



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ESPECIALIZACIÓN EN CONSTRUCCIÓN

“CONCRETOS DE ALTA  
RESISTENCIA TEMPRANA”

**PROYECTO TERMINAL**  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA CIVIL  
EN CONSTRUCCIÓN URBANA

PRESENTA:

**GERARDO ARTURO FERREIRO IBARRA**



MÉXICO D.F. CIUDAD UNIVERSITARIA ENERO 2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# INDICE

INTRODUCCIÓN.....	0
CAPÍTULO I ANTECEDENTES.....	1
1.1. RESEÑA HISTÓRICA .....	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.3 ALCANCES.....	3
CAPÍTULO II MATERIALES .....	4
2.1 DEFINICIÓN DE LOS CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA TEMPRANA.....	4
2.2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS CONCRETOS .....	5
2.2.1. CONCRETO.....	5
2.2.2. CEMENTOS PORTLAND. ....	7
2.2.3. AGREGADOS.....	8
2.2.4. AGUA.....	10
2.2.5. AIRE.....	10
2.2.6 ADITIVOS .....	11
2.2.7 ADICIONES AL CEMENTO.....	12
2.3. CARACTERÍSTICAS.....	13
2.3.1. RELACION AGUA/CEMENTO (A/C).....	13
2.3.2. CURADO AL VAPOR Y TEMPERATURA DE CURADO .....	13
2.3.3. CONCRETO FRESCO.....	14
2.3.4. FRAGUADO REGULADO .....	15
2.3.5. CALOR DE HIDRATACIÓN.....	15
2.3.6. RESISTENCIA A CONGELACIÓN-DESHIELO .....	15

2.4 CONTROL DE CALIDAD .....	16
2.5 TRANSPORTE Y COLOCACIÓN .....	17
2.6 PRUEBAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA TEMPRANA.....	18
2.6.1 PRUEBA DE REVENIMIENTO.....	18
2.6.2 PRUEBAS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	18
CAPÍTULO III USOS Y APLICACIONES.....	19
3.1 USOS Y APLICACIONES .....	19
3.2 OBRAS CON LOS CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA TEMPRANA.....	20
CAPÍTULO IV. VENTAJAS Y LIMITACIONES.....	21
4.1 VENTAJAS.....	21
4.2 DESVENTAJAS .....	21
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES .....	22
GLOSARIO.....	23
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26
A. PÁGINAS DE INTERNET .....	26
B. CONTACTOS DE INSTITUCIONES .....	27
C. LIBROS, TESIS E ENCICLOPEDIA.....	27
CD.....	28



---

---

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en el mundo, está creciendo el interés por crear nuevas y mejores tecnologías al respecto de las construcciones, de crear concretos superiores al que normalmente se utilizan, basándose en otros agregados como los aditivos, humo de sílice, cenizas volantes que ayudan a disminuir la cantidad de agua que se necesita, para que los concretos sean de una mayor calidad y resistencia.

En los últimos años en México, los progresos que han tenido los concretos de alta resistencia temprana han sido de un avance más lento que los concretos normales, para que garanticen las necesidades que demandan las ciudades actualmente.

El presente trabajo tiene la finalidad de explicar un tipo de concreto diferente al normal mejor conocido como concreto de alta resistencia a edad temprana o inicial, ya que en la actualidad no muchos lo conocemos o no sabemos que existen, porque es una variante del concreto de alta resistencia, ya que al utilizar aditivos reductores de agua, aceleran el proceso de endurecimiento y de resistencia en el concreto, en menos de 28 días que normalmente tardan los demás concretos, inclusive podrían darse resultados en horas o en minutos, siempre respetando los factores de calidad y seguridad que necesitan las instalaciones para dar el correcto y esperado servicio que requiere la población que los va a utilizar.

El trabajo consta de cinco capítulos en los cuales se tratará de informar y de dar a conocer los concretos de alta resistencia temprana, así como conclusiones y bibliografía.

En el primer capítulo se describen los antecedentes históricos, los objetivos y los alcances.

En el segundo capítulo se hablará de los procesos de fabricación de los concretos de alta resistencia a edad temprana.

El tercer capítulo se abordan los usos y aplicaciones que tienen los concretos en cuestión.

Mientras que en el cuarto capítulo se darán las ventajas y limitaciones que tienen éstos.

Al final aparecerán las conclusiones, referencias bibliográficas, glosario y el trabajo en Cd.



## CAPÍTULO I ANTECEDENTES

### 1.1. RESEÑA HISTÓRICA

La historia del hombre en cuanto a la utilización del cemento es desde que se busca un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible, esta historia data a partir de la época de las cavernas, aproximadamente en los años 4000 A.C, en donde debían satisfacer sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

Durante la época egipcia ya se utilizaban concretos hechos de cemento con arena y agua que servían para construir sus propios inmuebles, y cuya historia es de un concreto normal.

Pero la historia que realmente nos debe interesar es con respecto al concreto de alta resistencia temprana, que es a partir de que en el mundo se comenzó a dar una solución a la creciente necesidad de mejorar los concretos y fue que en el año de 1950, se crearon los concretos de alto desempeño, entre los que surgieron fueron los concretos de alta resistencia, los autocompactables.

Durante 1970, se comenzaron a utilizar los aditivos superfluidificantes procedentes de Japón y Alemania, los cuales obtuvieron grandes resultados, con una reducción del agua de amasado del orden del 25%, sin efectos secundarios negativos en la rapidez, facilidad de ejecución y garantía de las obras.

Pero para los años 70's, se trato de encontrar una alternativa a éstos concretos para agilizar los trabajos de reapertura pronta de carreteras, de calles, así como de reutilizar las cimbras lo más pronto posible y fue que se comenzaron a crear las variantes de los concretos de alta resistencia conocidos como concretos de alta resistencia temprana, también llamados a edades tempranas o iniciales.

En México desde los inicios de los años 90's, se presentaron las primeras necesidades de utilizar los concretos de alta resistencia inicial, para abrir las obras al tránsito lo más pronto posible y de reutilizar rápidamente la cimbra.

En la actualidad emplear concretos de alta resistencia inicial, es relativamente común en países como Japón, Canadá, Australia, Francia, Estados Unidos, donde se utilizan para concretos presforzados, ampliando la resistencia a la compresión, en edificios altos, calles y carreteras donde se tienen que reabrir a la circulación lo más temprano posible, entre otras obras que se mencionaran más adelante, dentro de los cuales dan al mundo una nueva solución de comodidad, calidad y seguridad.



## 1.2 OBJETIVO.

El presente trabajo tiene como finalidad presentar el proceso de fabricación de los concretos de alta resistencia temprana, también conocidos como de temprana edad o inicial, sus usos y aplicaciones, así como las ventajas y limitaciones de su empleo.

## 1.3 ALCANCES.

El alcance principal es de conjuntar una serie de información que pueda ayudar a cualquier persona que esté interesada en conocer todo lo referente a los concretos de alta resistencia temprana, y que con ello pueda ayudarlos a poder hacer más obras con éste tipo de concretos, ya que en la actualidad no existe suficiente información al respecto.

Uno de los alcances del presente trabajo, es dar a conocer los ingredientes que necesitan éstos concretos, el proceso de fabricación de los mismos y las diferencia que existen contra el concreto normal.

Otra importancia que se desea alcanzar sobre los concretos de alta resistencia inicial son sus usos y aplicaciones que se le pueden dar, así como cuales son las ventajas y limitaciones que tienen dichos concretos con respecto a los demás y citar algunas obras donde se este usando éstos<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Concreto>  
<http://www.arqhys.com/historia-concreto.html>  
<http://www.imcyc.com/concretohistoria/concretos.htm>  
<http://www.cemexmexico.com>  
<http://www.monografias.com/concreto>



---

## CAPÍTULO II MATERIALES

### 2.1 DEFINICIÓN DE LOS CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA TEMPRANA.

El concreto de alta resistencia temprana (ART), también llamado a temprana edad (ARTE) o inicial (ARI), es un concreto que alcanza su resistencia especificada a una edad más temprana que la que requiere un concreto normal. El período en el que tenga que obtener una resistencia especificada puede variar desde 24, 48 ó 72 horas e incluso minutos, hasta varios días.

El concreto de alta resistencia temprana, puede considerarse un tipo particular de los concreto de alto desempeño (CAD). En el que no sólo los ingredientes que posee el concreto de alta resistencia temprana, es una de sus características, sino que incorpora una relación a/c optimizada, granulometría de agregados uniformes y aditivos que aumentan la resistencia a temprana edad.

El procedimiento para elaborar concretos de alta resistencia no se basa exclusivamente en usar cantidades excesivas, de cemento, sino más bien en la correcta combinación de los elementos y factores que favorecen el aumento de la resistencia, entre éstos se puede mencionar agregados bien seleccionados y limpios, grava de tamaño entre 19 a 25mm y arena gruesa; Cemento Portland con módulo de finura alto y contenidos importantes de silicato tricálcico; aditivos químicos superfluidificantes y reductores de agua de comportamiento y aditivos minerales como la escoria de altos hornos, ceniza volante (fly ash) y microsilica (sílice fume).

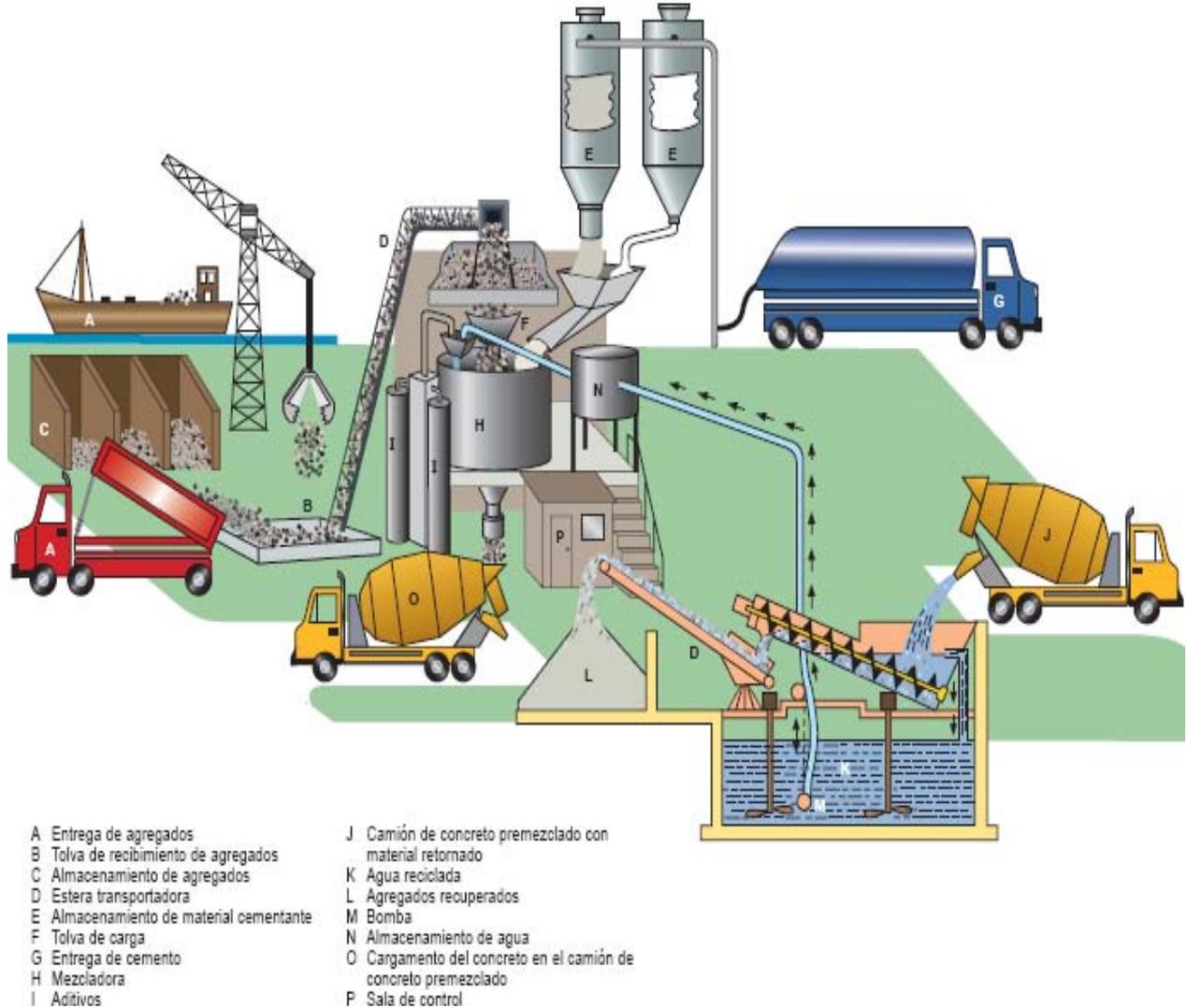
Éste concreto se puede obtener por medio de uno o alguna combinación de los siguientes puntos, dependiendo de las condiciones y de la resistencia especificada que se quieran alcanzar:

- ✓ El uso de cemento tipo III de alta resistencia a temprana edad.
- ✓ Un contenido elevado de cemento (356 a 593 Kg/m<sup>3</sup>)
- ✓ Una baja relación agua - cemento (0.20 a 0.45 en peso)
- ✓ Una mayor temperatura del concreto fresco.
- ✓ Una mayor temperatura de curado.
- ✓ El uso de aditivos químicos.
- ✓ El uso de humo de sílice.
- ✓ Un curado al vapor o en autoclave.
- ✓ Usando un aislamiento para retener el calor de hidratación.



## 2.2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS CONCRETOS

El proceso de mezclado del CART es igual que el de un concreto cualquiera, la única diferencia en cuanto a su fabricación, está en los materiales que lo componen y el diseño que se planea.<sup>3</sup>



El concreto, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento tipo III agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto elemento que se designa como aditivo. Al revolver estos componentes y producir lo que se conoce como una mezcla de concreto, se introduce de manera simultánea un quinto componente representado por el aire.<sup>2</sup>

La mezcla de los ingredientes del concreto produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir las propiedades y comportamientos de un concreto endurecido.

<sup>2</sup> Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association Illinois, 2004.



### 2.2.0.1. EXISTEN DOS FORMAS DE MEZCLADO DEL CONCRETO.

- a) **Mezclado del Concreto en planta.-** Se cuentan con los ingredientes necesarios para el concreto de alta resistencia temprana, se adicionan los agregados, el cemento, el agua y los aditivos, se introducen en las mezcladoras hasta que todo el concreto se mezcla completamente hasta que tenga una apariencia uniforme, con todos sus ingredientes igualmente distribuidos.

Las mezcladoras no se deben cargar más que sus capacidades y se deben operar en la velocidad de mezclado recomendada por el fabricante.

Se puede aumentar la producción con el uso de mezcladoras adicionales, pero no a través del aumento de la velocidad de mezclado o de la sobrecarga del equipo con el cual se cuenta<sup>3</sup>.



- b) **Mezclado Estacionario.-** El concreto a veces se mezcla en la obra a través de una mezcladora estacionaria o mezcladora pavimentadora.

Están disponibles en volúmenes de hasta 9.0m<sup>3</sup> y pueden ser del tipo fijo o del tipo de pala rotatoria con abertura superior.

Todos los tipos pueden estar equipados con botes (chips) de carga y algunos equipados con un canalón de descarga giratorio (canal).

Muchas mezcladoras estacionarias tienen dispositivos para medir el tiempo y algunos se pueden regular para que no se pueda descargar la mezcla sino hasta que haya transcurrido el tiempo designado (ACI 304R-00).



<sup>3</sup> <http://www.cemexmexico.com>

<http://www.holcimapasco.com.mx>



### 2.2.1. CEMENTOS PORTLAND.<sup>4</sup>



En México existen varias empresas o agrupaciones que se dedican a la fabricación de cemento, indudablemente existen unas normas mínimas de calidad que deben cumplir, disponibles en la actualidad varían significativamente en su composición química y finura de molido, lo que incide en la demanda de agua que cada uno de ellos necesitará para obtener la llamada “consistencia normal” de la pasta, para los de alta resistencia temprana se usan cementos tipo III.

La producción de cementos Portland en la zona metropolitana es muy variada en tipos y marcas, pero todos deben cumplir con las normas oficiales mexicanas siendo éstas la NMX-C-414-ONNCE (ASTM-C-150) para los cementos tipo I a V.

De la Norma Mexicana de los Cementos, se tiene la siguiente tabla de acuerdo a su resistencia<sup>5</sup>.

PRODUCTOS SELECCIONADOS			
Tipo	Denominación	Clase resistente	Características especiales
CPO	Cemento Portland Ordinario	20	RS
CPP	Cemento Portland Puzolánico	30	Resistente a los Sulfatos
CPE G	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno	30 R	BRA
CPC	Cemento Portland Compuesto	40	Baja Reactividad Alcalí agregado
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice	40 R	BCH
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno		Bajo Calor de Hidratación B Blanco

Cemento CPO R, se trata de un cemento Portland ordinario con alta resistencia inicial, que es un ejemplo de cómo interpretar la tabla que esta integrada por la composición + característica especial.

La norma ASTM C 150 especifica el tipo de cemento para el concreto de ART:<sup>6</sup>

- **Tipo III Alta resistencia inicial o temprana.** Ofrece resistencia a edades tempranas, normalmente una semana o menos. Este cemento es química y físicamente similar al tipo I, a excepción de que sus partículas se muelen más finamente.

En clima frío, su empleo permite una reducción en el tiempo de curado, en pavimentos para el rápido habilitado del tránsito y cuando se necesite remover las cimbras lo más pronto posible.



En clima Frío



Pavimento



Rápida remoción de la cimbra

<sup>4</sup> ACI Manual de las prácticas del concreto. American Concrete Institute, Michigan 2001.

<sup>5</sup> <http://www.imcyc.com/normas/414%20cemento%20hidraulico2.pdf>

<sup>6</sup> Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association Illinois, 2004.



### 2.2.2. AGUA



Como regla general basada en la Norma Mexicana de la Calidad del Agua NMX-C-122-82, el agua de mezclado debe ser potable. No debe contener impurezas que puedan afectar la calidad del concreto. No debe tener ningún tipo de sabor o contener limo u otras materias orgánicas en suspensión. Aguas muy duras pueden contener elevadas concentraciones de sulfatos. Pozos de agua de regiones áridas pueden contener sales disueltas dañinas y estas aguas deben ser analizadas en laboratorios.

### 2.2.3. AIRE



Uno de los componentes del concreto es el aire (en forma de burbujas), que hace que el concreto sea un material poroso. El contenido de aire promedio para un concreto de alta resistencia temprana, debe ser del 6% para una exposición severa y un 5% para una exposición moderada.

La exposición moderada se refiere al servicio en un clima donde se espera un congelamiento, pero donde el concreto no estará expuesto continuamente a la humedad o al aire libre a largos períodos antes del congelamiento. Las condiciones de exposición severa incluyen contacto con sustancias químicas provocadas por el deshielo o por un contacto continuo con la humedad o por aire libre.

El propósito de vibrar el concreto es movilizarlo lo suficiente para que adquiera la plasticidad, que le permita eliminar las burbujas de aire y haga que las partículas de agregados, se unan por gravitación y forme una masa homogénea.



La ilustración muestra a los concretos normales con aire y sin aire incluido, donde el concreto con aire incluido es más resistente a repetidos ciclos de congelamiento y deshielo.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association Illinois, 2004.  
Apuntes de Concreto, Ing. Luis Zarate Rocha. Fundación ICA.



**GRANULOMETRIA.-** La granulometría del agregado nos proporciona información útil sobre la distribución del tamaño de las partículas del mismo dentro de una muestra. Para su determinación se requiere pasar dicha muestra por una serie de tamices (mallas) con diferentes aberturas:

Malla	3	1 1/2	3/4	3/8	4	8	16	100	200	finos charola
Abertura, mm.	76.2	8.1	19.05	9.53	4.76	2.38	0.19	0.15	0.075	
	grava			frontera		arena		frontera		

## 2.2.4. AGREGADOS

La necesidad de contar con un control de calidad severo en la fabricación de concreto, hace indispensable conocer con detalle los agregados del mismo, ya que ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto.<sup>8</sup>

Los agregados gruesos deben ser mayores que los agregados finos.

### 2.2.4.1. AGREGADOS GRUESOS

Un agregado grueso de buena calidad es igualmente fundamental, es decir, que tenga una alta resistencia a la compresión, así como que su capacidad de adherencia a la pasta sea buena y una absorción moderada o casi nula. Las características anteriores ayudarán a obtener concretos de resistencias más altas en comparación con otros agregados que no cuenten con dichas propiedades.

Se menciona también la necesidad de utilizar tamaños de un diámetro de 19 a 25mm, lo más cúbicos o redondos posibles, prefiriéndose por esto último a las trituradoras de impacto o de martillo en lugar de las llamadas cónicas, aunque en un concreto autocompactable inicial el diámetro deba ser de 10 a 12mm.

También se han utilizado como agregados gruesos, rocas trituradas como trapeana, cuarcita, caliza, granito, grava de un depósito de aluvión, entre otros, que dan importancia a la adherencia y la absorción de estos elementos.

Éstos tamaños de agregados son considerados para producir resistencias más altas del concreto debido a sus menos severas concentraciones de esfuerzo alrededor de las partículas.

Muchos estudios a través de los años han mostrado que la roca triturada produce resistencias más altas que las gravas redondeadas. El agregado ideal debe ser limpio, cúbico angular, 100% triturado y con un mínimo de lajas y partículas alargadas.

En la fabricación de mezclas de prueba de concreto de alta resistencia temprana, es muy importante seleccionar agregados gruesos relativamente duros y fuertes que no se quiebren y produzcan finos durante el mezclado.

<sup>8</sup> Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association Illinois, 2004.



### 2.2.4.2. AGREGADOS FINOS

En lo que se refiere a finos deben ser arenas que se recomiendan con un módulo de finura cercano a 3.00, sin embargo, existen mezclas para concretos de alta resistencia inicial con módulos de finura que oscilan entre 2.7 y 3.2.

Otros agregados que se han utilizado como finos son las pizarras, calizas, areniscas, entre otras, aunque en este caso la mayoría de los investigadores concuerdan que su intervención no influya en forma sustancial en la resistencia del concreto e inclusive tolera graduaciones más gruesas de las que marca la norma NOM-C-77.

Sin embargo, se recomienda limitar la cantidad de finos (un máximo de un 5%), es decir, los porcentajes mínimos en peso del material que pasa la malla No. 50 y malla No. 100 que se reducen a 10% y 2% respectivamente, siempre y cuando el agregado se emplee en un concreto con aire incluido que contenga mas de 237 kg. de cemento por m<sup>3</sup> o bien cuando el agregado se emplee en un concreto que contenga mas de 247kg. de cemento por m<sup>3</sup> cuando el concreto no contenga inclusión de aire.

Resultados dados por investigadores han sido que un módulo de finura debajo de 2.5 en la arena da al concreto una consistencia pegajosa y difícil de compactar y una con un módulo alrededor de 3 da una mejor trabajabilidad y resistencia a la compresión.

Son arenas naturales o manufacturadas, que constan normalmente de cuarzo (sílice) con una pequeña proporción de mica, feldespato u otros minerales, son el producto de la desintegración química y mecánica de la roca bajo abrasión.

- Las partículas de los gruesos deben ser rocas redondas y textura lisa, hacen que requiere de menos agua de mezclado<sup>9</sup>.

El lavado de las arenas puede ser necesario, arenas que sean naturales que contengan grandes cantidades de mica, ciertos minerales arcillosos u otros materiales deletéreos deben evitarse ya que pueden incrementar la demanda de agua y afectar la hidratación y la adhesión de la pasta de cemento.



Agregados Finos



Agregados Gruesos

<sup>9</sup> Biblioteca de Consulta Microsoft ® Encarta ® 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation.



### 2.2.5. ADITIVOS



Aditivo Reductor, Espumante e inhibidor de corrosión

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto, que además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado.

Un aditivo es un material distinto del agua, agregados y cemento que se usa como ingrediente en concretos y se agrega a la mezcla antes o durante de su agitación o mezclado.

#### ADITIVOS QUÍMICOS.

Para el concreto de alta resistencia inicial se usan aditivos químicos que son sustancias químicas naturales o manufacturadas que se adicionan al concreto antes o durante el mezclado del mismo.

Los aditivos químicos que se usan son, reductores de agua, acelerantes y superfluidificantes.<sup>10</sup>

- A. **Reductores de Agua.**- son hechos a base de productos químicos solubles en el agua y su objetivo es reducir la cantidad de agua en el concreto, modificando la velocidad de fraguado, así como su consistencia. Al utilizar los aditivos reductores de agua, se podrá reducir el contenido de cemento en proporción a la reducción dada al agua, conservando así la misma relación agua/cemento y se gana un incremento adicional en la resistencia, pues se incrementa la eficiencia de hidratación. Estos tipos de aditivos son muy útiles en concretos que van a ser colocados en secciones de mucho refuerzo.
- B. **Acelerantes.**- son aquellos que sirven para reducir el tiempo de fraguado y acelerar el desarrollo de la resistencia del concreto obteniendo, aproximadamente un 60% de la resistencia en tan solo 48 hrs. Propician la obtención de altas resistencias a temprana edad, aceleran el fraguado en colados a bajas temperaturas o facilitan el descimbrado con mayor rapidez, en tanto los estabilizadores expanden el volumen del concreto al fraguar, compensando la pérdida de montos por retracción, mientras evitan contracciones y agrietamientos, además de limitar la porosidad y la permeabilidad.
- C. **Superfluidificantes.**- son aditivos que hacen que el concreto sea más fluido y por lo tanto, facilitan su colocación. Estos aditivos reducen significativamente el contenido de agua de los morteros y concretos, manteniendo una consistencia determinada, sin producir efectos indeseables sobre el tiempo de fraguado. Se usan típicamente para proporcionar trabajabilidad, ya que la composición del concreto de alta resistencia inicial difiere de la correspondiente a las mezclas convencionales, las características a edades tempranas de la pasta hidratante también serán distintas.

---

<sup>10</sup> Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association Illinois, 2004.



## 2.2.6 ADICIONES AL CEMENTO

Los cementos adicionados se producen por la molienda uniforme y conjunta, por la mezcla de dos o más tipos de materiales finos. Los materiales principales son cemento portland, cal hidratada y combinación de escorias granuladas de alto horno, cenizas volantes, humo de sílice, arcillas calcinadas u otras puzolanas, donde el humo de sílice, es el que se usa para el concreto de alta resistencia inicial.<sup>11</sup>



Humo de Sílice<sup>12</sup>

El humo de sílice, ha sido empleado como reemplazo parcial o adicional al cemento en cantidades que varían entre el 5 y 10% y hasta llegar al 30% en peso del material cementante total.<sup>13</sup>

El humo de sílice, también conocido como micro sílice o humo de sílice condensado, es otro material que se emplea como aditivo puzolánico, éste producto en forma de polvo es de color gris claro a oscuro o en ocasiones gris azulado verdoso, es un material que consiste principalmente de bióxido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y es subproducto que se obtiene durante la fabricación del silicio y ferrosilicio al capturar los humos que se producen en los hornos.

El humo de sílice da como resultado en un concreto de alta resistencia temprana, que reduce la permeabilidad y aumenta la resistencia a los agentes químicos. El empleo de los diferentes porcentajes del humo de sílice ocasiona que el concreto tenga diferente trabajabilidad, por lo que la demanda de agua aumenta conforme se incrementan las cantidades de éste material.

Algunos investigadores han llegado a coincidir que se tienen dos efectos principales en el concreto con el uso del humo de sílice.

1) El efecto de un reductor de agua que se refleja en una disminución de la relación a/c, cuando el mineral se adiciona en combinación con un superfluidificante.

2) El efecto inherente, que se refleja en una ganancia en resistencia en los concretos hechos con micro sílice, en comparación con aquellos que no se les agregó y que tienen la misma relación a/c.

<sup>11</sup> <http://www.construsur.com.ar/News-topic-1-startnum-31.html>

<sup>12</sup> <http://www.anpatec.com/impersan.htm>

<sup>13</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Humo\\_de\\_s%C3%ADlice](http://es.wikipedia.org/wiki/Humo_de_s%C3%ADlice)

Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association Illinois, 2004.



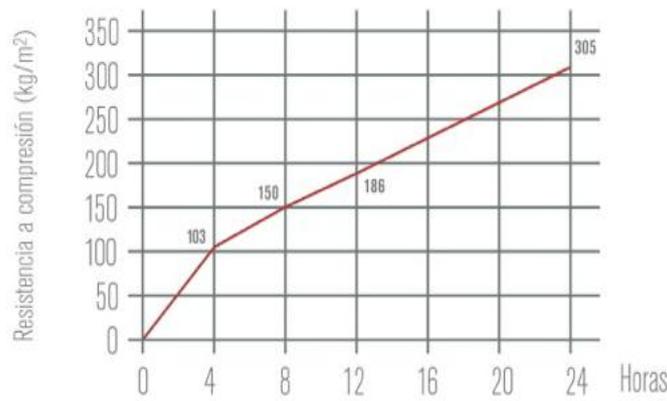
## 2.3. CARACTERÍSTICAS

### 2.3.1. RELACION AGUA/CEMENTO (A/C)

La relación agua/cemento es simplemente la masa del agua dividida por la masa del cemento portland, ceniza volante, escoria, humo de sílice y puzolanas. La relación a/c elegida para un diseño de mezcla debe ser el menor valor necesario para resistir a las condiciones de exposición anticipada y que darían lugar a productos endurecidos de muy buena calidad

La mínima relación agua/cemento para un concreto de resistencia temprana es de 0.20, o lo que es lo mismo 1 parte de agua por 5 partes de cemento.

Evolución de la Resistencia a la Compresión a Diferentes Horas



Resistencias que adquieren los concretos de alta resistencia temprana en las diferentes horas.

$$0.20 \leq \boxed{\text{Rel. a/c del CART}} \leq 0.45$$





### 2.3.2. CURADO AL VAPOR Y TEMPERATURA DE CURADO

El curado es la mantención de la temperatura y del contenido de humedad satisfactorios, por un periodo de tiempo debe iniciarse inmediatamente después del colado, para que se puedan desarrollar las propiedades deseadas. El curado del concreto debe continuar al menos durante 7 días, para todos los concretos, excepto para los de alta resistencia inicial cuyo periodo debe ser de al menos 3 días.

En estas situaciones, es fundamental que se aplique curado al vapor (niebla) o en autoclave, inmediatamente después del enrasado, esto es necesario para prevenir la contracción plástica de las superficies horizontales y minimizar la formación de grietas.

El Curado a vapor (niebla), forma una cámara de vapor sobre la superficie expuesta del concreto que se busca curar, es ventajoso donde se requiera, alcanzar un resistencia de 70% en 12 horas, consiguiendo elevar la temperatura del concreto, Es ventajoso donde sea importante el desarrollo de resistencia temprana o en un ambiente de humedad o en climas fríos.

El tiempo de curado de los concretos depende del grado de humedad y temperaturas ambiente, presencia de viento, insolación y tipo de cemento utilizado. Las condiciones más críticas de curado que precisan mayores períodos aparecen en ambientes calurosos o fríos con vientos fuertes y secos.<sup>14</sup>

La temperatura de curado en el ambiente cerrado se debe mantener hasta que el concreto haya logrado la resistencia deseada. El tiempo requerido va a depender de la mezcla de concreto y la temperatura de vapor en el ambiente (ACI Comité 517 1992).<sup>15</sup>



Curado



Curado por niebla

<sup>14</sup> [http://www.pemex.com/files/content/GNT-SSNP-C003-2005\(Rev0\).pdf](http://www.pemex.com/files/content/GNT-SSNP-C003-2005(Rev0).pdf)

<sup>15</sup> <http://www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-arquitectura/concreto-2/>

Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association Illinois, 2004.



### 2.3.3. CONCRETO FRESCO

Los concretos con humo de sílice, deben emplearse con un reductor de agua o superfluidificante para obtener un revenimiento dado, sino requieren de más agua y no obtienen un revenimiento dado. Algunas mezclas pobres no experimentan aumentos en la demanda de agua cuando se tiene presente una pequeña cantidad de humo de sílice.

Las inclusiones de escoria molida, ceniza volante, y humo de sílice en concretos sin aire incluido generalmente reducen la cantidad de aire atrapado. La ceniza volante y el humo de sílice normalmente muestran un mayor efecto en esta reducción que la escoria molida.

**Trabajabilidad.** El humo de sílice podría reducir la trabajabilidad; por eso normalmente se agregan reductores de agua, a los concretos con humo de sílice para mantener la trabajabilidad.

**Segregación y sangrado.** Los concretos en los que se emplea humo de sílice por lo general muestran menos segregación y sangrado que los simples. Este efecto hace al humo de sílice especialmente valioso en los concretos fabricados con agregados finos que presentan deficiencias.

#### Características:

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| ✓ Tamaño máximo agregado: | $10 \leq TMA \leq 40 \text{ mm}$                          |
| ✓ Revenimiento:           | $17 \leq REV \leq 24 \text{ cm}$                          |
| ✓ Peso volumétrico:       | Alrededor de $2,200 \text{ kg/m}^3$                       |
| ✓ Tiempos de fraguado:    | según diseño de mezcla entre 1,5 y 4 horas. <sup>16</sup> |
| ✓ Alta Cohesión           |   |

### 2.3.4. CALOR DE HIDRATACIÓN

El concreto genera calor durante su endurecimiento como consecuencia del proceso químico a través del cual el cemento reacciona con el agua para formar una pasta endurecida y estable.

El calor generado se llama calor de hidratación, su cantidad y tasa de liberación varían con el tipo de cemento. Algunas puzolanas (humo de sílice), pueden o no reducir el calor de hidratación, tienen un orden del 40% de calor de hidratación que los concretos normales, esta reducción en el aumento de la temperatura resulta especialmente benéfico usados en estructuras masivas.

El calor de hidratación es muy útil durante el clima frío, pues contribuye para que se logre una temperatura adecuada de curado, generalmente sin que sean necesarias otras fuentes temporarias de calor, principalmente en elementos de concreto masivo.

---

<sup>16</sup> <http://www.materialespegar.com/matmenumarcas.swf>



### 2.3.5. RESISTENCIA A CONGELACIÓN-DESHIELO

Debido a su relación agua/cemento baja (menor que 0.25), el CART debe ser altamente resistente al descascaramiento y a la ruptura física resultantes de congelación y deshielo.

Del concreto utilizado en estructuras y pavimentos, se espera que tenga una vida larga y un mantenimiento bajo.

Debe tener buena durabilidad para resistir condiciones de exposiciones anticipadas.

El Intemperismo mas destructivo es la congelación-deshielo, hace que el concreto se encuentra húmedo y particularmente cuando se encuentra con la presencia de agente químico descongelante.



Efecto Congelación-Deshielo



Concreto Fresco



Concreto endurecido<sup>17</sup>

## 2.4 CONTROL DE CALIDAD

El concreto de alta resistencia temprana está elaborado bajo un estricto Control de Calidad conforme a parámetros de las normas americanas ASTM, uso de los ingredientes y de las prácticas de colocado tradicionales para el concreto como cemento portland, agua, agregados finos y gruesos, de la granulometría controlada y aditivos químicos, para mejorar las características del producto, tanto en el estado fresco como en el estado endurecido, aunque a veces se necesitan materiales especiales.

La dosificación es el proceso de medida, por masa o por volumen, de los ingredientes del concreto. Para producir un concreto con calidad uniforme, los ingredientes se deben medir con precisión por cada revoltura (amasada).

Existen empresas en México que producen los concretos de alta resistencia temprana de excelente calidad, acoplándose a las necesidades de los clientes, para proyectos estructurales, de relleno y para pavimentos. Además cuentan con laboratorios bajo los estándares de calidad certificada [ISO 9001](#).



<sup>17</sup> Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association Illinois, 2004.



## 2.5 TRANSPORTE Y COLOCACIÓN



En los últimos 75 años, ha habido pocos cambios significativos en los principios de transporte del concreto. Lo que ha cambiado es la tecnología que ha llevado al desarrollo de una maquinaria mejor para elaborar el trabajo más eficientemente.

Disponible en cantidades de acuerdo a las necesidades del cliente en la ubicación designada para su descarga a pie de obra con canalón o por medio de bombeo directamente a la cimbra, ya sea en vertical y/o horizontal.

Algunos equipos de transporte se muestran a continuación con sus ventajas <sup>18</sup>

Equipo	Tipo de trabajo más adecuado para el equipo	Ventajas	Puntos a fijarse
Camión mezclador	Usados para transporte de concreto para pavimentos, estructuras y edificios. La distancia de transporte debe permitir la descarga del concreto en 1½ hora, pero este límite se puede ignorar bajo ciertas circunstancias.	No se necesita de central mezcladora, sólo una planta de dosificación, pues el concreto se mezcla completamente en el camión. La descarga es la misma que en el camión agitador.	El tiempo de descarga debe adecuarse a la organización de la obra. El personal y los equipos deben estar listos en la obra para el manejo del concreto. El control de calidad del concreto no es tan bueno como en la central mezcladora.
Canalones sobre camión mezclador	Para transportar concreto a un nivel inferior, normalmente abajo del nivel del terreno, en todos los tipos de construcción de concreto.	Bajo costo y facilidad de maniobrar. No se necesita fuerza, pues la gravedad hace la mayor parte del trabajo.	La inclinación debe variar entre 1 para 2 y 1 para 3. Los canalones se deben soportar adecuadamente en todas las posiciones. Son necesarios arreglos en las extremidades para evitar segregación.
Canalones de desnivel	Usados en la colocación del concreto en cimbras (encontrados) verticales de todos los tipos. Algunos canalones son una pieza de tubo producido en lona con goma flexible, mientras que otros son cilindros de metal articulados montados (trompa de elefante).	El canalón de desnivel lleva el concreto directamente para la cimbra (encontrado) y lo conduce hacia el fondo sin segregación. Su empleo evita el derrame de la lechada y del concreto sobre el acero de refuerzo o las laterales de la cimbra, el cual es dañino cuando se especifican superficies aparentes. También van a prevenir la segregación de las partículas de agregado grueso.	Deben ser suficientemente grandes, con aberturas abocinada en las cuales se puede descargar el concreto sin derramarlo. La sección transversal del canalón de desnivel se debe escoger para permitir su inserción en la cimbra sin interferir en la armadura de acero.
Esteras (bandas, cintas) transportadoras	Para transportar horizontalmente el concreto o a niveles más abajo o más arriba. Normalmente se posicionan entre los puntos de descarga principal y secundario.	Las esteras transportadoras tienen alcance ajustable, desviador viajero y velocidad variable, sea hacia delante o en reversa. Puede colocar rápidamente grandes volúmenes de concreto, aun cuando el acceso es limitado.	Son necesarios arreglos en las extremidades de descarga para prevenirse la segregación y para no dejar mortero en la estera de regreso. En climas adversos (calurosos y con viento) las esteras largas necesitan de cubiertas.

<sup>18</sup> Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association Illinois, 2004

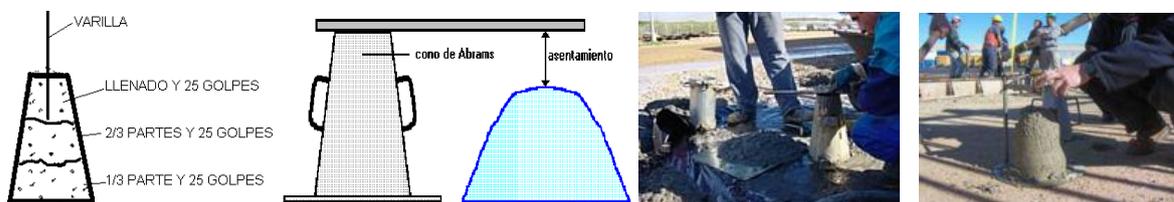


## 2.6 PRUEBAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA TEMPRANA

Se realizan pruebas de revenimiento, contenido de aire, temperatura y resistencia a compresión. También se pueden ensayar testigos (corazones) para correlacionarlos con los resultados de las pruebas en cilindros y dar al diseñador, la resistencia y el módulo de elasticidad en el sitio para la construcción.

### 2.6.1 PRUEBA DE REVENIMIENTO.

Esta prueba sirve para determinar la fluidez o trabajabilidad que tiene el concreto. La variación en el revenimiento es con frecuencia una manera para detectar variaciones en la relación agua/cemento, por lo que es posible utilizar esta prueba como un criterio para la aceptación o rechazo del concreto fresco, desde el punto de vista de las variaciones que ocasiona en la resistencia.



El revenimiento especificado que se desea adquirir para el concreto de alta resistencia temprana, debe ser de 8 a 18 cm  $\pm$  2cm, ya que si no se encuentra dentro de éstas medidas, generaría que el concreto no trabaje correctamente como se diseño que lo haría, si la prueba demuestra estar dentro de los rangos, nos marcaría que dicho concreto trabajara correctamente y alcanzara una vida útil satisfactoria.<sup>19</sup>

El peso volumétrico del concreto deberá estar entre el rango de los 2,200 y los 2,500 kg/m<sup>3</sup> para poder ser aceptado.

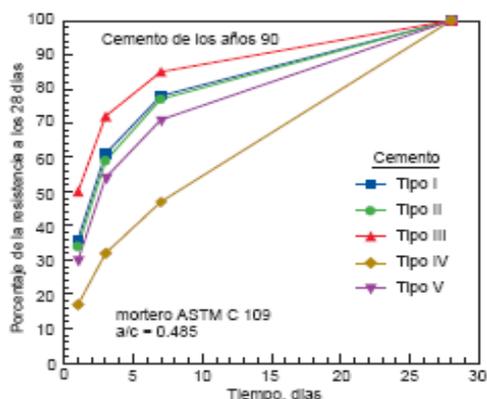
La temperatura aceptable de entrega no supere los 25°C (77°F) y preferiblemente sea cerca de 20°C (66°F). Además del nitrógeno líquido, otras medidas de enfriamiento del concreto pueden involucrar el uso de hielo o de agua fría como parte del agua de la mezcla.

<sup>19</sup> Tesis de Zúñiga Ibarra Reyna Isabel, "Tecnología del concreto autocompactable".  
Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association Illinois, 2004

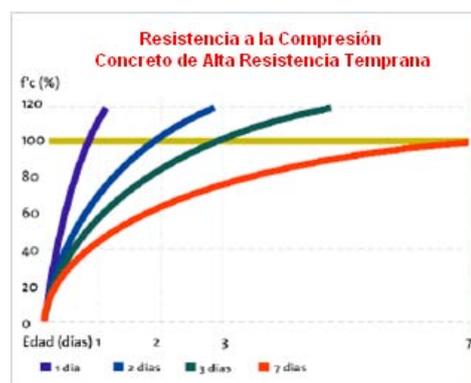


## 2.6.2 PRUEBAS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La prueba de compresión resulta la más importante, debido a que mediante la resistencia de un concreto se define generalmente la calidad del mismo, las pruebas se deberán hacer a los **24, 48, 72 horas 7 días** en los concretos de alta resistencia inicial y de los cuales se obtienen resultados por medio de gráficas.



Comparación de las resistencias con diferentes cementos<sup>20</sup>



Resistencia de los Concretos de A.R.I.<sup>21</sup>

Cuyas características fundamentales de este concreto son<sup>22</sup>:

- ❖ Cumple con la norma: NMX-C-414-ONNCCE.
- ❖ Resistencia:  $400 \leq f'c \leq 800 \text{ kg/cm}^2$
- ❖ Tiempo: 24, 48, 72 horas a 7 días.
- ❖ Colocación: Bombeo o canalón
- ❖ Tamaño máximo de los agregado:  $19 \leq TMA \leq 25 \text{ mm}$
- ❖ Revenimiento:  $8 \leq REV \leq 18 \text{ cm} \pm 2\text{cm}$
- ❖ Resistencia a la compresión:  $150\text{kg/cm}^2$  a las 8 horas  $\leq f'c \leq 305 \text{ kg/cm}^2$  a las 24 horas
- ❖ Resistencia a la flexión:  $19 \text{ kg/cm}^2$  a las 8 horas  $\leq f'c \leq 24 \text{ kg/cm}^2$  a las 24 horas
- ❖ Peso volumétrico:  $2200 < P_{VOL} < 2,500 \text{ kg/m}^3$

<sup>20</sup> Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association Illinois, 2004

<sup>21</sup> <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/altarT8.htm>

<sup>22</sup> [www.cemexmexico.com](http://www.cemexmexico.com)



---

## CAPÍTULO III USOS Y APLICACIONES

### 3.1 USOS Y APLICACIONES

El concreto de alta resistencia a temprana edad se utiliza y se aplica en<sup>23</sup>:

- En concretos preforzados para permitir que se puedan cargar rápidamente.
- En concretos prefabricados (trabes, columnas, entre otros) para tener una rápida producción de elementos, pretensadas o postensadas.
- En las construcciones de alta velocidad colocadas en el lugar o de estructuras de gran altura.
- Para contar con una reutilización rápida de las cimbras.
- Para las construcciones en climas fríos.
- Para reparaciones rápidas con el propósito de reducir los periodos de paralización del tránsito y poder recibir cargas a edad temprana.
- Para pavimentaciones rápidas de caminos, carreteras, avenidas o circuitos nuevos (permitiendo que se pueda abrir al tránsito 24 horas después de haberlo colocado).
- Obras donde la cimbra sea escasa o el costo de la cimbra sea muy alto.
- Elementos que no estén sujetos a ataques químicos y/o ambientales severos.
- Construcción y reparación de pistas y plataformas aéreas.
- Para reparación de puentes que se requiere su rápida apertura.
- Reparación de guarniciones y banquetas.
- Para elementos como: postes, pilotes, muretes para carreteras.
- Bacheado de áreas en donde se haya presentado fallas.
- Para construcciones que se requieren su rápida inauguración (segundo piso del Periférico) y para varios otros usos.

---

<sup>23</sup> <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/altarT8.htm>



### 3.2 OBRAS CON LOS CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA TEMPRANA.



Pista Aérea



Carretera Guadalajara-Tepic



Pavimento Urbano, Los Cabos Baja California Sur



Aeropuerto de Cancun, Q. Roo

24



Parche de concreto.

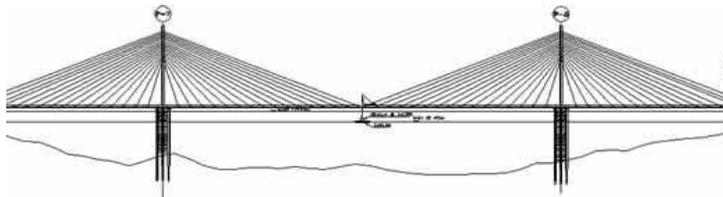
Bacheado de pavimento con fallas<sup>33</sup>.



Concreto postensado<sup>33</sup>



Concreto pretensado bridge, Grants Pass, Oregon, USA<sup>25</sup>



Concreto Presforzado en Chiapas<sup>33</sup>.



Autopista Saltillo, en Matehuala<sup>33</sup>



Prefabricados del segundo piso del periférico y en la reparación de losas de pavimentación en el aeropuerto usadas por Apasco.<sup>26</sup>

-En proyectos de pavimentación de caminos en el condado de IOWA, la rápida apertura en 24 o 36 hrs.

-Obras en Venezuela con concreto adicionado con micro sílice, como el Metro de Caracas, Pisos industriales, plantas de tratamiento<sup>27</sup>.

<sup>24</sup> [www.cemexmexico.com](http://www.cemexmexico.com)

<sup>25</sup> [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

<sup>26</sup> [fernando.tejeda@holcimapasco.com.mx](mailto:fernando.tejeda@holcimapasco.com.mx), [www.holcimapasco.com.mx](http://www.holcimapasco.com.mx)

[www.airliners.com](http://www.airliners.com)

<sup>27</sup> [www.google.com](http://www.google.com)



### Plataformas Marítimas

Plataforma	Año de Finalización	Resistencias		
		De proyecto Kg/cm <sup>2</sup>	Calculadas Kg/cm <sup>2</sup>	Reales Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Ekofisk</u>	1972	400	450	418
<u>Beryl A</u>	1974	450	550	507
<u>Brent D</u>	1975	500	543	506
<u>Frigg MP-2</u>	1976	400	560	498
<u>Statfjord B</u>	1979	550	625	569
<u>T 300 Testmodel</u>	1984	650	845	774
<u>Gulfaks B</u>	1984	550	808	735
<u>Oseberg A</u>	1985	600	767	715
<u>Gulfaks C</u>	1986	650/700	790	790
<u>Gulfaks (skirts)</u>	1987	700	838	730

### EDIFICIOS

Edificio	Ubicación	Año de Finalización	No. De Pisos	Resistencia de Proyecto Kg/cm <sup>2</sup>
<u>River Plaza</u>	Chicago	1976	56	789
<u>Columbia Center</u>	Seattle	1983	76	660
<u>Interfirst Plaza</u>	Dallas	1983	72	690
<u>Scotia Plaza</u>	Toronto	1988	68	700
<u>Eugene Terrace</u>	Chicago	1987	44	770
<u>311 South Wacker Drive</u>	Chicago	1988	70	840
<u>South Wacker Tower</u>	Chicago	1989	79	830
<u>One Wacker Place</u>	Chicago	1990	-	800

### PUENTES

Puente	Ubicación	Año de Construcción	Claro Máximo (m)	Resistencia de Proyecto Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Férreo Kukamitsu</u>	Japón	1974	26	690
<u>Férreo Akkagawa</u>	Japón	1976	46	800
<u>Helgelandsbrua</u>	Noruega	1990	42.5	650
<u>Férreo Ootanabe</u>	Japón	1973	24	790
<u>Pont du Pertuiset</u>	Francia	1988	11	650
<u>Puente Grants Pass</u>	Oregón	16/08/2007	18	730
<u>2do Piso del Periférico</u>	México	2004-2005	22.5 a 30	600-800



**Férreo Ootanabe**



**Pont du Pertuiset**



**Puente Grants Pass**



**2do Piso del Periférico**



**Ekofisk**



**Brent D**



**Statfjord B**



**Oseberg A**



**Gulfaks Skirts**



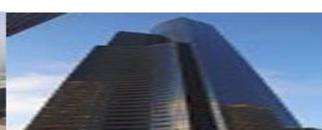
**Interfirst Plaza**



**River Plaza**



**Scotia Plaza**



**Columbia Center**



## CAPÍTULO IV. VENTAJAS Y LIMITACIONES

### 4.1 VENTAJAS

- ❖ No hay que esperar a los 28 días para que se alcance la resistencia esperada.
- ❖ Representa un ahorro en tiempo de ejecución y avance de obra en tiempos muertos.
- ❖ Cumple con los requisitos estipulados por reglamentos de construcción para zonas sísmicas como la Cd. de México, Puebla y Acapulco.
- ❖ Concreto de calidad uniforme, garantizando la medición y dosificación de materiales controlados.
- ❖ Mayor tecnología por la utilización de aditivos que incrementan la velocidad de ejecución.
- ❖ Se obtienen resistencias a compresión en horas, en 1 día, 3 días y 7 días.
- ❖ Por sus componentes y producción, garantiza un fraguado rápido y reduce tiempos de descimbrado.
- ❖ Posee una muy baja contracción adaptándose fácilmente a construcciones anteriores de concreto.
- ❖ Es de baja permeabilidad y presenta excelente grado de trabajabilidad
- ❖ Se puede ajustar el tiempo de fraguado según las necesidades de la obra.
- ❖ En pavimentos flexibles tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años.
- ❖ Se adapta mejor para unir áreas de pistas de rodaje transversal o plataformas con alto volumen de tráfico.
- ❖ Se presentan algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:
  - Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
  - Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
  - Se incrementa la resistencia al intemperismo.
  - Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y el esfuerzo.
  - Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.
- ❖ Ventajas Inherentes al Uso de los Cementos Compuestos:
  - ✓ Mejora las características del concreto en su estado fluido o fresco (a tempranas edades)
  - ✓ Mejora las características en su estado endurecido (a largo plazo).
  - ✓ Primordialmente, cuando las necesidades del desempeño incluyen requisitos de durabilidad.

### 4.2 DESVENTAJAS

- Las principales limitaciones en los concretos de alta resistencia inicial, es la poca disponibilidad de materia prima en la zona de obra, el clima, restricción de la temperatura máxima del elemento a colar, grado de agrietamiento, asociadas con la durabilidad del mismo y el presupuesto disponible.
- El posible agrietamiento dependerá del diseño estructural, la geometría del elemento, el proceso constructivo, el refuerzo y las medidas que se tomen para mitigar el problema.
- Otra desventaja es el precio del concreto que es más alto que un concreto equivalente a edad mayor. Esto implica hacer un análisis de costo/beneficio para definir si resulta más costoso la velocidad de construcción o los materiales que se utilizan en los diferentes concretos.
- El costo del concreto de alta resistencia inicial es aproximadamente un 30% más caro que el tradicional, aunque también dependerá que tan de alta resistencia sea, por ejemplo, no es lo mismo  $f'c=750 \text{ kg/cm}^2$  que será más caro que uno de  $f'c=400 \text{ kg/cm}^2$ .



### 4.3 RESUMEN DEL CONCRETO DE ART

•Año de creación:	Años 90's
•Pertenece a:	Concretos de Alto Desempeño
•Variante de los Concretos:	Alta resistencia o Autocompactables
•Usados actualmente:	Francia, EUA, Japón, Canadá y Australia.
•Cumple con la norma:	NMX-C-414-ONNCCE. ASTM-C-150 para cementos tipos (I-IV)
•Cementos:	Tipo III de rápida resistencia ó Tipo I con humo de sílice y aditivo
•Contenido de Cementos:	356 a 593 Kg/m <sup>3</sup>
•Agua:	Lo más potable posible
•Aire incluido:	Menor de 6% en exposiciones severas Menor de 5% en exposiciones moderadas
•Tamaño máximo de los Agregado Gruesos:	$19 \leq TMA \leq 25.4 \text{ mm}$
•Tamaños máximos de los Agregados Finos:	$0.5 \leq TMA \leq 2 \text{ mm}$ ó $2.7 \leq MF \leq 3.2$
•Aditivos	Reductor de agua, Superplastificante, Acelerante.
•Relación Agua/Cemento	0.2 a 0.45 en peso
•Resistencia:	$400 \leq f'c \leq 800 \text{ kg/cm}^2$
•Tiempo:	24, 48, 72 horas a 7 días.
•Temperatura:	Alrededor de 20°C (66°F)
•Peso volumétrico:	$2200 < P_{VOL} < 2,500 \text{ kg/m}^3$
•Curado	A vapor o Autoclave
•Colocación:	Bombeo o canalón
•Pruebas:	Revenimiento, Compresión, testigo(corazones)
•Revenimiento:	$8 \leq REV \leq 18 \text{ cm} \pm 2\text{cm}$
•Resistencia a la compresión:	$150\text{kg/cm}^2 \text{ a } 8 \text{ hrs} \leq f'c \leq 305 \text{ kg/cm}^2 \text{ a } 24 \text{ hrs}$
•Resistencia a la flexión:	$19 \text{ kg/cm}^2 \text{ a } 8 \text{ hrs} \leq f'c \leq 24 \text{ kg/cm}^2 \text{ a } 24 \text{ hrs}$
•Resistencia a la congelación-deshielo:	Por el curado y el calor de hidratación
•Transporte:	A pie de obra con canalón o bombeo directo
•Control de Calidad	Estándares de calidades certificadas ISO 9001
•Transporte:	A pie de obra con canalón o bombeo directo a la cimbra
•Control de Calidad:	Estándares de calidad certificadas ISO 9001
•Usos:	Concretos pretensados, postensados, concretos prefabricados, puentes, banquetas, plataformas marítimas, muros para carreteras, pavimentos, para avenidas, camino, calles y carreteras, en edificios altos.
Ventajas:	Incrementa la resistencia a compresión y flexión a edades tempranas, al disminuir la relación <i>a/c</i> , disminución los tiempos de descimbrado y la rápida ejecución y apertura de las obras, aumenta la adherencia de la pasta, excelente trabajabilidad, y reduce la permeabilidad
Desventajas:	El costo del CART aprox. 30% más caro que CT, también depende de la resistencia, como $f'c=750$ vs $400 \text{ kg/cm}^2$ , el precio es superior por los materiales que se usan, durabilidad de 15 a 20 años, poca disponibilidad de materia prima en la zona de obra, restricción de la temperatura máx. del elemento a colar, el grado de agrietamiento.



---

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

La aparición de los cemento y del concreto, han sido un factor determinante para construir edificios, calles, carreteras, presas, puentes, fabricas, y demás construcciones, siempre garantizando a la sociedad que los va a utilizar los factores de calidad, seguridad y costo, y el reto principal para los constructores es crear mejores concretos para satisfacer la demanda de cambios que ha tenido el mundo constantemente y por ende cada día más se renuevan concretos con resistencias más grandes, de mejor calidad, seguros, económicos y duraderos.

En este trabajado pudimos conocer que son los concretos de alta resistencia temprana, sus antecedentes, así como observar que ingredientes contiene el concreto que lo hace distinto a los demás, sobre todo la diferencia con respecto al concreto normal y al de alta resistencia a los 28 días, y los elementos que utiliza son el cemento tipo III (de rápida resistencia), con el uso del humo de sílice, así como de los aditivos químicos (reductores de agua o superfluidificantes) y cuyos componentes hacen que el concreto logre su resistencia específica en unas cuantas horas o en varios días.

Este tipo de concretos no son tan conocidos como los demás, para muchos de nosotros hoy en día, pero al realizar la investigación de éstos y conocer las obras en las que se han utilizado los de alta resistencia inicial, podemos observar que ya se han vuelto una solución idónea para muchas constructoras, por las características que les dan los ingredientes como aditivos o adiciones y reducción de la relación a/c, permitiendo habilitar las obras al tránsito en horas o pocos días después del colado.

Se puede concluir que estos concretos agilizan las construcciones en cuanto a tiempos de cimbrado, descimbrado y la rápida apertura de las obras, pero con las desventajas que son concretos actualmente caros con respecto a los concretos tradicionales y también dependiendo la resistencia que desea alcanzar.

También se puede concluir que en México los concretos de alta resistencia temprana, se pueden fabricar tanto en una planta cementera como en plantas de prefabricados en la obra y que siguen un estricto control de calidad, basándose en las normas establecidas por las normas mexicanas, para garantizar su buen funcionamiento y seguridad de los concretos en las construcciones.

Se concluye adicionalmente que en México, algunas cementeras y el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. (IMCYC), cuentan con laboratorios certificados con ISO 9001, que hacen que se puedan realizar las diferentes pruebas de revenimiento o de resistencia a la compresión por medio de cilindros representativos de los concretos colocados en obra y saber cuales serían sus comportamientos en las diferentes cambios de temperatura y resistencias deseadas en horas o en días.

El proceso de fabricación de cada cementera mexicana es diferente, además dicho proceso también dependerá de las necesidades y características que los mismos contratistas deseen, para proyectos como estructurales, de relleno y para pavimentos, también dependerá del sitio donde se construirá y de los factores climatológicos a los que estará expuesto el concreto.



---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

### A. PÁGINAS DE INTERNET

- <http://www.airliners.com>
- <http://www.anpatec.com/impersan.htm>
- Apuntes de Concreto, Ing. Luis Zarate Rocha. Fundación ICA.
- <http://www.arqcon.com.ar/pprof/Lnegra/ppcemento.htm>
- <http://www.arqhys.com/historia-concreto.html>
- <http://www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-arquitectura/concretos-para-la-edificacion/>
- <http://www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-arquitectura/concreto-2/>
- [http://www.capac.org/Secciones\\_Categorias//20061205Cementos\\_a\\_la\\_medida.pdf](http://www.capac.org/Secciones_Categorias//20061205Cementos_a_la_medida.pdf)
- <http://www.cedex.es/ceta/dircaibea/>
- <http://www.cemartigas.com.uy/CEMENTO%20PORTLAND%20ARTIGAS%20CPN%2040.htm>
- [www.cemexmexico.com](http://www.cemexmexico.com)
- [http://www.concretonline.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=733&Itemid=35](http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&task=view&id=733&Itemid=35)
- [www.construaprende.com/t/02](http://www.construaprende.com/t/02).
- <http://www.construir.com/ECONSULT/C/CONSULTA/RENISON/DOCUMENT/armado5.htm#inicio>
- <http://www.construsur.com.ar/News-topic-1-startnum-31.html>
- <http://www.google.com/concretos>
- <http://www.holcimapasco.com.mx>
- [www.imcyc.com/ct2007/may07/tecnologia.htm](http://www.imcyc.com/ct2007/may07/tecnologia.htm)
- <http://www.imcyc.com/normas/414%20cemento%20hidraulico2.pdf>
- [www.imcyc.com/concretohistoria/concretos.htm](http://www.imcyc.com/concretohistoria/concretos.htm)
- <http://www.materialespegar.com/matmenumarcas.swf>
- <http://www.monografias.com/concreto>
- <http://www.monografias.com/trabajos12/hores/hores.shtml?monosearch#al>
- NOPCO Colombiana, S.A. INDOL.
- [www.pemex.com/files/content/GNT-SSNP-C003-2005\(Rev0\).pdf](http://www.pemex.com/files/content/GNT-SSNP-C003-2005(Rev0).pdf)
- <http://www.quiminet.com.mx>
- [http://www.revistabit.cl/body\\_articulo.asp?ID\\_Articulo=1359](http://www.revistabit.cl/body_articulo.asp?ID_Articulo=1359)
- <http://html.rincondelvago.com/aditivos-minerales-finamente-divididos.html>
- [www.sika.com.mx](http://www.sika.com.mx)
- <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/altarT8.htm>
- [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/1/CI62C/1/material\\_docente/previsualizar.php?id\\_material=129842](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/1/CI62C/1/material_docente/previsualizar.php?id_material=129842)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Concreto>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Humo\\_de\\_s%C3%ADlice](http://es.wikipedia.org/wiki/Humo_de_s%C3%ADlice)

### B. CONTACTOS DE INSTITUCIONES

- Biblioteca del Instituto Mexicano del Concreto del Cemento y del Concreto A.C., Av. Insurgentes Sur #1846, col Florida.
- Fernando Tejada, Coordinador Proyectos Especiales Holcim Apasco S.A. de C.V. fernando.tejada@holcimapasco.com.mx
- Ing. Raúl Alvarado B., Asistencia Técnica, Grupo de Cemento Chihuahua S.A. ralvaradob@gcc.com
- Eduardo Hiriart Rodríguez, Grupo Cementos Moctezuma, hiriart.eduardo@cmoctezuma.com.mx
- Ing. Eduardo Vidaud Quintana, IMCYC, evidaud@mail.imcyc.com



### C. LIBROS, TESIS E ENCICLOPEDIA

- ACI Manual de las prácticas del concreto. American Concrete Institute, Michigan 2001
- Apuntes de Concreto, Ing. Luis Zarate Rocha. Fundación ICA.
- A.M. Neville, "Concrete Technology", Concrete International, 1998.
- Biblioteca de Consulta Microsoft ® Encarta ® 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation.
- Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association Illinois, 2004.
- Estructuras de Vías Terrestres. Fernando Olivera Bustamante, editorial Continentes.
- P.C. Aitcin, High performance concrete, E & FN Spon, 1998.
- Tesis de Álvarez Reyes Adrian, "Desempeño del concreto autocompactable en estado plástico y endurecido", Asesor Mendoza Escobedo, Carlos J., Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 2007.
- Tesis de Guzmán Ramírez Mario X., "Concreto de alta resistencia con componentes comunes de la Ciudad de México", Asesor Juan L. Cottier C., Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1999.
- Tesis de Martínez Sánchez Alejandro, "Concretos de alta resistencia con agregados del Distrito Federal", Asesor Mendoza Carlos Javier, Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1982.
- Tesis de Zúñiga Ibarra Reyna Isabel, "Tecnología del concreto autocompactable", Asesor Juan L. Cottier C., Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 2004.

### GLOSARIO

- Acabado. Concepto final de la obra; como aplanado de pasta o yeso, pintura, colocación de revestimiento.
- Aditivo Acelerador. Aditivo que acelera la velocidad de hidratación del cemento hidráulico.
- Aditivo. Es un producto químico que se dosifica para modificar alguna de sus propiedades.
- Agregados. Son grava, arena y finos que se extraen de las canteras.
- Agregados finos. Arena u otro material inorgánico en un rango de tamaño de partícula menor a 1 cm
- Agregados gruesos. Grava en la mayoría de sus partículas quedan comprendidas en un tamaño de 1.9a2.5cm.
- Agua. Sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de átomo de Oxígeno y 2 de Hidrógeno.
- Aire. Burbuja intencionalmente en el concreto durante el mezclado, usualmente empleando un agente químico.
- Arcilla. Tierra natural relativamente suave que por su abundante cantidad de silicatos.
- Arena. Agregado que pasa la criba G 4.75 (malla No 4) y se retiene en la F 0.075 (malla No. 200).
- Bachada. Toda la revoltura que se prepara dentro de la revolvedora.
- Bombeo. Elevar agua u otro líquido por medio de una bomba.
- Cal. Compuesto químico (CaO) que normalmente se encuentra en baja proporción en el clinker.
- Caliza. Piedra dura, muy abundante en la naturaleza, rica en calcio.
- Calor de Hidratación. Es el calor liberado de las reacciones que producen el endurecimiento del cemento.
- Cemento Portland. Cemento hidráulico producido con clinker y yeso natural.
- Cemento tipo III. Cemento de rápida resistencia, para la rápida habilitación de las obras al tránsito.
- Cemento puzolánico. Se denomina así a un cemento al cual se le ha agregado un material activo (puzolana).
- Ceniza volante (fly ash). Puzolana artificial, subproducto de la combustión de carbón en polvo.
- Chaflán. Relleno de cemento que se aplica entre una parte vertical y otra horizontal como en las azoteas.
- Cimbra. Armazón de madera que sirve de molde para colar el concreto.
- Clinker. La piedra caliza, la arcilla y el óxido de fierro se calcinan en un horno a 1,450°C.
- Cohesión. Atracción mutua a través de la cual los elementos de una sustancia se mantienen unidos.



- Colado. Colocación del concreto en el sitio.
- Compactación. Proceso de inducción de una disposición más cerca de las partículas sólidas en los concretos frescos, a través de la reducción de los vacíos, frecuentemente logrado con la vibración.
- Concreto. Material artificial integrado por los componentes cemento y agua, aire y agregados minerales.
- Concreto Bombeado. Concreto que es transportado a través de una manguera o tubo por medio de una bomba.
- Concreto de alta resistencia temprana. Este es un concreto con resistencia a la compresión en horas o menos de 28 días, cuya resistencia es superior a  $420\text{kg/cm}^2$ , con el uso de aditivos que reducen la relación de a/c.
- Concreto endurecido. Concreto cuyo tiempo de elaboración ha sobrepasado el tiempo de fraguado.
- Concreto fresco. Concreto recién mezclado con agua, formando una masa plástica y capaz de ser moldeada.
- Concreto presforzado. Concreto colado en las cimbras en un ambiente controlado y que permite que se logre una resistencia antes de su colocación en la obra, en el cual se aplican los esfuerzos a los tendones/varillas.
- Concreto postensado. Método en el que se aplican esfuerzos a tendones después que el concreto endurece.
- Concreto pretensado. Es un concreto en el cual después del llenado y el endurecimiento, se introducen esfuerzos de compresión mediante una armadura especial montada dentro de vainas adecuadas.
- Concreto premezclado. Este concreto se dosifica y se mezcla fuera del sitio de la obra y se entrega en la obra.
- Congelación. Son las bajas temperaturas (fríos) en épocas de invierno.
- Contracción. Disminución de la longitud del material, resultante de cambios del contenido de humedad.
- Corrosión. Deterioro del metal por la reacción química, electroquímica o electrolítica.
- Corazón (prueba). Muestra que se extrae de elementos de concreto, a través de procedimientos especiales, con el fin de estudiar y comprobar las propiedades del concreto ya endurecido.
- Curado. Tratamiento que se da al concreto recién colado, para asegurar la disponibilidad permanente de agua.
- Curado a vapor. Es ventajoso donde sea importante el desarrollo de resistencia temprana o donde sea necesario calor adicional para que se logre la hidratación, como en el caso del clima frío.
- Curado de niebla (rociado). Excelentes métodos cuando la temperatura ambiente está bien arriba de la temperatura de congelación y la humedad es baja. Frecuentemente, se aplica una niebla para aumentar la humedad relativa del aire, disminuyendo la evaporación de la superficie. También ayuda a minimizar la fisuración por contracción (retracción).
- Deshielo. Es cuando los fríos hielos se empiezan a derretir.
- Dosificación. Proceso de medición, por peso o por volumen, de los ingredientes y su introducción en la mezcladora para una cantidad de concreto, mortero, grout o revoque.
- Durabilidad. Capacidad del concreto, mortero, grout o revoque de cemento portland de resistir a la acción de las intemperies y otras condiciones de servicio, tales como ataque químico, congelación-deshielo y abrasión.
- Endurecimiento rápido. Desarrollo rápido de la rigidez en la pasta de cemento hidráulico o concreto frescos.
- Esfuerzo. Empleo enérgico de la fuerza física contra algún impulso o resistencia.
- Exudación. Flujo del agua de la mezcla del concreto fresco, causado por el asentamiento de los materiales.
- Fallas. Defecto material de una cosa que merma su resistencia.
- Figuración. Disponer, delinear y formar la figura de un acabado de concreto.
- Flexión. Encorvamiento transitorio que experimenta un sólido por la acción de una fuerza.
- Fraguado regulado. Son cementos hidráulicos de fluor-aluminato de calcio que se pueden formular y controlar para la producción de concreto con tiempo de fraguado que varíen de pocos minutos hasta una hora.
- Granulometría. Es la distribución por tamaños de las partículas de los agregados. Generalmente en porcentaje.
- Hidratación. Proceso muy lento durante el cual el cemento reacciona con el agua para generar los compuestos.
- Homogéneo.- todos los ingredientes son igualmente distribuidos
- Humo de sílice. Puzolana artificial que se presenta como polvo de tamaño ultrafino, de color gris claro a oscuro.



- Intemperismo. Erosión o desgaste por agentes externos, como el agua o el viento, humedecimiento y secado.
- Juntas de construcción. Una verdadera junta de construcción debe unir el concreto nuevo al concreto existente.
- Lechada. Mezcla fina de una sustancia insoluble, como cemento portland con un líquido, tal como el agua.
- Losa. Piedra llana y de poco grueso, casi siempre labrada, que sirve para pisos o pavimentos.
- Módulo de elasticidad. Relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente para esfuerzos de tensión o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material.
- Módulo de finura (MF). Factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividido por 100.
- Mortero. Mezcla de cemento, agregado fino y agua, que puede contener aditivos.
- Muestra. Parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla, representativa de él.
- Nivelado. Igualar un terreno o superficie utilizando el nivel para reconocer si falta la horizontalidad de un lugar.
- Pasta de cemento. Constituyente del concreto, mortero, grout y revoque que consiste en cemento y agua.
- Pavimento. Superficie de concreto de carretera, autopista, calle, camino o estacionamiento. A pesar de referirse normalmente a superficies usadas para viajes, el término también se aplica para área de almacenamiento.
- Permeabilidad. Propiedad que permite el pasaje de fluidos y gases.
- Pilote. Madero rollizo armado frecuentemente de una punta de hierro, que se hinca en tierra para los cimientos.
- Plasticidad. A quella propiedad de la pasta, concreto, mortero, grout o revoque frescos que determina su trabajabilidad, resistencia a deformación o facilidad de moldeo.
- Poste. Madero, piedra o columna colocada verticalmente para servir de apoyo o de señal.
- Prueba del corazón. Muestra que se extrae de elementos de concreto, a través de procedimientos especiales, con el fin de estudiar y comprobar las propiedades del concreto ya endurecido.
- Puente. Es una construcción, por lo general artificial, que permite salvar un accidente geográfico o cualquier otro obstáculo físico como un valle, una vía férrea, un cuerpo de agua, o cualquier obstrucción.
- Puzolana. Materiales silíceos, tales como ceniza volante o humo de sílice, que, por si mismos, poseen poco o ningún valor cementante, pero que cuando están finamente molidos y en presencia de agua, reaccionan con el hidróxido de calcio a temperaturas normales, para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.
- Reductor de agua. Aditivo cuyas propiedades permiten una reducción del agua necesaria para producir una mezcla de concreto con un cierto reventamiento, reducir la relación a/c, reducir el contenido de cemento o aumentar el reventamiento.
- Relación agua-cementante. Relación de la masa de agua por la masa de materiales cementantes en el concreto.
- Resistencia a compresión. Resistencia máxima que una probeta de concreto, puede resistir cuando es cargada.
- Resistencia a congelación-deshielo. Capacidad del concreto de resistir a ciclos de congelación y deshielo.
- Resistencia a flexión. Capacidad de los sólidos de resistir a la flexión.
- Resistencia a la tensión. Esfuerzo hasta el cual el concreto puede resistir sin agrietarse bajo tensión axial.
- Reventamiento. Medida de consistencia del concreto fresco, igual al asentamiento inmediato de una probeta.
- Roca calcárea. Las rocas calizas se forman por la precipitación de carbonato de calcio en los volcanes.
- Sangrado. Flujo del agua de la mezcla del concreto fresco, causado por el asentamiento de materiales sólidos.
- Superplastificante. Son aditivos reductores de agua que aumentan la fluidez del concreto fresco.
- Tamiz. Instrumento similar a una coladera, que se usa para separar las partículas gruesas de las finas.
- T.M.A. Es el mayor volumen admisible de los agregados o rocas, que se permiten para los concretos.
- Tensión. Esfuerzo hasta el cual el concreto puede resistir sin agrietarse bajo el cargamento a tensión axial.
- Trabajabilidad. Es la propiedad de los concretos frescos que determina sus características de la facilidad.