

7.  
2ej



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ACATLAN"



**"CONCRETO DE BAJA CONTRACCION POR SECADO (CONCRETO PLUS-K)"**

## 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 :

**GABRIELA NIZARINDANI GALLEGOS ROMERO**

ASESOR: ING. MANUEL GOMEZ GUTIERREZ.



SANTA CRUZ ACATLAN, EDO. DE MEX., MAYO DE 1999.

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

273107



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**LIC. ROCIO DEL CARMEN RENDON AGUIRRE**

**Jefa de la Unidad de Administración Escolar**

*Presente*

En relación a la comunicación de la División de Matemáticas e Ingeniería del 26 de octubre anterior, en la cual se me designa integrante del Jurado del Examen Profesional de la alumna **GALLEGOS ROMERO GABRIELA N.** de la licenciatura de Ingeniería Civil, me permito comunicarle que he revisado la Tesis que la citada alumna presenta, misma que se titula "*CONCRETO DE BAJA CONTRACCION POR SECADO (CONCRETO PLUS-K)*" y que considero que cumple, en términos generales, con los objetivos que se deben plantear en la elaboración de una tesis.

En esta virtud, otorgo mi **VOTO APROBATORIO** al trabajo mencionado, a efecto de que se le conceda a la alumna el examen oral, en los términos señalados por el artículo 28 del Reglamento General de Exámenes de nuestra Universidad.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la oportunidad para saludarle cordialmente y reiterarle las seguridades de mi más atenta y distinguida consideración.

Atentamente  
Acatlán, Edo. de México, 12 de marzo, 1999.

**ING. MIGUEL M. ZURITA ESQUIVEL**

ccp. División de Matemáticas e Ingeniería.

ccp. Interesado.

\*dnv

Gracias a Dios.....

Quiero dedicar este trabajo a mi Madre quien incansablemente ha estado a mi lado impulsándome para que cada día sea alguien mejor..... Gracias, TE AMO

A mis hermanos.....  
*MARY Y ANDRES*  
por ser mi esperanza y mi gran compañía

A mi esposo..... gracias por tu apoyo, por estar a mi lado y ser mi cómplice para toda la vida.....TE AMO.

Con mucho cariño para mi abuelita, mi familia y muy en especial, Malia, Ofe, Genia y Javi

A Claudia Archundia y Norma López por su amistad tan única

Quiero agradecer a la **Universidad Nacional Autónoma de México** por haberme formado como profesionista y hoy.....darme la oportunidad de concluir mis estudios.

# ÍNDICE

## TEMA I

### INTRODUCCIÓN

#### **CONCRETO PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS** .....

1.1	CONCRETO	4
1.1.1	GENERALIDADES SOBRE EL CEMENTO	7
1.1.2	AGREGADOS Y AGUA	11
1.2	INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS SOBRE EL CEMENTO	22
1.3	SUPERFLUIDIFICANTES	26

## TEMA II

#### **INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA EN EL CONCRETO DE BAJA CONTRACCIÓN POR SECADO** .....

2.1	CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	44
2.2	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	47
2.3	APLICACIONES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	50
2.4	VENTAJAS EN EL USO DEL CONCRETO DE BAJA CONTRACCIÓN POR SECADO	52
2.5	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO EN EDO. FRESCO Y EDO ENDURECIDO	53

## TEMA III

#### **CONCRETO PLUS K** .....

3.1	CONTRACCIÓN POR SECADO DEL CONCRETO	58
3.2	CAMBIOS DE HUMEDAD	60
3.3	EFFECTOS DE LOS INGREDIENTES DEL CONCRETO EN LA CONTRACCIÓN	63

## TEMA IV

<b>WORLD TRADE CENTER CD. DE MÉXICO. ....</b>	
4.1 ANTECEDENTES DEL WORLD TRADE CENTER	66
4.2 CONCRETO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA NUEVA	71
CONCLUSIONES. ....	79
REPORTE FOTOGRÁFICO. ....	81
BIBLIOGRAFÍA. ....	85

## TEMA I

### *CONCRETO PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS*

#### 1.1 CONCRETO

##### 1.1.1 GENERALIDADES SOBRE EL CEMENTO

-Propiedades del cemento Portland.

##### 1.1.2 AGREGADOS Y AGUA

-Agua de mezclado para el concreto.  
-Cloruros.  
-Diversas sales inorgánicas.  
-Agua de mar  
-Agregados del concreto.  
-Optimización de los agregados para concreto  
Características de los agregados  
-Granulometría  
-Pesos volumétrico y vacíos.  
-Peso específico.  
-Propiedades de humedecimiento y secado  
Absorción y humedad superficial.  
-Resistencia y contracción

##### 1.2 INFLUENCIA DE ADITIVOS SOBRE EL CEMENTO

-Efectividad de los aditivos.  
-Propiedades del concreto que resultan afectadas por los aditivos.

##### 1.3 SUPERFLUIDIFICANTES

-Compatibilidad cemento-superplastificantes.  
-Tipos de aditivos.  
-Aditivos reductores de agua.  
-Aditivos superplastificantes (reductores de agua de alto rango).  
-Beneficios en el uso de los aditivos reductores de agua.  
-Aditivo Humo de sílice (HS).  
-Propiedades y Aplicaciones del Humo de sílice.  
-Influencia y efectos del humo de sílice sobre el concreto.  
-Resistencias.  
-Concreto en estado fresco.  
-Concreto en estado endurecido.

# INTRODUCCIÓN

Uno de los edificios más representativos a nivel nacional es el conocido “Hotel de México”, construido a finales de la década de los sesentas. Este magno edificio, fue adquirido en 1993 por la Empresa “GUTSA CONSTRUCCIONES”, la cual realizó un proyecto para albergar las oficinas del “World Trade Center Ciudad de México”. Este proyecto hace referencia a la edificación de una torre destinada a los servicios de Comercio Exterior, un Centro Internacional de Exposiciones y Convenciones, un Hotel de Lujo y un moderno Centro Comercial; para este ambicioso plan había que hacer las adecuaciones necesarias para que la construcción reuniera las condiciones que solicitaba el nuevo Reglamento de Construcciones para el D.D.F, en cuanto a desplazamientos<sup>1</sup> y resistencia de los elementos formados por traveses y muros, por lo que después de estudiar varias alternativas se concluyó que la propuesta de ampliar la torre existente daría mayor rigidez a la estructura.

A esta nueva ampliación de la torre se le denominó “Torre Nueva”, la cual está unida a la torre existente por un accesorio metálico que permite el desplazamiento vertical de la estructura, sin embargo, analizando los inconvenientes que se presentarían se determinó que la nueva edificación sufriría una contracción por secado en el concreto de 22 cm (en un periodo de cinco años), con respecto a una estructura de 20 años de edad, lo que generaría elementos mecánicos sobre la torre existente de tal magnitud que no sería capaz de soportar en su conjunto, y se presentarían desplazamientos permisibles a simple vista.

Para solucionar este problema se contó con el apoyo de personal especializado en concreto, el cual se llevó un año de pruebas para determinar un concreto que cubriera las especificaciones necesarias, es decir “un concreto con una contracción por secado de 300 millonésimas”. Después de varias pruebas se logró la dosificación de este concreto al que se le denominó “Concreto Plus K”.

Este trabajo fue elaborado con la ayuda del personal de CARSA (Concretos de Alta Resistencia S.A.), con la finalidad de dar a conocer este tipo de concreto y hacer una

descripción de la problemática que con lleva el querer explorar un campo tan amplio como lo es el concreto en México.

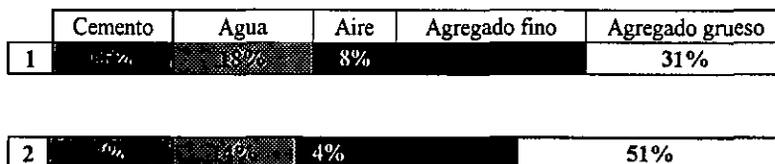
<sup>1</sup>Artículo 199,200 y 201 del Reglamento de Construcciones vigente para el Distrito Federal el cual establece que para el cálculo de este factor se utilizará  $(0.0012)$  (altura de entrepiso) y para desplazamientos permisibles  $480/L$  cuando  $L$ = altura de entrepiso.

## 1.1 CONCRETO

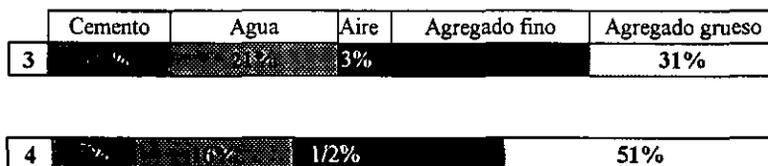
El concreto hidráulico es básicamente una mezcla de dos componentes agregados y pasta. La pasta compuesta de cemento portland y agua une a los agregados (arena, grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua.

La pasta esta compuesta de cemento portland, agua aire atrapado o incluido. La fig. 1.1 muestra que el volumen absoluto del cemento está comprendido usualmente entre el 7 y el 15% y el agua entre el 14 y 21%, los agregados constituyen aproximadamente del 60 al 75% del volumen total del concreto.

### Concreto con aire incluido



### Concreto sin aire incluido



Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados pequeños. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados grandes.

Fig. 1.1.

## ♦ CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

Las características del concreto hidráulico pueden variarse en un grado considerable, mediante el control de sus ingredientes, por lo tanto en una estructura específica, resulta económico utilizar un concreto que tenga las características exactas; el concreto para una estructura de un edificio debe poseer alta resistencia a la compresión, mientras que el concreto para una cortina de presa, debe ser durable, hermético y la resistencia relativa puede ser menor, los ingredientes que componen al concreto dan lugar a las siguientes características naturales.

A continuación se enlistan las más importantes:

**La trabajabilidad**, es una propiedad importante para muchas aplicaciones del concreto, aunque resulta difícil de evaluar en esencia, es la facilidad con la que pueden mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante puede manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de la homogeneidad (igualdad en toda la masa de sus propiedades), una característica es la consistencia o fluidez, para este fin se suele hacer la prueba de revenimiento que consiste en una mezcla dada puede aumentarse añadiendo agua o incrementando el porcentaje de fino (cemento o agregado), incluyendo el aire o incorporando un aditivo que reduzca los requerimientos de agua, no obstante, estos cambios afectan otras propiedades del concreto, a veces en forma adversa, por lo general el revenimiento especificado debe dar la consistencia deseada con la mínima cantidad de agua y cemento.

**La durabilidad** es otra propiedad importante del concreto, este debe ser capaz de resistir la intemperie, la acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en servicio.

La impermeabilidad es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse con frecuencia reduciendo la cantidad de agua en la mezcla, el exceso de agua deja vacíos y cavidades después de la evaporación y si están interconectados, el agua puede penetrar o atravesar el concreto. La inclusión de aire (burbujas diminutas) así como el curado (humedecimiento del concreto) cuidadoso por tiempo prolongado, suelen aumentar la impermeabilidad.

El cambio de volumen es otra característica del concreto, la expansión debida a las reacciones químicas entre los ingredientes del concreto puede ocasionar pandeo en losas y la contracción al secarse puede ocasionar grietas, la expansión debida a la reacción álcali-agregados puede reducirse con agregados que no sean reactivos.

La expansión puede reducirse o eliminarse añadiéndose a la mezcla materiales puzolánicos, como ceniza ligera; la expansión debida al calor de hidratación del cemento puede reducirse manteniendo lo más bajo posible el contenido de cemento, de preferencia tipo IV, y enfriando los agregados, agua y concreto en las cimbras.

La expansión debida a los aumentos de temperatura ambiente puede reducirse con la producción de concreto de menor coeficiente de dilatación, por lo general con agregados gruesos de menor coeficiente de dilatación.

La contracción por secado puede reducirse casi siempre disminuyendo el agua en la mezcla, ahora bien, con menor cantidad de cemento o con un curado cuidadoso en húmedo, también se reduce la contracción, por el contrario, la adición de puzolanas, salvo que permita una reducción de agua, aumenta la contracción al secar.

El cambio en el volumen, como resultado de la reacción química y de el envejecimiento dentro del concreto y por lo general, la contracción más bien que la expansión, suelen ser un tanto independientes del contenido del agua.

### ***1.1.1. GENERALIDADES SOBRE EL CEMENTO***

En 1824, Joseph Aspdin, un albañil inglés, obtuvo la patente por un cemento mejorado, al que llamó *Cemento Portland*; este nombre, fue concebido originariamente debido a la semejanza de color y calidad entre el cemento ya fraguado y una caliza obtenida en la cantera de Portland, Inglaterra; los cementos Portland se elaboran con la incorporación de una mezcla de materiales calcáreos y arcillosos. La materia prima se dosifica con todo cuidado para obtener las cantidades deseadas de cal, sílice, óxido de aluminio y óxido de hierro. Después de triturada, para facilitar la calcinación, la materia prima se pasa a un largo horno rotatorio que se mantiene a una temperatura alrededor de los 2700 °F, durante su calcinación sufre reacciones químicas y forma módulos duros, de un nuevo material llamado Clinker.

Los cementos Portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos. Hay cuatro compuestos que constituyen más del 90% del peso del cemento a saber *Silicato tricálcico, silicato dicálcico, ferroluminato tetracálcico y Aluminato tricálcico.* Cada uno de estos compuestos puede indentificarse en la estructura del clinker de Cemento Portland.

#### **♦ PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND**

Las normas NMX-C-1 limitan las propiedades de acuerdo al tipo de cemento. El cemento debe ser muestreado de conformidad con la norma NMX-C-55.

*FINURA.*- La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia, se manifiestan principalmente durante los primeros 7 días.

*SANIDAD.*- La sanidad se refiere a la capacidad de una pasta endurecida para conservar su volumen después del fraguado. La falta de sanidad es provocada por un

exceso en las cantidades de cal libre o de magnesio. Casi todas las especificaciones para el cemento Portland limitan los contenidos de magnesio (periclasa), así como la expansión registrada en la prueba de autoclave. Desde que en 1943 se adoptó la prueba de expansión en autoclave (NMX-C-62) prácticamente no ha ocurrido casos de expansión anormal que puedan atribuirse a la falta de sanidad.

*CONSISTENCIA.*- La consistencia se refiere a la movilidad relativa de una pasta de cemento o mortero recién mezclado ó bien a su capacidad de fluir. Durante el ensaye de cemento, se mezclan pastas de consistencia normal, misma que se define por una penetración de  $10 \pm 1$ mm de la aguja de Vicat, mientras se mezclan morteros para obtener ya sea una relación agua/cemento fija o para producir una cierta fluidez dentro de un rango dado, ésta se determina en una mesa de fluidez tal como se describe en la norma NMX-C-144. Ambos métodos, el de consistencia normal y el de fluidez sirven para regular los contenidos de agua de las pastas y morteros respectivamente que serán empleados en pruebas subsecuentes ambos permiten comparar distintos ingredientes con la misma penetración o fluidez.

*TIEMPO DE FRAGUADO.*- Para determinar si un cemento fragua de acuerdo con los tiempos especificados en la norma NMX-C-59, se efectúan pruebas usando el aparato de Vicat o la aguja de Gillmore. El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto; el fraguado final tampoco debe ocurrir demasiado tarde. Los tiempos de fraguado indican si la pasta esta desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. El yeso regula el tiempo de fraguado en el cemento. También influyen en el tiempo de fraguado la finura del cemento, la relación agua/cemento, y los aditivos usados. Los tiempos de fraguado de los concretos no están relacionados directamente con los tiempos de fraguado de las pastas debido a la pérdida de agua en el aire (evaporación) o en los lechos y debido a la diferencia de temperatura en la obra en contraste con la temperatura controlada que existe en el laboratorio.

*FRAGUADO FALSO.*- El fraguado falso (Norma NMX-C-132 para el método de la pasta y la norma NMX-C-85 para el método de mortero), se comprueba por una considerable pérdida de plasticidad sin que se desarrolle calor en gran abundancia poco tiempo después del mezclado. Desde el punto de vista de la colocación y del manejo, las tendencias del cemento Portland a provocar fraguado falso no causarán dificultades si el concreto se mezcla un mayor tiempo de lo normal o si es remezclado sin agregarle agua antes de ser transportado y colocado.

*RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.*- La resistencia a la compresión, tal como lo especifica la norma NMX-C-61, es la obtenida a partir de pruebas en cubos de mortero estándar de 5 cm; estos cubos se hacen y se curan de manera prescrita y utilizando una arena estándar.

Como se indica en la tabla 1.1 la resistencia a la compresión está influida por el tipo de cemento, para precisar, por la composición química y la finura del cemento. La norma NMX-C-61 sólo fija un mínimo de resistencia que es cómodamente rebasado por la mayoría de los fabricantes. Por lo anterior no se debe pensar que dos tipos de cemento portlan que cubran los mismos requisitos mínimos produzcan la misma resistencia en el mortero o en el concreto cuando no se hayan modificado las proporciones de las mezclas. En general las resistencias de los cementos no se pueden utilizar para predecir las resistencias de los concretos con exactitud debido a la gran cantidad de variables en las características de los agregados, mezclas de concreto y procedimientos constructivos. La uniformidad en la resistencia de un cemento que provenga de una misma fuente se puede determinar siguiendo los procedimientos marcados en la norma ASTM C-917.

**Tabla I.1. REQUISITOS DE RESISTENCIA PARA MORTEROS ELABORADOS CON DIFERENTES TIPOS DE CEMENTO**

TIPO DE CEMENTO	1 día	3 días	7 días	28 días	Denominación NMX-C
<b>CEMENTOS PORTLAND</b>					<i>1-180</i>
I	-	127	197	281*	
IA	-	102	158	225*	
II	-	105	176	281*	
	-	70+	120+	225*+	
IIA	-	84	141	225*	
	-	56+	95+	180*+	
III	-	246	-	-	
IIIA	-	197	-	-	
IV	-	-	70	176	
V	-	84	155	211	
<b>CEMENTOS MEZCLADOS</b>					<i>57-83</i>
I(SM), IS					
I(PM), IP	-	127	197	246	
II(SM)-A, IS-A					
I(PM)-A, IP-A	-	102	158	197	
IS(MS), IP(MS)	-	105	176	246	
IS-A(MS), IP-A(MS)	-	84	141	197	
S	-	-	42	105	
SA	-	-	35	88	
P	-	-	105	211	
PA	-	-	88	176	
<b>CEMENTO EXPANSIVO</b>	-	-	-		<i>C 845-80</i>
E-I	-	-	148	246	
<b>CEMENTOS DE ALBAÑILERIA</b>					<i>C 91-83a</i>
N			35	63	
S			91	148	
M	-	-	127	204	

\*REQUISITO OPCIONAL. + APLICABLE CUANDO SE ESPECIFICA EL CALOR OPCIONAL DE HIDRATACIÓN

### *1.1.2 AGREGADOS Y AGUA*

AGUA DE MEZCLADO PARA EL CONCRETO.- Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto.

En la tabla 1.2 se presentan seis análisis típicos, de suministros de agua para algunas ciudades y de agua de mar, estas aguas semejan en su composición la de suministros de agua doméstica para la mayor parte de las ciudades con más de 20,000 habitantes en los Estados Unidos y en el Canadá. El agua proveniente de cualquiera de estas fuentes es adecuada para producir concreto. Una fuente de abastecimiento cuyo análisis sea parecido a alguno de las aguas que aparecen en la tabla será probablemente satisfactoria para ser utilizada en el concreto.

Del agua que se tengan dudas, se puede utilizar para fabricar concreto si los cubos de mortero (Norma NMX-C-283), producidos por ella alcanzan resistencias a los siete días iguales al menos el 90% de especímenes testigo fabricados con agua potable o destilada. Además se deberán realizar los ensayos NMX-C-277, para asegurar que las impurezas en el agua no afecten el tiempo de fraguado del cemento acortándolo o prolongándolo. En la norma NMX-C-122 y en la norma American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) T26 se proponen criterios de aceptación para el agua que será empleada en el concreto (ver tabla 1.3).

Las impurezas excesivas en el agua no solo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también pueden ser causa de florescencia, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad. Por consiguiente se pueden fijar ciertos criterios límites opcionales en el contenido de cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua o se pueden desarrollar ensayos

adecuados para determinar el efecto que la impureza provoque sobre ciertas propiedades. Algunas impurezas pueden tener un efecto mínimo sobre la resistencia y el tiempo de fraguado, pero pueden afectar de manera adversa a la durabilidad y a algunas otras propiedades.

**Tabla 1.2 ANÁLISIS TÍPICO DE SUMINISTROS DE AGUA A CIUDADES Y DE AGUA DE MAR, PARTES POR MILLÓN**

Productos Químicos	Análisis No.						Agua de mar*
	1	2	3	4	5	6	
Silice	2.4	0	6.5	9.4	22	3	-
Hierro	0.1	0	0	0.2	0.1	0	-
Calcio	5.8	15.3	29.5	96	3	1.3	50-480
Magnesio	1.4	5.5	7.6	27	2.4	0.3	260-1410
Sodio	1.7	16.1	2.3	183	215	1.4	2190-12,200
Potasio	0.7	0	1.6	18	9.8	0.2	70-550
Bicarbonato	14	35.8	122	334	549	4.1	-
Sulfato	9.7	59.9	5.3	121	11	2.6	580-2810
Cloruro	2	3	1.4	280	22	1	3960-20,000
Nitrato	0.5	0	1.6	0.2	0.5	0	-
Sólidos disueltos totales	31	250	125	983	564	19	35,000

**Tabla 1.3 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA SUMINISTROS DE AGUAS DUDOSAS**

	LIMITES	MÉTODO DE ENSAYE
Resistencia a la compresión a 7 días, porcentaje mínimo respecto al testigo	90%	C109*
Tiempo de fraguado desviación con respecto al testigo Hr. min.	de 1:00 antes a 1:30 después	C191*

\* Las comparaciones deberán basarse en proporcionamientos fijos, así como en igual volumen de agua de prueba comparado con el agua potable o agua destilada de la mezcla de control.

**CLORUROS.**- Los cloruros se pueden introducir en el concreto, ya sea con los ingredientes separados (aditivos, agregados, cemento y agua) o a través de la exposición a las sales anticongelantes, al agua de mar o al aire cargado de sales cerca de las costas. El colocar un límite aceptable del contenido de cloruro para cualquier ingrediente, como el agua de mezclado, es una tarea difícil, debido a las diversas fuentes posibles de iones cloruro en el concreto. Un límite aceptable en el concreto dependerá principalmente del tipo de estructura y del medio al cual esté expuesta durante su vida de servicio.

Habitualmente un elevado contenido de sólidos disueltos en agua natural, se debe a un fuerte contenido de cloruro de sodio o de sulfato de sodio, ambos se pueden tolerar en grandes cantidades. En un concreto que vaya a estar seco y tenga un bajo potencial de reacciones corrosivas, se pueden tolerar normalmente concentraciones de 20,000 ppm de cloruro de sodio. El agua que se utilice en concreto preesforzado o en un concreto que vaya a tener algún armado con aluminio no deberá contener cantidades nocivas de ion cloruro. Las aportaciones de cloruros de los ingredientes distintos al agua también se deberán tomar con consideración.

El reglamento de las construcciones de concreto reforzado del Instituto Americano de Concreto, ACI 318, limita el contenido de ion cloruro soluble al agua en el concreto, a los siguientes porcentajes en peso del cemento:

- |   |       |
|---|-------|
| ➤ Concreto presforzado.   | 0.06% |
| ➤ Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su servicio.                                 | 0.15% |
| ➤ Concreto reforzado que vaya a estar seco o protegido contra la humedad durante su servicio. | 1.00% |

DIVERSAS SALES INORGÁNICAS.- Las sales de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo presentes en el agua pueden provocar una reducción considerable en la resistencia y también grandes variaciones en el tiempo de fraguado. De éstas, las más activas son las sales de zinc, de cobre y de plomo, las sales que son especialmente activas como retardantes, incluyen al yodato de sodio, fosfato de sodio, arsenato de sodio y borato de sodio. Todas ellas pueden retardar fuertemente el desarrollo del fraguado y de la resistencia cuando se les encuentra en concentraciones de unas cuantas décimas porcentuales del contenido en peso del cemento. Generalmente se pueden tolerar en el agua de mezclado concentraciones de estas sales hasta de 500 ppm.

Otra sal que puede ser dañina al concreto es el sulfuro de sodio (combinación de azufre con sodio); aún la presencia de 100 ppm requiere de ensayos.

AGUA DE MAR.- El agua de mar que contenga hasta 35,000 ppm de sales disueltas, generalmente es adecuada para elaborar concreto simple. Aproximadamente el 78% de la sal es cloruro de sodio y sulfato de magnesio. Aún cuando un concreto hecho con agua de mar puede tener una resistencia temprana mayor que un concreto normal, sus resistencias a edades mayores (después de 28 días) pueden ser inferiores. Esta reducción de resistencia puede ser compensada reduciendo la relación agua-cemento.

El agua de mar no es adecuada para producir concreto reforzado con acero y no deberá usarse en concretos preesforzados debido al riesgo de corrosión del refuerzo, particularmente en ambientes cálidos y húmedos.

El sodio y el potasio de las sales presentes en el agua de mar que se utilice para fabricar concreto, se puede combinar con agregados reactivos a los álcalis de la misma manera que los álcalis en el cemento. En consecuencia el agua de mar no se deberá usar para producir concretos que tengan agregados potencialmente reactivos con los

álcalis, aún cuando el contenido de álcalis en el cemento sea bajo. El agua de mar que se utiliza para producir concreto, también tiende a causar florescencia y humedad en superficies de concreto expuestas al aire y al agua.

- **AGREGADOS DEL CONCRETO**

La importancia de utilizar el tipo y la calidad de agregados adecuados, no debe ser subestimada pues los agregados finos y los gruesos ocupan comúnmente el 60% a 75% del volumen del concreto e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, en las proporciones de la mezcla y la economía. Los agregados consisten en arena natural o triturada siendo la mayoría de sus partículas menores de 5.0mm. Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores de 5.0mm y generalmente entre 9.5mm y 38.0mm (Norma NMX-C-111). Algunos depósitos naturales de agregado, a veces llamados gravas de minas, consisten en grava y arena que pueden ser utilizadas en el concreto luego de un tratamiento mínimo. La grava y la arena naturales, usualmente se excavan o se dragan de alguna mina, río, lecho o lago.

Los agregados para concreto que se encuentran en estado natural, son una mezcla de rocas y minerales, un mineral es una sustancia sólida natural que tiene una estructura interna ordenada y una composición que varía dentro de límites muy estrechos. Las rocas ( que depende de su origen se pueden clasificar como ígneas, sedimentarias o metamórficas), se componen generalmente de varios minerales; por citar un ejemplo, la mayor parte de las calizas consisten en calcita, dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. El interperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla.

El concreto reciclado o concreto de desperdicio triturado, es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde se escaseen agregados de calidad. Los cuales deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben de consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimiento de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de desquebrarse son indeseables. Los agregados que contengan cantidades apreciables de esquistos o de otras rocas esquistas, de materiales suaves y porosos, y ciertos tipos de horsteno deberán de evitarse en especial, puesto que tienen baja resistencia al intemperismo y pueden ser causa de defectos en la superficie tales como erupciones.

OPTIMIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO.- Es un hecho de todos conocido que un porcentaje máximo en volumen de agregados, sobre todo pétreos, tiene un efecto positivo en las propiedades del concreto, así como en la resistencia, características de flujo plástico, contracción por secado y permeabilidad. Esto se atribuye al hecho de que la pasta de cemento endurecido constituye el elemento más débil en lo que se refiere a las propiedades antes citadas, siempre y cuando los agregados sean "sanos" y que la pasta endurecida de concreto sea de alta calidad, resulta recomendable obtener un esqueleto pétreo empacado lo más densamente posible y justamente con la calidad de pasta de cemento que sea necesaria

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

Las características de importancia de los agregados para concreto se enlistan en la siguiente tabla 1.4

**Tabla 1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS**

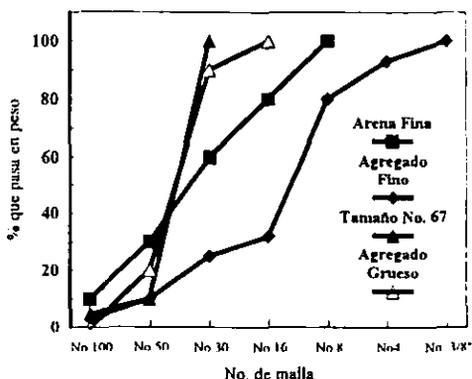
CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS	ASPECTOS FLUIDOS EN EL CONCRETO	
	CONCRETO FRESCO	CONCRETO ENDURECIDO
GRANULOMETRÍA	MANEJABILIDAD REQUERIMIENTO DE AGUA SANGRADO	RESISTENCIA MECÁNICA CAMBIOS VOLUMÉTRICOS ECONOMÍA
LIMPIEZA (materia orgánica, barro, arcilla, y otros fines indeseables)	REQUERIMIENTO DE AGUA CONTRACCIÓN PLÁSTICA	DURABILIDAD RESISTENCIA MECÁNICA CAMBIOS VOLUMÉTRICOS
SANIDAD	PESO UNITARIO	PESO UNITARIO
ABSORCIÓN Y POROSIDAD	PÉRDIDA DE REVENIMIENTO CONTRACCIÓN PLÁSTICA	DURABILIDAD PERMEABILIDAD
FORMA DE PARTICULAS	MANEJABILIDAD REQUERIMIENTO DE AGUA SANGRADO	RESISTENCIA MECÁNICA CAMBIOS VOLUMÉTRICOS ECONOMÍA
TEXTURA SUPERFICIAL	MANEJABILIDAD REQUERIMIENTO DE AGUA	DURABILIDAD RESISTENCIA AL DESGASTE ECONOMÍA
REACTIVIDAD DE LOS ALCALIS		DURABILIDAD
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN		MODULO DE ELASTICIDAD CAMBIOS VOLUMÉTRICOS
RESISTENCIA MECÁNICA		RESISTENCIA MECÁNICA
PARTICULAS FRIABLES Y TERRONES DE ARCILLA	CONTRACCIÓN PLÁSTICA	RESISTENCIA MECÁNICA DURABILIDAD REVENTONES SUPERFICIALES
COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA		PROPIEDADES TÉRMICAS

\* la mayoría de las pruebas y características enlistadas se mencionan en las Normas Oficiales Mexicanas

**GRANULOMETRÍA.-** La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma NMX-C-49). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar NMX-C-150-73 para agregado fino tienen aberturas que varían desde la malla No. 100 hasta 9.52 mm. Existen varias razones por las que se especifican los límites de la granulometría y el tamaño máximo de agregado.

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las porciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente a la uniformidad del concreto de una revoltura a otra. Las arenas muy finas a menudo resultan antieconómicas; las arenas muy gruesas y el agregado grueso pueden producir mezclas rígidas, no trabajables. En general, aquellos agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y tienen una curva granulométrica suave producirán los resultados más satisfactorios.



Las curvas indican los límites especificados en la norma NMX-C-150-73, para agregado fino y para un número de tamaño (Tamaño de granulometría) de agregado grueso típico.

**PESO VOLUMÉTRICO Y VACÍOS.-** El volumen al que se hace referencia, es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado. El peso volumétrico aproximado de un agregado usado en un concreto de peso normal varía desde aproximadamente  $1,300 \text{ kg/m}^3$  a  $1,760 \text{ kg/m}^3$ . El contenido de vacíos entre partículas afecta la demanda de mortero en el diseño de la mezcla.

Los métodos para determinar el peso volumétrico de los agregados y el contenido de vacíos, se dan en la norma NMX-C-73. Se describen 3 métodos para consolidar el

agregado en el recipiente, dependiendo del tamaño máximo de agregado: varilla, sacudido y vaciado con pala.

**PESO ESPECÍFICO.**- El peso específico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamientos de mezclas y control, por ejemplo en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. Generalmente no se emplea como índice de calidad del agregado, aunque ciertos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo tengan pesos específicos bajos. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9\*.

(\*la densidad del agregado usada en los cálculos de proporcionamiento de mezclas se determina multiplicando el peso específico por la densidad del agua. El valor de la densidad del agua normalmente empleado es de  $1000 \text{ kg/m}^3$ )

El peso específico de un agregado se puede determinar considerando que ha sido secado al horno totalmente o que se encuentra saturado y superficialmente seco. Ambos pesos específicos se pueden utilizar en los cálculos para el proporcionamiento de mezclas de concreto. Los agregados secados en el horno, no contienen ninguna cantidad de agua libre o absorbida.

**PROPIEDADES DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO.**- El intemperismo originado por el humedecimiento y secado también puede afectar a la durabilidad de los agregados. Los coeficientes de expansión y de contracción de las rocas varían con la temperatura y el contenido de humedad. En algunos agregados se producen deformaciones severas si ocurren humedecimientos y secados alternos, y con ciertos tipos de roca esto puede provocar un incremento permanente en el volumen del concreto así como una eventual falla. Los terrones de arcilla y otras partículas

desmenuzables se pueden desintegrar rápidamente si ocurren ciclos repetidos de humedecimiento y secado

**ABSORCIÓN Y HUMEDAD SUPERFICIAL.-** La absorción y humedad superficial de los agregados se determina de acuerdo con las normas NMX-C-166 de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla, la estructura interna de una partícula de agregado, está constituida de material sólido y de vacíos que puedan o no contener agua.

Las condiciones de humedad de los agregados se designan como:

- *Secado al horno.-* Completamente absorbentes.
- *Secados al aire.-* Secos en la superficie de la partícula pero conteniendo cierta humedad interior, siendo por lo tanto algo absorbentes.
- *Saturados y superficialmente secos (SSS).-* No absorben ni seden agua a la mezcla de concreto
- *Húmedos.-* Contienen un exceso de humedad en la superficie (agua libre).

La cantidad de agua utilizada en la mezcla de concreto, se debe ajustar a las condiciones de humedad de los agregados de manera que cubra con los requerimientos de agua. Si el contenido de agua de la mezcla de concreto no se mantiene constante, la resistencia a la compresión la trabajabilidad y otras propiedades varían de una revoltura a otra. El agregado grueso y fino generalmente tiene niveles de absorción (contenidos de humedad en estado SSS) dentro de los rangos de 0.2% a 4% y 0.2% a 2% respectivamente.

Los contenidos de agua libre normalmente varían desde 0.5% hasta 2% para el agregado grueso y desde 2% hasta 6% para agregado fino, el contenido máximo del agua de un agregado grueso drenado, usualmente es menor que el de un agregado fino,

la mayoría de los agregados finos pueden mantener un contenido de humedad drenado máximo, aproximadamente del 3% a 8%, mientras que los agregados gruesos solo pueden mantener aproximadamente de 1% a 6%.

El abundamiento, es el aumento del volumen total de agregado fino húmedo respecto al mismo peso seco. La tensión superficial por la humedad mantiene separadas las partículas, provocando el aumento de volumen. El abundamiento de los agregados finos, ocurre cuando se traspalean o se mueven de cualquier forma en condición húmeda, aunque hayan sido consolidados totalmente, puesto que la mayoría de los agregados finos se entregan en condición húmeda, puede ocurrir grandes variaciones en las cantidades para las mezclas si se hace la dosificación de acuerdo con el volumen. Por esta razón la buena práctica ha favorecido con mucho que el agregado sea pesado y se le ajuste por contenido de humedad cuando se dosifica el concreto.

**RESISTENCIA Y CONTRACCIÓN.-** La resistencia de un agregado se prueba en varias ocasiones y generalmente no influye tanto en la resistencia de un concreto de resistencia normal como la resistencia de la pasta y la adherencia pasta-agregado. Sin embargo, la resistencia del agregado, adquiere gran importancia en los concretos de resistencias elevadas. Las resistencias a la tensión de los agregados varían desde 20 kg/cm<sup>2</sup> hasta 160 kg/cm<sup>2</sup> y las resistencias a la compresión varían desde 700 kg/cm<sup>2</sup> hasta 2,810 kg/cm<sup>2</sup>.

Los diferentes tipos de agregado tienen diferentes resistencias a la compresión, módulos de elasticidad, y características de contracción, relacionadas con la humedad que puede influir como características del concreto. Los agregados con características de absorción elevada pueden tener características de contracción elevada al secarse.

## *1.2 INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS SOBRE EL CEMENTO*

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto además del cemento Portland, del agua y de los agregados que se agregan a la mezcla inmediatamente antes de mezclarlo durante el mismo. Por su función se les puede clasificar a los aditivos como:

- Aditivos inclusores de aire
- Aditivos reductores de agua
- Aditivos retardantes
- Aditivos acelerantes
- Superplastificantes
- Aditivos minerales finamente divididos
- Aditivos diversos, para mejorar la trabajabilidad, la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechado, formadores de gas, colorantes, inhibidos, de la corrosión y ayudas para bombeo.

El concreto debe de ser trabajable, capaz de dársele acabados, fuerte durable impermeable y resistente al desgaste, estas cualidades frecuentemente se pueden obtener de una manera fácil y económica seleccionando los materiales adecuados sin que se tengan que recurrir a los aditivos (excepto los aditivos inclusores de aire cuando son necesarios).

Las principales razones del empleo de los aditivos son:

- Para reducir el costo de elaboración en el concreto.
- Para obtener algunas propiedades en el concreto de manera más efectiva que por otros medios.
- Para asegurar la calidad del concreto durante las etapas del mezclado, transporte y colocación y curado en condiciones ambientales adversas.
- Para superar ciertas eventualidades durante las operaciones del colado.

## ♦ EFECTIVIDAD DE LOS ADITIVOS

La efectividad de cada mezcla puede variar según su concentración en el concreto y los distintos constituyentes del mismo, especialmente el cemento.

Los aditivos pueden tener una o más funciones secundarias y su uso puede acarrear efectos colaterales. *La función principal* se caracteriza por los efectos que ejerce sobre las propiedades del concreto. *La función secundaria* ocasiona efectos generalmente independientes de la función principal.

El uso de un aditivo puede ocasionar ciertos efectos sobre las propiedades o comportamiento del concreto que, aunque sean inesperadas, resultan inevitables. Estos efectos se conocen como efectos colaterales (entre los ejemplos tenemos una pérdida de resistencia mecánica, retardo en el fraguado, mayor contracción, etc.). Estos efectos colaterales deben ser detectados o confirmados casi siempre, por medio de investigaciones preliminares específicas para cada caso.

## ♦ PROPIEDADES DEL CONCRETO QUE RESULTAN AFECTADAS POR LOS ADITIVOS

*Estado Fresco.*- Este es el periodo de tiempo durante el cual el concreto ya fabricado se puede manejar, transportar, colar y darle acabado antes de que ocurra el fraguado inicial. La masa unitaria es la masa del concreto fresco por unidad de volumen. Este volumen puede ser absoluto o aparente. El volumen absoluto es sin aire. El volumen aparente incluye el contenido de aire.

Las mezclas de concreto que contienen cenizas volantes o escorias granuladas de alto horno molidas, casi siempre requieren menos agua (aproximadamente de 1% a 10%)

para obtener un cierto revenimiento que los concretos que solo contienen cementos Portland. Existen sin embargo, algunas cenizas volantes, escorias molidas y puzolanas naturales en que lo inverso es cierto; esto es, que el concreto fabricado con tales ingredientes requerirá mas agua que sin ellos. La ceniza volante reduce la demanda de agua de la misma manera que lo hacen los reductores de agua químicos en estado líquido.

La trabajabilidad es la combinación de propiedades del concreto recién mezclado que permite sea colado, compactado y acabado fácilmente sin que pierda homogeneidad. En esta característica se incluye:

- Consistencia: la capacidad relativa para fluir del concreto recién mezclado.
- Plasticidad: la propiedad del concreto recién mezclado, que determina su resistencia a la deformación o facilidad del moldeado.
- Cohesión: la propiedad de un concreto recién mezclado, que le permite conservar su homogeneidad.
- Pérdida de consistencia: la reducción de consistencia, que ocurre con el tiempo respecto a una medición inicial tomada sobre la misma mezcla.
- Bombeabilidad: la capacidad de transportar el concreto fresco mediante presión a través de una tubería rígida o de un conducto flexible.
- Capacidad de compactación: la capacidad del concreto o mortero recién colocados de reducir su volumen inicial al mínimo espacio posible por medio de vibración, centrifugación, apisonado, o alguna combinación de los métodos anteriores, a fin de moldearse en cimbras y alrededor de partes empotradas y del acero de refuerzo, así como para eliminar los huecos que no corresponden al aire incluido.
- Capacidad de recibir acabados: la capacidad del concreto recién colado para ser nivelado, pulido o recibir cualquier trabajo en su superficie a fin de obtener la apariencia y sea adecuado para el trabajo que se requiere.

*Etapa Endurecida.*- La ceniza volante, la escoria granulada de alto horno molida, el humo de sílice y otros aditivos minerales finamente divididos, contribuyen a la adquisición de resistencia al concreto, sin embargo la velocidad a la adquisición de un concreto que contenga aditivos, variará con frecuencia respecto de la de un concreto que emplee exclusivamente cemento Portland como material cementante.

La resistencia a la flexión, tensión y a la torsión se ve afectada de igual manera que la resistencia a la compresión. Debido a la menor necesidad de hidratación cuando se emplean algunos de estos aditivos, la adquisición de resistencias a edades tempranas puede ser menor que la de un concreto comparable sin el aditivo, especialmente si las temperaturas de curado son bajas.

Los aditivos minerales son a menudo esenciales para producir concretos de alta resistencia. se han utilizado cenizas volantes especialmente en la producción de concretos de alta resistencia de entre 400 y 1000 kg/cm<sup>2</sup>.

La adherencia del concreto al concreto o del concreto al acero, al igual que las resistencias al impacto y la abrasión del concreto, se relacionan con la resistencia a la compresión. Los aditivos minerales por lo regular no afectan a estas propiedades mas allá de su influencia sobre la resistencia.

### ***1.3 SUPERFLUIDIFICANTES***

Recientemente se han introducido en la industria del concreto nuevos aditivos a los que se hace referencia como superfluidificantes. Estos nuevos aditivos aumentan la reducción de agua y la trabajabilidad del concreto, en alto rango.

La cantidad de agua que se agrega al concreto para hacerlo trabajable es mucho mayor que la requerida para la hidratación del cemento Portland. más del 50% de esta agua agregada no sirve más que para lubricar la mezcla. Esta agua adicional afecta adversamente la contracción, la durabilidad y la resistencia del concreto.

Los aditivos son materiales que se añaden al concreto, además del cemento, el agua y los agregados. Se emplean principalmente para dar al concreto determinada calidad o para mejorar las cualidades normales del concreto sin aditivos.

Durante muchos años se produjo concreto de buena calidad sin usar aditivos: concreto resistente, durable, trabajable, de fácil acabado, elaborados con diseños de mezcla apropiados y materiales adecuados, que demostró ser satisfactorio. Actualmente se siguen elaborando especificaciones que admiten agentes inclusores de aire en el concreto pero ningún otro aditivo.

Los aditivos reductores de agua se añaden al concreto para disminuir la demanda de agua para un revenimiento determinado sin menoscabo de la trabajabilidad. Estas metas se logran en promedio con una reducción del 12 al 15% del contenido total del agua. Más aún una mezcla con este reducido contenido de agua requiere de un factor de cemento menor para conservar la misma relación agua-cemento.

Los materiales constituyentes de los concretos de alta resistencia son comunes en un principio, a los habituales empleados en la fabricación de concretos tradicionales. La necesidad de obtener resistencias a compresión, a 28 días de edad, iguales o superiores a 60MP implica la necesidad de adoptar materiales seleccionados y relaciones agua/cemento no superiores a 0.40. Para valores tan bajos de dicha relación resulta obligada la incorporación de un agente reductor de agua de alto rango o superfluidificante, que permita la obtención de la docilidad necesaria del concreto.

El desarrollo de los aditivos superfluidificantes reductores de agua se inicia en Japón en 1958. Su uso industrial comienza en Alemania y Japón en 1964 y se extiende

rápidamente, durante la década de los años 70, en el Reino Unido, U.S.A., Canadá, Italia, etc. Su descubrimiento marca el comienzo de una etapa tecnológica en la fabricación del concreto en la que es posible la obtención de productos con características consideradas incompatibles hasta entonces: Concretos fluidos, sin segregación y baja relación agua/cemento o concretos fluidos de baja contracción y alta o muy alta resistencia.

Según su composición, los aditivos reductores de agua de alta actividad o superfluidificantes son habitualmente clasificados en cuatro categorías:

CATEGORÍA A: Condensados de melamina -formaldehído sulfonado

CATEGORÍA B: Condensados de naftaleno -formaldehído sulfonado

CATEGORÍA C: Lignosulfatos modificados

CATEGORÍA D: Otros componentes orgánicos, tales como ésteres del ácido sulfúrico, ésteres del ácido sulfúrico, ésteres de carbohidratos, etc.

Habitualmente los aditivos integrados en las categorías A y B son los más empleados en la industria del concreto.

Los productos de la categoría A se introducen en el mercado Alemán en 1964, siendo utilizados a mediados de los años 70 en casi 2 millones de metros cúbicos de concreto fabricados en sitio. El objeto principal que se pretendía inicialmente con su uso era la alta fluidez exenta de segregación; la alta resistencia obtenida fue considerada en principio una característica secundaria adicional, que tuvo su mayor aplicación en la industria de los prefabricados.

Los productos de categoría B son desarrollados en Japón y comienzan a ser utilizados en 1964. Fueron usados fundamentalmente en elementos prefabricados de alta

resistencia, estimándose que se produjeron casi 25 millones de metros cúbicos de concreto en los primeros 14 años de su utilización.

## COMPATIBILIDAD CEMENTO-SUPERPLASTIFICANTES

En ocasiones cuando se utilizan elevadas dosificaciones en superplastificantes en concretos de baja relación agua-cemento, se observan efectos reológicos muy diferentes. Así la variación en la marca del cemento empleado puede implicar variaciones importantes en la docilidad del concreto resultante, o en los tiempos de fraguado y endurecimientos posteriores. Los conocimientos actuales no permiten definir con precisión los complejos fenómenos de comportamiento de los superplastificantes, aunque es posible que exista una relación entre la naturaleza del contracción utilizado para neutralizar el superplastificante y el comportamiento reológico del concreto.

En el método de acción de los superplastificantes pueden considerarse tres etapas correlativas:

- Absorción por las partículas de cemento de los polímeros en la interfase sólido/líquido.
- Carga de las superficies de los granos con fuerzas electrostáticas del mismo signo que consecuentemente se repelen.
- Aparición de tensiones.

Algunos autores apuntan la posibilidad de la existencia de una fuerte interacción entre los superplastificantes y las diferentes formas de sulfato cálcico introducido como regulador de fraguado durante la molienda del clinker.

La regularización del contenido de yeso incorporado por los fabricantes de cemento está orientada a incorporar suficientes iones de yeso en la disolución para no permitir la formación acelerada de "ettringita".

Posiblemente la drástica reducción en la relación agua/cemento introducida en los concretos de alta resistencia pueda entorpecer, en determinadas circunstancias, la disolución de dichos iones y, como consecuencia, provocar los endurecimientos prematuros o falsos fraguados que en ocasiones son observados. A veces se ha comprobado que cementos y aditivos que satisfacen respectivamente las exigencias normativas correspondientes, desarrollan, al ser puestos en contacto, comportamientos reológicos inexplicables que conducen a pérdidas de trabajabilidad del concreto inaceptables; en tales casos se habla de incompatibilidad entre cemento y aditivo. La única forma de prevenir la aparición en obra de tales incompatibilidades entre cemento y aditivo consiste en la realización de ensayos previos en condiciones controladas de laboratorios.

La dosificación normalmente utilizadas en la fabricación de concreto de alta resistencia oscilan entre 5 y 20 litros/m<sup>3</sup> (supuesto un 60% de solución líquida). Si las circunstancias lo aconsejan, no existe incompatibilidad en la adición conjunta de lignosulfonatos y formaldehídos a una misma masa de concreto.

#### TIPOS DE ADITIVOS:

Atendiendo a las cualidades inherentes de los productos, la norma ASTM C-494 considera siete tipos claramente diferenciados:

TIPO A: Reductores de agua

TIPO B: Retardadores de fraguado

TIPO C: Aceleradores de fraguado

TIPO D: Reductores de agua y retardadores de fraguado

TIPO E: Reductores de agua y aceleradores de fraguado

TIPO F: Reductores de agua de alto rango

TIPO G: Reductores de agua de alto rango y retardadores de fraguado

**ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA.-** Los aditivos reductores de agua se emplean para disminuir la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un cierto

concreto con un cierto revenimiento, reducir la relación agua-cemento o para aumentar el revenimiento. Los reductores de agua típicos disminuyen el contenido de agua en aproximadamente 5% a 10%. Los reductores de agua de alto rango reducen el contenido de agua de 12% a 30%. El hecho de agregar un aditivo reductor de agua a una mezcla sin haber disminuido el contenido de agua puede producir una mezcla con un revenimiento mucho mayor. No obstante, la velocidad en la pérdida de revenimiento no se reduce, sino que incluso aumenta en muchos casos. La pérdida rápida de revenimiento tiene como resultado una reducción en la trabajabilidad así como un mejor tiempo para colocar el concreto.

Con los aditivos reductores de agua generalmente se obtiene un aumento en la resistencia porque se reduce la relación agua-cemento. A pesar de la reducción en el contenido de agua, los aditivos reductores de agua pueden causar incrementos considerables en la contracción por secado. El emplear un reductor de agua para producir el contenido de agua y cemento del contenido de una mezcla de concreto mientras se mantiene una relación agua-cemento constante, puede dar como resultado una resistencia a compresión igual o menor, y puede aumentar la pérdida de revenimiento en un factor de dos o más.

Dependiendo de su composición química, los aditivos reductores de agua pueden disminuir, aumentar o no tener ningún efecto en el sangrado. Muchos aditivos reductores de agua también pueden retardar el tiempo de fraguado del concreto. Algunos se les modifica para producir varios grados de retardo, mientras que otros no afectan significativamente el tiempo de fraguado. Algunos aditivos reductores de agua, como los lignosulfatos, también pueden incluir algo de aire en el concreto.

La efectividad de los reductores de agua en el concreto es función de su composición química, de la temperatura del concreto, de la composición y finura del cemento, del

contenido del cemento, y de la presencia de otros aditivo. Algunos aditivos son más efectivos al emplearse en mezclas pobres y cementos con contenidos bajos de álcalis o de aluminato tricálcico. (Tabla 1.5)

**Tabla 1.5 CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS PARA CONCRETO**

TIPO DE ADITIVO	EFEECTO DESEADO	MATERIAL
Accelerantes ASTM C494, TIPO C	Acceleran el fraguado y el desarrollo de la resistencia a edad temprana	Cloruro de calcio (ASTM D98)
Exclusores de aire	Disminuyen el contenido de aire	Fosfato tributilo, flato dubutilo, alcohol octilo, ésteres insolubles al agua de ácido carbónico y bórico, silicones
Aditivos inclusores de aire ASTM 260	Mejoran la durabilidad en los ambientes en que existe congelación, deshielo, productos químicos descongelantes, sulfatos y reactividad a los álcalis	Sales de resina de madera (resina vinsol) algunos detergentes sintéticos Sales de lignina sulfatada Sales de ácidos de petróleo Sales de material proteináceo Ácidos grasos y resinosos y sus sales Sulfatos de hidrocarburos sulfonados
Reductores de reactividad con álcalis	Reducen la expansión provocada por la reactividad con los álcalis	Puzolanas (ceniza volante, humo de sílice), escoria de alto horno, sales de litio y de barrio, agentes inclusores de aire
Aditivos para unir	Mejoran la unión	Hule, cloruro de polivinilo, acetato de polivinilo, acrílicos, copolímeros de butadienoestireno, látex
Agentes colorantes	Concreto con color	Negro de humo modificado, óxido de fierro, tierra de sombra, óxido de cromo, óxido de titanio, azul cobalto (ASTM C979)
Inhibidores de la corrosión	Reducen el avance de la corrosión del acero en un ambiente de cloruros	Nitrito de calcio, nitrito de sodio, benzoato de sodio, algunos fosfatos o fluosilicatos, fluoaluminatos
Aditivos a prueba de humedad	Retardan la penetración de la humedad en el concreto seco	Jabones de calcio o estearato de amonio Uoleato Estearato butilo Productos de petróleo
<b>ADITIVOS MINERALES FINAMENTE DIVIDIDOS</b>		
Cementantes	Propiedades hidráulicas Sustitución parcial del cemento	Escoria de alto horno granulada molida (ASTM c989) Cemento natural Calidráulica hidratada (ASTM 141)

Puzolanas	Actividad puzolánica Mejoran la trabajabilidad, la plasticidad, la Resistencia a los sulfatos; reducen la Reactividad con los álcalis, la Permeabilidad y el calor de hidratación	Tierras diatomáceas, horstenoos Opalinos, arcillas, pizarras, tufas Volcánicas, pumicitas, cenizas volantes, Humo de sílice
Puzolánicos y cementantes	Los mismos que en las categorías de cementantes y puzolánicos	Cenizas volantes con contenidos altos de calcio (ASTM C618, Clase C) escoria de alto horno granulada
Nominalmente inertes	Mejoran la trabajabilidad relleno	Mármol, dolomita, cuarzo, granito
Fungicidas, germicidas e insecticidas	Inhiben o controlan el crecimiento de bacterias y hongos	Fenoles polihalogenados Emulsiones de dieldrin Compuestos de cobre
Formadores de gas	Provocan expansión antes de que se presente el fraguado	Polvo de aluminio Jabón de resina y goma vegetal o animal Saponina Proteínas hidrolizadas
Agentes para morteros	Ajustan propiedades de los morteros (lechadas) para aplicaciones específicas	Vea los aditivos inclusores de aire, acelerantes, retardantes y agentes para la trabajabilidad
Impermeabilizantes	Disminuyen la permeabilidad	Humo de sílice Cenizas volantes Escoria sólida Puzolanas naturales Reductores de agua Látex
Ayudas de bombeo	Mejoran la capacidad de bombeo	Polímeros orgánicos y sintéticos Floculantes orgánicos Emulsiones orgánicas de parafina, Alquitrán, asfalto Bentonitas y sílice pirogémicas Puzolanas naturales Cenizas volantes
Retardantes	Retardan el tiempo de fraguado	lignina Bórax Azúcares Ácido tartárico y sales
Superplastificantes	Concreto con mayor fluidez Disuelven la relación agua-cemento	Condensados de formaldehído de Melanina sulfonados Condensadores de formaldehído de Naftaleno sulfonados Lignosulfonatos
Superfluidificantes y retardantes	Concreto con mayor fluidez y con retardo en el fraguado	Igual a los superplastificantes y también los reductores de agua
reductores de agua	Reducen la demanda de agua al menos 5%	Lignosulfonatos Ácidos carboxílicos Tienden a retardar el fraguado por lo que se agrega un acelerante
Reductores de agua y acelerantes	Reducen al agua mínimo en 5% y aceleran el fraguado	Igual a los aditivos reductores de agua, TIPO A ( se agrega un acelerante)
Reductores de agua y retardantes	Reducen al agua mínimo en 5% y aceleran el fraguado	Igual a los aditivos reductores de agua, TIPO A
reducen al agua mínimo en 12%	Reducen al agua mínimo en 12%	Igual a los aditivos superplastificantes y reductores de agua
Agentes para la trabajabilidad	Mejoran la trabajabilidad	Aditivos inclusores de aire Aditivos minerales Reductores de agua

- **ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES (Reductores de Agua de alto rango)**

Los aditivos superplastificantes son aditivos reductores de agua de alto rango que cubren las especificaciones de ASTM C1017 y C494 Tipos F Y G, que se agregan a los concretos de revenimiento y relación agua cemento bajos a normales para producir concretos fluidos de alto revenimiento. Los concretos producidos son concretos muy fluidos pero trabajables los cuales se pueden colocar con poca o ninguna vibración o compactación, pudiendo quedar todavía libres de sangrado o segregación excesivos. El concreto fluido se emplea:

1) En colados de secciones delgadas, 2) En áreas que tengan el acero de refuerzo cercanamente espaciado o muy congestionado, 3) En colados con tubo-embudo (bajo el agua), 4) Como concreto bombeable para disminuir la presión de la bomba, obteniendo con ello un aumento en la distancia de bombeo horizontal y vertical, 5) Las áreas donde los métodos convencionales de consolidación no se puedan emplear o resulten poco prácticos, y 6) Para aminorar los costos de manejo. Con la adición de un superplastificante a un concreto con revenimiento de 7.5 cm. se puede producir fácilmente un concreto con 22.5 cm de revenimiento. El concreto fluido queda definido por la especificación ASTM C1017 como aquel concreto que tiene un revenimiento mayor de 19 cm y que todavía conserva sus propiedades cohesivas. Los revenimientos excesivamente altos, mayores o iguales de 25 cm, pueden provocar que el concreto se segregue.

Los reductores de agua de alto rango (ASTM C-1017 y C-494 tipos F y G ) también se pueden emplear para fabricar concretos de baja relación agua-cemento y de alta resistencia con trabajabilidades dentro de los límites normalmente especificados para consolidar por medio de vibración interna. Con el uso de estos aditivos se puede obtener una reducción de agua del 12 al 30%. Esta reducción en el contenido de agua y en la relación agua-cemento permite producir concretos con:

1) Resistencia última a la compresión arriba de 70 kg/cm<sup>2</sup>, 2) mayores adquisiciones de resistencia a edad temprana y 3) una menor penetración de ión cloruro como otras propiedades favorables que están asociadas con los concretos que tienen relaciones agua-cemento bajas.

Los reductores de agua normalmente son más efectivos, aunque más costosos, que los aditivos reductores de agua normales para producir concretos trabajables. En la mayoría de los superplastificantes, el efecto para elevar la trabajabilidad o para producir concretos fluidos es de corta duración, de 30 a 60 minutos, y va seguido por una pérdida muy rápida de trabajabilidad (pérdida de revenimiento). Debido a esta pérdida de revenimiento la adición de estos aditivos frecuentemente se hace en la obra. Los reductores de agua de alto rango de revenimiento prolongado que se adicionan en las plantas dosificadoras ayudan a reducir los problemas de pérdida de revenimiento. El tiempo de fraguado se puede acelerar o retardar dependiendo de la composición química individual del aditivo, de la proporción dosificada, y de la interacción con los demás aditivos presentes en la mezcla del concreto

**BENEFICIOS EN EL USO DE LOS ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA.-** Los aditivos reductores de agua ofrecen los siguientes beneficios:

- Reducción del costo.
- Reducción del sangrado, la segregación y el alveolado.
- Mejoramiento de la trabajabilidad, particularmente en mezclas ásperas mojadas.
- Reducción del área superficial arenosa del concreto de alto revenimiento.
- Incremento de la resistencia.
- Reducción del agrietamiento y la permeabilidad.
- Reducción de la contracción.
- Incremento de la adherencia del concreto al acero de refuerzo.

♦ *ADITIVO HUMO DE SÍLICE (HS)*

Es un subproducto de la fundición de los metales silíceos y ferrosilíceos. Consiste en pequeñas esferas amorfas (no cristalinas) de diámetro promedio de 0.115 micrones (1 micrón = 1/1000 mm).

El área superficial de 1 gramo de HS es de 20 m<sup>2</sup> aproximadamente mientras en el cemento es de 0.3 a 0.4 m<sup>2</sup>/gramo. Su densidad es muy baja; empacada en polvo tiene una densidad de 19.86 kg/m<sup>3</sup> en comparación con el cemento que es de 139.8 kg/m<sup>3</sup>. Por esta baja densidad y los problemas de manejo que representa, se han desarrollado lechadas de microsilica que facilitan su transporte. Comercialmente puede conseguirse en polvo o en lechada.

Se escoge en los filtros que depuran los humos de los hornos de silicio y sus aleaciones. El silicio produce a muy altas temperaturas, entre 1,500 y 3,000 °C en los hornos de arco eléctrico sumergido, como consecuencia de la reacción del cuarzo con reductores como el carbón, etc. A dichas temperaturas, parte del cuarzo se volatiliza en forma de SiO que, posteriormente y en la superficie del horno, reacciona al enfriarse en presencia de oxígeno formando SiO<sub>2</sub> en forma de humo de sílice.

La adición de agua al cemento genera la hidrólisis del mismo formando dos compuestos. El primero es una gel de silicato de calcio que es realmente el aglutinante que “pega” los agregados formando el concreto. El otro compuesto es el hidróxido del calcio que puede llegar hasta ocupar el 25% de la pasta de cemento. Este hidróxido de calcio no sólo no presta ningún beneficio aglutinante sino que puede hacer el concreto más susceptible a ataques de sulfatos y álcalis.

El efecto neto resultante de la combinación de concreto y humo de sílice será un concreto con un mayor aglutinado, es decir, con un importante aumento en todas las resistencias y un concreto de mayor durabilidad.

PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL HUMO DE SÍLICE.- Generalmente se utiliza como:

#### ➤ *PUZOLANA*

El humo de sílice es capaz de combinarse con cal libre y conseguir una distribución más uniforme y un volumen mayor de los productos hidratados. Al actuar como puzolana reduce en gran parte la cantidad de  $\text{Ca}(\text{HO})_2$  libre, con los beneficios que ello conlleva.

Las finas partículas de humo de sílice son dispersadas alrededor y entre los granos de cemento proporcionando una distribución uniforme de la hidratación de los productos, con esto se consiguen, además, mayores resistencias mecánicas.

Las múltiples ventajas que pueden lograrse con el empleo de la puzolana HS en los cementos, pueden agruparse de la siguiente manera:

- *Estado fresco:* Reduce la segregación y evita la exudación
- *En resistencias mecánicas:* Aumenta las mismas, tanto a tracción como a compresión, mejorando la relación tracción-compresión, pero siempre y cuando el cemento de mezcla en la cuestión posea la cantina “óptima” de puzolana “HS”.
- *En la impermeabilidad:* produce mayor cantidad de tobermorita (silicatos hidratados)

Reduce la porosidad y en consecuencia, aumenta la compacidad y evita la formación de florescencias por sales, o desvelado de la cal; todo ello, siempre y cuando se utilice la relación agua/cemento adecuada para tales fines.

- *En la estabilidad de volumen:*

Frente a la expansión por cal libre, sobre todo si hay tratamiento térmico

Frente a la expansión por los sulfatos

Frente a la expansión de áridos reactivos

Frente a la retracción hidráulica por secado, con ciertas proporciones de puzolana

Frente a la retracción térmica y posterior fisuración, al ser menor elevación de temperatura.

- *En la durabilidad química:*

Frente al ataque de aguas puras y ácidas.

Frente a ataques por aguas y suelos selenitosos.

Frente a ataques por agua de mar.

Frente a ataques por gases de descomposición y fermentación de materias orgánicas.

### ➤ **FILLER**

Debido al pequeñísimo tamaño de este producto la estructura del concreto queda más denso. Así mismo el tamaño de los poros se reduce, lo que hace decrecer la permeabilidad.

Sus aplicaciones más conocidas y estudiadas son:

- Concretos de alta resistencia.
- Concretos de alta durabilidad.
- Concreto proyectante.
- Como adyuvante de bombas.
- Corrector de finura.
- Concreto submarino.

- Alta permeabilidad.

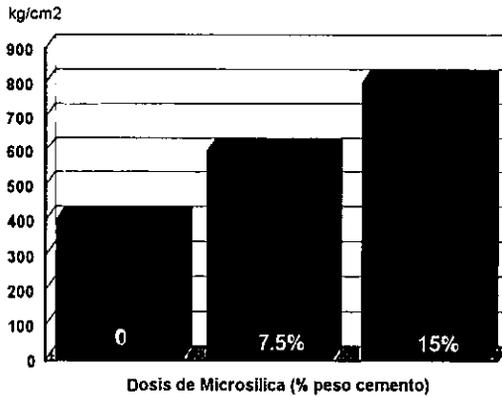
INFLUENCIA Y EFECTOS DEL “HUMO DE SÍLICE” EL CONCRETO.- La mayoría de los investigadores están de acuerdo en que la microsilica actúa en el cemento portland de dos formas: alterando la reacción de hidrólisis y como microrelleno del concreto.

Las principales características del concreto se ven notoriamente mejoradas con el uso de la microsilica.

RESISTENCIAS.- aunque en el laboratorio se han llegado a obtener concretos de mas de 30,000 PSI (2,100 kg/cm<sup>2</sup>) (2.100 kg/cm<sup>2</sup>) a compresión esto no sería posible en una planta de concreto que opera de forma tradicional.

En la figura 3.1 se puede apreciar como en una mezcla que normalmente sería de 385 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días, pasa a 665 kg/cm<sup>2</sup> a la misma edad, con la adición de humo de sílice en una dosis de 7.5% del peso del cemento manteniendo la misma relación agua-cemento y con adición de reductores de agua de alto rango. Con esta nueva tecnología, los productos de concreto podrían ofrecer al mercado resistencia compresión y flexión que antes ni podían obtener.

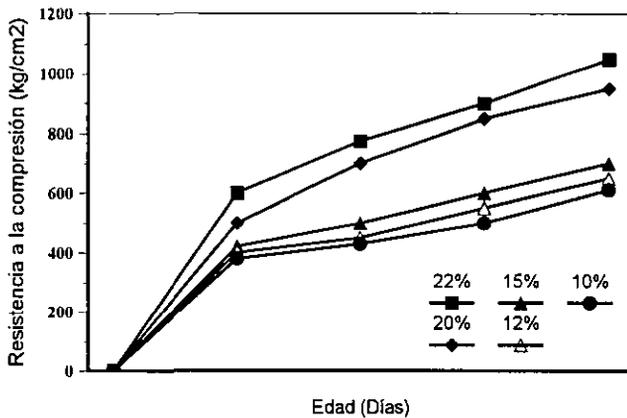
## RESISTENCIA A LA COMPRESION A 28 DIAS



Concreto de 250 kg. cemento Portland tipo I/m<sup>3</sup>

Fig.. 3.1

## Resistencia a la Compresión en Concretos con Silica-Fume



Las cantidades representan el porcentaje de aditivo Silica Fume respecto al cemento.

Fig.. 4.1

## CONCRETO EN ESTADO FRESCO

### ➤ *Disminuye la exudación y el sangrado*

La gran finura de este material mejora sensiblemente la capacidad de retención del agua de la matriz de concreto en estado fresco evitando el sangrado, sobre todo cuando el concreto se elabora en consistencia fluida y/o líquida.

La reducción o eliminación de la exudación hace que el concreto con humo de sílice sea más vulnerable a la retracción y a la fisuración, por ello es necesario añadir cantidades adicionales de agua amasado y se aconseja la utilización conjunta con un reductor de agua de alta eficacia (superfluidificante).

### ➤ *Disminuye la segregación*

Es también debido a su pequeñísimo tamaño de partículas, el efecto tixotrópico que el humo de sílice confiere al concreto fresco, proporcionando una gran cohesividad entre todos los componentes de la matriz, que evita la natural separación entre las sustancias de diferente peso específico, forma y tamaño. Esta propiedad, hace el humo de sílice un producto idóneo para facilitar el bombeo y la proyección del concreto.

## CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

### ➤ *Mejoras a la resistencia*

El humo de sílice aumenta notablemente la compacidad del concreto, al actuar como filler superfino con la capacidad de cementar al propio conglomerante y dificulta la formación de la red capilar. Este fenómeno, conjuntamente con las generación de los hidratos resistentes que proporciona la superactividad pozoalánica permite elaborar concretos de alta resistencia, tanto en etapas iniciales como finales, la resistencia a la flexotracción mantiene la misma relación respecto a la resistencia a la compresión, que la existente en los concretos convencionales. De forma similar, la relación

existente entre la resistencia a la compresión y el módulo elástico permanece constante. En cuanto a la resistencia a la abrasión del concreto con humo de sílice es superior a la de los concretos convencionales.

➤ *Mejora de la impermeabilidad*

La acción conjunta de un reductor de agua de alta eficacia con un material de alta finura como es el humo de sílice permite la elaboración de concretos de muy baja relación agua/cemento, altas trabajabilidades y gran compacidad, por lo que, el coeficiente de permeabilidad de los concretos endurecidos elaborados con este tipo de materiales es asimismo muy bajo (hasta 10 veces menores que en concretos convencionales).

➤ *Resistencia a los sulfatos*

La incorporación de humo de sílice a concretos elaborados con cementos Portland ordinario proporciona resistencias al ataque por sulfatos mayores o equivalentes a las obtenidas cuando se opera con cementos sulforesistentes.

## RESISTENCIA TEMPRANA

Aprovechando la capacidad de los superfluidificantes para reducir considerablemente el contenido de agua en el concreto, es posible lograr altas resistencias a edad temprana. Esta alta resistencia a edad temprana es de gran utilidad en la industria del preesfuerzo y de varios prefabricados, puesto que facilita un rápido desmoldeo.

Una dosis excesiva de aditivo puede originar que el aumento de resistencia sea menor a la mezcla óptima. Sin embargo aún para dosificaciones bajas de aditivo es ponderable su uso en vez de aumentar las cantidades de cemento en la mezcla.. Mediante una reducción de agua del 25 al 30% puede obtenerse un incremento del 50 al 75% en las resistencias a las 24 hrs, reduciendo dicha referencia al paso de los días.

Por lo tanto al aplicar un aditivo superfluidificante en combinación con la reducción de agua, para una mezcla de revenimiento igual de control, que la resistencia obtenida generalmente en siete días se obtendría en tres días, y que la esperada a los 28 días se obtendrá a los siete días. En la Fig 5.1 se puede apreciar la resistencia obtenida a edad temprana cuando se tiene al uso de un superfluidificante.

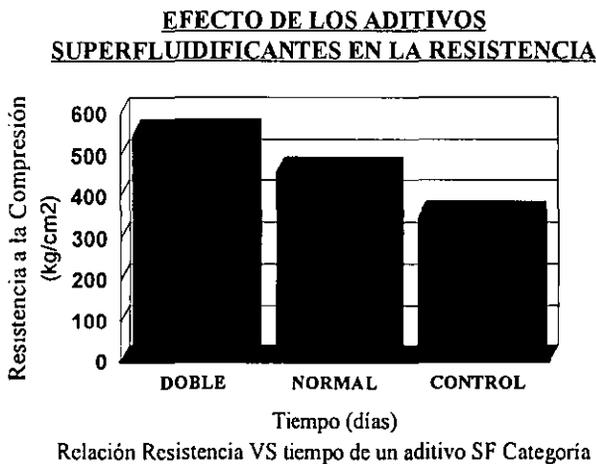


Fig. 5.1

## TEMA II

### *INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA EN EL CONCRETO DE BAJA CONTRACCIÓN POR SECADO*

#### 2.1 CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

-Propiedades de diseño

#### 2.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

-Relación entre agua-cemento y la resistencia  
-Relación agua cemento

#### 2.3 APLICACIONES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

#### 2.4 VENTAJAS EN EL USO DEL CONCRETO DE BAJA CONTRACCION POR SECADO

#### 2.5 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ESTADO ENDURECIDO

-Concreto Fresco  
-Concreto endurecido

## ***2.1 CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA***

Generalmente se define al concreto de alta resistencia como: “el concreto que tiene una resistencia a compresión de 420 kg/cm<sup>2</sup> ó mayor”, en edificios se han usado concretos con resistencias de 1400 kg/cm<sup>2</sup>, tradicionalmente la resistencia específica del concreto se basa en resultados de pruebas a 28 días, sin embargo, en las estructuras de gran altura que requieren concreto de alta resistencia, el proceso de construcción es tal que los elementos estructurales de los pisos inferiores no se cargan totalmente durante periodos de un año o más, por esta razón, comúnmente se especifican resistencias a compresión basadas en resultados de pruebas de 56 o 90 días, a fin de obtener un importante ahorro en los costos de los materiales.

Con el uso de mezclas ricas de bajo revenimiento o revenimiento nulo, se produce concreto de alta resistencia a compresión en forma rutinaria teniendo un control cuidadoso dentro de las plantas de concreto prefabricado y presforzado.

El objetivo al diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la combinación mas práctica y económica de los materiales con los que se dispone, para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de uso.

- ♦ PROPIEDADES DE DISEÑO

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

- La resistencia a la tensión sigue una relación similar a la resistencia a la compresión, igual que para el concreto de resistencia normal.
- El módulo de elasticidad se incrementa con la resistencia del agregado en las resistencias más altas.
- Típicamente, la densidad del concreto es ligeramente más alta que la del concreto de resistencia normal debido al uso de agregados gruesos más fuertes y a los materiales mas finos que densifican al concreto
- La curva de esfuerzo deformación es más pronunciada que para el concreto de resistencia normal y la curva descendente cae abruptamente. La deformación unitaria al esfuerzo máximo es de 0.003.
- La relación de Poisson es comparable, y la deformación por fluencia es menos que las correspondientes al concreto de resistencia normal.
- La resistencia a la abrasión se incrementa con el aumento de la resistencia a la compresión.
- Para elementos sujetos a congelación y deshielo, similares al concreto de resistencia normal, se requiere de aire incluido para lograr la durabilidad.
- La baja permeabilidad del concreto de alta resistencia proporciona una excelente protección al refuerzo.
- Los resultados de la investigación inicial indican que hay poca diferencia en cuanto a su resistencia normal y de alta resistencia en cuanto a su resistencia al fuego.

La dosificación típica para mezclas de concreto de alta resistencia indica que la adición de humo de sílice y de superplastificantes puede llevar a alcanzar altas resistencias del concreto de hasta 135 MPa (1350 kg/cm<sup>2</sup>). Normalmente se usan de 450 a 500 kg. de cemento, hasta el 10% de humo de sílice, un retardante y superplasticante a base de neftaleno en porción de 6 a 20 Lts/m<sup>3</sup>. En este tipo de mezclas se usa ya sea grava o agregados triturados. Es posible obtener un alto grado de trabajabilidad medido en función de la capacidad de extendido con valores comprendidos entre 50 y 60 cm, así como una relación muy baja de agua-cemento (0.35-0.25) por medio del empleo de una alta porción de superplastificantes (la capacidad de extendido se refiere a una prueba del tipo revenimiento realizada de acuerdo con la norma alemana DIN 1048).

A pesar de la capacidad de extendido, el concreto de alta resistencia no tiende a segregarse. Con el humo de sílice se estabiliza la mezcla fresca de concreto. En virtud del porcentaje tan alto de partículas finas, el sangrado rara vez constituye un problema en las aplicaciones del concreto de alta resistencia. Resulta posible el bombeo del concreto en el sitio de obra y es una práctica común el uso intensivo de vibradores.

Con el humo de sílice es posible mejorar la microestructura en la superficie de contacto entre el cemento fraguado y el agregado. Esto da lugar a una superficie de fracturación completamente diferente. Con el concreto de alta resistencia la superficie de falla pasa justamente a través de los agregados y se obtiene una superficie de falla relativamente tersa. el resultado es un comportamiento frágil del concreto. Esto también se demuestra en pruebas de tensión directas como deformación controlada y en pruebas de flexión hechas en concreto simple. La longitud característica  $l_{pulgada}$  definida por Hillerborg como parámetro de la fragilidad disminuye a medida que aumenta la resistencia a la compresión.

## ***2.2 RESISTENCIA A LA COMPRESION***

La resistencia a la compresión del concreto generalmente está relacionada con el contenido de cemento para un cierto revenimiento y contenido de aire mas que con la relación agua-cemento, esto se debe a la dificultad para determinar que cantidad del agua de mezclado total se absorbe dentro de las partículas del agregado y por lo tanto que cantidad reacciona con el cemento, el reporte ACI 211.2 "Standard Practice For Selecting Proportions For Structural lightweight Concrete" (Prácticas Estándar Para Seleccionar las Proporciones para el Concreto Ligero Estructural), brinda una guía sobre la relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de cemento, las resistencias a compresión típicas varían desde 210 hasta 350 kg/cm<sup>2</sup>, también se puede fabricar concreto de alta resistencia con agregados ligeros.

### **♦ RELACION AGUA-CEMENTO Y LA RESISTENCIA**

En las mezclas bien proporcionadas la relación entre el contenido de cemento y la resistencia es razonablemente constante para una fuente particular de agregado ligero, sin embargo, la relación variará conforme cambie la fuente o el tipo de agregado. Cuando no se disponga de información que provenga del fabricante sobre esta relación, se necesitará llevar a cabo mezclas de prueba con contenidos de cemento variables para desarrollar un intervalo de resistencia a compresión, incluyendo la resistencia aprobada.

La medida para la calidad del concreto se verifica según la facilidad con la que se determina la resistencia a la compresión. A pesar de ser una característica importante otras propiedades tales como la durabilidad, la permeabilidad y la resistencia al desgaste pueden tener igual o mayor importancia.

Dentro del rango normal de resistencias empleadas en la construcción con concreto, la resistencia a la compresión se relaciona inversamente con la relación agua/cemento:

“Para un concreto plenamente compactado, fabricado con agregados limpios y sanos, la resistencia y otras propiedades deseables del concreto, bajo condiciones de trabajo dadas, están gobernadas por la cantidad de agua de mezclado que se utiliza por unidad de cemento.

Muchos tecnólogos del concreto prefieren usar la relación agua/cemento, pues la resistencia y otras propiedades deseables en el concreto se relacionan casi linealmente con este índice. Un parámetro más racional es la densidad relativa de la pasta de cemento, la cual también se relaciona linealmente con la resistencia.

La resistencia de la pasta de cemento en el concreto depende de la calidad y cantidad de los componentes reactivos y del grado al cual se completa la reacción de hidratación. El concreto se vuelve más resistente con el tiempo, siempre y cuando exista humedad disponible y se tenga una temperatura favorable. Por lo tanto, la resistencia a cualquier edad particular no es tanto función de la relación agua/cemento original como lo es el grado de hidratación.

RELACION AGUA-CEMENTO.- La relación agua/cemento es sencillamente el peso del agua, dividido entre el peso del cemento. La relación agua/cemento que se elija para el diseño de la mezcla, debe ser el menor valor requerido para cubrir las consideraciones de exposición de diseño. La tabla 1.7 sirven de guía para escoger la relación agua cemento adecuada para diversas condiciones de exposición.

**Tabla 2.1 RELACIONES AGUA/CEMENTO MÁXIMAS PARA DIVERSAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN**

CONDICION DE EXPOSICION	RELACION AGUA-CEMENTO MÁXIMA (EN PESO) PARA CONCRETO DE PESO NORMAL
Concreto protegido contra la exposición a la congelación y deshielo o a la aplicación de productos químicos descongelantes	escoja la relación agua-cemento basándose en los requisitos de resistencia, trabajabilidad y acabados
Concreto que se pretende sea hermético	
a) concreto expuesto a agua dulce	0.5
b) concreto expuesto a agua salobre o a agua de mar	0.45
Concreto expuesto a a congelación y deshielo en condición húmeda.*	
a) guarniciones, cunetas, guardarneles, o secciones delgadas.	0.45
b) otros elementos	0.50
c) En presencia de productos químicos descongelantes	0.45
Como protección contra la corrosión del concreto reforzado expuesto a sales descongelantes, aguas, sabores, agua de mar, o a rocío proveniente de estas fuentes.	0.40

\* concreto con aire excluido

La resistencia del concreto a la compresión se determina por medio de cilindros de concreto moldeados de 15 cm. x 30 cm. hechos cuidadosamente, muestreados del camión de premezclado en el punto de descarga, colados y protegidos en una obra durante 24 hrs. de una manera prescrita. Después de un día en el campo, deben ser transportados cuidadosamente al laboratorio de pruebas, sacados del molde y colocados en un cuarto de curado a temperaturas controladas; cabeceados y probados a la edad requerida.

Cuando se define la resistencia a la compresión del concreto hay que significar necesariamente otra serie de características sin las cuales dicha resistencia no está completamente determinada. Es necesario establecer la edad del material en el momento del ensayo, su estado de saturación y el tamaño de la forma de las probetas empleadas para su determinación.

## ***2.3 APLICACIONES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA***

Concreto de alta, muy y ultra alta resistencia, son algunos de los términos que se usan actualmente para describir el concreto con una resistencia a la compresión mayor de 500 kg/cm<sup>2</sup>. Los concretos de resistencias entre 600 y 900 kg/cm<sup>2</sup> se usan en columnas y muros en edificios de gran altura.

Actualmente se utiliza concreto de alta resistencia en:

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

En la gama de resistencias del concreto desde 250 a 400 kg/cm<sup>2</sup> el incremento en la resistencia es mayor que el incremento lineal en los costos. Con el concreto de alta resistencia, actualmente el incremento en la resistencia es menor que el incremento lineal en los costos. Los factores que influyen en esta tendencia son:

- La fuente de los agregados gruesos pueden encontrarse mas retirada con los agregados usados para el concreto de resistencia normal.
- Una mayor cantidad de cementos y la adición de aditivos tales como superplastificantes.
- Costos mas altos en el desarrollo de la mezcla y los riesgos de construcción asociada.

Mientras menor es la relación agua/cemento y, por ejemplo, cuando se agrega humo de sílice al concreto de alta resistencia se experimenta una reducción en la

trabajabilidad de la mezcla. Para solucionar este problema, generalmente se incluye la adición de aditivos y la limitación del tamaño máximo del agregado grueso a 20 mm. Los aditivos y la limitación del tamaño reductores de agua u superplastificantes, éstos últimos típicamente agregados a la mezcla en el sitio de la obra antes del bombeo.

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

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

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

En las construcciones de edificios de gran altura, durante el proceso constructivo nos encontramos con la innovación en el uso de moldes para concreto o piezas prefabricadas, lo que reduce el tiempo de construcción.

## *2.4 VENTAJAS EN EL USO DEL CONCRETO DE BAJA CONTRACCIÓN POR SECADO*

La contracción en los concretos ligeros de densidad baja o de resistencia moderada normalmente no es crítica cuando se les utiliza para aislamiento o rellenos; sin embargo, una contracción excesiva puede provocar combaduras. Para usos estructurales, la contracción deberá ser considerada. Los concretos celulares sin agregados y con curado húmedo tienen una elevada contracción por secado. Los concretos celulares fabricados con arena y con curado húmedo se pueden contraer desde 0.1 hasta 0.6%, dependiendo de la cantidad de arena usada. Los concretos celulares pasados por autoclave se contraen muy levemente al secarse. Los concretos aislantes fabricados con agregados de perlita o de piedra pómez se pueden contraer de 0.1 a 0.3% en seis meses de secado a una humedad relativa de 50%. Los concretos con vermiculita se pueden contraer de 0.2 a 0.45% durante el mismo periodo. La contracción por secado de los concretos aislantes fabricados con escoria expandida o con esquisto expandido varía desde aproximadamente 0.6 hasta 0.1% en seis meses.

Es de utilidad al planear o analizar las obras de concreto la comprensión de la naturaleza de ciertos cambios pues el concreto cambia ligeramente su volumen debido a varias razones. Si el concreto estuviera libre de todas las restricciones para deformarse, los cambios normales de volumen tendrían consecuencias mínimas; pero como el concreto en servicio normalmente queda restringido por las cimentaciones, las subrasantes, el refuerzo o los miembros conectores, se puede llegar a desarrollar esfuerzos de consideración. Lo anterior es particularmente cierto con los esfuerzos de tensión.

En ocasiones se desarrollan grietas, pues el concreto es relativamente débil a la tensión aunque muy resistente a la compresión. Los esfuerzos elevados y los agrietamientos se pueden evitar o minimizar si se controlan las variables que

afectan a los cambios de volumen. Cuando se permita que el concreto reforzado se agriete o cuando no se pueda evitar, en el diseño estructural se deberán considerar los anchos de grietas tolerables como se indican en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2 DIMENSIÓN DE GRIETAS TOLERABLES**

CONDICIÓN DE EXPOSICIÓN	ANCHO DE GRIETA TOLERABLE
Secado al aire o membrana protectora	0.41
Humedad, aire húmedo, suelo	0.3
Productos químicos descongelantes	0.1
Agua de mar y brisa de mar, humedeciendo y secado	0.15
Estructuras de retención de agua*	0.1

## ***2.5 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ESTADO ENDURECIDO***

**CONCRETO FRESCO:** es el concreto plástico tal como sale de la mezcladora, o como es descargado del camión de entrega de premezclado. El concreto fresco debe ser fácil de mezclar, transportar, colar y acabar, debe de permanecer libre de segregación. Para lograr tales características de calidad, se requiere la combinación de las siguientes condiciones:

- Suficiente cemento y agua para llenar las cavidades del agregado y mantener los agregados en suspensión.
- Una buena granulometría de los agregados finos y gruesos.
- Un adecuado porcentaje del agregado fino con respecto al total de los agregados.
- Que las partículas del agregado tengan tal forma y característica de superficies propias.

Trabajabilidad: Una excelente trabajabilidad o flujo se puede lograr mejor con un revenimiento mas bajo en el concreto bien diseñado, con agregados de buena granulometría, que con un revenimiento más elevado en el concreto de materiales de baja calidad.

El concreto debe ser homogéneo dentro del rango medio del revenimiento, fácil de emparejar con la llana, y el exceso de agua (sangrado) no debe de subir rápidamente a la superficie.

Sangrado: La consistencia o revenimiento del concreto es tan importante como la trabajabilidad. La densidad de los agregados es 2 ó 3 veces mayor que la del agua. En concreto de revenimiento elevado, estas partículas del agregado que ya no están en suspensión se asientan en la masa, desplazando el agua y canalizandola hacia la superficie para crear el sangrado. El tiempo que esta agua de sangrado permanece en la superficie depende, en una gran parte, de las condiciones climáticas; en días húmedos, nublados y sin vientos, puede permanecer durante horas.

El revenimiento máximo que se logra antes de que ocurra una segregación y un sangrado excesivo depende, en buena medida, del diseño de la mezcla y de la calidad de los materiales empleados. Generalmente se supone que cualquier concreto que tengas un revenimiento de 15 cm. o mas es excesivo ; la mayoría de las mezclas de concreto se pueden manejar fácilmente con un revenimiento de 10 cm; un revenimiento de 13 cm es suficiente para llevar a cabo colados y acabados de buena calidad.

Tiempo de fraguado El concreto fresco se va endureciendo gradualmente hasta que alcanza su límite de vibración; es entonces cuando se considera, para todos los fines y propósitos, que ha fraguado. El tiempo que tarda en alcanzar la condición de fraguado varía según el factor de cemento de la mezcla, la temperatura del concreto al colarlo, el tipo y la marca del cemento y las

condiciones ambientales. La temperatura del concreto fresco es afectada significativamente por las temperaturas inferiores a los 10 °C, que provocan un fraguado lento.

Cambios de volumen (contracción): El concreto colado en condiciones normales sufre algún cambio de volumen. El concreto se contrae al secarse, debido en gran parte, a una reducción de agua por evaporación y por utilización del agua en la pasta de cemento. Mientras mayor sea la cantidad de agua en el concreto fresco, mayor será la contracción. La mayoría de las losas de concreto presentan algunos agrietamientos menores debido a esta contracción. Mientras mayor sea el revenimiento, mayor será la probabilidad del incremento de las grietas por contracción.

**CONCRETO ENDURECIDO:** algunos problemas evidentes en el concreto endurecido se crean durante el cimbrado, el colado y el acabado del concreto en su estado plástico. Algunos defectos se notan durante el fraguado, otros aparecen unos días después del colado. También existen problemas que no surgen sino hasta después que el concreto se ha endurecido.

Cambios de volumen (contracción): el volumen del concreto en estado plástico se reduce en una hora o dos (por asentamiento de los sólidos). Una parte del agua es absorbida por los granos del cemento; otra, por la superficie del terreno; y una parte del agua del sangrado se pierde por evaporación en la superficie. Todos estos factores contribuyen a una reducción del volumen.

El concreto se expande cuando se moja o se congela, y se contrae cuando se seca o se descongela. Los cambios de volumen tienen diversos efectos: en una losa de borde libre, apoyada sobre el terreno, el cambio de volumen no crea esfuerzos extraordinarios, mientras que un concreto restringido por acero de refuerzo, o por muros perimetrales de cimentación, puede producir esfuerzos suficientes como para crear un gran número de problemas en el concreto endurecido.

Si el concreto ha sido curado con agua, habrá poca contracción a menos que la mezcla plástica haya sido colada con un revenimiento excesivo. Si el concreto ha sido curado con una membrana líquida, se observará cierta contracción. Pero si el concreto no ha recibido protección alguna en la superficie, la contracción será muy notoria.

Los aditivos reductores de agua pueden, tanto ayudar a reducir la contracción, como tener poco efecto sobre dicha propiedad. El aire incluido en rangos normales no afecta en grado alguno la contracción por secado.

## TEMA III

### CONCRETO PLUS K

#### 3.1 CONTRACCIÓN POR SECADO DEL CONCRETO.

- Cambios de temperatura
- Temperaturas bajas
- Temperaturas altas
- Grietas de contracción plástica

#### 3.2 CAMBIOS DE HUMEDAD.

#### 3.3 EFECTOS DE LOS INGREDIENTES DEL CONCRETO EN LA CONTRACCIÓN POR SECADO.

#### 3.4 CONTRACCIÓN POR SECADO.

### *3.1 CONTRACCIÓN POR SECADO DEL CONCRETO*

El cambio de volumen se define simplemente como un incremento o decremento del mismo. Más comúnmente, el tema de los cambios volumétricos en el concreto trata con la expansión y contracción debidas a los ciclos de humedad y temperatura. No obstante los cambios de volumen son causados por efectos químicos como la contracción por carbonación, el ataque de sulfatos y la expansión destructiva de las reacciones álcali-agregado. Del mismo modo la fluencia es un cambio de volumen o deformación causada por la aplicación sostenida de un esfuerzo o carga.

Por convergencia, la magnitud de los cambios volumétricos generalmente se enuncia en unidades lineales en lugar de volumétricas. Los cambios de longitud a menudo se expresan en millonésimas y se pueden aplicar a cualquier unidad de longitud (cm/cm o pulg/pulg). Por ejemplo una millonésima es de 0.000001 cm/cm y 600 millonésimas son 0.000600 cm/cm. El cambio de longitud también puede expresarse como un porcentaje; 0.06% es lo mismo que 0.000600, lo que es igual a 6 mm por cada 10 m. Los cambios de volumen que ocurren ordinariamente en el concreto son pequeños, variando en cambios longitudinales desde tal vez 10 millonésimas hasta aproximadamente 1000 millonésimas.

**CAMBIOS DE TEMPERATURA.**- El concreto se expande levemente conforme la temperatura se eleva y se contrae a medida que esta baja, aunque se puede expandir ligeramente cuando el agua libre se congela. Un valor promedio para el coeficiente de dilatación térmica del concreto es de aproximadamente 10 millonésima por grado centígrado, aunque se han observado valores que varían de 6 a 13. Esto equivale a un cambio de longitud de 5 mm por 10 m de concreto sujeto a un aumento o disminución de 50°C. El coeficiente de dilatación térmica

para el concreto ligero estructural varía desde 6.5 hasta 11 millonésimas por grado centígrado.

**TEMPERATURAS BAJAS.-** El concreto continúa contrayéndose a medida que la temperatura se reduce por debajo de la congelación. La cantidad de cambio volumétrico a temperaturas bajo cero es afectada fuertemente por el contenido de humedad, el comportamiento del agua ( estado físico- hielo o líquido) y el tipo de agregado en el concreto.

**TEMPERATURAS ALTAS.-** La magnitud total del cambio volumétrico es la suma de los cambios volumétricos de la pasta de cemento y del agregado. A temperaturas elevadas la pasta se contrae por deshidratación en tanto que el agregado se dilata. Para un concreto con agregado normal, la dilatación del agregado sobrepasa la contracción de la pasta causando una dilatación total del concreto. Por otra parte algunos agregados experimentan cambios volumétricos grandes y abruptos a una cierta temperatura particular, causando la falla del concreto.

Cuando se emplean en cantidades bajas a moderadas, el efecto que la ceniza volante, la escoria granulada de alto horno molida y el humo de sílice ejercen sobre la contracción por secado y sobre la fluencia del concreto por lo general es pequeño y de poca importancia práctica. Los concretos que contienen escoria molida en proporción de 40 a 65% del peso del material cementante total, pueden llegar a exhibir una *contracción por secado* un poco mayor que la correspondiente a un concreto simple. A niveles de sustitución elevados, la fluencia puede aumentar conforme se vayan aumentando los contenidos de ceniza. Si se cuenta con un curado adecuado, las cenizas volantes y las escorias molidas, generalmente reducen la permeabilidad del concreto aún cuando el contenido del cemento sea relativamente bajo; a este respecto el humo de sílice es especialmente efectivo. Las pruebas indican que la permeabilidad del concreto

disminuye conforme aumenta la cantidad de material cementante hidratado y disminuye la relación agua cemento. La absorción de un concreto con ceniza volante casi es la misma de un concreto sin ceniza, aunque algunas cenizas pueden reducir la absorción en un 20% ó más.

**GRIETAS DE CONTRACCIÓN PLÁSTICA.**- las grietas de contracción por secado se desarrollan aproximadamente cuando el brillo del agua desaparece de la superficie del concreto. Usualmente son grietas capilares rectas, distribuidas al azar, que se extienden hasta el perímetro de la losa.

### 3.2 CAMBIOS DE HUMEDAD

Como ya se explicó, el concreto se expande ligeramente con el aumento de la humedad y se contrae con una pérdida de la misma. Los efectos de estos movimientos de humedad se ilustran en la fig. 3.1

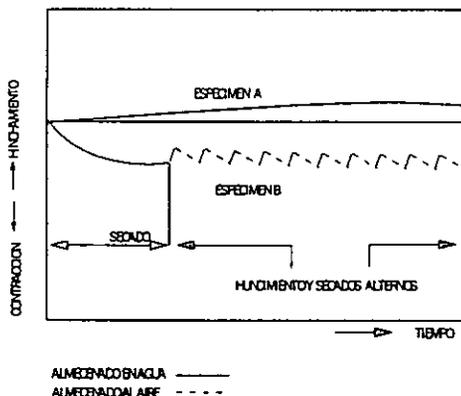


Ilustración esquemática de los movimientos de la humedad en el concreto. Si el concreto se mantiene continuamente húmedo, ocurre una leve expansión. Sin embargo normalmente ocurre el secado, provocando contracción. El subsecuente humedecimiento y secado provoca expansión y contracción alternas.

Fig. 3.1

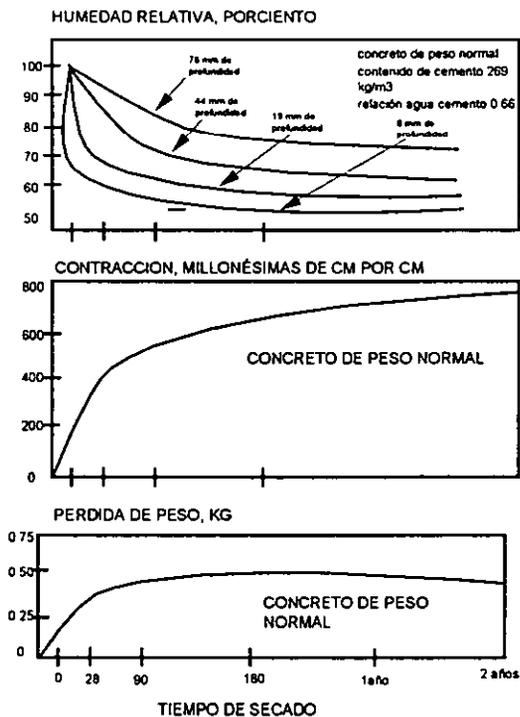
En la figura anterior el espécimen A representa al concreto almacenado de manera continua en agua desde el colado; el espécimen B representa el mismo concreto primeramente expuesto a un secado al aire y después a ciclos alternos de humedecimiento y secado. Para efectos comparativos, la expansión que ocurre durante el almacenamiento húmedo continuo luego de un periodo de varios años, normalmente es menor que 150 millonésimas o aproximadamente un cuarto de la contracción del concreto secado al aire durante el mismo periodo.

Las pruebas indican que la contracción por secado de especímenes pequeños de concreto simple, varían de 400 hasta 800 millonésimas aproximadamente cuando se le expone al aire a una humedad del 50%. El concreto con una contracción unitaria de 550 millonésimas acorta aproximadamente la misma cantidad que la contracción térmica causada por un descenso de temperatura de 38°C. La contracción por secado del concreto ligero varía desde poco menos de 30% más que la del concreto de peso normal, dependiendo del tipo de agregado que se emplee.

La contracción por secado del concreto reforzado es menor que la del concreto simple; la diferencia depende de la cantidad de refuerzo. El acero de refuerzo restringe aunque no evita la contracción por secado. En las estructuras de concreto reforzado con cantidades normales de refuerzo, comúnmente se supone que la contracción por secado es de 200 a 300 millonésimas.

Conforme ocurre el proceso de secado, el concreto en las cercanías de la superficie se seca y se contrae con mayor rapidez que el concreto en el interior, provocando esfuerzos de tensión y posibles agrietamientos. Podrían desarrollarse agrietamientos aleatorios de importancia si las juntas no fueron planeadas adecuadamente y si el elemento de concreto se encuentra restringido en cuanto a su acortamiento. En la Fig. 3.2 se ilustra la relación entre la velocidad de secado

a distintas profundidades, contracción por secado, pérdida de peso para concretos de peso normal.



Distribución de la humedad relativa, contracción por secado y pérdida de peso de cilindros de 15x30 cm que tuvieron un curado húmedo durante 7 días al que siguió un secado de 23° C y 50% de humedad relativa.

Fig. 3.2

La cantidad de humedad en el concreto es afectada por la humedad relativa del aire que le rodea. El contenido libre de humedad de los elementos del concreto después del secado en el aire (entre humedades relativas de 50 a 90%) durante varios meses aproximadamente del 1 al 2% por peso del concreto dependiendo de los componentes del concreto, del contenido de agua original, de las condiciones de secado y del tamaño y forma del elemento del concreto.

Luego que el concreto se haya secado hasta un contenido de humedad constante bajo una cierta condición de humedad relativa, un descenso de ésta provocará que pierda contenido de humedad y un aumento causará que gane. El concreto se contrae o se expande con cada uno de esos cambios en el contenido de humedad debido principalmente a la respuesta de la pasta de cemento en relación a la pérdida de humedad. La mayoría de los agregados manifiestan poca respuesta a los cambios de contenido de humedad aunque existen unos cuantos agregados que se hinchan o se contraen en respuesta a tales cambios.

La contracción puede continuar durante varios años, dependiendo del tamaño y forma del concreto. La velocidad y la cantidad de contracción normalmente son menores para los volúmenes grandes de concreto que para los de menor tamaño, aunque la contracción continua durante más tiempo para los volúmenes grandes de concreto que para los de menor tamaño.

### **3.3 EFECTOS DE LOS INGREDIENTES DEL CONCRETO EN LA CONTRACCION POR SECADO**

El factor a controlar más importante que afecta a la contracción es la cantidad de agua por volumen unitario de concreto. La contracción se puede minimizar si el contenido de agua del concreto se mantiene lo más bajo posible. Esto se logra haciendo que el contenido total de agregado grueso sea lo más alto posible. Por lo tanto, los principales factores para controlar la contracción en el concreto son el empleo de revenimientos bajos y de métodos de colado que minimicen los requisitos de agua. Cualquier práctica que incremente la cantidad de agua necesaria en la pasta del cemento, como son el uso de revenimientos elevados, la presencia de temperaturas excesivamente altas en el concreto fresco, los contenidos elevados de agregado fino, el uso de agregado grueso de tamaño pequeño, propiciarán un aumento de contracción. Trabajos desarrollados han

demostrado que por cada incremento de agua de 1% en el agua de mezclado, la contracción del concreto aumenta aproximadamente 2%.

El tipo de cemento, su finura y composición, además del contenido de cemento tienen un efecto relativamente pequeño en la contracción por secado de los concretos de resistencia normal. Los agregados del concreto, principalmente el agregado grueso, restringen físicamente la contracción de la pasta de cemento hidratada. El contenido de pasta afecta más a la contracción por secado del mortero que a la del concreto. La contracción por secado también depende del tipo de agregado. Los agregados rígidos y duros son difíciles de comprimir y brindan mayor restricción a la contracción de la pasta de cemento.

La contracción por secado también puede reducirse evitando agregados que tengan características de contracciones elevadas y agregados que tengan cantidades excesivas de arcillas. Los agregados de cuarzo, granito, feldespatos, caliza y dolomita generalmente producen concretos de contracciones por secado bajas. El curado al vapor también reduce la contracción por secado. Algunos aditivos requieren un aumento en el contenido unitario de agua del concreto y por esta razón es de esperarse que incrementen la contracción por secado. El uso de acelerantes tales como el cloruro de calcio producen una mayor contracción por secado en el concreto. A pesar de las reducciones en el contenido de agua, muchos aditivos químicos reductores de agua aumentan la contracción por secado de manera sustancial, particularmente aquellos que contienen acelerantes para compensar el efecto retardante del aditivo. La inclusión de aire así como los aditivos minerales finalmente divididos tales como la ceniza volante (Silica Fume), tienen poco a ningún efecto en la contracción por secado. La contracción por secado se puede evaluar conforme a la Norma N.M.X-C-173.

## *TEMA IV*

### *WORLD TRADE CENTER CD. DE MÉXICO*

#### 4.1 ANTECEDENTES.

- Propuesta para una nueva estructura
- Dispositivo metálico de unión entre las torres.

#### 4.4 APLICACIONES DEL CONCRETO PLUS K EN EL EDIFICIO DEL WORLD TRADE CENTER.

#### **4.1 ANTECEDENTES DEL WORLD TRADE CENTER CD DE MÉXICO**

El edificio conocido como “Hotel de México” se comenzó a construir a finales de la década de los sesentas con el objeto de dar lugar a uno de los edificios más altos de América Latina.

En aquella época el inmueble estaría formado por 33 niveles, de los cuales, cinco formarían el basamento de la torre, con dimensiones de 26.95 x 145.80 m; dos de esos niveles serían subterráneos. Arriba del llamado basamento se construirían 28 plantas tipo con dimensiones de 20 x 122.5 m., con estructura de concreto en su totalidad, quedando una altura de torre de 116.30 m. En su parte superior se colocaría un apéndice y una antena que daría una altura total de 191.30 m.

En 1993 la empresa Gutsa Construcciones adquirió el inmueble para llevar a cabo el proyecto de construcción de las oficinas del World Trade Center Ciudad de México. Al realizarse los estudios estructurales se determinó que, debido el nuevo reglamento de construcción (modificado a partir del sismo ocurrido en ), la estructura no cumplía con las normas en cuanto a desplazamientos y a resistencia de los elementos formados por traveses y muros, así que se tendría que adicionar un nuevo cuerpo.

La estructura original fue modificada en su proyecto final a partir del piso 12 o nivel +44.550 mts, cambiando el sistema de piso a bases de concreto con losa de 10 cm. por estructura metálica llamada “tridilosa”, la cual está constituida por elementos diagonales que en lo general están formados por ángulos ligados en la parte superior e inferior por una retícula de varillas en la cual se cuela una capa de concreto de 10 cm de espesor; lo cual permitió aumentar el número de niveles de la torre pasando de 116.30 m a 145.10 m (Ver Foto #1).

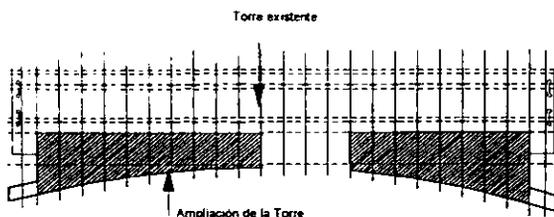
Al igual que la estructura principal el apéndice también se modificó, logrando que la estructura midiera un total de 214.50 m con lo que se convertiría en uno de los edificios más altos en concreto de América Latina.

#### • **PROPUESTAS PARA UNA NUEVA ESTRUCTURA**

Se estudiaron diferentes propuestas para dar mayor rigidez a la estructura original de tal manera que se cumpliera con los requerimientos del reglamento de construcción, dentro de estas alternativas que se plantearon las siguientes (véa la fig 4.1):

- a) Ampliar las secciones de columnas por medio de un encamisado de concreto.
  
- b) Modificar las secciones transversales de las columnas adicionando muros de concreto en los extremos de la estructura.
  
- c) Modificar la sección transversal de las columnas y adicionar un muro de concreto del lado oriente del cubo de elevadores existentes.
  
- d) Modificar las secciones de las columnas y adicionar muros de concreto en 7 ejes de columnas del lado norte y sur.
  
- e) Modificar las secciones de las columnas y colocar diagonales metálicas en los extremos de la torre.

Junto con estas propuestas se estudiaron algunas adicionales, las cuales resultaron de la combinación de las antes mencionadas; cada una de estas se analizaron y se observó que en su mayoría cumplía con lo establecido por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en cuanto a desplazamientos y a resistencia de los elementos estructurales formados por travesaños, columnas y muros.



**Fig 4.1 Propuesta de Modificación de la Torre existente**

Estos resultados, permitieron evaluar el costo que ocasionaría el refuerzo únicamente de la estructura existente y originó que se tomará la decisión de que junto con el refuerzo de la estructura existente se considerará la ampliación en área de la estructura, con el fin de poder compensar la inversión que se tendría que realizar.

Bajo estas premisas se procedió analizar diferentes alternativas tomando en cuenta el crecimiento de las plantas que forman la estructura, algunas de estas fueron las siguientes:

1.- Colocar un eje de columnas adicional del lado norte de la estructura a base de columnas y traveses de concreto para obtener una estructura de dos crujeas transversales monolíticas.

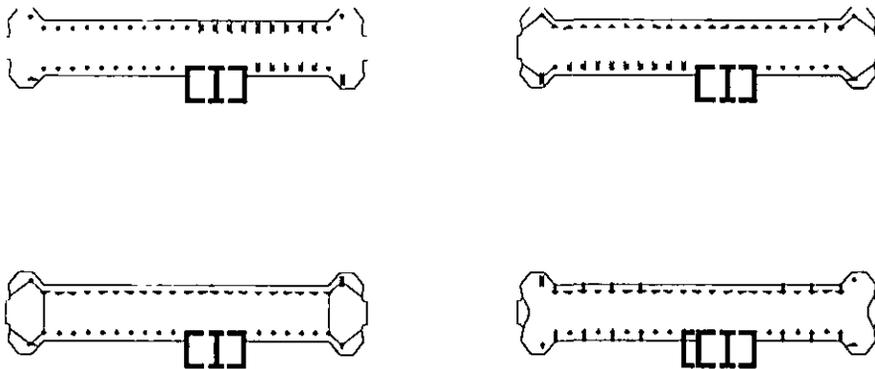
3.- Colocar dos ejes de columnas de concreto para obtener dos estructuras de una crujía conectados entre si por medio de un dispositivo especial.

Ambas soluciones se complementarían con elementos lo suficientemente rígidos en los extremos ya sea a base de muros para las estructuras de concreto o a base de diagonales para la estructura metálica.

*De estas diferentes alternativas propuestas se encontró que, la formada por dos ejes de columnas de concreto con los muros en los extremos oriente y poniente y con un*

*sistema de piso a base de traves y losa de concreto, unidos con la torre existente por medio de un dispositivo especial metálico, presentaba el mejor comportamiento que el resto de las propuestas, así como las mayores ventajas en cuanto a costo y procedimiento constructivo.*

La estructura nueva está formada, por dos ejes de columnas separados 9.75m los cuales forman parte de la estructura original, así como por los muros de concreto que forman el cubo de elevadores localizado en la parte central de la estructura; a la cual se le adicionaron dos ejes de columnas que generan una fachada curva, por lo que respecta a las columnas existentes estas incrementaron su sección en toda la altura -fig 4.2- fotos #2,3,4).



**Fig 4.2 Modificación de la Estructura Original (Ampliación de la Torre)**

Se procedió a hacer el análisis de la estructura en su estado original con el objetivo de determinar las condiciones de la estructura ante la sollicitación de carga lateral debido al sismo, tal como lo marca el nuevo Reglamento de construcciones del Distrito Federal vigente.

El análisis de la estructura se realizó por medio de los programas ETABS y SAP 90, (estos programas permiten realizar un análisis de la estructura sometida a cargas estáticas y dinámicas).

De igual manera se utilizó el programa STAAD-III para modelar la estructura de tridilosa y con esto obtener una estructura equivalente con la cual se pudiera trabajar en los dos programas anteriores.

Para poder modelar la estructura de la torre por medio de marcos ortogonales, ligando las columnas por medio de trabes, se tuvo que resolver el problema de que a partir del nivel 13 y hasta el nivel 51 la estructura está formada por columnas con sistema de piso a base de tridilosa, situación por la cuál se procedió a obtener las vigas equivalentes que se podrían utilizar y que presentaran la misma rigidez que la presentada por la tridilosa.

Para la obtención de estas vigas equivalentes se procedió a modelar un tramo representativo de tridilosa, correspondiente a lo comprendido entre tres ejes de columnas en el sentido longitudinal y la longitud total en el sentido transversal. se modelaron todos los elementos diagonales formados por ángulos de diferentes características, así como las dos capas de concreto con las que se cuenta en este tipo de estructura.

A dicho modelo se le aplicó una carga vertical para generar desplazamientos a lo largo de la tridilosa, así como un momento que generará desplazamientos angulares en los extremos, con el fin de poder comparar éstos con los obtenidos del análisis bajo las mismas cargas de un sistema formado por vigas y losas de concreto.

Cabe mencionar que en el análisis de la tridilosa se debió de considerar la zona en la cual se encontraba a tensión el concreto de las capas inferior y superior, de tal manera que se obtuviera el sistema de piso flexible ante sismo que realmente se tiene en la estructura.

Estas vigas equivalentes únicamente se propusieron en los ejes de columnas, debido a que por la existencia del capitel en la columna ante la carga debida a sismos los momentos generados por esta condición son transmitidos en su mayor parte a la tridilosa en el ancho del capitel únicamente.

#### • **DISPOSITIVO METÁLICO DE UNIÓN ENTRE LAS TORRES**

Para la unión de ambas estructuras se procedió a diseñar un accesorio metálico capaz de soportar las fuerzas que se presentarían en caso de sismo entre la torre existente y la torre nueva, dichas fuerzas únicamente serían de tensión o compresión, y que a su vez permitiera el libre desplazamiento vertical de la estructura nueva debido a los efectos antes mencionados, esto nos llevo al diseño del elemento de liga entre la torre existente y la torre nueva.

Dicho accesorio permite el desplazamiento vertical de la estructura nueva sin que se presenten efectos en la existente, y resulta ser uno de los primeros accesorios en su tipo utilizado a nivel mundial para la unión de dos estructuras.

## ***4.2 CONCRETO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA NUEVA***

Analizando los inconvenientes de este proyecto se concluyó que la nueva edificación sufriría contracciones por secado (las cuales se presentarían en el concreto de la torre nueva) con respecto a una estructura de 20 años de edad; y siguiendo los lineamientos de estudio se concluyó que esta contracción, en el periodo de cinco años, sería de aproximadamente 22 cm, lo que generaría elementos mecánicos sobre la estructura

existente de tal magnitud que no sería capaz de soportar en su conjunto y así también se comenzarían a presentar desplazamientos de la estructura permisibles a simple vista.

Para lograr un concreto con estas características, la Empresa CARSA (Cementos de Alta Resistencia, Grupo CEMEX), dedicó un año de investigación realizando las siguientes pruebas:

Para la elaboración de estos análisis fue importante tomar en cuenta que los agregados en la Cd. de México no cuentan con una “buena calidad” ya que el contenido de finos en la grava y en las arenas del Valle de México es muy alto. Así mismo presentan una baja densidad lo que provoca una mayor contracción en el concreto (ver tabla 1.5). Por lo anterior fue necesarios buscar los agregados mas adecuados para la elaboración de este material; es decir, se necesitaba que las arenas tuvieran un bajo contenido de finos para evitar la contracción por secado en el concreto.

En la tabla 4.4 se describen los resultados de dosificación por tanteos que se llevaron a cabo para este concreto, el cual se le denominó CONCRETO PLUS K.

Los resultados de las pruebas más importantes fueron las siguientes:

**CONCRETO PLUS A:** Esta prueba se realizó en el mes de junio de 1993 y se logró un concreto con un revenimiento de 10 a 17 cm. y una resistencia de 365 kg/cm<sup>2</sup> en promedio, sin embargo la contracción no era la necesaria.

**CONCRETO PLUS B:** A dos meses de la primera prueba se obtuvo un concreto con una contracción de 0.000293 millonésimas de contracción por secado, sin embargo el revenimiento se vio demasiado afectado lo cual provocaba problemas para su bombeo (se estimaba sería de 160 mts de altura aproximadamente).

**CONCRETO PLUS C:** Para este concreto se redujeron 21 lts de agua; se aumentaron las arenas (de 870 a 894) lo que provocó un revenimiento del orden de 12 cm. cayendo a 20 cm. y provocó un aumento en la contracción de 180 millonésimas.

Las pruebas que se realizaron fueron de la letra A a la K teniéndose periodos grandes de pruebas entre cada uno, del concreto Plus A al concreto Plus D se varió del revenimiento obteniendo diversos resultados; uno de los elementos más importantes era el agua, el cual se probó hasta llegar a los 140 lts.

En el Concreto Plus HM se utilizó 950 kg de arena de Hidalgo lo que favoreció a la contracción por secado y al módulo elástico, sin embargo la resistencia a los 7 días fue baja.

Las materias primas que se utilizan en la fabricación del concreto PLUS K fueron las siguientes:

Tabla 4.4 COMPONENTES DEL CONCRETO PLUS K

AGREGADOS	GRAVA CALIZA, ARENA DE RÍO
CEMENTO	TOLTECA TIPO I
AGUA	DE LA RED MUNICIPAL
ADITIVOS	POZZOLITH 322 N (ADITIVO PLASTIFICANTE)
	HUMO DE SILICE (SILICA FUME)
	RHEOBUILD 1000 (ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE)

Los agregados utilizados en el concreto PLUS K fueron especialmente seleccionados de los bancos mas limpios y de mejor calidad.

Los agregados de origen calizo se extraen únicamente de la zona de el estado de Hidalgo, con un porcentaje de finos máximo del 2%, material que pasa la malla n° 4 con una densidad que garantizó en los concretos de clase I el peso volumétrico del concreto de mínimo 2,200 kg/m<sup>3</sup>. El banco de la grava caliza es el denominado “Progresen” con las alternativas de los bancos de “La Palma”, debiendo de analizarse estas dos alternativas nuevamente en el caso de ser requerido su uso aceptandose de acuerdo a los resultados de las pruebas. El abastecimiento de la grava se garantizó mediante en convenio con la mina de este material con un almacén permanente de 1000 m<sup>3</sup> en sus instalaciones y realizar el aviso oportuno para el cambio de la segunda opción de mina.

Las pruebas realizadas a la grava dentro de el laboratorio fueron:

- Densidad o peso específico
- Módulo de finura
- Absorción
- Material mas fino de la malla n° 200
- Masa volumétrica suelta compactada
- Contaminaciones de supra e infratamaño
- Coeficiente de forma de la grava
- Curva de granulometría
- Pérdida por abrasión una vez al inicio

Durante el proceso de recepción de la grava caliza se verificaron:

- Se observó el color de la grava siendo el aceptado en color azul grisáceo
- La contaminación de polvos
- La forma de la partícula (en forma visual)
  - La mina de procedencia (con reportes de carga)
  - El volumen del agregado

*Las arenas utilizadas fueron de la zona del Estado de Hidalgo y son de río, a estas arenas se les realizó la prueba de pérdida por lavado, material que pasa la malla n° 200 cada 200 m<sup>3</sup> de arena. Como parte del control en la recepción de agregados; esta prueba se realizaba en caso de existir un cambio en la calidad, el cual se vea reflejado en el aspecto general de la arena.*

Los agregados fueron almacenados en mamparas para evitar la contaminación entre ellos. Estas mamparas tenían una capacidad de 450 m<sup>3</sup> por material y almacenado mediante procedimientos que evitará la segregación y rotura de los agregados.

La transportación de estos agregados fue por medio de camiones protegidos por lonas para evitar las emisiones de polvo a la atmósfera

*El cemento utilizado en la producción del concreto PLUS K es de tipo I y la compañía Tolteca (Grupo CEMEX) fue la encargada de suministrarla, la planta de abastecimiento esta ubicada en e Tula, Hidalgo y fue almacenado para su distribución en el depósito de Ave. Mixcoac, en la colonia San Pedro de los Pinos, Distrito Federal.*

El control de calidad del cemento fue realizado por medio del certificado de calidad del productor del cemento; dentro de las pruebas se encuentran:

- Finura Malla 325
- Análisis Químicos
- Agua de Consistencia
- Fraguado Falso

*El control del Agua se realizó durante las entregas en forma aleatoria mediante:*

- Análisis químico mensual
- La supervisión visual de transparencia del agua
- Olor y color de la misma

El transporte y almacenamiento del agua fue por medio de pipas herméticas, de fuentes que cumplieran los requisitos de calidad especificados en la norma de calidad del agua de

mezclado del concreto; el almacenamiento de garantizó mediante el aumento de la capacidad de almacenamiento (de 30,000 lts. a 90,000 lts), este aumento es mediante tanque individuales de 30,000 lts. cada uno, esto es para una capacidad de 450 m<sup>3</sup> de concreto aproximadamente.

*Los Aditivos* utilizados fueron de la Cía. Master Builders Technologies, evitando con esto la incompatibilidad de los mismos durante su mezclado y generar su energía siendo los utilizados para la producción del concreto PLUS K los siguientes:

**ADITIVOS LÍQUIDOS**

<b>NOMBRE</b>	<b>EFEECTO</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>
POZZOLITH 322N	Plastificante	8 cc/kg de cemento
RHEOBUILD 1000	Superplastificante	25 cc/kg de cemento

El transporte y almacenamientos de los aditivos se llevo a cabo por medio de pipas herméticas que evitan su contaminación con otros aditivos; el almacenamiento fue en depósitos metálicos herméticos con una capacidad de almacenamiento de 15,000 lts. por aditivo de línea (Pozzolith 322 N y Rheobuild 1000) garantizando el abastecimiento de los mismos, mediante una capacidad mínima del 40% de las cantidades antes mencionadas.

El sistema de dosificación se realizó mediante vasos calibrados en función de la cantidad de cemento a pesar.

**HUMO DE SÍLICE.-** El concreto PLUS K incluye dentro de su dosificación el uso del humo de sílice (Silica Fume), en presentación de 20 kg. por saco de las siguientes compañías:

COMPañA	NOMBRE	DOSIFICACI3N
SIKA MEXICANA	SILICA FUME	20 kg/m <sup>3</sup> de concreto
MASTER BUILDERS	SILICA FUME	22.7 kg/m <sup>3</sup> de concreto

Con el fin de evitar algùn error en la dosificaci3n de la sílica, esta dosificaci3n se realiz3 por bulto y por m<sup>3</sup> de concreto independientemente de la diferencia de 2.7 kg. que hay entre una presentaci3n y la otra ya, que las pruebas realizadas no arrojaron variaci3n en el aspecto del concreto por lo que se utiliz3 el humo de sílice.

TABLA 4.4

DOSIFICACIONES DEL CONCRETO PLUS K

	UNIDAD	PLUS A	PLUS B	PLUS C	PLUS D	PLUS E	PLUS F	PLUS G	PLUS G-1	PLUS H	PLUS HMA	PLUS K									
CEMENTO	KG	348	308	308	308	308		320	340	348	340	340	320	320	320	320	320	320	320	320	
GRAYA	KG	1047	1047	1047	983	847	854	834	834	1017	930	890	890	890	890	890	890	890	890	890	
ARENA	KG	873	849	870	896	896	996	984	957	134,912,363	930*	1004 SELICE									
												22.70 FUMOS									
AGUA	LITR	140	138	117	148	140	140	149	154	136	133	140	140	140	140	140	140	140	140	140	
REOMBE	CC	5100	7500	7800	7500	7500	7500	8000	8100	8100	8100	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	
POZZOLITH	CC	1560	2400	2400	2400	2400	2400	2560	1720	1720	1728	2560	2560	2560	2560	2560	2560	2560	2560	2560	
REVENIMIENTO	CM	16-17	14 + 3.5	13-20	28 MAX	28 MIN	28 MIN	20-23	20-23	20-23	19-23	20-23	20-23	20-23	20-23	20-23	20-23	20-23	20-23	20-23	
RESISTENCIA A 28 DIAS	KO/CM2	389, 362, 342, 333	359	384, 309	390, 360, 338, 407, 356, 318	353, 318, 238, 314, 327, 361, 341, 321, 380, 342, 273, 183, 311	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296	348, 319, 322, 184, 134, 334, 331, 297, 321, 304, 319, 319, 309, 312, 334, 304, 278, 299, 296
RESISTENCIA A 7 DIAS	KO/CM2	301, 260, 246, 246	290	323, 331	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289	322, 294, 346, 289
MODULO ELASTICO			ACCEPTABLE	NO ACCEPTABLE	NO ACCEPTABLE	NO ACCEPTABLE	NO ACCEPTABLE	NO ACCEPTABLE	NO ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	
CONTRACCION POR SECADO		0.000293	0.000473	0.000843	0.000423, 0.000373	0.000543	0.000843	0.000383	0.000383	0.000287	0.000317	0.000283	0.000373	0.000297, 0.000303	0.000383	0.000373 (a)	0.000297, 0.000303, 0.000416, 0.000373	0.000383	0.000383	0.000347	0.000347
VOLUMEN	MC	21	5	18	34.5	192	423.5	342	330	88	87	589.3	388.5	373	328.5	349.3					
FECHA DE INICIO		02-Sep-93	15-Sep-93	23-Sep-93	06-Oct-94	23-Oct-94	30-Oct-94	08-Nov-94	13-Nov-94	16-Nov-94	19-Nov-94	07-Dic-94	17-Dic-94	28-Dic-94	07-Ene-94	14-Ene-94	14-Ene-94	14-Ene-94	14-Ene-94	15-Feb-94	23-Feb-94
												06-Dic-93	16-Dic-93	27-Dic-93	04-Ene-94	13-Ene-94	12-Feb-94	11-Feb-94	12-Feb-94	23-Feb-94	

\* PLUS G-1 VOL= 31 MC

\*\* 100% ARENA DE HIDALGO

78

# CONCLUSIONES

Una de las características más importantes del concreto es la "CONTRACCIÓN POR SECADO", la cual se ha definido como:

*<< Un incremento o decremento del concreto, o bien la expansión y contracción debido a los ciclos de humedad >>*

En 1994 en la Cd. de México se dio el caso en que esta importante característica del concreto fuera tema de un análisis minucioso.

Como consecuencia del sismo que sufrió la Cd. de México en 1985 se tomó la decisión de modificar el reglamento de construcción. Por eso cuando en 1993 Gutsa Construcciones adquirió el edificio conocido como el Hotel de México y se comenzó a realizar los estudios estructurales se determinó que el edificio existente no cumplía con las normas en cuanto a desplazamientos y a resistencias de los elementos formados por trabes y muros. Como solución a este problema se establecieron varias propuestas de adicionar un nuevo cuerpo.

Se llevaron a cabo juntas con personal calificado en la materia y se proporcionaron cinco alternativas donde todas proponían modificar la sección de las columnas y:

- a) Ampliar las columnas con un encamisado de concreto.
- b) Adicionando muros de concreto en los extremos.
- c) Adicionar un muro de concreto de lado oriente del cubo de elevadores.
- d) Adicionar muros de concreto en 7 ejes del lado norte y sur.
- e) Colocar diagonales metálicas en los extremos de la torre.

Un aspecto muy importante fue la evaluación de los costos por lo que se decidió que junto con el refuerzo estructural se consideraría la ampliación del área de la estructura con el fin de compensar la inversión.

La alternativa final que presentaba el mejor comportamiento fue: *la formada por dos ejes de columnas de concreto con los muros en los extremos Oriente y Poniente unidos a la torre existente por medio de un dispositivo metálico.*

Estudiando las consecuencias de dicha modificación se vio que la estructura sufriría *CONTRACCIONES POR SECADO* con respecto a una estructura de 20 años de edad (la contracción por secado en el periodo de 5 años sería aproximadamente de 22 cm) lo que generaría elementos mecánicos sobre la estructura existente de tal magnitud que se

presentarían desplazamientos permisibles a simple vista; y para contrarrestar este problema la empresa CARSA (Grupo CEMEX) realizó una serie de investigaciones que llevó meses, a cada prueba se le denominaba con una letra del abecedario, como símbolo de la numeración que se estaba llevando a cabo, esto es importante ya que la inversión que se realizó fue muy grande.

al llegar a la onceava prueba se le denominó Concreto Plus K, y sus elementos son los siguientes:

GRAVA CALIZA, ARENA DE RIÓ, CEMENTO TOLTECA TIPO I, AGUA, ADITIVO PLASTIFICANTE POZZOLIT 322, HUMO DE SÍLICE Y UN REDUCTOR DE AGUA RHEBUID 1000.

Es importante resaltar que dicha concretera efectuó una serie de pruebas donde se valoraron conceptos importantes como: la contracción por secado, el costo, la trabajabilidad, la resistencia, etc..

Sin embargo hoy en día, y con ayuda de la investigación que se efectuó para elaborar mi trabajo de tesis, la concretera esta consciente de que no fue la mejor solución para este problema ya que de llevar a cabo una serie de pruebas mucho mas exhaustas o bien de no tener la presión de tiempo para el arranque de la construcción de la torre nueva, este concreto hubiera adquirido un precio de venta mucho más bajo que el obtenido durante 1995 (se establece una comparativa de costos de un concreto normal a \$350\* vs un costo del concreto plus k de \$734\* /m<sup>3</sup>)

Por lo tanto la conclusión de mi trabajo es la siguiente: El problema estructural que presentó el proyecto del WTC Cd. de México, se resolvió de momento y se consideró como la mejor opción sólo que de contar con un mejor conocimiento de las reacciones del concreto con los innumerables aditivos que hoy en día se comercializan el costo de este concreto se podría reducir para ser utilizado en otra situación o proyecto similar, sin embargo fue muy importante la participación de los ingenieros mexicanos para la solución de este problema ya que de no contar con un concreto que cumpliera las especificaciones adecuadas se hubiera tenido que re-edificar la torre para dar vida al proyecto inicial.

*Nota:* \* los costos del concreto que se utilizaron para esta referencia son significativos ya que no se contó con la autorización de la concretera de utilizar valores reales.

FALTAN PAGINAS

De la: **81**

A la: **84**

# REPORTE FOTOGRAFICO

Comisión de Bajas Costas del Poder Judicial



COLACACION DEL CURACRETO

# REPORTE FOTOGRAFICO

Universitat de València



CUBO DE ELAVADORES

# REPORTE FOTOGRAFICO

*Comunicación de Trabajo Científico y Social*

TORRE VIEJA  
(TORRE EXISTENTE)



TORRE NUEVA



# REPORTE FOTOGRAFICO

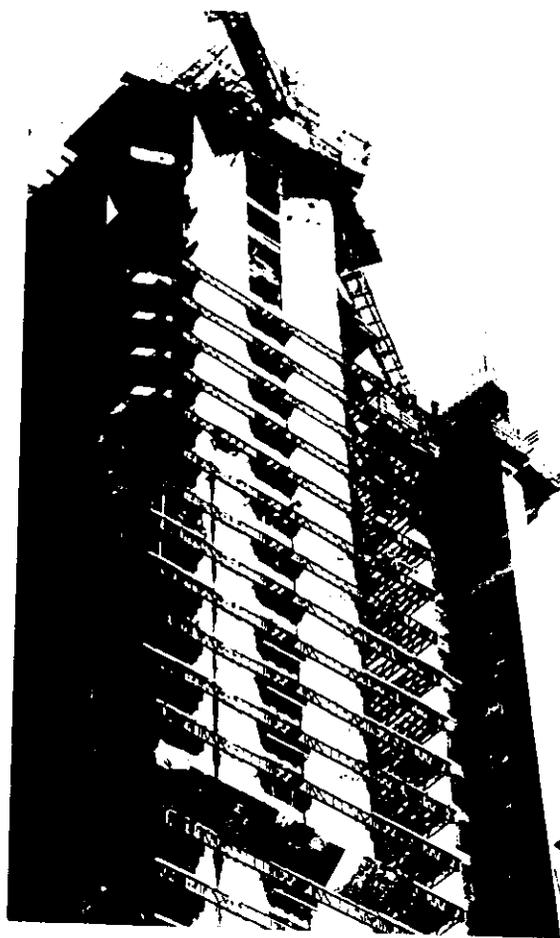
*Informe de la Inspección*



COLADO DE LA TORRE NIEVA, NIVEL 43

# REPORTE FOTOGRAFICO

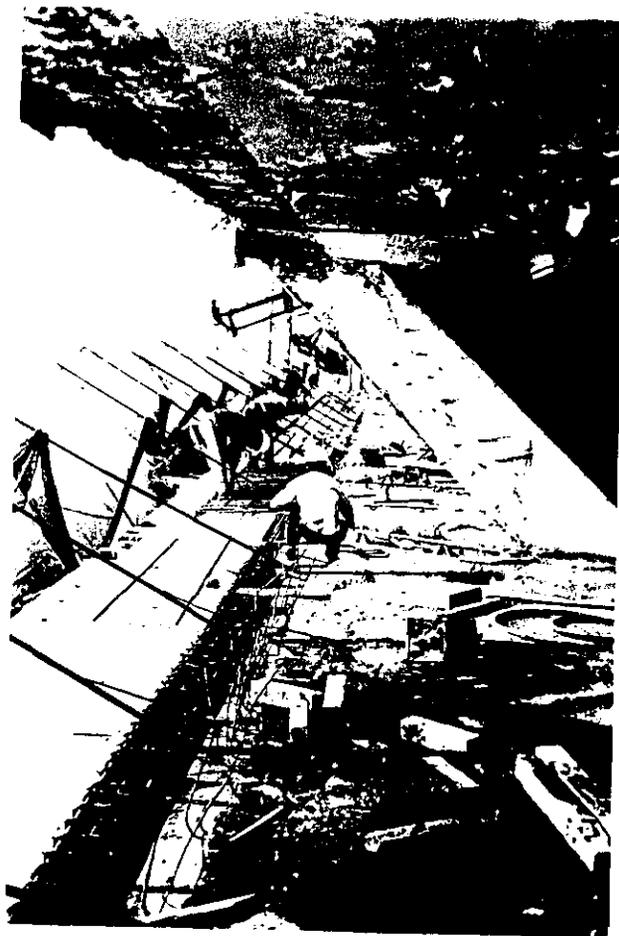
*Una serie de Reportajes sobre la guerra*



VISTA LATERAL DE LA TORRE

# REPORTE FOTOGRAFICO

Continúa de la página anterior



Ampliación de la torre; Nivel 40

## REPORTE FOTOGRAFICO

Revista de Ingeniería y Arquitectura



Ampliación de la torre; Nivel 40