₂)	1.00
Acufre(SO ₃)	1.15
Cloro(Cl)	-----

según especificaciones ASTM D 419, existen dos clases de ceniza volante de acuerdo con las características del carbón que las produce.

1. Ceniza volante clase F, la cual solamente tiene propiedades sicloánicas.
2. Ceniza volante clase C, que además de propiedades sicloánicas, manifiesta propiedades cementante cuando su contenido en óxido de calcio es alto.

La ceniza volante que produce la central de Río Escondido, Coah., por su bajo contenido de óxido de calcio, se identifica como clase F.

En los países que utilizan carbón para generar energía eléctrica, el uso de la ceniza volante está plenamente difundido. En la Central Carboceléctrica de Río Escondido, Coah. se obtendrán cuatro tipos de ceniza de carbón, de acuerdo con su forma y grado de fluidez.

Tipo 1. Ceniza de fondo.

Tipo 2. Ceniza volante integral de tres campos.

Tipo 3. Ceniza volante integral clasificada con aire, fracción gruesa.

Tipo 4. Ceniza volante integral clasificada con aire, fracción fina.

Además de los usos mencionados, el aprovechamiento de las cenizas es múltiple en la industria de la construcción. Enseguida se presentan las aplicaciones más frecuentes.

La materia constitutiva de la ceniza volante presenta una composición química que es potencialmente favorable para su comportamiento como puzolana, ya que satisface ampliamente las condiciones que se requieren en estos materiales.

En pruebas realizadas por la Comisión Federal de Electricidad se dieron diferentes tiempos de molida a la ceniza volante integral y se le determinó después finura en malla número 325, superficie específica en Blaine, y actividad vulcánica con sal conforme al método de pruebas ASTM C 311.

Los resultados obtenidos confirman la buena calidad potencial de la ceniza integral como puzolana.

En la molida, la ceniza volante de Río Escondido se comporta en forma diferente de otras puzolanas, debido a que en su composición participan dos tipos de partículas con distinta dureza.

El comportamiento de la ceniza volante integral de Río Escondido durante la molida, ofrece la posibilidad de obtener un producto molido con buenas propiedades puzolánicas.

Las ventajas comparativas de la ceniza volante sobre la puzolana natural para fabricar cemento puzolánico pueden resumirse como sigue:

- No es necesaria la adquisición y explotación de bancos de puzolana natural.
- No se requiere de ningún proceso antes de mezclarse con el clinker, con lo cual se logra un ahorro significativo de energía.
- La ceniza volante es más uniforme y de fácil dosificación.
- El cemento producido con ceniza volante requiere menos agua para la elaboración de concretos que el producido con puzolanas naturales.

La ceniza como materia prima.

- En la fabricación de cemento portland puzolánico, mediante molida conjunta de la ceniza con el clinker portland.
- En la fabricación de cemento portland puzolánico, mediante mezcla íntima de la ceniza con el cemento portland.
- En la fabricación de agregados ligeros artificiales.

En combinación con cemento Portland.

- Lechadas de cemento y ceniza para trabajos de inyección en suelos, rocas, pavimentos y estructuras de concreto.
- Lechadas de cemento y ceniza para trabajos de cementación en la perforación de pozos petroleros.
- Recetas de cemento, ceniza y agregados para concretos estructurales normales de consistencia plástica.

- Mezclas de cemento, ceniza y agregados para concretos de consistencia semiplástica o dura, destinados a la elaboración de productos prefabricados, sujetos a curado normal, con vapor a presión atmosférica, o en autoclave.

Cuando la ceniza volante se usa como aditivo en concretos de cemento portland, su incorporación en el concreto puede hacerse de tres modos básicos, a partir de una mezcla testigo sin ceniza.

- a) Reemplazo de cemento por ceniza volante clasificada.
Se substituye parte del volumen absoluto del cemento portland, por igual volumen de ceniza volante clasificada.
- b) Adición al cemento portland.
Se substituye parte del volumen de los agregados, por un volumen igual de ceniza volante.
- c) Reemplazo y adición.
Es una combinación de los modos anteriores.

La adopción de cualquier modo dependerá de las adiciones y beneficios que se quieran alcanzar.

El uso de ceniza volante no cambia el hecho que la calidad del concreto sólo podrá lograrse cuando se empleen materiales de calidad satisfactoria.

3.4.2.2 Hueso de sílice.

El primer aditivo de hueso de sílice apareció en el gran mercado norteamericano de construcción en 1963. Desde entonces, se usa comúnmente como sustituto del cemento o como un aditivo para mejorar el desempeño del concreto.

El hueso de sílice o microsíllica es un producto secundario de la industria de metales con aleaciones de silicio donde el alto contenido de sílice de este producto es convertido en un gran excelente material pozzolánico que al reaccionar con hidróxido de calcio y agua forma un material cementante adicional.

No fue sino hasta 1963 cuando se usó hueso de sílice en un proyecto a gran escala. En este proyecto en particular se usó el hueso de sílice en el concreto para aumentar su resistencia e incrementar la resistencia a la abrasión. Este proyecto enfatiza su uso para mejorar las características del concreto y, secundariamente, el aumento substancial de la resistencia a compresión en comparación de los concretos convencionales.

Apartir de entonces comenzó un mercado limitado de concretos de alta-resistencia en base a hueso de sílice. El primer proveedor, tiempo después, comienza la producción de concreto en base a hueso de sílice para reducir la permeabilidad al ioncloruro en cubiertas de puentes y estructuras estacionarias expuestas a los sales-desecoponantes.

principalmente en invierno. En 1986 se usó aproximadamente 270 000 m³ de concreto a base de huso de sílice en los EUA.

Como producto el huso de sílice se encuentra disponible en sacos o a granel. Su manejo, transportación y dosificación es generalmente igual que el cemento Portland o la ceniza volante, sin embargo el aspecto económico por costo de transportación es otra variable a considerar: el material típico tiene un peso unitario de solo 172 a 240kg/m³ comparado con las 1500kg/m³ del cemento. Para cubrir las dificultades asociadas con la transportación y manejo de un material seco muy fino, lo hay también en una base de agua con un peso aproximado de 1310kg/m³ conteniendo de 45 a 50% de huso de sílice por masa. Recientemente se encuentra disponible en EUA en estado seco densificado (También termo compactado), con o sin aditivos plásticos incluidos; con un peso específico de 560 a 640kg/m³.

Hasta el momento no existe ninguna especificación standard que cubra el huso de sílice como material. Para lo cual se creó el Comité ASTM C-7 que trabaja en el desarrollo de especificaciones para promover el uso de huso de sílice. Inicialmente el intento del Comité fue incluir el huso de sílice como un material adicional en las guías ASTM C-118. Sin embargo este intento se abandonó y se trabaja actualmente en especificaciones separadas para el huso de sílice.

Contexto Nacional.

En México, desgraciadamente, no existe hasta el momento ningún fabricante de humo de sílice como materia prima, aunque posiblemente se pueda generar alguna de las plantas industriales del País. Por lo mismo, no existen hasta el momento, al igual que en EUA ninguna, reglamentación acerca de su uso y control.

Por el contrario los proveedores (Norteamericanos y Europeos), han acumulado la debida experiencia para presentar un producto de calidad en las diferentes obras en que se ha aplicado esta tecnología.

Es importante hacer notar que en estas compañías han dado mayor énfasis al uso del humo de sílice relacionándolo directamente con la durabilidad y en menor proporción con la alterresistencia, en parte debido a que la reacción inicial del humo de sílice es lenta dentro de la relación agua/cemento+humo de sílice, y aún después, a edades posteriores.

Tal es el caso de Sika Mexicana, S.A. de C.V. (Representante de Sika con sede en Zurich, Suiza), que importa el humo de sílice como materia prima para fabricar en su planta de Queretaro productos alternos, que comercializan desde hace aproximadamente 4 años bajo nombres específicos, con la inclusión de 1 o 2 aditivos más para mejorar al mismo tiempo otras propiedades.

Los productos derivados del humo de sílice que se encuentran a la venta en esta compañía en México son:

SILACEM = H10.- Es un preparado reactivo a base de hulo de sílice en dispersión acuosa de polímeros sintéticos adhesivos, conteniendo además aditivos dispersantes especiales. Es resistente al agua y a los álcalis.

SILACRETE = H8.- Es un aditivo de mas que permite confeccionar concretos de alto desempeño que tienen una durabilidad excepcional.

Los concretos tratados con SILACRETE = H8, pueden resistir agresiones químicas y atmosféricas; Partículas, Sulfatos, Gas Carbónico, ciclos de congelamiento-deshielo, etc., tanto como agresiones físicas y mecánicas (Erosión, Abrasión, etc.).

SILACRETE = H4.- Aditivo mineral de alto desempeño para concretos colados debajo del agua.

Es una aplicación original para obtener ventajas en concretos colados debajo del agua, basado en el empleo del hulo de sílice, aumenta considerablemente la cohesión del concreto fresco y la confiere propiedades de importancia. Suprime por completo el deslave y conduce a una decidida mejoría de la resistencia a edades posteriores. Se presenta en polvo color gris, por saco.

SILACRETE 950 y SILACRETE 905.- Estos productos, aunque se encuentran en los catálogos del fabricante, no se encuentran en el mercado actualmente; y no hay disponible información técnica precisa acerca de sus características y propiedades tanto físicas como químicas.

CAPITULO 4 DISEÑO DE RECUBROS.

El proporcionalamiento de seccias para concretos con alta-resistencia es más crítico que el diseño de seccias para un concreto de resistencia convencional.

La selección de la puzolana como aditivo mineral del concreto, los aditivos químicos que se emplearan, y la atención de lograr una baja relación agua/cemento son esenciales.

Cuando se adiciona un material a una seccia apropiada es obvio que será necesario hacer ajustes a la cantidad de materiales a usarse.

Los estados de proporcionalamiento de concretos regulares reconocen que el óptimo diseño resulta del apropiado contenido de los agregados. Sin embargo, para lograr la alta-resistencia contamos con un aditivo mineral que será también necesario dosificar en la proporción adecuada.

La relación entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión ha sido identificada con los concretos de baja resistencia y, se ha encontrado válida para la alta-resistencia, los altos contenidos de cemento y bajas contenidos de agua tienden a producir altas resistencias.

El proporcionar grandes cantidades de cemento en la seccia de concreto, trae consigo el aumento de las cantidades de agua. Resulta importante sancionar que, en teoría, una

relación agua/cemento de aproximadamente 0.27 resulta adecuada para la hidratación del cemento, y cualquier contenido de agua en el concreto que exceda este relación disminuye la resistencia a la compresión que puede lograrse.

Por lo cual es necesario la aplicación de un superfluidificante o un fluidificante en su defecto.

En México son varios los productos que se fabrican como fluidificantes por diversas compañías. Sin embargo a la fecha no existe un superfluidificante de fabricación nacional. Aunque se pueden conseguir a través de representantes, distribuidores o filiales corporativas. Desgraciadamente su costo y la disponibilidad de ciertos volúmenes, no lo hacen competitivo aun frente a los fluidificantes convencionales.

Se podrían presentar recetas que se han desarrollado y aplicado en otros países, sin embargo, no sería de ninguna utilidad, puesto que los materiales y aditivos empleados varían considerablemente, siendo su disponibilidad otro obstáculo.

Por lo cual nos remitiremos al programa experimental que desde hace algún tiempo atrás se viene desarrollando por el INCRC con el objetivo de trasladar esta tecnología a la industria nacional de la construcción. Dicho estudio intenta conocer la influencia de varios factores en la obtención de concretos de alta-resistencia, con especial atención hacia los materiales disponibles en México, particularmente en lo que se refiere a agregados.

Se usaron diferentes marcas y tipos de cemento en las diferentes series de pruebas, al igual que se varió el tipo de superfluidificante. El peso volumétrico de estos concretos se fue de 2367 a 2368 kg/m³. Se variaron los porcentajes de puzolana espleada que en este caso fue ceniza volante.

TABLA 8

marcas de materiales usados en la elaboración de las series de prueba.

SERIE	CEMENTO	TIPO	FLUIDIFICANTE	T.S.A.
1	Spaxo	I	Feilerlith 1800 s. 2	34%
2	Rotarney	II	Feilerlith 1800 s. 2	34%
3	Cruz Azul	II	Silament 100	34%
4	Cruz Azul	II	Silament 100	37%
5	Cruz Azul	II	Silament 100	40%
6	Cruz Azul	II	Silament 100	50%
7	Cruz Azul	II	Silament 100	34%
8	Cruz Azul	II	Silament 100	37%
9	Rotarney	I	Silament 100	37%
10	Rotarney	I	Silament 100	50%
11	Rotarney	I	Silament 100	34%

TABLA 9

Fracciones de prueba para CAR.

FRACCIÓN #	1	2	3	4	5
POZOLAM	01200	01	01	01	01
REL. AGUA/CIENFOTO	0.50	0.25	0.21	0.26	0.31
REL. AGUA/CIENFOTO+POZOLAM	0.70	0.37	0.30	0.33	0.30
REL. OXIG. AEREA	0070	0070	0070	0070	0070
REL. AGROQUIMICORRITO	3.70	3.70	3.70	3.54	3.27
REL. AGROQUIMICORRITO+POZOLAM	3.40	3.41	3.41	2.75	2.70
CONE. DE TER. (Kg/m^3)	407	405	405	501	400
CONE. DE AGUA (L/m^3)	150	150	140	140	150
FLUIDIFICANTE	4.0	4.0	3.07	5.70	0.0
REL. DE FIBRA	3.07	3.07	3.00	3.00	3.00
SEMBRADO (cm)	5	5	14	10	10

TABLA 7a

Mezclas de prueba para CAR (Continuación).

MEZCLA	1	2	3	4	5	6
PIELURA	0120	0120	0120	0120	0120	0120
REL. AGUA/CEMENTO	0.25	0.31	0.38	0.44	0.52	0.62
REL. AGUA/CEMENTO-PIELURA	0.37	0.39	0.38	0.36	0.33	0.31
REL. ARENA/ARENA	99/1	99/1	99/1	99/1	99/1	99/1
REL. AGREGADO/CEMENTO	3.97	3.97	3.60	3.27	2.94	2.64
REL. AGREGADO/CEMENTO-PIELURA	3.21	3.08	2.81	2.70	2.78	2.75
CMS. DE CEN. (Kg/m ³)	400	400	375	400	500	500
CMS. DE ARE. (Kg/m ³)	140	150	150	152	147	136.7
FLUIDIFICANTE	4.5	4.8	4.8	4.8	5.09	4.97
MOD. DE FIBRA	5.08	5.42	5.48	---	5.13	5.63
MODULOS (MPa 1m)	7	18	21	8	15	18

TABLA 10

Evaluación de resistencias.

SECCIA #	f_c # 28 días (kg/cm ²)	AGUAS/CEMENTO (L. AGU./100G)	SECCIA #	SECCIA #	AGUAS/CEMENTO (L. AGU./100G)
1	801	0.25	11	11	821
2	798	0.25	8	10	818
3	740	0.25	6	4	802
4	802	0.25	10	5	801
5	821	0.28	8	8	752
6	872	0.31	5	3	748
7	858	0.31	3	2	718
8	858	0.31	7	5	870
9	752	0.31	5	1	821
10	858	0.35	3	8	850
11	881	0.36	1	7	808

Como se puede observar en las tablas 9 y 10 el más alto contenido de cemento en la sección # 11 y la relación agua/cemento más baja obtuvo la mayor resistencia.

También podemos ver que la sección # 10 con el mismo contenido de cemento tiene una relación casi igual a la sección # 11 pero con una relación agua/cemento mayor.

Las secciones 5 y 7 con la misma relación agua/cemento y contenidos de cemento casi iguales, nos muestra un mejor comportamiento al adicionar ceniza volante volida en términos generales. Sin embargo hay que observar la tabla 11 para

conocer el contenido de la puzolana. Al comparar las resistencias de ambas seccías podemos observar como la mezcla # 7 a base de ceniza volante sin solar solo alcanza los 40kg/cm², en cambio la mezcla # 5 alcanza los 82kg/cm². Esto en base a la finura de la ceniza volante y al porcentaje utilizado con respecto al contenido de cemento.

Tabla 11

Contenido de puzolana (Ceniza Volante).

MEZCLA	PROBARI	ESTRUC	% PUZOLANA UTILIZADO	% PUSA	RES
1	C Y	Sin Solar	18	43	32
2	C Y	Medio	18	50	33
3	C Y	Medio	18	50	33
4	C Y	Medio	8.5	50	33
5	C Y	Medio	17	70	82
6	C Y	Sin Solar	18	43	32
7	C Y	Sin Solar	9	43	32
8	C Y	Sin Solar	18	43	32
9	C Y	Sin Solar	18	43	32
10	C Y	Sin Solar	8.5	43	32
11	C Y	Sin Solar	11	43	32

CAPITULO 5 PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL.

5.1 Propiedades.

5.1.1 Curva esfuerzo-deformación.

Las características acción-respuesta pueden describirse claramente mediante curvas esfuerzo-deformación de especímenes ensayados bajo distintas condiciones.

Para conocer el comportamiento del concreto de alta-resistencia es necesario determinar las curvas esfuerzo-deformación correspondientes a los distintos tipos de acciones que puede estar sometido. El esfuerzo es generalmente una medida de la acción ejercida en el espécimen, y la deformación una medida de la respuesta.

Las curvas esfuerzo-deformación se obtienen de ensayos de prismas sujetos a carga axial repartida uniformemente en la sección transversal mediante una placa rígida. Los valores del esfuerzo resultan de dividir la carga aplicada P , entre el área de la sección transversal del prisma, A , y representan valores promedio obtenidos bajo la hipótesis de que la distribución de deformaciones es uniforme y de que las características esfuerzo-deformación del concreto son constantes en toda la masa.

Puesto que el concreto es un material heterogéneo, lo anterior es una idealización del fenómeno. Según la distribución de la pasta y del agregado en la masa, los esfuerzos considerados como la carga soportada en un área

diferencial, varían de un punto a otro de una misma sección. Sin embargo, esta variación no es significativa desde el punto de vista del diseño estructural.

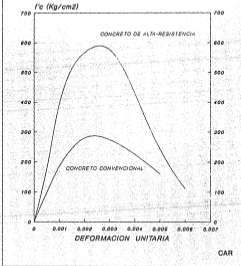
Las curvas típicas tanto para concretos convencionales como para concretos de alta-resistencia que se presentan en la figura 3 corresponden a ensayos efectuados en un tiempo relativamente corto, del orden de unos cuantos minutos desde la iniciación hasta el colapso.

Se puede apreciar que el concreto no es un material elástico y que la parte inicial de estas curvas no es rigurosamente recta. Sin embargo sin gran error de apreciación puede considerarse una porción recta, de aproximadamente del 40% de la carga máxima para concretos de baja resistencia. La forma de la parte ascendente es aún más lineal en los CAR, aproximadamente el 50% de la carga máxima, siendo la deformación al esfuerzo máximo un poco mayor que en los concretos convencionales.

Se observa, además que las curvas llegan a un máximo y después descienden, siendo más drástica para los CAR en general. El colapso se produce comúnmente a una carga menor que la máxima. En el ensayo de cilindros de concreto simple, la carga máxima se alcanza a una deformación unitaria del orden de 0.002 para concretos de baja resistencia y 0.003 para CAR.

CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION

FIGURA - 3



5.1.2 Módulos de elasticidad.

Para CAR sus generalmente requieren estimaciones de cierta precisión, es conveniente determinar el módulo de elasticidad del concreto usado en particular.

El módulo de elasticidad se puede definir como el módulo tangente inicial o tangente a un punto determinado de la curva esfuerzo-deformación y el módulo secante entre dos puntos de la misma, ambas, en función principalmente de la resistencia del concreto y de su peso volumétrico.

Es posible observar que el término módulo de elasticidad se puede aplicar estrictamente sólo a la parte recta de la curva esfuerzo-deformación o, cuando no hay una porción recta, a la tangente de la curva en su origen. Este es el llamado módulo tangente inicial, pero tiene poca importancia práctica. Es posible encontrar un módulo tangente en cualquier punto de la curva esfuerzo-deformación, pero este módulo se aplica solamente a pequeños cambios superiores o inferiores a la carga en la cual se considera el módulo tangente.

Como se dijo es difícil determinar el módulo tangente inicial de una manera correcta, se recurre a veces a aplicaciones previas de carga y descarga, con objeto de rectificar la curva esfuerzo-deformación y, se considera la pendiente de la curva así obtenida como el módulo de elasticidad. También se puede obtener indirectamente su valor

aproximado. La secante de la curva esfuerzo-deformación en el momento de la descarga suele ser paralela a la tangente inicial de la curva durante la carga, cuando no sucede lo contrario.

El módulo secante se usa en ensayos de laboratorio para definir la deformabilidad de un concreto dado por la NOM-0-128-82: "Concreto sometido a compresión.- Determinación del módulo de elasticidad estático y relación de Poisson", recorriendo la pendiente de la línea que une los puntos de la curva correspondiente a una deformación de 0.0005 y al 40% de la carga máxima.

Sin embargo no es esto un método estándar para determinar el módulo secante; en realidad, no existe ninguno.

Con propósitos prácticos, se hace una distribución arbitraria la deformación que tiene lugar durante la aplicación de la carga se considera elástica, y el aumento subsiguiente en dicha deformación se atribuye a la fluencia. El módulo de elasticidad que satisface dichos requisitos es el módulo secante que aparece en la figura 4.

Tal como se dijo no existe ningún método estándar para determinar el módulo secante; en algunos laboratorios se mide como el esfuerzo que ocupa un rango de 28 a 141 kg/cm², en otros como los esfuerzos que representan el 15, 25, 33, o 50 % de la resistencia final. Señala a que el módulo secante

disminuye con un aumento del esfuerzo, siempre deberá fijarse el esfuerzo en el que se determine el módulo.

Para los concretos convencionales y de alta resistencia la deformación se considera menor que que la relación de resistencias, de tal manera que mientras sea resistente sea el concreto, mayor será el módulo respecto de elasticidad.

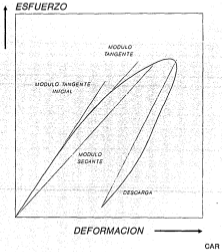
En los concretos convencionales, los dos componentes del concreto, la pasta de cemento y el agregado cuando se sujetan a esfuerzo individualmente, muestran una relación esfuerzo-deformación bastante lineal a diferencia de la curva de la mezcla del concreto. En los CMR al ser la pasta de cemento un resultado de la adición de un aditivo mineral, y el que los agregados posean una granulometría más uniforme, se puede prever que el comportamiento será el mismo (ver figura 5).

La relación entre el módulo de elasticidad y la resistencia dependen de las propiedades de la mezcla y de la edad del espécimen. Según Ghidella y el comité Euro-Internacional de Beton (CEBI), a edades posteriores el módulo aumenta con más rapidez que la resistencia.

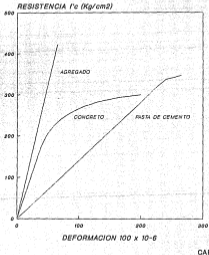
Diferentes son las expresiones que se han propuesto para predecir el módulo de elasticidad a partir de las variables anteriores.

CURVA CARACTERISTICA ESFUERZO-DEFORMACION

FIGURA - 4



RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION FIGURA - 5



Estas ecuaciones proporcionan únicamente valores aproximados, por no tener en cuenta otras variables importantes como el tipo de agregado, por ejemplo. Las diferencias entre los valores reales y los calculados con estas ecuaciones pueden ser muy grandes.

La "British Code of Practice" CP 110:1972 propone diferentes valores promedio de los módulos de elasticidad para diferentes resistencias del concreto para uso estructural.

TABLA 12

PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CONCRETO EN LA CUBA	VALOR PROMEDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN 10^4 Kg/cm^2
311	2.8
340	2.7
360	2.8
431	3.2
537	3.4
590	3.7

Sin embargo todas estas relaciones solo son válidas en términos generales.

El INCYD en sus secciones de prueba para CAR ha obtenido diferentes valores del módulo de elasticidad de acuerdo al ACI y ha su experiencia propia, como aparece en la TABLA 13.

En base a las siguientes ecuaciones.

Módulo de elasticidad:

Para concretos de $f'c \leq 2334 \text{ Kg/cm}^2$

ACI 318 - 83

E (Kg/cm²)

$$E_s = 14,000 \sqrt{f'c}$$

E (psi)

$$E_s = 57,000 \sqrt{f'c}$$

ACI comité 363 - 84

Para $2100 \text{ Kg/cm}^2 < f'c < 840 \text{ Kg/cm}^2$

E (Kg/cm²)

$$E_s = 10,257 \sqrt{f'c} + 70,000$$

E (psi)

$$E_s = 40,000 \sqrt{f'c} + 1.0 \times 10^6$$

IMCFC

Por medio de métodos directos de ensayos de laboratorio.

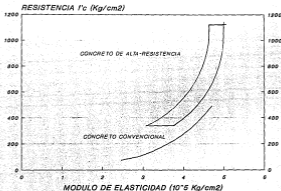
TABLA 13

Módulo de elasticidad de secciones de prueba IMCYC.

SECCION	E (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)
1	421	373,495.3	337,637.0	293,000.0
2	714	403,526.4	368,764.1	—
3	740	403,679.3	368,411.4	293,320.0
4	632	439,034.2	364,976.7	—
5	651	418,326.0	358,899.0	291,320.0
6	679	398,271.3	351,106.8	271,482.0
7	666	388,893.1	336,738.7	246,613.0
8	650	379,395.3	329,733.3	267,943.0
9	732	408,320.1	321,001.8	237,229.0
10	658	407,344.0	367,666.5	312,463.0
11	620	401,126.6	411,128.6	306,321.0

RELACION f'_c Y MODULO DE ELASTICIDAD

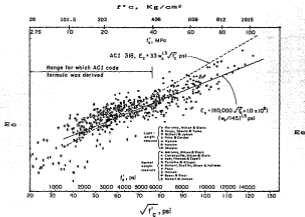
FIGURA - 3a



CAR

Relación f'_c y Módulo de Elasticidad según ACI

FIGURA -3b



3.1.3 Flexión.

Una de las posibles aplicaciones de los concretos de alta resistencia aprovechando sus características específicas. (Ver CAP 2 "Aplicaciones") es en obras relacionadas con las vías de transporte, para algunas aplicaciones, tales como pavimentos de concretos y pavimentos rígidos de alto módulo de ruptura entre otros; es necesario conocer aproximadamente la resistencia a la flexión del concreto simple.

Esta se determina frecuentemente ensayando un prisma de concreto libremente apoyado, sujeto a una o dos cargas concentradas. La falla es frágil, con una grieta única que fractura al espécimen.

El esfuerzo teórico de tensión en la fibra inferior correspondiente a la rotura se calcula mediante la expresión $f_r = Mc/I$ en la que f_r es el módulo de rotura, M es el momento flectante correspondiente a la carga máxima aplicada, c es el módulo peralte, e I es el momento de inercia de la sección transversal del prisma.

Esta prueba proporciona una medida de la resistencia del concreto a flexión. Se ha observado que el esfuerzo máximo de rotura en flexión depende, entre otras variables, de la resistencia a la compresión, de la relación peralte a claro y de las condiciones de curado.

El módulo de rotura como medida de la resistencia a la tensión, tiene varias desventajas. La principal es que el punto de tensión máxima se presenta en la superficie externa

del espécimen, que está sujeto en forma importante a esfuerzos de contracción originados por cambios en el ambiente. Por lo cual se presenta una gran dispersión de datos en los ensayos de módulo de rotura y aun más en los valores de resistencia a la compresión.

Por esta razón es difícil establecer relaciones generales entre los valores del módulo de rotura y la resistencia a la compresión, ya que la relación depende del tipo de concreto.

Sin embargo, han sido reportados valores de módulo de rotura para concretos de alta-resistencia de peso normal en los que los rangos de falla se encuentran de $1.98\sqrt{f'_c}$ a $3.12\sqrt{f'_c}$ dependiendo del concreto.

Carraquillo, Wilson y Floyd recomiendan la siguiente expresión para la predicción de la resistencia a la tensión de concreto de peso normal (alrededor de 2.34 Ton/m^3 para altas-resistencias) como medida del módulo de rotura f'_r a partir de la resistencia a la compresión.

$$f'_r = 3.0\sqrt{f'_c}$$

aplicable en el rango de $210\text{kg/cm}^2 < f'_c < 840\text{kg/cm}^2$.

5.1.4 Fatiga.

Hay muchos tipos de estructuras que requieren la aplicación de cargas cíclicas, como vigas de puentes, durmientes de ferrocarril o cimentaciones de maquinaria. Cuando el material falla bajo cierto número de cargas repetidas, cada una de ellas menor que la resistencia estática a la compresión, se dice que ha habido una falla por fatiga.

La mayoría de las pruebas de fatiga se llevan a cabo bajo cargas cíclicas de la misma forma, las cargas de amplitud variable son más perjudiciales que las de amplitud constante. puede ser interesante observar que el comportamiento del concreto sujeto a cargas de fatiga no se relaciona íntegramente con su comportamiento bajo carga por impacto, aunque en la práctica, por supuesto, ambas pueden ocurrir simultáneamente. La falla bajo carga de fatiga se presenta a una resistencia inferior a la resistencia estática a la compresión, mientras que, bajo impacto, la resistencia a la compresión estática no se ve dañada.

Los estudios experimentales se han hecho aplicando repeticiones de carga del orden de diez millones de veces aproximadamente.

Sin embargo, la disponibilidad de datos de comportamientos de alta-resistencia es muy limitada. Y más con la información de que se tiene noticia varía mucho en la realización de las pruebas y contenidos de las mismas. De lo poco que se ha podido concluir de estas investigaciones es que

la resistencia a la fatiga de los concretos de alta resistencia es la misma que la de los concretos convencionales.

5.1.3 Peso Unitario.

Los incrementos en la matriz por las adiciones de materiales con altos contenidos de finos, pesos especificos determinados y una granulometria más pareja provocan el incremento en la densidad de la matriz, lo cual aumenta substancialmente el peso especifico de la seccion de concreto, comparada con los concretos convencionales de peso normal (aproximadamente 2.40 Ton/m³). Como se puede ver a continuacion en la TABLA 14 en base a las pruebas experimentales del INCYC.

TABLA 14

NO. DE	PESO UNITARIO (kg/m ³)
1	2330
2	2360
3	2391
4	2388
5	2340
6	2330
7	2330
8	2287
9	2298
10	2300
11	2276

Intervalo 2.20 Ton/m³ a 2.40 Ton/m³

3.1.6 Efecto de la edad en la resistencia.

La relación entre la relación agua/cemento y la resistencia del concreto se aplica únicamente a un tipo de cemento y a una edad del masa. De ahí que la edad especificada (generalmente expresada en múltiplos de 7 días) sea el momento en que el concreto alcanza su resistencia de diseño.

Como se puede ver en las figuras 6 y 7 los CAR desarrollan altas resistencias en poco tiempo. La mezcla 10, por ejemplo, con una resistencia de diseño de 6500kg/cm^2 a 28 días desarrolla 4900kg/cm^2 a los 7 días, es decir, el 80% de la resistencia. La mezcla 6 con una resistencia de 4000kg/cm^2 a 28 días desarrolla 3370kg/cm^2 a los 7 días, es decir, el 84% de su resistencia. Las demás mezclas muestran una tendencia similar.

El extraordinario desarrollo de resistencia de los CAR es causado por:

1. Un incremento en la temperatura interna de cura en el concreto debido al alto calor de hidratación causado por los grandes contenidos de cemento.
2. Y por la corta distancia entre las partículas hidratantes debido a la baja relación agua/cemento.

En lo que respecta a la verdadera resistencia a largo plazo, a principios de siglo los cementos de la "American Portland" con un alto contenido de C_2S y un área específica

baja) causaban un incremento en la resistencia de concretos almacenados a la intemperie, el cual era proporcional al logaritmo de edad hasta los 50 años. Sin embargo los cementos que se fabrican apartir de la década de los 30's (con menor contenido de C_3S y mayor área específica) alcanzan su resistencia máxima entre los 10 y los 25 años y, apartir de entonces, sufren cierta disminución de resistencia.

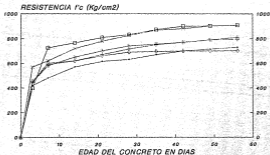
Hoy en día, los cementos utilizados en concretos muestran que, después de los 90 días los concretos de alta resistencia al igual que los convencionales continúan desarrollando resistencia aunque en una porción insignificante, comparada con los concretos de antaño.

Actualmente, según algunos autores la reacción agua/cemento termina después de 10 años, otros opinan que finaliza tras 20 años, los menos aseguran que nunca.

Como se dijo, si no es posible determinar a ciencia cierta la reacción agua/cemento, más difícil es aún determinar cuando termina la reacción agua/cemento+puzolana.

DESARROLLO DE f'_c CON EL TIEMPO

FIGURA - B

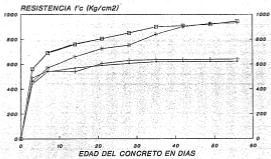


- MEZCLA 1
- MEZCLA 2
- MEZCLA 3
- MEZCLA 4
- MEZCLA 5
- MEZCLA 6

CAR

DESARROLLO DE f'_c CON EL TIEMPO

FIGURA - 7



- MEZCLA 7
- MEZCLA 8
- MEZCLA 9
- MEZCLA 10
- MEZCLA 11

5.1.7 Evolución del calor debido a la hidratación.

Las altas temperaturas que se registran en los CCR cuando se esta llevando a cabo la hidratación se debe a los altos contenidos de cemento principalmente, sin embargo, también afectan la relación agua/cemento, tamaño del elemento, temperatura ambiente y equipo.

Se ha visto que los incrementos en la temperatura del concreto, acelera las reacciones químicas de la hidratación y, de esta manera, afecta beneficiosamente la resistencia temprana del concreto sin dañar la resistencia posterior, no obstante una temperatura muy alta durante el colado y el fraguado, aunque aumenta la resistencia muy temprana, puede ejercer efectos adversos si no se la trata de manera adecuada.

Por ser tantos los factores que influyen, no hay hasta el momento un método aplicable para determinar su comportamiento anterior al colado. Si hay, sin embargo, retardantes de fraguado que controlan la rata de calor, pero solo se usan en colados masivos, por contravenir una característica importante de los CCR que es la resistencia inicial, por lo cual solo se proponen métodos eficientes de colado (ver CCR a "Proceso constructivo", 4.4 Curado en obra).

De los datos obtenidos por Saucier en la construcción de la "Water Tower place", Freeman ha concluido que el aumento de la temperatura para altas resistencias es aproximadamente de 6 a 8° por 50kg/m³ de cemento.

Se han registrado temperaturas en elementos de alta resistencia tales como columnas, donde las temperaturas han alcanzado los 50°C con un contenido de cemento de 500kg/m³.

5.1.3 Agrietamiento inducido por la contracción.

Uno de los factores más importantes en lo que se refiere a la formación de grietas es la relación agua/cemento de la mezcla, porque su aumento tiende a acrecentar la contracción, y al mismo tiempo, reduce la resistencia del concreto. Si se aumenta la cantidad de cemento también se hace mayor la contracción y, consecuentemente, la tendencia al agrietamiento, pero el efecto sobre la resistencia es positivo. Esto se aplica a la contracción por secado.

Generalmente se recomienda que haya gran extensibilidad en los concretos, puesto que esto permite que soporte cambios volumétricos más grandes.

Aunque es poco lo que se sabe con respecto a los CAS, se ha reportado un relativo aumento inicial del efecto pero después de 100 días de secado no hay mayor diferencia que con un concreto convencional.

El agrietamiento inducido por la contracción no se afecta por cambios en la relación agua/cemento, pero sí por el porcentaje de agua por volumen de concreto.

3.1.9 Propiedades térmicas.

Aunque las propiedades térmicas del concreto no se encuentran relacionadas necesariamente con la durabilidad, estas afectan su rendimiento durante largos periodos y en condiciones variadas, y son de vital importancia cuando se trata de construcciones masivas de concreto. Por esta razón, tal vez se requieren datos sobre sus propiedades térmicas.

Los parámetros de variación de un CMI a un concreto convencional no se han ensayado, pero se asegura que no existen tales, es decir, se comportan igual ante tales efectos.

Conductividad térmica. La conductividad térmica mide la capacidad del material para conducir el calor y se define como la relación entre el flujo de calor y el gradiente de temperatura.

Coefficiente de difusión térmica. El coeficiente de difusión representa la velocidad a la que ocurren los cambios de temperatura en una masa y, por lo tanto, es un índice de la facilidad con la que el concreto sufre cambios de temperatura. El rango de los valores típicos de l coeficiente de difusión es entre 0.002 y 0.006 cm^2/s .

Calor específico. El Calor específico, que representa la capacidad calorífica del concreto, no resulta muy afectado por la naturaleza mineralógica del agregado, pero aumenta

considerablemente cuando se incrementa la humedad en el concreto. El calor específico aumenta cuando sube la temperatura y cuando disminuye la densidad del concreto. El rango común de valores para un concreto normal está entre 840 y 1,170 J/Kg°C. El calor específico del concreto se determina mediante métodos físicos.

No se hace una referencia detallada de otras propiedades tales como la resistencia a congelamiento-deshielo y resistencia a la tensión axial, por las siguientes razones:

En el clima del país, raras son las ciclos de congelamiento-deshielo que se presentan y los que se llegasen a presentar en el norte del país, por sus magnitudes, no representan una variable a considerar para el diseño y la durabilidad del concreto.

El rango de la resistencia a la tensión es apenas un poco mayor que el de los concretos convencionales, es decir, un aumento porcentual. Los concretos de alta-resistencia todavía se encuentran lejos de presentar una resistencia a la tensión axial considerable.

3.2 Diferencias esenciales de diseño.

Introducción.

Como ya se ha visto, los CAR poseen algunas características y propiedades que lo hacen diferente de los concretos convencionales.

Los cambios internos en su estructura química, dan como resultado cambios físicos de sus propiedades, que tienden a hacerlo diferente y por ende a variar su comportamiento.

Podríamos decir que directamente relacionado con estas propiedades internas existen propiedades mecánicas que deberán ser identificadas por los calculistas y proyectistas para predecir el desempeño y seguridad de la estructura.

Estas diferencias se incrementan en proporción al aumento de la resistencia; como se vio en la CAP 3, 3.1 "Esfuerzo-deformación" figura 3, los resultados de pruebas de CAR han demostrado que el concreto siempre se encuentra cerca de la curva característica esfuerzo-deformación del acero grado 42 a niveles de esfuerzo sumamente altos. No obstante la curva esfuerzo-deformación de los CAR decrece a un ritmo mucho mayor que en los concretos convencionales.

Columnas.

Capac. axial en columnas.

La resistencia adicional sobre la de un cilindro de concreto convencional simple es debida a la contribución del refuerzo longitudinal en compresión. Se puede estimar esta contribución como el producto del área de acero por el esfuerzo de fluencia f_y . Por lo tanto, la resistencia a carga máxima que un cilindro de concreto con refuerzo longitudinal y estribos transversales que es capaz de alcanzar, esta dada por la expresión:

Ecuaación 1

$$P_n = 0.85f'_cA_c + A_s f_y$$

P_n = Carga axial de un cilindro de concreto.

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero.

A_s = Área total de la sección.

A_c = Área de concreto.

El factor 0.85, es solo un promedio de ensayos debido a las diferencias en resistencias del concreto en columnas comparado con concretos de la misma constitución en pruebas de compresión de cilindros.

La predicción para un concreto de alta-resistencia continuará basada en la ecuación anterior según el ACI 363, al cual respaldándose en el análisis de la información disponible, avala la certeza de la ecuación, al igual que la del factor de reducción de 0.85.

Efecto del acero de confinamiento.

El acero lateral en columnas tiene dos efectos benéficos en el comportamiento del concreto en columnas:

1) Incrementa considerablemente la resistencia del concreto dentro del refuerzo al confinarlo contra la expansión lateral bajo carga.

2) Incrementa la deformación axial del concreto, permitiéndole una falla dúctil.

El refuerzo helicoidal no se usa comúnmente en México generalmente se usa para columnas circulares, pero rara vez para columnas rectangulares.

No obstante, se presenta a continuación diferentes fórmulas experimentales para el diseño de acero helicoidal, puesto que el ACI 318 le atribuye mayor veracidad en la cuantía para concretos de alta-resistencia.

En cuanto al refuerzo helicoidal se especifica por el ACI 318 que su cuantía no sea menor que:

Ecuación 2

$$\rho_s = 0.45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y}$$

ρ_s = Cuantía volumétrica de refuerzo helicoidal.

f'_c = Resistencia de los cilindros de control.

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero.

A_g = Área total de la sección.

A_c = Área del núcleo del concreto confinado por el refuerzo helicoidal.

El incremento en la resistencia a la compresión en columnas provista por el acero en espiral, está basado en una relación experimental derivada del aumento de la resistencia.

Ecuación 3

$$\bar{f}'_c = f'_c = 4.0 f'_s$$

\bar{f}'_c = Resistencia a la compresión del concreto de la columna por la espiral de refuerzo.

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto no confinado.

f'_s = Presión confinante que actúa en el plano radial del elemento producido por la espiral.

Esta relación se encuentra directamente vinculada con la ecuación 1. La presión confinante que actúa en el plano radial del elemento producido por el acero en espiral f'_s , se calcula partiendo de la suposición que el acero en espiral ha fluído; utilizando la ecuación de equilibrio de fuerzas en tensión para el refuerzo helicoidal:

Ecuación 4

$$2 A_{sp} f_y = f'_s d_c s$$

$$f'_s = \frac{2 A_{sp} f_y}{d_c s}$$

A_{sp} = Área del acero en espiral.

d_c = Diámetro del núcleo externo a centro de la hélice.

s = Separación de la espiral.

En base a su experimentación Ahmad y Shan⁽¹¹⁾, han determinado que el refuerzo en espiral es tan efectivo para

columnas de concreto de alta-resistencia y concreto aligerado de acuerdo a la ecuación 1; también demuestran que el esfuerzo en el acero en espiral bajo carga máxima para CFR y concreto aligerado en columnas es algunas veces significativamente menor que el esfuerzo de fluencia según ecuación 2.

Estas conclusiones se encuentran en concordancia con los experimentos realizados en "Cornell University"¹⁴. En esta Universidad se propuso una ecuación para conocer el esfuerzo de confinamiento en el acero en espiral, frecuentemente menor que f_y quedando:

Ecuación 5

$$f_e - f'_e = 4.0 f'_e (1 - a/d_o)$$

El término $(1 - a/d_o)$ refleja la reducción de efectividad de la espiral asociado con el incremento de espacio de las espirales.

De los resultados de las investigaciones en "Cornell University"¹⁴, el ACI 308 concluye que el incremento de la resistencia predicho por la ecuación 3 es válida para concretos de peso normal de todas las resistencias para esfuerzos de confinamiento por espiras como mínimo de 210kg/cm^2 .

Para concreto ligero con refuerzo helicoidal, Martínez²¹ ha sugerido que la ecuación 3 y 4 sean reemplazadas por las siguientes expresiones respectivas:

La ecuación 3 por:

$$\bar{f}_c = f'_c = 1.8 f'_c$$

Y la ecuación 5

$$\bar{f}_c = f'_c = 1.8 f'_c (1 - \rho/d_e)$$

Esto no es todavía una regla general en la eficiencia del refuerzo en espiral para proveer de ductilidad a los concretos de alta-resistencia en columnas.

No obstante, basados en la información disponible podemos concluir que la cuantía de refuerzo en espiral de los CAR de densidad normal, puede predicarse con la ecuación actual, pero para otras propiedades pesando el esfuerzo máximo del concreto, podría ser deficiente comparado con su desempeño en ese punto de un concreto convencional.

Mientras que ya se ha realizado un importante trabajo en esta área, queda claro la necesidad de más y mejores investigaciones al respecto.

Vigas y losas.

Las propiedades de los CAR vistas anteriormente afectarán su comportamiento característico, en algunos casos su mejoría será notoria, en otros casos resultará un comportamiento menos satisfactorio. De todas maneras las vigas y losas elementos sujetos a flexión presentan un comportamiento similar, comportamiento esencialmente acorde con el que se viene usando para concretos convencionales.

Distribución de esfuerzos en compresión.

La distribución de esfuerzos en vigas se encuentra directamente relacionada con la forma de la curva esfuerzo-deformación bajo compresión uniaxial, por consiguiente, las diferencias del bloque de esfuerzo en compresión varían. Para propósitos comunes de diseño, es conveniente trabajar con un equivalente rectangular de la distribución de los esfuerzos de compresión. En los concretos de alta-resistencia, la curva esfuerzo-deformación es más lineal que parabólica por lo tanto, podemos afirmar que los parámetros del bloque en compresión son diferentes. Diversas investigaciones experimentales presentadas por el ACI comité 343 han confirmado que estas diferencias existen, así como se han arrojado alternativas para idealizar este bloque de esfuerzos, tal como aparece en la figura 8.1.

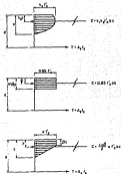


FIG 5.1 DISTRIBUCION DE ESFUERZOS PARA VIGAS RECTANGULARES

El coeficiente de 0.59 que se utiliza para determinar el momento resistente, demuestra la equivalencia de los parámetros adimensionales $K1, K2, K3$ en la relación $K1/K2K3$ valor obtenido por variaciones experimentales dependientes todas ellas principalmente de la resistencia a la compresión y de la configuración del bloque de refuerzos.

Ecuación 5

$$M_u = A_s f_y d \left(1 - 0.59 \left[\frac{f_y}{f'_c} \right] \right)$$

M_u = Momento resistente unitario.

A_s = área de acero en tracción.

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero.

d = Distancia de la última fibra en compresión al centroide del acero de refuerzo.

P_n = Resistencia de las columnas de concreto.

La variación experimental de la relación $K_1/P_n d^2$ contra la resistencia a la compresión del concreto aparece en la figura 5.2.

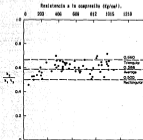


FIG. 5.2 PARAMETRO DEL BLOQUE DE ESFUERZOS $K_1/P_n d^2$ VS $f'c$

Lo cual demuestra la insignificancia de la variación de la relación a altas-resistencias, lo cual comprueba que el coeficiente combinado se encuentra bien representado con el valor de 0.39.

La veracidad del coeficiente de idealización de los bloques de esfuerzos se confirma en base a los resultados obtenidos en la figura 5.3, la cual compara las diferentes expresiones de resistencia a la flexión usando el bloque rectangular de esfuerzos común, un bloque triangular de esfuerzos y, por medio de una distribución tétrica basada en las curvas esfuerzo-deformación experimentales.

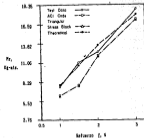


FIG. 5.3 COMPARACION DEL MOMENTO RESISTENTE DE VIGAS BAJO DIFERENTES DISTRIBUCIONES DE ESFUERZOS EN COMPRESION.

Basados en estos y otros estudios similares, se demuestra que para vigas reforzadas, la hipótesis del reglamento ACI 318 puede usarse sin cambios, al menos para concretos con resistencia a la compresión de hasta 6400 kg/cm².

Para concretos superiores a este valor pueden existir diferencias de consideración.

Límite de deformación bajo compresión.

El valor de la deformación unitaria en la fibra extrema en compresión de 0.003 prescrita por el ACI 318 representa satisfactoriamente los parámetros que marca la curva esfuerzo-deformación para concretos de alta-resistencia así como para un concreto convencional. Si bien esto no es un valor conservador para los CAR mucho menos lo es para un concreto convencional, esto en parte confirma la hipótesis que se ha levantado en lo que se refiere a los módulos de elasticidad que algunas instituciones pugnan porque se reduzcan, puesto que pocos o ninguno de los concretos los cumplen.

Relación mínima de acero en tensión.

El ACI 318, especifica usar como máximo el 75 por ciento de la relación balanceada para construcciones normales, y el 50 por ciento para construcciones sismicas a fin de asegurar que la falla que ocurra sea dúctil y gradual hasta la fluencia del acero.

La actual expresión del ACI 318 para la relación de acero mínima es:

$$f_{min} = \frac{14}{f_y}$$

para concretos convencionales, calculada a partir del módulo de ruptura del concreto.

Como ya se vio el módulo de ruptura es mayor para concretos de alta-resistencia, por lo cual es evidente que la ecuación anterior deberá adecuarse a altas-resistencias.

Por lo cual y atendiendo a esta diferencia el ACI 303 propone la siguiente ecuación:

$$f_{min} = \frac{0.7144 f'_c}{f_y} \geq \frac{14}{f_y}$$

la cual es apropiada para todos los concretos que se encuentran en un rango de 210 a 8400kg/cm².

Adherencia, bases y longitud de desarrollo.

El reglamento ACI 318 en muchas de sus formulas se encuentra basado en pruebas experimentales, en algunos casos, usando concretos con resistencias a la compresión no mayores de 2800kg/cm² (4000psi = 28MPa), no obstante, aunque ya existe información acerca de estos elementos de diseño, la información es muy particular, pobre y confusa, por lo cual aún no hay datos suficientes que permitan formular recomendaciones.

Agrietamiento.

El módulo de ruptura, el cual es una medida adecuada de la resistencia a la tensión del concreto para predecir el agrietamiento por flexión bajo carga, ha sido reportado en el CAP 5 5.1.5 "Flexión" como $3.09\sqrt{f'c}$ para concretos de alta resistencia en el rango de 210 a 840kg/cm². Según el ACI 318, el módulo de ruptura toma un valor de $1.9043\sqrt{f'c}$, el cual es muy bajo; sin embargo, para cunados húmeros prolongados y en general con una atención especial, el valor de $1.9043\sqrt{f'c}$ probablemente se encuentre cerca que el de un concreto de alta resistencia, por lo cual no se recomienda ningún cambio.

Deformaciones bajo cargas de servicio.

Las investigaciones acerca de este efecto se encuentran en progreso, de la poca información disponible se puede predecir que estas serán menores que para los concretos convencionales; sin embargo, la resistencia a la compresión del concreto deberá aparecer como un parámetro para la predicción a períodos determinados, teniendo en cuenta que la resistencia a la compresión no es el único factor que influye en la deformación, sino que intervienen otros factores tales como la efectividad del acero en compresión.

CAPITULO 6. PROCESO CONSTRUCTIVO.

6.1 Mezclado y Transporte.

Los CAM deben mezclarse enteramente, en una planta dosificadora, en un camión revoladora o por medio de una combinación de ellos.

Sin embargo, podría ser posible mezclarlo en otros tipos de revoladoras. Lo ideal sería tener un tiempo de mezclado más adecuado y mayor eficiencia en el proceso. Pero desafortunadamente los métodos de dosificación en el sitio, distan aun mucho de lo ideal. Todo tipo de precauciones y procedimientos especiales deberán de tomarse en cuenta.

De lo anterior, los concretos de alta-resistencia deberán ser elaborados como concreto premezclado.

Se conoce como concreto premezclado aquel que, en vez de dosificarse y mezclarse en la obra, es suministrado por una planta central listo para colarse.

Existen dos categorías principales de concreto premezclado. En la primera, el concreto se mezcla en la planta y luego se transporta ya mezclado, por lo regular en un camión revoladora que lo revuelve lentamente para evitar la segregación o rigidización excesiva de la mezcla. A este concreto se le llama mezclado en planta, para distinguirlo del otro, que se conoce como mezclado en tránsito o en camión revoladora. En el caso de este último los materiales se dosifican en la planta central, pero se mezclan en la

revolvedora durante el trayecto hasta la obra o inmediatamente antes de descargar el material.

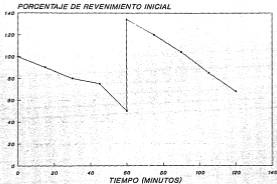
La experiencia de algunos constructores nos habla de la mayor dificultad que presenta el concreto de alta resistencia para su secado, esto debido en parte al bajo contenido de agua.

El tiempo de secado requerido varía de acuerdo a la eficiencia y capacidad de cada máquina específica. Las especificaciones usuales recomiendan 1 minuto a 0.75 m³ espesando a medir el tiempo a partir de que todos los agregados se encuentran en la secadora. Un tiempo prolongado de secado puede causar una pérdida de humedad dando como resultado menor trabajabilidad. El cual en dicho caso necesitará un resecado para devolverle su revenimiento, como se muestra en la figura 8 con un superfluidificante Categoría - A nombre comercial Palmant L10. Lo cual produce una disminución significativa en la resistencia a la compresión y, obviamente en sus demás propiedades.

No todos los casiones revolvedoras pueden secar los CCR, especialmente si el concreto tiene un bajo revenimiento. En este punto se resalta la esencial supervisión sobre el secado, tiempo, equipo y transporte al sitio de la obra, entre otros.

REMEZCLADO vs PERDIDA DE REVENIMIENTO

FIGURA - B



CAR

6.2 Cimbra.

La gran cantidad de calor generado en la hidratación del concreto a altas-resistencias (ver CAP 5, 5.1.7 Evolución del calor debido a la hidratación), erosiona y debasta la cimbra dependiendo, obviamente del material con que esta fabricado esta.

Sin embargo, no es posible hacer recomendaciones acerca de su preparación detallada pues no existe ninguna experiencia en México todavía y, la información que nos llega de otros países se centra principalmente en el uso de cimbres metálicas, seleccionadas en gran parte por la velocidad que esta imprimen en los procesos constructivos, la regulación de los entrepisos de los edificios es casi siempre la misma y por la vida económica de estas (devero de uso).

Lo que si es posible recomendar en el caso que se usara cimbra de madera en las obras que se desarrollen en México y no sea rentable la utilización de cimbres metálicas, es conocer la reacción de la cimbra a utilizar al contacto con el concreto a altos niveles de dosificación (superiores a 500kg/m³ de cemento).

De presentarse problemas de agrietamiento y debastación de la cimbra se puede actuar de la siguiente manera.

- + Controlar el calor de hidratación utilizando un regulador de fraguado, aunque contrevenga una característica

importante de los CAR que es la alta-resistencia a edades tempranas.

- * Poner especial atención en el curado del concreto, controlando de manera efectiva la tasa de hidratación con métodos especiales como el humedecimiento de la fibra.
- * Utilizar un desmoldante o descofrante de alto desempeño. Sin embargo los que se encuentran disponibles en México ponen especial atención al desprendimiento del concreto para acabados aparentes. Por lo cual sería necesario evaluarlo simulando las condiciones de la obra a determinados niveles de dosificación.

4.3 Colado.

Procedimiento de colado.

Preparaciones.

Como se dijo en el Capítulo 5 (5.1.6. Efecto de la resistencia en la edad del concreto), el tiempo de trabajabilidad del concreto se espera sea menor que en un concreto tradicional, por lo cual la preparación del concreto debe realizarse casi forzosamente en el transporte; el colado, la consolidación por medio del vibrado y el terminado del concreto son etapas críticas que se deben llevar a cabo lo más velocemente.

De esta manera, todo debe de estar adecuado para que el concreto sea colado en el momento del arribo, especialmente la primera batchada.

La capacidad del equipo debe estar adecuada a la velocidad de colado y de consolidación. Todos los equipos deberán de encontrarse en óptimas condiciones, se recomienda tener equipo de reserva. De otra manera, interrupciones o retrasos en el proceso pueden afectar seriamente la calidad del concreto.

Debido a la mayor pérdida de revenimiento del concreto que los concretos convencionales, el esfuerzo en el equipo de vibrado es aún mayor que para otros equipos.

Además de las anteriores recomendaciones se deben de tomar medidas especiales en climas cálidos y de acuerdo a el ambiente que se está colando.

Los métodos de colado usados en E.U.A hacen énfasis en no parar un colado hasta que se concluya el trazo programado, con el fin de evitar juntas frías.

La disgregación de los agregados para DAR en caída y bombas se encuentra en los rangos comunes que para los concretos convencionales.

Existen bombas para concreto que pueden manejar secciones de bajo revenimiento con ayuda de una gran presión. En general los DAR se adecúan a contener grandes cantidades de cemento y un tamaño máximo del agregado relativamente pequeño, por lo cual ambos factores facilitan su bombeo.

6.4 Curado en obra.

Para obtener un concreto de buena calidad, la colocación adecuada de la mezcla deberá ir seguida de un proceso de curado, en un medio ambiente propicio durante las etapas tempranas del fraguado.

Se llama curado al procedimiento que se utiliza para promover la hidratación del cemento y, consiste en un control de la transferencia del calor de adentro hacia afuera del concreto.

El proceso de curado proviene del hecho de que la hidratación del cemento solo se logra a través de numerosos vasos capilares llenos de agua. Por lo cual es necesario evitar la pérdida de humedad de los capilares causada por la evaporación.

Además, como se vio en el Capítulo 5 (5.1.7 Evolución del calor debido a la hidratación), los altos contenidos de cemento provocan que al encontrarse el concreto en su estado fresco, el calor aumenta considerablemente y se pierda otro porcentaje de agua, a este efecto se le llama de autodesecación.

Logicamente al tener los concretos de alta resistencia con contenidos de cemento superiores a 100kg/m³ este efecto sea de relevancia comparado contra los concretos convencionales. Por lo cual la autodesecación es muy importante en mezclas con relaciones agua/cemento inferiores a 0.5.

La evaporación de agua del concreto cerca del momento de su colocación depende de la temperatura y de la humedad relativa del aire del medio, y de la velocidad del viento, que efectúa un cambio en el aire de la superficie del concreto.

El concreto de alta-resistencia se debe curar a edad temprana, ya que una hidratación parcial impide la continuidad en los capilares y, al volver al curar, el agua no podrá penetrar en el concreto y no habrá una hidratación subsiguiente.

El método de curado usado con mayor frecuencia es utilizando una membrana impermeable a base de poliuretano o polietileno. La membrana siempre y cuando no este perforada o dañada, evitará eficazmente la evaporación del agua del concreto, pero no permitirá que entre agua para reponer la que se ha perdido por autodesecación. Por lo tanto será necesario reponer ese porcentaje por medio de algún otro método, siendo el más común la inyección de vapor a través de la membrana misma.

El curado húmedo no funciona para tal fin, pues en ef se trata de crear una membrana líquida (entramado) o forjado sobre la superficie del concreto, la cual no es totalmente eficiente en elementos verticales. Además el reintegrar el agua perdida por la autodesecación debe ser en la etapa del concreto fresco que es cuando el cemento reacciona en mayor proporción que después, si se hiciera de

esta manera está siempre alterando directamente el contenido de agua y por consecuencia la relación agua/cemento.

Por lo anterior el curado húmedo solo se recomienda en el concreto ya fraguado o indirectamente enmojando las cimbra antes del colado.

El periodo de duración del curado no se puede determinar en forma sencilla, pero generalmente se especifica que el concreto hecho con cemento Tipo III debe mantenerse húmedo por lo menos 1 a 3 días cuando las temperaturas del concreto y del aire son mayores de 10°C; se necesitan periodos mayores de curado cuando las temperaturas son inferiores a 10°C. Como dato comparativo el concreto hecho con cemento Tipo I debe mantenerse húmedo por lo menos 10 días después del colado.

Los cementos Tipo III hidratan más rápidamente y hacen uso más efectivo de un curado temprano. El empleo del cemento Tipo III por lo tanto, hace posible un tiempo de curado menor.

El concreto hecho con cemento Tipo III desarrolla resistencia más rápidamente a temperatura ambiente que el concreto hecho con una cantidad igual de cemento Tipo I. No obstante, bajo un curado húmedo continuo, la resistencia después de 3 meses, es aproximadamente la misma.

Con cementos de fraguado lento, es conveniente que el periodo de curado dure más.

6.3 Supervisión.

Dada la naturaleza técnica de estas obras debe existir una coordinación efectiva y un control de procedimientos y calidad entre el proveedor (proveedora) y el constructor. Generalmente la proveedora tiene responsabilidad total del concreto hasta que se cura. También se hará cargo del control del revenimiento, tiempos en la obra, secado y ajustes a la mezcla. El contratista debe encontrarse preparado para su manejo, colado y vibrado tan pronto como se recibe.

Una vez que el CMR ha sido proporcionado, el proveedor a la proveedora debe hacer planes para asegurarse de las frecuencias con que deben despacharse las cillas.

Debido a las variaciones en la composición del cemento, se espera mayor fluctuación en la resistencia causada por este componente más que por cualquier otro, por lo cual un muestreo y un programa de pruebas aunado a un control estadístico de la calidad estricto, se recomienda para asegurar que se cumpla con las propiedades adecuadas.

También se recomienda que los agregados y aditivos especificados en la mezcla, sean uniformes en su calidad y provengan del mismo lote a lo largo de la obra.

El contratista debe de evaluar el concreto que se le proporciona por medio de un laboratorio, para conocer su evolución y desempeño comparado contra el concreto de diseño o de control.

Se deben de tomar por lo menos dos cilindros de muestra por cada edad a examinar que son generalmente a los 7, 28, 56, y 90 días, dependiendo del tipo de examen que se este llevando a cabo, o de acuerdo a la especificación NOM C-236-84 "Prácticas para examinar y muestrear el concreto endurecido en el sitio del colado."

Por la calidad requerida del concreto deberán desarrollarse planes de contingencia es decir, operaciones alternativas. En caso de dificultades, el respaldo de equipo es esencial, especialmente de vibrado.

CAPÍTULO 7 PRUEBAS DE LABORATORIO.

7.1 Resistencia a la compresión.

7.1.1 Muestreo.

De acuerdo a lo NOM-C-161-1987 Muestreo de olla de cocción mecilador o agitador:

La muestra se toma en tres intervalos o sus intervalos, interceptando todo el flujo de la descarga, teniendo la precaución de no tomarla antes del 10% ni después del 85% de la masa.

El muestreo se hace pasando repetidamente el recipiente en la descarga, interceptandola totalmente cada vez, o desviando el flujo completamente de tal modo que descargue en el recipiente. La velocidad de descarga debe controlarse con el número de revoluciones de la olla y no por la mayor o la menor abertura de la compuerta.

Cantidad de la muestra.

La muestra debe ser una cantidad suficiente para la realización de todas y cada una de las pruebas. Se recomienda que la muestra sea superior al volumen requerido y este de acuerdo con el tamaño máximo del agregado.

Remuestreo de la muestra.

La muestra debe transportarse sin pérdida de material al lugar donde se efectúan las pruebas y debe remuestrearse para asegurar su uniformidad.

Tiempo.

El intervalo entre la obtención de la primera y última porción de una muestra debe ser tan corto como sea posible, y nunca más de 15 min.

El periodo entre tomar la muestra y usarla no debe exceder de 15 min. Las pruebas de revenimiento o de aire incluido deben iniciarse dentro de los 5 min después de que el muestreo se haya terminado.

La muestra debe protegerse en ese intervalo de los rayos solares, el viento y otros factores que causen rápida evaporación o contaminación de la muestra.

Frecuencia de muestreo.

De acuerdo a lo MCR-C-155-1987 Muestreo.

El productor debe facilitar la toma de muestras necesarias al comprador o al laboratorio autorizado, a fin de determinar si el concreto está produciéndose de acuerdo con los requisitos señalados en esta norma.

Las pruebas y visitas de inspección no deben interferir en la producción.

El muestreo para cada tipo de concreto, debe hacerse con la frecuencia indicada en la TABLA 15, por día de colado y con el número de muestras señalado para cada caso con el fin de que resulte efectivo.

Las pruebas de contenido de aire, si el concreto es con aire incluido, deben hacerse por lo menos en aquellas entregas para pruebas de resistencia a compresión.

TABLA 13

FRECUENCIA DE MUESTRAS.

Número de entregas (Unidad estadística)	Número de muestras	
	Recomendado	Mínimo obligatorio
1	1	1
2 a 4	2	1
5 a 9	3	2
10 a 25	5	3
26 a 50	7	4
50 o más	9	5

Para la prueba de resistencia a la compresión, de la muestra obtenida y mezclada de acuerdo con la NOM-C-161 debe hacerse, como mínimo, 2 especímenes para probar la edad especificada.

7.1.2 Pruebas de compresión.

Las pruebas del concreto deben efectuarse en condiciones específicas o conocidas, utilizando los métodos de prueba que se indican en las Normas Oficiales Mexicanas siguientes: NOM-C-83, C-159, C-157, C-140, C-161, C-162 y C-156.

La más común de todas las pruebas del concreto endurecido es la prueba de resistencia a la compresión, en parte porque son muchas de las características deseables del concreto, aunque no todas, están relacionadas cualitativamente

con su resistencia; pero, sobre todo, debido a la importancia intrínseca de la resistencia a la compresión del concreto en la construcción.

Las pruebas de resistencia pueden clasificarse en pruebas secuenciales destructivas y no destructivas. Las pruebas pueden llevarse a cabo para diferentes fines, aunque los dos objetivos principales son el control de la calidad y el cumplimiento de las especificaciones.

Se utilizan tres tipos de especímenes para pruebas de compresión: cubos, cilindros y prismas.

Debe tenerse presente que las pruebas no constituyen un fin por sí mismas. En el caso del concreto, rara vez se prestan a una interpretación rápida y concisa, por lo que, para que tengan validez real, las pruebas deben efectuarse siempre con referencia a la experiencia anterior.

Sin embargo como se verá en el Capítulo 8 "Perspectivas de uso y aprovechamiento en México", no existe aún, reglamentación alguna para concretos de alta resistencia, así como los elementos de laboratorio para la determinación de su calidad, como lo son las máquinas de compresión para cilindros, que, por no ser fabricadas para esta fin específico de alta resistencia tienden a fluctuar y mostrar una dispersión más generalizada de datos.

7.2 Control estadístico de la calidad.

Extraído de la NOM-C-155-1987

Resistencia.

Cuando la resistencia es la base de la aceptación del concreto, deben elaborarse especímenes de acuerdo con la NOM-C-140.

El número de muestras debe de estar de acuerdo con lo indicado en el TABLA 15 (Frecuencia de muestreo), que considera para la prueba de resistencia como mínimo dos especímenes a la edad especificada de la muestra obtenida, según la NOM-C-140.

El resultado de una prueba debe de ser el promedio de las resistencias obtenidas en los especímenes, excepto que si en alguno de ellos se observó una deficiencia de muestreo, elaboración, sanejo, curado o prueba, no se toman en cuenta y el promedio de las resistencias de los especímenes restantes debe ser considerado como el resultado de la prueba.

No es motivo de rechazo el que un espécimen alcance una resistencia inferior a la especificada.

Para cumplir los requisitos de resistencia de esta norma, con un nivel de confianza del 95%, los resultados de las pruebas de resistencia deben cumplir con los requisitos que se indican.

Grado A.-

El concreto debe de cumplir con lo siguiente:

a) Se acepta que no más del 20% del número de pruebas de resistencia a compresión tengan valor inferior a la

resistencia especificada f'c. Se requiere un mínimo de 30 pruebas.

bi No más del 15 de los procedimientos de 7 pruebas de resistencia a compresión consecutiva debe ser inferior a la resistencia especificada. Además, debe cumplirse con todos los procedimientos consecutivos de las muestras anotadas en la TABLA 16.

Grado B.-

El concreto debe cumplir con lo siguiente.

a) Se acepta que no más del 10% del número de pruebas de resistencia a compresión, tengan valores inferiores a la resistencia especificada f'c.

Se requiere un mínimo de 30 pruebas.

bi No más del 12 de los procedimientos de 3 pruebas de resistencia a compresión consecutiva, será inferior a la resistencia especificada.

Además, debe cumplirse con todos los procedimientos consecutivos de las muestras anotadas en la TABLA 16.

Nota.- Debido a la variación en los materiales, operaciones y pruebas, la resistencia promedio para alcanzar estos requisitos, debe ser considerablemente más alta que la resistencia especificada. Esta resistencia es más alta a medida que las variaciones aumentan y más baja en la medida que estas disminuyen.

Para eliminar la ocurrencia de resultados excesivamente bajos, es conveniente tener como valor mínimo para operación de producción de concreto, una desviación estándar, "s" de 35kgf/cm^2 (3.43 MPa) en el caso de resistencia a la compresión.

Una planta que cubra los requisitos de operación y materiales enunciados en esta norma, obtendrá generalmente valores de "s" alrededor de 25 a 40kgf/cm^2 (2.45 a 3.93 MPa); a medida que los valores de "s" sean menores, logrará con certeza reducir la probabilidad de resultados bajos. Este valor "s" debe calcularse utilizando información de una sola clase de concreto de una sola planta, con más de 100 valores de pruebas de resistencia de muestras tomadas al azar por un mismo laboratorio y cubriendo un periodo lo más amplio posible cuando se trata del caso del productor, y con más de 30 valores, cuando se trata de una sola obra específica.

De acuerdo con los métodos comunes de diseño, es recomendable utilizar concretos grado A, cuando se diseña por el método de esfuerzos de trabajo, pavimentos y usos generales, y concreto grado B, cuando se diseña por el método de resistencia última, para concreto pretensado y para estructuras especiales.

**Criterio de aceptación para un número de pruebas
insuficientes.**

Cuando el número de pruebas es insuficiente (menos de 30), para el cálculo del promedio de pruebas consecutivas establecidas según la calidad del concreto, todos los promedios de pruebas consecutivas posibles de resultados obtenidos, deben ser igual o mayor que las cantidades indicadas en la TABLA 14 (fp min).

TABLA 14

TABLA 14 (c)

Número de pruebas consecutivas	Para concreto grado A resistencia a la compresión promedio en		Para concreto grado B resistencia a la compresión promedio en	
	MPa	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²
1	f _c - 4.80	0% - 30	f _c - 3.41	0% - 20
2	f _c - 3.74	0% - 20	f _c - 3.27	0% - 10
3	f _c - 3.07	0% - 10	f _c -	0% - 3
4	f _c - 3.07	0% - 10		
5	f _c - 0.50	0% - 3		
6	f _c - 0.50	0% - 0		
7	f _c -	0% - 0		

Cada uno de estos valores se calculó utilizando las siguientes expresiones:

$$f_p \text{ min} = f'_c - s \frac{t_1}{\sqrt{n}} - t_{1,\alpha} \quad ; \text{ Para concreto grado "A"}$$

$$f_p \text{ min} = f'_c - s \frac{t_1}{\sqrt{n}} - t_{1,\alpha} \quad ; \text{ Para concreto grado "B"}$$

En donde:

f_p \leq f_{pn} = Valor mínimo aceptable del promedio de pruebas consecutivas en MPa (Kgf/cm²).

$f'c$ = Resistencia a la compresión especificada en MPa (Kgf/cm²).

$t_{1-\alpha}$ = 1.382

t_{α} = 0.842

S_x = 2.526

s = Desviación estándar para resistencia a la compresión: 3.43 MPa (688kg/cm²).

n = Número de pruebas consecutivas.

7.3 Proceso de curado.

Por no encontrarse normados los CUR por el acceito, y mientras se desarrollen normas paralelas para estos concretos, deben como mínimo satisfacer los requerimientos de calidad del concreto que se encuentran en las NOM-C-159-88 y NOM-C-160-87 "Elaboración y curado de especímenes de prueba".

De lo cual las siguientes consideraciones pueden resultar benéficas.

Para evitar la evaporación del agua de los especímenes de concreto sin fraguar, se deben cubrir inmediatamente después de terminados, de preferencia, con una placa no absorbente y no reactiva, o con una tela de plástico durable impermeable. Se puede emplear yute húmedo, pero debe cuidarse de mantenerlo con humedad y evitar el contacto con el

concreto hasta que los especímenes sean extraídos de los moldes. El colocar una tela de plástico sobre el yute facilita mantenerlo húmedo.

Los especímenes deben ser descimbrados no antes de 20 ni después de 40 horas de su elaboración.

A menos que otro método se especifique de otra manera todos los especímenes deben ser curados en humedad a temperaturas de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante las primeras 24 horas, después de este tiempo deben mantenerse a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ con una humedad relativa de 95% mínima, hasta el momento de la prueba.

El almacenamiento durante las primeras 48 horas debe ser, en un sitio libre de vibraciones. Con relación a los especímenes extraídos en los moldes, el curado húmedo significa que los especímenes de prueba deben mantenerse con agua libre en su superficie todo el tiempo. Esta condición se logra por inserción en agua saturada con cal, o por almacenamiento en un cuarto húmedo o gabinete que cumpla con los requisitos de la ASTM-C-146. Los especímenes no deben ser expuestos a golpes directos o a agua corriente.

7.4 Otros ensayos de laboratorio.

Las pruebas de laboratorio que existen para concretos son directamente proporcionales a las características específicas de cada concreto y a las propiedades que presentan en particular.

res en día cuando ya se cuentan con una gran variedad de agregados de diferente composición, aditivos químicos aditivos minerales finamente divididos es necesario desarrollar pruebas específicas para determinar la calidad del concreto. Y más aun cuando el desarrollo de propiedades específicas está marcando la vanguardia en el mundo que se podría resumir con la frase "un concreto para cada necesidad".

Por lo anterior cuando tradicionalmente la resistencia a la compresión era la propiedad específica que se buscaba desarrollar en la conciencia de que a su vez intrínsecamente incluido en la matriz se generarían otras propiedades características del concreto, como la deformabilidad (Modulo de elasticidad), flexión, fatiga, etc., en la actualidad son diversas las pruebas que se han desarrollado para conocer ciertas características específicas del concreto, como lo es el ataque de agentes químicos o la permeabilidad.

Las pruebas permiten evaluar pruebas resetas en la misma matriz haciendo posible, por lo tanto, un estudio de la variación de las propiedades con el tiempo.

Las pruebas destructivas, se han practicado durante muchos años, pero no se dispone de ninguna prueba estandar aceptada universalmente. Métodos y técnicas diversas se emplean en diferentes países y, algunas veces en el mismo país. Puesto que muchas de estas pruebas se diseñan en el laboratorio, posteriormente, en trabajos de investigación, se

conveniente tener conocimiento de como influyen dichos métodos de prueba en la medición de la resistencia.

Corazones de prueba.— El propósito principal es medir la resistencia del concreto en la estructura real. Extrayendo especímenes del concreto de la estructura y efectuando la prueba de compresión de estática y obteniendo su resistencia cooperativamente, a la que se obtendría para cilindros de 100mm de diámetro por 300mm de altura.

Prueba de resistencia a la penetración.— Una prueba conocida comercialmente como la prueba de la sonda de Windsor calcula la resistencia del concreto a partir de la profundidad de penetración de un punzon metálico, impulsado por una carga estipulada de polvo. El principio en que se basa es que, para condiciones estándar de prueba, la penetración es inversamente proporcional a la resistencia del concreto.

Prueba del "Pull-out" (Extracción a tensión).— Es una prueba que mide, mediante un arte de tensión, la fuerza requerida para desprender una varilla de acero, con su extremo de mayor sección transversal ligeramente esmerada, generalmente de 25mm de diámetro. Durante la operación se extrae un cono de concreto y la fuerza requerida para ello está relacionada con la resistencia a la compresión del concreto original.

Prueba de velocidad de pulso ultrasónico.- Se ha intentado medir de manera no destructiva alguna propiedad física del concreto relacionada con su resistencia. Se ha tenido mucho éxito con la determinación de la velocidad de ondas longitudinales en el concreto. No existe ninguna relación especial entre la velocidad y la resistencia del concreto, pero, en condiciones especificadas, las dos cantidades se relacionan directamente. El factor común es la densidad del concreto; un cambio en la densidad da como resultado un cambio en la velocidad de pulso, de manera similar, en una mezcla dada, la relación de la densidad real con la densidad potencial (bien compactada) y la resistencia resultante se relacionan estrechamente. Así pues, un descenso en la densidad causado por un incremento en la relación agua/cemento hace disminuir tanto la resistencia a la compresión del concreto como la velocidad de un pulso, transmitido a través de éste.

Prueba del martillo de rebote.- La prueba está basada en el principio de que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie sobre la que golpea la masa. Sin embargo, el error estándar de la medida es más elevado que cuando la resistencia se determina mediante la prueba de compresión, pero el ahorro en esfuerzo tiempo y costo es considerable.

Prueba de resistencia a los sulfatos.— La resistencia del concreto al ataque de sulfatos se puede comprobar en el laboratorio almacentando especímenes sumergidos en soluciones de sulfato de sodio o de magnesio, o en una solución de azules.

El efecto de la exposición se puede calcular por la pérdida de resistencia de los especímenes, por los cambios en el módulo dinámico de elasticidad, por expansión, por su pérdida de peso e incluso a simple vista.

Medición de la permeabilidad al agua.— La permeabilidad del concreto se puede medir en el laboratorio por medio de una prueba sencilla, pero los resultados son meramente comparativos. Se sellan los lados de un espécimen de prueba y se aplica agua a presión solo sobre la superficie.

Una vez logrado un régimen constante (y puede ser que se obtenga hasta que hayan pasado 10 días de iniciada la prueba), se mide la cantidad de agua que fluye a través de un espesor determinado de concreto en un tiempo dado y la permeabilidad se expresa como un coeficiente de permeabilidad.

CAPÍTULO 8. PERSPECTIVAS DE USO Y APROVECHAMIENTO EN MÉXICO.

México hoy, asume sus responsabilidades en un momento crucial de nuestra historia, momento de grandes transformaciones en el mundo y en la sociedad nacional. Cambios que ya requieren para garantizar nuestra mejor defensa frente a un mundo cada vez más competitivo.

El crecimiento y bienestar en un mundo de soberanía y democracia, son los objetivos que persigue el Estado Mexicano aplicando una estrategia para alcanzarlo. Esta estrategia es la modernización nacional.

La estrategia de la modernización, cuya meta es lograr la recuperación económica, se encamina a buscar bases firmes para fijar en ellas nuestro futuro, es decir, aspirar a la prosperidad.

Se ha podido ver lamentablemente en estos últimos años que el descuido de un solo factor desestabiliza la acción para contribuir al desarrollo. Hoy, el campo de la postguerra de los estados participantes es iniciado en todo el mundo, es imprescindible para cualquier estado soberano que invierta en su propia obra los fortalezca. De ahí que un mayor presupuesto para este campo este asociado a la Educación.

El esfuerzo de modernización se habrá de dar en todos los estratos de nuestra economía. Potenciar la exportación y ampliar la infraestructura.

En términos generales, las prioridades fundamentales de la estrategia económica señalan la necesidad de disponer de gas y mejor infraestructura.

La tecnología del mundo contemporáneo evoluciona a un ritmo sin precedente, modificando el entorno con gran dinamismo de los Países. La modernización requiere una claridad de la contribución de la actividad tecnológica en el desarrollo nacional.

El fortalecimiento de tecnologías específicas es urgente y debe ser muy acentuado en los próximos años. Tecnologías características en las disciplinas que conciben directamente con la aumento de producción y transporte, ambas bajo el marco de eficiencia y calidad.

Por lo cual la industria de la construcción como parte primordial de la estrategia de modernización enfrenta no solo el reto de construir y edificar como respaldo de la sociedad sino también el de mejorar y renovar las técnicas de construcción buscando hacerlas más rentables. Lo cual se espera lograr por medio de políticas económicas más abiertas y activas en este sector. Como lo es el caso de la iniciativa privada en el financiamiento construcción y usufructo regulado de lo que será la base de la infraestructura de México de cara al siglo XXI.

En la recuperación del crecimiento, la industria de la construcción deberá desempeñar un papel fundamental. La construcción es una gran generadora de empleos por una parte y por la otra, es uno de los elementos que tienden en condiciones favorables a fortalecer el crecimiento de la actividad económica, o a frenarlo, si dichas condiciones son desfavorables.

Diversos estudios señalan que cuando el PIB crece a tasas menores del 3% anual, la industria de construcción se estanca o cae en un franco deterioro. Cuando el crecimiento del producto se sitúa entre 3 y 5%, el crecimiento de la industria es muy similar al de la economía y cuando alcanza tasas del 5% o superiores, la construcción tiene crecimientos realmente espectaculares. De este manera, cuando hay un bajo crecimiento en la economía, la industria de la construcción se frena o le da inercia a ese bajo crecimiento; cuando el crecimiento es elevado, la industria tiende a acelerarse más. Por dar sólo unos ejemplos, como se puede ver en la figura 9, entre 1977 y 81 el crecimiento anual del PIB fue de 8.6%, entonces el valor bruto de la construcción creció a tasas muy superiores, a un promedio de 13.3%. Si eso lo comparamos con el periodo de 84-86 en el que, el PIB tuvo una tasa de incremento anual de 0.2%, la industria de la construcción decayó al 2.5% anual.

En México, la construcción de edificios de gran altura se concentra en el área metropolitana del Distrito Federal, y es posible pensar que la utilización de CAR se da principalmente en esta zona geográfica del País. Sin embargo, la escasez de agregados pétreos de buena calidad y la falta de un proveedor confiable de un aditivo mineral finamente dividido, disminuye su capacidad competitiva frente a los concretos convencionales empleados hasta la fecha; motivado por un aumento sustancial en sus costos de producción y distribución.

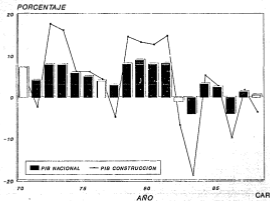
Afortunadamente, las últimas tendencias económicas se perfilan hacia un mayor desarrollo de la infraestructura en todos los estados del País, lo cual, como ya se dijo, provocará un repunte de la industria de la construcción, y es precisamente aquí, donde los CAR tienen mayores oportunidades ya que las fuentes de la materia prima en general harían menos crítico el posible beneficio económico.

Por lo tanto, como se dijo, la resistencia a la compresión y propiedades específicas del concreto relacionadas con la durabilidad quedan únicamente bajo la influencia económica y no técnica como podría suponerse.

El primer paso en este caso, pues ya se realizan investigaciones en diferentes instituciones con este fin, y aunque se encuentren impedimentos técnicos, principalmente en la calidad y suministro de los materiales, los que hoy en México pueden utilizarse conserando significados resultados.

PIB NACIONAL VS CONSTRUCCION

FIGURA - 9



6.1 Comparativa de costos.

Ejemplo.

A fin de ejemplo práctico y para dar una idea del costo de un CAR se presenta el PU de una sección típica de las elaboradas por el INCYC. Sin embargo la fluctuación de costos para el CAR que se lleque a producir en México por alguna planta preexistente fluctuara bastante del que se presenta por razones obvias como son descuentos por volúmenes de la materia prima cementante adicional sea ceniza volante o hueso de sílice, costos de transporte involucrados, generación de indirectos y utilidades.

En la conciencia que la ceniza volante utilizada como aditivo mineral finamente dividido que se produce en Río Escondido, Coah. no se encuentra a la venta es decir se toma de los patios de almacenaje de la Central Carboeléctrica. Es ahí que el costo que aparece en la integración del PU solo se refiere al costo de transporte.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.

CONCEPTO	UNIDAD M ²			
Estructura de concreto (F ^o = 300 Kg/m ³ hasta en obra con resistencia 1-3), apropado 50% eventualmente 10 ± 5%.				
DESCRIPCION				
CANTIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	PU	IMPORTE
Concreto	M ³	0.360	230,000.00	79,200.00
Acero	K ^g	0.494	30,000.00	14,820.00
Grava 3/4"	M ³	0.660	30,000.00	19,800.00
Agua	M ³	0.294	1,000.00	294.00
			TOTAL MATERIALES	114,114.00
MORO DE OBRA				
1 Peonero + 1 Ayudante + 0.10 Módulo	JORNAL	0.1000	30,000.00	4,000.00
S.S.T	%	10	400.00	400.00
			TOTAL MORO DE OBRA	4,400.00
IMPORTE				
Materialidad 0.5	M ²	1	7,500.00	7,500.00
Mano de obra	%	3	4,400.00	132.00
			TOTAL MORALES F 00000	7,632.00
			COSTO DIRECTO	121,906.00

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS.

CONCEPTO	UNIDAD #			
Critorio de gres de 30" x 30" y cerámico de gres con esmalte de 20" x 20" para controlar la geometría en la elaboración de concreto de alta resistencia.				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU	IMPORTE
Baldosa 2 x 4"	PT	0.0000	1,375.00	0.00
Baldosa 30"	ml	0.0000	5,300.00	0.00
Baldosa Fina	ml	0.0000	36,400.00	0.00
			TOTAL MATERIALES	0.00
Mazo de obra				
3 Bases	PERSONAL	0.0000	25,300.00	0.00
S.O.I	%	00	2,434.00	0.00
			TOTAL MAZO DE OBRA	0.00
MANO DE OBRA y EQUIPO				
Mano de obra menor	%	3	2,677.75	0.00
			TOTAL MANO DE OBRA Y EQUIPO	0.00
			COSTO DIRECTO	0.00

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS.

CONCEPTO

Elaboración de concreto de alta resistencia f'c = 800 kg/cm² a 28 días.

agregado 3/4", cemento Portland Tipo I y fluorificante Silicatos 100, veintidós (22) sacos, dosado como porcentaje de compresión de la mezcla en obra con reemplazo 3.55 y Cerrita Volante.

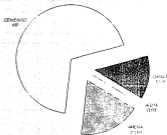
DESCRIPCION

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU	IMPORTE
Cemento	TON	0.580	210,000.00	121,800.00
arena	M ³	0.821	50,000.00	41,050.00
Grava 3/4"	M ³	0.867	50,000.00	43,350.00
Agua	M ³	0.1287	1,000.00	128.70
Fluorificante	LT	4.57	7,170.00	32,763.00
Cerrita Volante	TON	0.8668	40,000.00	34,672.00
Cristales y lavado	M ³	1	4,300.00	4,300.00
			TOTAL MATERIALES	210,000.00
MARO DE OBRAS				
3 Peores = 1 Oficial	FORMAL	0.1088	26,400.00	2,865.12
S.E. I	S	10	4,450.00	44,500.00
			TOTAL MARO DE OBRAS	4,450.00
EQUIPO y MOBILIARIO				
Revulsiones 3-55	M ³	1	7,500.70	7,500.70
Revulsiones menor	S	3	4,000.00	12,000.00
			TOTAL MOBIL. Y EQUIPO	7,498.00
			COSTO LÍQUIDO	210,000.00

COSTO DEL CONCRETO/M3

FIGURA - 10

f'c = 200 Kg/cm²



MATERIALES UNICAMENTE

f'c = 850 Kg/cm²

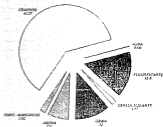


CAR

COSTO DEL CONCRETO/M3

FIGURA - 11

$f_c = 850 \text{ Kg/cm}^2$



$f_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$



MATERIALES UNICAMENTE

CAR

de los análisis de Flu. anteriores, prestando atención a los costos directos por elaboración de concreto, podemos indicar de manera general, como representativa el porcentaje de sobregresos de un concreto de alta-resistencia.

Si el m³ de concreto de Teitoca preescribido de Solkarem cuesta \$ 171,900.00 contra los \$ 124,916.00 de un concreto de similares características hecho en obra, tenemos que resulta un 28.47% más caro, lo cual ciertamente no es una gran diferencia puesto que el costo del concreto preescribido es el de venta, es decir, ya tiene todos sus costos integrados y, en el concreto hecho en obra que se presenta faltaría cargarle los costos indirectos que varían de acuerdo al tamaño e intereses de la compañía, por lo cual, resultaría con ese especulativo la integración de un CAR.

Es pues, que de esta manera suponemos que los cargos indirectos de una compañía preescribidora incluyendo su utilidad es de un 28.47%. Aunque el porcentaje es bajo, hay que tomar en cuenta que el proceso industrializado que maneja una planta preescribidora la cubre según costos, como lo son los costi fijos o sus bajos porcentajes de desperdicios de materiales el momento de aplicar.

Cargando este porcentaje al costo directo de elaboración de un concreto de alta-resistencia de 800kg/cm² tenemos así \$ 223,490.00 y 28.4% = \$ 303,450.00 así.

comparando estos resultados obtenidos las siguientes relaciones:

Relacion de resistencias.

$$f'c = 250\text{kg/cm}^2 / f'c = 300\text{kg/cm}^2 \\ 650 / 300 = 4.25$$

Relacion de costos.

$$f'c = 250\text{kg/cm}^2 / f'c = 300\text{kg/cm}^2 \\ \$ 305,450.00 / \$ 171,925.00 = 1.76$$

Relacion de contenidos de cemento.

$$f'c = 250\text{kg/cm}^2 / f'c = 300\text{kg/cm}^2 \\ 370\text{kg/m}^3 / 348\text{kg/m}^3 = 1.07$$

Cuando la resistencia aumenta 4.25% de un concreto a otro el costo solo aumenta 1.7% veces, lo cual nos demuestra su rentabilidad economica. Analizando el desarrollo de la Genisa Volante como factor economico podemos decir que es aun más satisfactorio, puesto que la resistencia aumenta 4.25 veces mientras que el contenido de cemento solo se incrementa 1.07 veces tomando en cuenta que esto es el elemento de mayor incidencia en el costo de fabricación de un concreto, como se puede ver en las figuras 10 y 11, lo cual se logra gracias al

1000000. Alguna: 1000000. Volante: 1 y el activo: 1000000
1000000. 1000000. 1000000.

En segundo lugar, para cada caso el costo unitario de la
Cartera volante con el que se realizaron las relaciones
anteriores, solo es el de referencia, y una cosa sería el día que
la Comisión Federal de Electricidad lo comercializa, aunque
eventualmente el precio no será muy elevado por competir
en condiciones, por lo tanto, las relaciones anteriores
verían muy poco y continuarían demostrando la capacidad
competitiva de un concreto comercial de alta-resistencia a
base de Cartera volante.

CONCLUSIONES.

La experiencia y la evaluación crítica de la información disponible de los proyectos realizados en otros Países y en el área de investigación que se realiza en México, nos proporcionan los siguientes resultados.

* El fortalecimiento tecnológico en la especialidad de materiales es urgente y debe ser muy acentuado en los próximos años; dada la necesidad de la economía nacional de la participación eficiente de la industria de la construcción en el fortalecimiento de México.

* Aunque los GAR son todavía considerados relativamente como un nuevo material, este está siendo aceptado en gran parte del mundo, prueba de ello son las muchas estructuras existentes con esta tecnología y las que se encuentran en etapa de proyecto y construcción.

* La fabricación de GAR es posible en nuestro País puesto que ya contamos con los materiales más recurrentes para el desarrollo de la alta-resistencia, como lo son, la Cementa Volante, fluidificantes y superfluidificantes; con esto, se abren las puertas para un progreso significativo de la industria de la construcción, y por ende de México.

* Como se pudo ver, se confirma la fuerte influencia de la relación agua/cemento en el desarrollo y desarrollo del concreto a altas resistencias.

* Queda completamente demostrado que las relaciones agua/cemento bajas son proporcionales al aumento sustancial de la resistencia a la compresión, aunque no linealmente, esta relación por debajo de la hidratación teórica del concreto de 0.27 muestra un mejor desarrollo a altas resistencias. Así como también en la mayoría de otras propiedades del concreto.

* La influencia de los fluidificantes — y superfluidificantes a altos niveles de dosificación no muestra efectos adversos en el desarrollo de la resistencia, no obstante, el problema de corrosión del acero por la cantidad de fluidificante o superfluidificante incorporado a la matriz, aunado a la categoría al que este pertenece, debe ser cuidadosamente analizado antes de llevarse a efecto.

* Con el fin de obtener un producto de calidad es necesario en un futuro inmediato, normar y reglamentar los diferentes tópicos relacionados con los CAR, como lo son:

- Desarrollar especificaciones para la calidad del aditivo auxiliar, en este caso Ceniza Volante.
- Especificar los criterios de calidad y tolerancia para su elaboración y aceptación.

* En lo referente a las Diferencias esenciales de diseño, existen cambios de consideración en su propiedades mecánicas como consecuencia de los cambios químicos en la estructura del concreto. No obstante, los aspectos fundamentales del concreto reforzado sirven de punto de partida para desarrollar formulaciones para predecir el desempeño de los CAR.

La reglamentación actual esta basada en concretos convencionales de una resistencia a la compresión no mayor de 28000psi, apesar de ello, esta formulación resulta valida para determinar ciertas características del concreto de alta-resistencia en determinados intervalos.

Por lo cual podemos concluir que toda la información existente respecto a las características de diseño y seguridad de las estructuras de concreto de alta-resistencia deberá ser sujeta a revisión basados en las actuales y futuras investigaciones.

* El proceso constructivo empleando un CAR no es significativamente diferente al de un concreto convencional, pero dada la naturaleza de función y operación de este concreto, deber prestarse una mayor atención a las diferentes etapas de este proceso, como lo son la preparación de la mezcla, el curado y el terminado; otras etapas tales como el colado y bombeo del concreto no presentan mayores problemas que el de un concreto convencional, aunque esto no significa que el nivel de calidad de ejecución de estas

actividades no deba ser realizado satisfactoriamente. El concreto de alta-resistencia es en si un producto que solo se logra con calidad.

* La variable económica de un CAR deber analizarse antes de llevarse a efecto, nunca podemos afinar basados en los resultados del CAP B "Perspectivas de uso y aprovechamiento en México", que no es un impedimento para su desarrollo, por el contrario, la relación beneficio-costo es favorable. Por lo tanto sería inapropiado que en los próximos años los concretos no ofrezcan una mayor gama de productos en base a esta tecnología, puesto que ya contamos con todos los elementos necesarios.

* Hasta el momento no se ha publicado gran cosa acerca de los CAR, por lo mismo, la información disponible debe ser evaluada crítica y seriamente. Desgraciadamente los métodos de prueba, las condiciones en que se llevan a efecto, la calidad de los materiales, los aditivos su clase y composición, etc., varían mucho de un País a otro e inclusive dentro del mismo País, por lo cual es necesario estudiar la potencialidad y efectividad de la información contenida en estos artículos y publicaciones para su aplicación en México.

Glosario de términos y abreviaturas.

CRB	Concreto de alta-resistencia.
HSC	High-strength concrete.
ACI	American Concrete Institute.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
NOM	Normas Oficiales Mexicanas.
CSA	Canadian Standards Association.
NASA	National Aeronautics and Space Administration.
CTL	Construction Technologies Laboratories.
FN	Módulo de flexión.
AASTHO	American Association State Highway and Transportation Official.
IMCIC	Instituto Mexicano del Cemento Y Concreto.
CEB	Comité Euro-Internacional de Beton.
CP	British Code of Practice.

Terminología Técnica.

Para la preparación de este informe, la terminología relativa a concreto, aditivos químicos y minerales y demás áreas relacionadas con el tema se tradujo mediante el siguiente criterio, que se presentan las palabras extraídas de los textos originales en Inglés en la conciencia de que se pueden emplear equivalencias a la misma palabra original.

Por lo cual y tomando en cuenta la variedad del tema se presenta las palabras que a juicio del investigador son las más relevantes.

A

admixture - aditivo
 aggregate bulk - agregado grueso
 alloy - aleación
 arching - efecto de arco
 armor - coraza

B

batch - lote
 batching - dosificación
 beam - viga
 blast furnace slag - escoria de alto horno
 bridge deck - cubierta de puente

C

coal - mineral
 coarse - vasto, ordinario
 conveyor - transportador
 cracking - agrietamiento

D

de leing salts - sales deshidratadas

dosage - dosificación

drill - perforar

E

fashion - clase

finishing - finish

fly ash - ceniza volante

G

girders - durmiente

graded aggregate - agregado de grava

grid - rejilla

H

hardening - endurecimiento - fraguado

I

imperious - impermeable

insulating concrete - concreto aislante

J

joint - cool - junta fría

K

kerb - quicio

L

pile - pila

plain concrete - concreto simple

pumpability - bombeabilidad

pumped concrete - concreto bombeado

E

sand = arena

shield = escudo = protección

slabs = losa

slag = escoria

slump = resquebrajamiento

slump loss = pérdida de resquebrajamiento

spalling = desmenuzamiento

span = claro

sticky = viscosa

superplasticizer = superplastificante

T

thrues setting = fraguado térmico

thaw = deshielo

trial = proceso

W

workability = trabajabilidad

Y

yield stress = esfuerzo de fluencia

Factores de conversión.

Para fines de traducción y de conversión de unidades generalmente al sistema métrico decimal, o al suyo en su caso fue necesario recurrir, se realizaron en base a los siguientes factores.

- 1 in. = 25.4 mm
- 1 lb (masa) = 0.454 Kg
- 1 lb (fuerza) = 4.45 N
- 1 ksi (fuerza) = 6.90 Mpa
- 1 Mpa = 145.0 Psi
- 1 Kg/cm² = 1.605 lb/yc²
- 1 lb/ft² = 16.37 kg/cm²
- 1/cm² = 10.2 kg/cm²
- 1 Psi = 0.07 Kg/cm² = 1 Psi/14.2257 kg/cm²
- 1 Mpa = 10.19 kg/cm²

ADITIVOS.

DESIGNACION	TITULO DE LA NORMA
NOM-C-14-81	Aditivos químicos uniformidad y equivalencia.- Determinación.
NOM-C-45-83	Aditivos para concreto.- Muestreo.
NOM-C-81-81	Aditivos para concreto.- Curado compuesto líquidos que forman membrana.
NOM-C-90-78	Método de prueba para aditivos espesantes y estabilizadores de volúmenes de concreto.
NOM-C-117-78	Aditivos estabilizadores de volúmenes de concreto.
NOM-C-140-78	Aditivos espesantes de concreto.
NOM-C-146-80	Aditivos para concreto.- Puzolana natural cruda o calcinada y ceniza volante para usarse como aditivo mineral en concreto Portland.
NOM-C-178-83	Ceniza volante o puzolana natural para usarse como aditivo mineral en concreto de cemento Portland.- Muestreo y prueba.
NOM-C-188-88	Aditivos para concreto y materiales complementarios.- Terminología y clasificación.
NOM-C-200-78	Aditivos inclusiones de aire para concreto.
NOM-C-227-85	Aditivos para concreto.- Determinación de la adherencia de los sistemas de resinas epoxicas aplicadas en el concreto.
NOM-C-240-85	Aditivos para concreto.- Determinación de la viscosidad cinemática y cálculo de viscosidad dinámica.
NOM-C-241-85	Sistemas adhesivos a base de resinas epoxicas para concreto.
NOM-C-255-88	Aditivos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado del concreto.
NOM-C-298-80	Concreto.- Aditivos minerales.- Interacción de la electricidad para prevenir una expansión excesiva del concreto debida a la reacción álcali-agregado.
NOM-C-334-80	Aditivos.- Determinación de la retención de agua por medio de compuestos líquidos que forman membrana para el curado del concreto.
NOM-C-308-89	Aditivos para concreto.- Determinación del factor de reflectancia de membrana para el curado del concreto.

AGREGADOS.

DESIGNACION	TITULO DE LA OBRA
NOM-C-30-86	Agregados.- Muestreo.
NOM-C-71-83	Agregados.- Determinación de lacrasas de arena y partículas desmenuzables.
NOM-C-72-83	Agregados.- Determinación de partículas filicas.
NOM-C-73-83	Agregados para concreto.- Masa volumétrica.- Método de prueba.
NOM-C-75-85	Agregados.- Determinación de la sanidad por medio del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio.
NOM-C-76-83	Agregados.- Efecto de las impurezas orgánicas en los agregados finos sobre la resistencia de los morteros.- Método de prueba.
NOM-C-77-87	Agregados para concreto.- Análisis granulométrico.- Método de prueba.
NOM-C-84-83	Agregados.- Partículas mas finas que la criba F 0.075 por medio de lavado.- Método de prueba.
NOM-C-88-86	Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino.
NOM-C-101-88	Concreto.- Agregados.- Especificaciones.
NOM-C-104-88	Agregados.- Determinación de la masa específica y absorción del agua del agregado grueso.
NOM-C-105-84	Agregados.- Determinación de la masa específica y absorción del agua del agregado fino.- Método de prueba.
NOM-C-160-83	Agregados.- Contenido total de humedad por secado.- Método de prueba.
NOM-C-170-88	Agregados.- Reducción de las muestras de agregados, obtenidas en el campo al tamaño requerido para las pruebas.
NOM-C-180-86	Agregados.- Determinación de la reactividad potencial de los agregados con los bicahis del cemento por medio de barras de mortero.
NOM-C-190-84	Agregados.- Resistencia a la degradación por abrasión a inmerso de agregado grueso usando la máquina de los Angeles.- Método de prueba.
NOM-C-244-86	Agregado ligero termoadesivante para concreto.
NOM-C-245-86	Agregados.- Determinación de las correcciones en masa por la humedad de los agregados en dosificaciones de concreto.
NOM-C-265-84	Agregados para concreto.- Examen Petrográfico.- Método de prueba.
NOM-C-330-85	Agregados.- Resistencia al lavado de las partículas del agregado grueso.- Método de prueba.

AGREGADOS.

DESIGNACION	TITULO DE LA NORMA
NOM-C-271-84	Agregados para concreto.- Determinación de la reactividad potencial (Método Solimici).
NOM-C-272-87	Reactividad potencial de escoria de carbonatos en agregado para concreto con los álcalis (Método de cilindro de rosa).
NOM-C-282-84	Agregado para concreto.- Cambio de volumen de combinaciones cemento-agregado.- Método de prueba.
NOM-C-288-87	Concreto estructural.- Agregados ligeros.- Especificaciones.
NOM-C-305-88	Agregados para concreto.- Descripción de sus componentes minerales naturales.
NOM-C-309-84	Método de prueba para la determinación de la granulometría de la arena de sílice.
NOM-C-330-84	Arena de sílice.
NOM-C-331-84	Método de prueba para la determinación de sílice en arena de sílice.

CONCRETO.

DESIGNACION	TITULO DE LA NORMA
NOM-C-8-81	Tubos de concreto sin refuerzo.- Especificaciones.
NOM-C-10-85	Concreto.- Bloques, ladrillos, bloques o tabiques y tabiceras.
NOM-C-16-82	Postes de concreto reforzado.- Tubos. Especificaciones.
NOM-C-23-47	Tubos de concreto para irrigación.
NOM-C-24-74	Determinación de la contracción por secado de los bloques, ladrillos, tabiques y tabiceras de concreto.
NOM-C-83-88	Concreto.- Determinación a la compresión de cilindros de concreto.
NOM-C-89-79	Determinación de las fricciones fundamentales, transversal, longitudinal y torsional de especímenes de concreto.
NOM-C-108-76	Concreto ligero estructural.- Determinación del peso volúetrico.
NOM-C-109-85	Concreto.- Cabezas de especímenes cilíndricos.
NOM-C-113-76	Terminología usada en asentos de concreto prefabricado.
NOM-C-115-87	Método de prueba para procedimientos de curado para tubos de concreto.
NOM-C-116-70	Tubos de concreto.- Determinación de la resistencia a la compresión por el método de tres apoyos.
NOM-C-119-76	Tubos de concreto.- Determinación de la absorción de agua.
NOM-C-122-82	Agua para concreto.
NOM-C-123-82	Concreto sometido a compresión.- Determinación del módulo de elasticidad estático y relación de poisson.
NOM-C-129-82	Tubos de concreto perforados para dren.- Especificaciones.
NOM-C-147-83	Postes de concreto reforzados sección L.- Especificaciones.
NOM-C-149-88	Tubos de concreto.- Determinación de la permeabilidad.
NOM-C-154-87	Determinación del contenido de cemento en el concreto endurecido.
NOM-C-155-87	Concreto preesfuerzo.- especificaciones.
NOM-C-158-88	Concreto fresco.- Determinación del asentamiento.
NOM-C-167-87	Concreto.- Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión.
NOM-C-168-87	Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de volúetrico.
NOM-C-169-85	Concreto.- Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes.

CONCRETO.

DESIGNACION	TITULO DE LA NORMA
NOR-C-159-85	Concreto.- Elaboración y curado en el laboratorio de espesímenes.
NOR-C-160-87	Concreto.- Elaboración y curado en obra de espesímenes de concreto.
NOR-C-161-87	Muestras de concreto fresco.
NOR-C-162-85	Concreto.- Determinación de peso unitario, estado del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el estado granulométrico.
NOR-C-163-86	Concreto.- Determinación de la resistencia a la tensión por compresión diametral de cilindros de concreto.
NOR-C-168-88	Obtención y prueba de corozcos y vigas extraídas de concreto endurecido.
NOR-C-173-78	Determinación de la variación en longitud de las probetas de mortero de cemento y de concreto endurecido.
NOR-C-177-86	Concreto.- Determinación del tiempo de fragado de seccías de concreto, mediante la resistencia a la penetración.
NOR-C-191-86	Concreto.- Determinación de la resistencia a la flexión del concreto, usando una viga simple en los tercios del claro.
NOR-C-192-86	Concreto.- Determinación del índice de rebote utilizando el dispositivo conocido como esclerómetro.
NOR-C-205-79	Determinación de la resistencia del concreto a la congelación y deshielo acelerados.
NOR-C-219-84	Concreto.- Resistencia a la compresión a edades tempranas y predicción de la misma a edades posteriores.- Método de prueba.
NOR-C-221-83	Longitud de los corozcos de concreto.- Método de prueba.
NOR-C-226-84	Concreto.- Resistencia a la compresión aplastando porciones de vigas ensayadas a flexión.- Método de prueba.
NOR-C-236-84	Concreto.- Prácticas para examinar y muestrear el concreto endurecido en el sitio del colado.
NOR-C-243-85	Concreto.- Prueba de resistencia al cortante en concreto endurecido.
NOR-C-247-76	Dimensiones y tolerancias de los elementos prefabricados tipo arquitectónico.
NOR-C-248-76	Elementos de concreto prefabricado.
NOR-C-251-86	Concreto.- Terminología.
NOR-C-252-86	Tubos de concreto prefabricado en cilindro de acero.
NOR-C-253-86	Tubos de concreto prefabricado y con cilindro de acero.

CONCRETO.

DESIGNACION	TITULO DE LA NORMA
NOR-C-257-78	Método de prueba hidrostática para tubos de concreto.
NOR-C-262-83	Concreto endurecido. Masa específica, absorción y variación. Método de prueba.
NOR-C-278-86	Concreto.- Determinación de la penetración en concreto fresco por medio de una bola metálica.
NOR-C-277-79	Agua para concreto.- Muestras.
NOR-C-281-86	Concreto.- Moldes para elaborar especímenes cilíndricos de concreto verticalmente para pruebas.
NOR-C-282-82	Agua para concreto.- Análisis.
NOR-C-298-87	Elaboración, estado acelerado y prueba a compresión de especímenes de concreto.
NOR-C-288-80	Concreto.- Determinación del sangrado.
NOR-C-289-80	Concreto estructural.- Agregados ligeros especificaciones.
NOR-C-301-86	Concreto endurecido.- Determinación de la resistencia a la penetración.
NOR-C-302-80	Concreto fresco.- Determinación de la masa por unidad de volumen de los ingredientes mediante deshidratación con alcohol.
NOR-C-303-86	Concreto.- Determinación de la resistencia a la flexión, usando una viga simple con carga en el centro del claro.
NOR-C-314-86	Concreto.- Adoquines para uso en pavimentos.
NOR-C-340-88	Tubos de concreto preesforzado.- Toma de muestras de agua para análisis y para evaluar parámetros potencialmente agresivos a la tubería.

Bibliografía.

- Realla, A.M., TECNOLOGIA DEL CONCRETO. Ed. Limusa. Tomo 1,2,3. 1968.
- Rubén, Francisco., ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO. Ed. Limusa, Segunda Edición, 1968.
- ADITIVOS PARA CONCRETOS. IMCFC. Primera Reimpresión, 1965.
- CENIZA DE CARBÓN EN MEDIO. Comité Federal de Electricidad. Despliegues Técnicos.
- Sita Mexicana, S.A. de C.V. HOJAS TÉCNICAS.
- American Concrete Institute, Coalle 363. STATE OF THE ART REPORT ON HIGH STRENGTH CONCRETE. USA. 1960.
- IMCFC. PRUEBAS DE LABORATORIO PARA CONCRETOS DE ALTA-RESISTENCIA. Departamento Técnico, 1968.
- Karr, P.H., STRESS-STRAIN CHARACTERISTICS OF HIGH-STRENGTH CONCRETES. International Symposium on Concrete and Concrete Structures. ACI, Detroit. 1970.
- Brooks, J.J., PROPERTIES OF ULTRA HIGH-STRENGTH CONCRETES CONTAINING SUPERPLASTICIZERS. Magazine of Concrete Research, Inglaterra. Vol. 35, no. 128., 1969.
- ACI Coalle 363. STATE OF THE ART REPORT ON HIGH STRENGTH CONCRETE. ACI Journal, USA, Vol 81, no. 4, 1964.

Blick, Ronald L., PROPORTIONS AND CONTROLLING HIGH STRENGTH CONCRETE.

Proportions Concrete News, SP-48, ACI, Detroit, 1974.

Howard, M., THE PRODUCTION AND DELIVERY OF HIGH-STRENGTH CONCRETE.

Concrete International, vol. 11, no. 4, abril 1989.

HIGH-STRENGTH CONCRETE RISE. International Construction, vol. 28, no. 5, mayo 1988.

HIGH-STRENGTH CONCRETE IN MELBOURNE, AUSTRALIA. Concrete International, vol. 11, no 4, abril 1989.

*** Ahmad, S. W., and Shah, S. P., STRESS-STRAIN CURVES OF CONCRETE

CONFINED BY SPIRAL REINFORCEMENT, ACI Journal, Proceedings V. 79, No 6,

Nov.-Dec. 1982, pp. 484-493.

*** *** Martinez, E.; Hilson, A. B.; and Slate, P. G., SPIRALLY REINFORCED

HIGH-STRENGTH CONCRETE COLUMNS, Research report No. 82-80 Department of

Structural Engineering, Cornell University, Ithaca, aug. 1982.

-:- TESIS PROFESIONALES -:-

MECANOGRAFIA E IMPRESION

Campeche No. 156 - - - - Col. Roma

México, D. F. - - - - 06700

564-3954 ★ 584-8153