

75  
391



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

FACULTAD DE INGENIERIA

CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N :

MEDRANO LARA VÍCTOR HUGO

VILLA VILLALOBOS RICARDO A.

DIRECTOR DE TESIS: ING. RAFAEL ABURTO VALDEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AV. P<sup>ta</sup> LA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-186/95

Señores

VICTOR HUGO MEDRANO LARA  
RICARDO ALONSO VILLA VILLALOBOS  
Presentes

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor  
ING. RAFAEL ABURTO VALDES, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como te  
de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

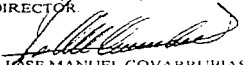
"CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO"

- I. INTRODUCCION
- II. ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO CONVENCIONAL
- III. DESCRIPCION DE LA MATERIA PRIMA
- IV. CONCRETOS PARA DIFERENTES FINES
- V. CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO
- VI. INFLUENCIA EN EL ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DEL CONCRETO DE ALTO COMPORTAMIENTO SOBRE EL CONCRETO CONVENCIONAL.
- VII. ANEXO A
- VIII. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de esta

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universidad a 27 de junio de 1997.  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP\*lmf

### **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios*

*Por permitirme día con día ver el milagro de la vida y ayudarme a cumplir con todas mis sueños*

*A mis padres*

*Josefina y Roberto por su gran apoyo, por sus consejos y por darme la capacidad de ser útil a la sociedad*

*A mis hermanos*

*Roberto, Raúl y Sergio por enseñarme a madurar y saber que la vida es lo que uno espera.*

*gracias  
Ricardo Villa*

### **DEDICATORIAS**

*Dedico este trabajo a la familia Colorado Comparini, quienes siempre estuvieron a mi lado uníandome a luchar por salir adelante.*

*A Lucero y Javier, los cuales siempre me han permitido ser parte de su familia y por la gran admiración, ejemplo y cariño que les tengo a ambos.*

*A Jorge Colorado Comparini, el cual tuvo una especial distinción por su incomparable amistad y cariño, a ti hermano dedico esta tesis.*

*Ricardo Villa*

## **AGRADECIMIENTOS**

**Al mis padres**

*María e Inocente por toda su cariño y confianza depositados en mí y haberme hecho una persona responsable*

**Al mis hermanas**

*Alejandra, Antonio, Arturo y Sara por su gran apoyo y haberme apoyado todo este tiempo*

**Al mis amigos**

*Por el apoyo que me dieron en toda momento y por esos ratos agradables que tuvimos*

*Al todos ellos espero nunca defraudarlos*

**MELANICH**

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis se la dedico a mis padres, hermanas, amigos y todas aquellas personas que creyeron en mí desde un principio*

**MELANICH**

### *AGRADECIMIENTOS ESPECIALES*

*Nuestra más sincera agradecimiento a todas aquellas personas que nos ayudaron en la realización de este trabajo y en especial al Ing. Pedro Mora Pérez, Gerente Técnico de Latinoamericana de Concretos S.A de C.U por habernos iniciado en el estudio de la Tecnología del Concreto.*

*A nuestras grandes amigas Carlos, Fernando, Raúl, Santos y Cynthia por los grandes momentos que compartimos en nuestra licenciatura, a ellas mil gracias.*

*A todos nuestros profesores los cuales damos un especial agradecimiento por habernos preparado para nuestra vida profesional.*

*Gracias a todos  
Hugo Medrano  
Ricarda Villa*

**INTRODUCCIÓN**

**1. ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO CONVENCIONAL**

**1.1 GENERALIDADES**

**CONCRETO FRESCO**

- 1.2.1 TRABAJABILIDAD
- 1.2.2 CONSISTENCIA
- 1.2.3 COMPACTACIÓN

**1.3 CONCRETO ENDURECIDO**

- 1.3.1 TIEMPOS DE FRAGUADO
- 1.3.2 HIDRATACIÓN
- 1.3.3 CURADO HÚMEDO
- 1.3.4 VELOCIDAD DE SECADO DEL CONCRETO
- 1.3.5 RESISTENCIA
- 1.3.6 PESO UNITARIO
- 1.3.7 RESISTENCIA A LA CONGELACIÓN Y DESHIELO
- 1.3.8 PERMEABILIDAD Y HERMETICIDAD
- 1.3.9 RESISTENCIA AL DESGASTE
- 1.3.10 ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA
- 1.3.11 CONTROL DE AGRIETAMIENTOS

**1.4 FACTORES QUE INFLUYEN PARA CUMPLIR LAS CARACTERÍSTICAS ANTERIORES EN EL CONCRETO CONVENCIONAL**

- 1.4.1 PRINCIPIOS EN EL CONCRETO FRESCO
- 1.4.2 PRINCIPIOS EN EL CONCRETO ENDURECIDO

**2. DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

**2.1 AGREGADOS**

- 2.1.1 CLASES DE AGREGADOS
- 2.1.2 NATURALIEZA DE LAS ROCAS
- 2.1.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

## **ÍNDICE**

---

---

### **2.2 CEMENTO**

- 2.2.1 FABRICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND
- 2.2.2 TIPOS DE CEMENTO
- 2.2.3 CEMENTO PORTLAND BLANCO
- 2.2.4 CEMENTOS HIDRÁULICOS COMBINADOS
- 2.2.5 CEMENTO DE ALBAÑILERÍA
- 2.2.6 CEMENTOS EXPANSIVOS
- 2.2.7 CEMENTOS ESPECIALES
- 2.2.8 COMPUESTOS QUÍMICOS EN EL CEMENTO PORTLAND
- 2.2.9 PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND

### **2.3 AGUA**

#### **2.4 ADITIVOS QUÍMICOS**

- 2.4.1 ADITIVOS ACCELERANTES
- 2.4.2 ADITIVOS RETARDANTES
- 2.4.3 ADITIVOS FLUIDIZANTES
- 2.4.4 ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE
- 2.4.5 DIVERSOS ADITIVOS

#### **2.5 PUZOLANAS**

### **3. CONCRETOS PARA DIFERENTES FINES**

#### **3.1 CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL**

- 3.1.1 AGREGADOS LIGEROS ESTRUCTURALES
- 3.1.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
- 3.1.3 AIRE INCLUIDO
- 3.1.4 MEZCLADO
- 3.1.5 TRABAJABILIDAD Y CAPACIDAD DE ACABADO
- 3.1.6 REVENIMIENTO
- 3.1.7 VIBRADO
- 3.1.8 COLOCACIÓN, ACABADO Y CURADO

#### **3.2 CONCRETOS LIGEROS DE DENSIDAD BAJA Y DE RESISTENCIA MODERADA**

- 3.2.1 PROPORCIONES DE LA MEZCLA
- 3.2.2 TRABAJABILIDAD
- 3.2.3 MEZCLADO Y COLOCACIÓN
- 3.2.4 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA
- 3.2.5 RESISTENCIA
- 3.2.6 RESISTENCIA A LA CONGELACIÓN Y DESHIELO
- 3.2.7 CONTRACCIÓN POR SECADO

#### **3.3 CONCRETO DE GRAN PESO**

- 3.3.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO DE GRAN PESO
- 3.3.2 AGREGADOS DE DENSIDAD ELEVADA
- 3.3.3 ADICIONES
- 3.3.4 PROPORCIONAMIENTO, MEZCLADO Y COLOCACIÓN



---

---

**CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO**

---

---

**3.4 CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA**

**3.4.1 SELECCIÓN DE LOS MATERIALES**

**3.4.2 PROPORCIONAMIENTO**

**3.4.3 COLOCACIÓN, COMPACTACIÓN Y CURADO**

**3.5 CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA A EDAD TEMPRANA**

**3.6 CONCRETO MASIVO**

**3.7 CONCRETO CON AGREGADO PRECOLADO**

**3.8 CONCRETO DE REVENIMIENTO NULO**

**3.9 CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO**

**3.10 SUELO CEMENTO**

**3.11 CONCRETO LANZADO**

**3.12 CONCRETO COMPENSADOR DE CONTRACCIÓN**

**3.13 CONCRETO POROSO**

**3.14 CONCRETO BLANCO Y DE COLOR**

**3.14.1 CONCRETO BLANCO**

**3.14.2 CONCRETO DE COLOR**

**3.15 CONCRETO CON CEMENTO PORTLAND POLIMERIZADO**

**3.16 FERROCEMENTO**

**3.17 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS**

**4. CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO**

**4.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO DE ALTO COMPORTAMIENTO**

**4.1.1 IMPERMEABILIDAD**

**4.1.2 ESTABILIDAD DIMENSIONAL**

**4.2 EL CONCRETO DE ALTO COMPORTAMIENTO COMO UNA NUEVA TECNOLOGÍA**

**4.3 ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN DEL CONCRETO Y EFECTOS EN SUS PROPIEDADES**

---

---

## ÍNDICE

- 4.4 SELECCIÓN DE MATERIALES
    - 4.4.1 AGREGADO
    - 4.4.2 CEMENTO
    - 4.4.3 ADITIVOS QUÍMICOS
    - 4.4.4 ADITIVOS MINERALES
    - 4.4.5 HUMO DE SÍLICE
  - 4.5 DISEÑO DE CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO
    - 4.5.1 CONSIDERACIONES GENERALES
    - 4.5.2 PROCEDIMIENTO PASO POR PASO
    - 4.5.3 PRODUCCIÓN DE CONCRETO, CONSTRUCCIÓN PRÁCTICA Y RECOMENDACIONES FINALES
  - 4.6 TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
    - 4.6.1 DESARROLLO
    - 4.6.2 RESULTADOS
  - 5. INFLUENCIA EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DEL CONCRETO DE ALTO COMPORTAMIENTO SOBRE EL CONCRETO CONVENCIONAL
    - 5.1 ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL
    - 5.2 APLICACIONES
    - 5.3 EXPERIENCIAS
- ANEXO A
- CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE UN TANQUE CONTENDOR DE AGUA
    - A.1 MECÁNICA DE SUELOS
      - A.1.1 CRITERIOS PARA LA EXPLORACIÓN Y MUESTREO EN SUELOS
      - A.1.2 CAPACIDAD DE CARGA
      - A.1.3 CIMENTACIONES POCO PROFUNDAS
    - A.2 ESTRUCTURAS
      - A.2.1 CRITERIOS BÁSICOS SOBRE EL DISEÑO ESTRUCTURAL
    - A.3 SANITARIA
      - A.3.1 CRITERIOS BÁSICOS PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.
- CONCLUSIONES
- REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

## INTRODUCCIÓN

Los constantes desarrollos en ingeniería civil y el crecimiento de la actividad industrial, crean una demanda continua de materiales para construcción que satisfagan de manera creciente estrictos requerimientos.

El Concreto de Alto Comportamiento o High Performance Concrete ( HPC ) es una buena respuesta para estos requerimientos.

La naturaleza del HPC, comparada con otros concretos en términos de características de material de construcción, es analizada a continuación.

Tradicionalmente, la fuerza mecánica ha sido el principal criterio en la selección de materiales de construcción, pero las estructuras son cada vez más altas y los elementos estructurales más anchos, tales que disminuyen el espacio libre.

Por lo tanto, el progreso tecnológico generalmente ha hecho posible aumentar la máxima resistencia en estructuras, carreteras y puentes usados para medios convencionales de transportación.

De los diferentes tipos de HPC los que más popularidad han tenido son los Concretos de Alta Resistencia, esto es debido a que por muchos años al concreto se le calificaba por su resistencia a

---

---

## INTRODUCCIÓN

---

---

compresión simple, dejando en un segundo plano las características de comportamiento en estado fresco, durabilidad, etc.

Se puede pensar que este tipo de concretos requieran de una gran cantidad de cemento, sin embargo no es recomendable el uso de mas de 500 kg/m<sup>3</sup>, ya que existen características independientes de la resistencia que se deben cuidar en el estado plastico del concreto, así como en el endurecido.

Concreto de Alta Resistencia, significa actualmente, no solo alta resistencia a la compresión como medida a la calidad del concreto, sino además, un aumento en la resistencia a la tensión con relación a un rango de resistencia a la compresión.

A los cambios del medio ambiente extremosos, han sido agregados los agresivos factores ambientales resultado de las crecientes actividades industriales.

Esto ha incrementado notablemente el deterioro de estructuras, lo cual significa que no solamente es importante su resistencia mecánica, sino también la durabilidad del material y particularmente su resistencia a materiales químicos, entre otras características muy importantes.

Otro factor es el requerimiento de actividades industriales productivas a un costo muy bajo, que permitan menor tiempo en los procesos de producción y construcción. Esto crea una demanda de un material con un tiempo de desarrollo de resistencia corto, sin cambio de volumen considerable y sin necesidad de tratamientos especiales adicionales.

Por lo anterior, un material óptimo de construcción, puede ser descrito como aquel que tiene una alta resistencia mecánica, cuya resistencia a la tensión y compresión puedan ser establecidas dentro de un amplio rango de trabajos, con alta resistencia a los ataques químicos y al intemperismo. Con una calidad "Lista para usarse", que sea dúctil y que permita utilizar con un mínimo de modificaciones, las instalaciones desarrolladas para los materiales convencionales actuales.

El Concreto de Alto Comportamiento, tiene todos estos requerimientos. El concreto con una resistencia a la compresión mayor a 100 Mpa (14 500 psi) ha sido calificado como un "Concreto Esotérico". En realidad, 80 Mpa (11 600 psi) parece ser el límite más alto prácticamente disponible para concreto convencionales con la tecnología actual por otra parte, una resistencia a la compresión de 100 Mpa (14 500 psi) o mayor, no es fuera de lo común para productos de HPC.

La resistencia química del HPC a la mayoría de los agentes agresivos del medio ambiente puede ser descrita como muy buena e inclusive excelente.

El tiempo para obtener el servicio disponible óptimo de cualquier desarrollo, con una mezcla de HPC, con un apropiado sistema de curado, es normalmente no mayor de 1 a 3 días.

La ventaja más evidente del HPC es su amplio rango de aplicación y la posibilidad de producir un material con propiedades controlables.

*CAPÍTULO 1*  
**ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO  
CONVENCIONAL.**

**1.1 GENERALIDADES.**

El concreto es básicamente una combinación de dos componentes: agregado y pasta. La pasta, esta formada por Cemento Portland, agua y aire atrapado o incluido intencionalmente, esta se une íntimamente a los agregados para formar una masa que se endurece debido a la reacción química del cemento y el agua.

Los agregados se dividen en dos grupos. Finos y Gruesos. Los agregados finos son arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 5 mm, los agregados gruesos son aquellos cuyos tamaños de partículas varían de 5 mm hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea para la fabricación del concreto es comúnmente de 19 mm o de 25 mm.

Normalmente, la pasta constituye del 25 % al 40 % del volumen del concreto. El volumen absoluto del cemento está comprendido usualmente entre el 7 % y el 15 %, el agua entre el 14 % y el 21 % y el contenido de aire cuando este es incluido intencionalmente puede llegar hasta el 8 % del volumen total.

Como los agregados constituyen aproximadamente del 60 % al 75 % del volumen total del concreto, su selección es importante. Estos deberán ser de resistencia adecuada, no deben contener materiales que pudieran causar deterioro al concreto y resistencia a condiciones de exposición a la intemperie deben ser buenos. Para tener un uso eficiente de cemento y agua, el agregado debe contar con una distribución continua de tamaños de partículas.

## ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO

---

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado.

El concreto lo podemos dividir en dos estados. El estado fresco y el estado endurecido, ambos deben tener ciertas características fundamentales, tales que, proporcionen al concreto una alta calidad y durabilidad.

A continuación se enunciarán las principales características de ambos estados y después se analizarán los factores que dan lugar a dichas características.

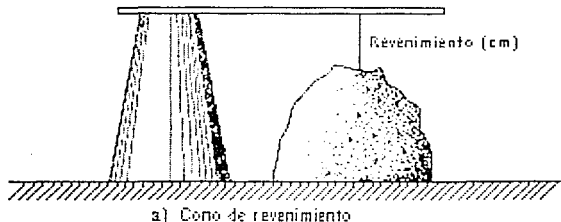
### 1.2 CONCRETO FRESCO.

El concreto fresco debe ser plástico o semifluido, capaz de ser colocado y acabado fácilmente, no desmoronarse y fluir como líquido viscoso sin segregarse.

En una mezcla de concreto plástico todos los granos de arena y partículas de grava o de roca quedan uniformemente distribuidos y sostenidos en suspensión. Los componentes no deben segregarse durante el transporte; y cuando el concreto endurece se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes.

Una de las características principales del concreto fresco es su capacidad para fluir y es medido mediante la prueba del revenimiento (Fig. 1). Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura.

Fig. 1



En la práctica de la construcción, es importante que el concreto recién mezclado sea trabajable y mantenga su homogeneidad para su fácil colocación y acabado en elementos delgados y en elementos fuertemente reforzados de acero, pero jamás se harán mezclas similares a una sopa.

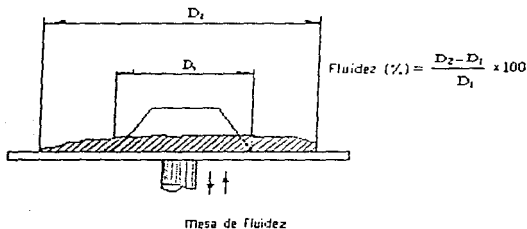
### 1.2.1 TRABAJABILIDAD.

Se denomina trabajabilidad a la facilidad de colocar, compactar y acabar el concreto fresco. El concreto debe ser trabajable pero no debe perder su homogeneidad, segregar, ni sangrar excesivamente. La segregación se puede definir como la separación de los diferentes elementos que constituyen una mezcla heterogénea, de tal modo que su distribución ya no sea uniforme. En el concreto, lo que causa la segregación es ante todo la diferencia en el tamaño de las partículas y en la densidad de los componentes que lo forman. El sangrado es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto fresco revocada por el asentamiento de los materiales sólidos, y este asentamiento ocurre por el efecto combinado de la compactación y la gravedad.

### 1.2.2 CONSISTENCIA.

La Consistencia es la relativa movilidad o habilidad de el concreto en estado fresco o mortero para fluir. Las medidas usualmente son Prueba del revestimiento para el concreto y fluidez para el mortero ( Fig. 2 ).

Fig. 2



### 1.2.3 COMPACTACIÓN.

La compactación es el proceso de inducir un acomodamiento más estrecho de las partículas sólidas en el concreto plástico, mediante vibración.

La vibración pone en movimiento las partículas en el concreto plástico, reduciendo la fricción entre ellas, y haciendo que la mezcla se comporte como fluido denso.

### 1.3 CONCRETO ENDURECIDO

#### 1.3.1 TIEMPOS DE FRAGUADO.

**Tiempo de fraguado inicial.** Es el lapso de tiempo, después del contacto inicial del agua con el cemento, requerido para que el mortero curado a partir de el concreto alcance una resistencia a la penetración de 500 psi.

**Tiempo de fraguado final.** Es el lapso de tiempo, después del contacto inicial del agua con el cemento, requerido para que el mortero curado a partir de el concreto alcance una resistencia a la penetración de 4000 psi.

El proceso de hidratación y el desarrollo de resistencia a esfuerzos mecánicos comienza a partir que se presenta el fraguado inicial en el concreto.

#### 1.3.2 HIDRATACIÓN.

La hidratación es una propiedad importante en el concreto y es la reacción química que existe entre el cemento y el agua. Esta propiedad da características cementantes y de liga entre la pasta y los agregados.

El Cemento Portland no es un compuesto químico simple, sino que es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos conforman el 90 % o más del peso del Cemento Portland y son: El Silicato tricálcico, el Silicato dicálcico, el Aluminato tricálcico y el Aluminio Ferrito tetra-cálcico. Además de estos componentes principales, algunos otros desempeñan papeles importantes en el proceso de hidratación.

La composición química del silicato de calcio hidratado es en cierto modo variable, pero contiene Cal ( $\text{CaO}$ ) y Silice ( $\text{SiO}_2$ ), en una proporción sobre el orden de 3 a 2. El área superficial del hidrato de silicato de calcio es de unos 300 metros cuadrados por gramo. En la pasta de cemento ya endurecida, estas partículas forman uniones enlazadas entre las otras fases cristalinas y los granos sobrantes de cemento sin hidratar, también se adhieren a los granos de arena y a piezas de agregado grueso, cementando todo en conjunto. La formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es responsable del fraguado, del endurecimiento y del desarrollo de resistencia.

El proceso de hidratación se explicara con más detalle en el capítulo 2 "Descripción de la Materia Prima" correspondiente a Cemento Portland.

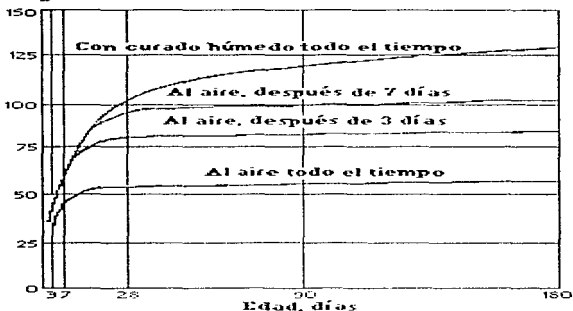
#### 1.3.3 CURADO HÚMEDO.

El aumento de resistencia del concreto ya endurecido continuará con la edad mientras esté presente algo de cemento sin hidratar, a condición que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior aproximadamente al 80 % y una temperatura favorable. Cuando la humedad relativa dentro del concreto cae aproximadamente al 80% o la temperatura del concreto desciende por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia virtualmente se detienen. La figura 3 ilustra la relación que existe entre el aumento de resistencia y el curado húmedo.



Fig. 3

**Resistencia a la compresión, referida en porcentaje respecto a la del concreto a 28 días con curado.**



**La resistencia del concreto se incrementa con la edad en tanto estén presentes una humedad y una temperatura favorable para la hidratación del cemento.**

Si se vuelve a saturar el concreto luego de un periodo de secado, la hidratación se reanuda y la resistencia vuelve a aumentar, sin embargo lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento que se ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada debido a que el concreto es difícil de resaturar.

#### 1.3.4 VELOCIDAD DE SECADO DEL CONCRETO.

Al secarse el concreto, deja de ganar resistencia, el hecho que esté seco, no es indicación que haya experimentado la suficiente hidratación para lograr las propiedades físicas deseadas. El cemento requiere humedad para hidratarse y endurecer. El secado del concreto únicamente está relacionado con la hidratación y el endurecimiento de manera indirecta.

El conocer la velocidad de secado es útil para comprender las propiedades o la condición física del concreto. El concreto recién colado tiene agua abundante, pero a medida que el secado progresa desde la superficie hacia el interior, el aumento de resistencia continuará a cada profundidad únicamente mientras la humedad relativa en ese punto se mantenga por encima del 80 %.

---

## ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO

---

En tanto que la superficie del concreto se seca rápidamente, en el interior de este le lleva mucho más tiempo secarse. El interior de una estructura de concreto puede disminuir su humedad relativa al 50% en varios años.

El tamaño y la forma de un miembro de concreto mantienen una relación importante con la velocidad de secado. Los elementos de concreto de gran área superficial en relación a su volumen se secan con mucho mayor rapidez que los grandes volúmenes de concreto con áreas superficiales relativamente pequeñas.

Muchas otras propiedades del concreto endurecido se ven también afectadas por su contenido de humedad; en ellas se incluye la elasticidad, flujo plástico, valor de aislamiento, resistencia al fuego, resistencia al desgaste, conductividad eléctrica y durabilidad.

### 1.3.5 RESISTENCIA.

La resistencia a la compresión se puede definir como el máximo esfuerzo medido en un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( Kg./cm<sup>2</sup> ) a una edad especificada y se le designa con el símbolo  $f_c$  a los 28 días. Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas sobre especímenes de mortero o de concreto. los ensayos a compresión de mortero se realizan sobre cubos de 5 cm, en tanto que los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseños estructurales. El concreto de uso más generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 200 y 400 Kg./cm<sup>2</sup>. Un concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de cuando menos 420 Kg./cm<sup>2</sup>.

La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la flexión también llamada módulo de ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

El valor de la resistencia a la tensión del concreto es aproximadamente de 8 a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

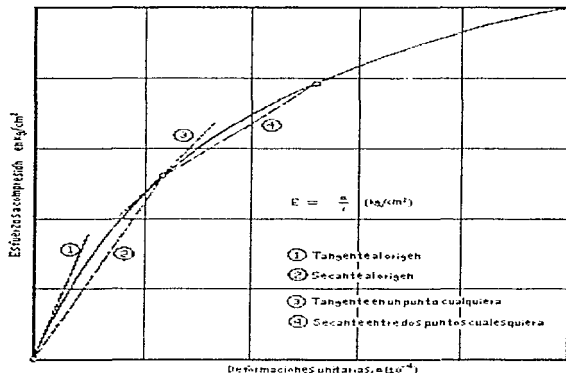
La resistencia a la torsión para el concreto está relacionada con el módulo de ruptura y con las dimensiones del elemento de concreto.

La resistencia al cortante del concreto puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia a compresión. La correlación existente entre la resistencia a compresión y resistencia a flexión, tensión, torsión y cortante, varía de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre.

El módulo de elasticidad ( Fig. 4-1 ), denotado por medio del símbolo  $E$ , se puede definir como la relación del esfuerzo normal a la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material. Para concreto de peso normal,  $E$  fluctúa entre 140 000 y 422 000 Kg./cm<sup>2</sup>, y se puede aproximar como 15-100 veces el valor de la

raíz cuadrada de la resistencia a compresión; sin embargo, con los agregados empleados provenientes del Valle de México, este valor es de aproximadamente 8000 veces. Por otro lado el Reglamento de Construcciones del DDF para casos específicos demanda concretos que tengan un módulo Elástico mínimo de 14 000 N/c y para lograrlo, es necesario traer agregado grueso duro y denso fuera del Valle de México.

Fig. 4



Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación agua-cemento y la edad, o el grado al que haya progresado la hidratación.

### 1.3.6 PESO UNITARIO.

El concreto convencional, empleado normalmente en estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2 240 a 2 400 Kg. por metro cúbico (Kg./m<sup>3</sup>). El peso unitario del concreto varía de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo de agregado. Para el diseño de estructuras de concreto comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa 2 400 kg./m<sup>3</sup>.

El peso de concreto seco iguala al peso del concreto fresco menos el peso de agua evaporable. Una parte del agua de mezclado se combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando al cemento en gel de cemento. También un poco de agua

---

---

## ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO

---

---

permanece retenida herméticamente en poro y capilares y no se evapora bajo condiciones normales. La cantidad de agua que se evapora al aire a una humedad relativa del 50% es de aproximadamente 2% a 3% del peso del concreto, dependiendo del contenido inicial de agua del concreto, de las características de absorción de los agregados y del tamaño de la estructura.

Además del concreto convencional, existe una amplia variedad de otros concretos para hacer frente a diversas necesidades, variando desde concretos aisladores, ligeros con pesos unitarios de 240 kg/m<sup>3</sup>, a concretos pesados con pesos unitarios de 6 400 Kg/cm<sup>3</sup>, que se emplean para contrapesos o para blindajes contra radiaciones.

### 1.3.7 RESISTENCIA A CONGELACIÓN Y DESHIELO.

El concreto debe tener una larga vida y un mantenimiento bajo, es por eso que debe tener una buena durabilidad para resistir condiciones de exposición. El factor de intemperismo más destructivo es la congelación y deshielo mientras el concreto se encuentra en estado húmedo.

Cuando la congelación ocurre en un concreto que contenga agregado saturado, se pueden generar presiones hidráulicas. El agua desplazada desde las partículas del agregado durante la formación del hielo no puede escapar lo suficientemente rápido hacia la pasta circundante para aliviar la presión.

### 1.3.8 PERMEABILIDAD Y HERMETICIDAD.

El concreto empleado en estructuras que retengan agua, que estén expuestas a la intemperie o a otras condiciones de exposición severa debe ser virtualmente impermeable y hermético. La hermeticidad se refiere a menudo como la capacidad del concreto de retener o retener el agua sin escapes visibles. La permeabilidad se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando el agua se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias (líquido, gas, iones, etc.). Generalmente las mismas propiedades que convierten al concreto menos permeable también lo vuelven más hermético.

### 1.3.9 RESISTENCIA AL DESGASTE.

Existen estructuras de concreto como los puentes, pavimentos y estructuras hidráulicas sujetos al desgaste. Estas estructuras demandan una resistencia elevada a la abrasión o desgaste. Se ha visto que dicha resistencia está relacionada con la resistencia a compresión del concreto. Un concreto de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja, en este caso la calidad y procedencia del agregado juega un papel preponderante.

### 1.3.10 ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA.

Una vez que ha sido colocado el concreto, cuando endurece presenta ligeros cambios de volumen debido a variaciones en la temperatura, en la humedad y en los esfuerzos aplicados. Llegando a variar de 0.01% hasta 0.08% de su volumen.

Cuando el concreto pierde humedad, este se contrae. El principal factor que influye en la magnitud de la contracción por secado es el contenido de agua del concreto recién mezclado, aumentando este contenido la contracción también aumenta. Existen otros factores que influyen en la contracción, como las cantidades de agregado empleado, las propiedades del agregado, tamaño y

forma de la masa de concreto, temperatura y humedad relativa del medio ambiente, método de curado, grado de hidratación y edad. En consumos de cemento entre 280 y 450 kg /m<sup>3</sup> el efecto que influye en la contracción es de mínimo a nulo.

### 1.3.11 CONTROL DE AGRIETAMIENTOS.

El agrietamiento en el concreto puede ocasionarse por dos causas principales: esfuerzos debidos a cargas aplicadas y esfuerzos debidos a contracción por secado o a cambios de temperaturas en condiciones de restricción.

La contracción por secado es una propiedad inherente e inevitable en el concreto para disminuir las grietas debido a estos esfuerzos se utiliza acero de refuerzo colocado en una posición adecuada, o bien juntas que predeterminen y controlen la ubicación de las grietas. Las variaciones de temperaturas pueden causar agrietamientos, especialmente a edades tempranas.

Las grietas por contracción del concreto ocurren debido a restricciones. Si no existe una causa que impida el movimiento del concreto y aun existiendo contracciones, el concreto no se agrieta. Las restricciones pueden ser provocadas por causas diversas: las porciones húmedas interiores restringen al concreto en las cercanías de la superficie, el acero de refuerzo embebido en el concreto, las partes de una estructura interconectadas entre si y la fricción de la subrasante sobre la cual va colocado el concreto. Las juntas son el método mas efectivo para controlar agrietamientos.

## 1.4 FACTORES QUE INFLUYEN PARA CUMPLIR LAS CARACTERISTICAS ANTERIORES EN EL CONCRETO CONVENCIONAL.

### 1.4.1 PRINCIPIOS EN EL CONCRETO FRESCO

#### Mezclado.

Para asegurarse que los cinco componentes básicos del concreto mencionados anteriormente estén combinados en una mezcla homogénea y uniforme se requiere de un factor importante como la secuencia de carga de cada uno de los componentes en la mezcladora. Estas secuencias requieren ajustes en el tiempo de adionamiento de agua, en el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora y en la velocidad de giro de la mezcladora. Otros factores importantes son el tamaño de la revolutra en relación al tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre la dosificación y el mezclado, el diseño, la configuración y el estado del tambor mezclador así como sus paletas. Las mezcladoras deben asegurar un intercambio de materiales de extremo a extremo por medio de una acción de rolado, plegado y amasado de la revolutra sobre si misma a medida que se mezcla el concreto. El mantenimiento de una mezcladora debe ser constante.

#### Trabajabilidad

Debido a la tendencia del concreto fresco a segregarse y a sangrar, es importante transportar y colocar cada carga lo mas cerca posible de su posición final. La buena distribución de tamaños de partículas del agregado grueso y fino, mejoran la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad de un concreto. Las arenas muy finas a menudo resultan antieconómicas por sus altos requerimientos de agua y cemento, y el agregado grueso pueden producir mezclas rígidas, no trabajables.

## ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO

El diseñar una mezcla de concreto determinando la combinación más práctica y económica de los materiales con los que se dispone, debe satisfacer los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de uso, uno de estos requisitos es tener una trabajabilidad aceptable.

El aire incluido mejora la trabajabilidad y reduce la tendencia del concreto fresco de segregarse y sangrar, actúa como lubricante y es especialmente efectivo para mejorar la trabajabilidad de mezclas polvos y ásperas.

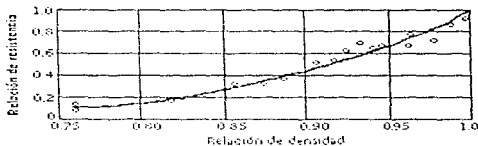
Los aditivos reductores de agua normales y los de alto rango (Superplastificantes) también mejoran la trabajabilidad.

Los aditivos minerales finamente divididos se emplean para mejorar la trabajabilidad de mezclas deficientes. Los concretos en los que se emplea ceniza volante o humo de sílice por lo general muestran menos segregación y sangrado que los concretos simples.

Hasta este momento hemos definido la trabajabilidad meramente como una propiedad del concreto fresco, sin embargo, es también una propiedad vital de todo lo que se relaciona con el producto terminado, y que permita la compactación con densidad máxima mediante una cantidad razonable de trabajo, o con la cantidad que estemos dispuestos a darle en ciertas circunstancias.

La necesidad de compactación se vuelve obvia cuando estudiamos la relación que existe entre la compactación y la resistencia resultante. Es conveniente expresar la primera de ellas como una relación de densidad, es decir, la relación entre la densidad real de determinado concreto y la densidad de la misma mezcla cuando este totalmente compactada. Asimismo, la relación de la resistencia del concreto parcialmente compactado se puede llamar relación de resistencia. La fig. 5 muestra la vinculación entre las relaciones de resistencia y de densidad.

Fig. 5



La presencia de cavidades en el concreto suele reducir su resistencia en forma considerable: el 5% de cavidades puede disminuir la resistencia hasta en un 30 %, e incluso el 2% de cavidades puede hacer que la resistencia disminuya más del 10%.

### **Consistencia.**

Son varios factores que influyen en la consistencia de un concreto tales como contenido de agua, consumo y calidad de los agregados, contenido y tipo de cemento, eficiencia de los aditivos, así como también, el procedimiento de mezclado, tiempo de transporte, tiempo de colocación, temperatura del concreto, humedad relativa y temperatura del sitio.

Un concreto puede tener un revenimiento alto, pero no necesariamente implica ser un concreto con buena trabajabilidad, contrariamente un concreto con revenimiento nulo o revenimiento cero puede ser una mezcla de concreto con muy buena trabajabilidad. Es común en construcción confundir consistencia con trabajabilidad en una mezcla de concreto fresco.

### **Compactación.**

El vibrado del concreto fresco se mejora con una buena distribución de tamaños de partículas de agregado grueso y fino. Los aditivos melosores de aire, reductores de agua y los plastificantes ayudan a la consistencia y mejoran la compactación del concreto.

Si una mezcla de concreto es lo suficientemente trabajable para ser consolidada de manera adecuada por varillado manual, puede que no exista ninguna ventaja en vibrarla. Solo al emplear mezclas más duras y ásperas se adquieren todos los beneficios del vibrado.

El vibrado mecánico tiene muchas ventajas. Los vibradores de alta frecuencia posibilitan la colocación económica de mezclas que son fácil de consolidar a mano bajo ciertas condiciones.

## **1.4.2 PRINCIPIOS EN EL CONCRETO ENDURECIDO.**

### **Velocidad de hidratación.**

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua porque la velocidad determina el tiempo de fraguado y de endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del concreto. Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido. El yeso, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del Clinker ( Producto parcialmente fundido en horno que se muele para fabricar el Cemento Portland ), actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del Cemento Portland. Otros factores que influyen en la velocidad de hidratación incluyen la finura de la molienda, los aditivos, la cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales en el momento del mezclado.

El tipo y la cantidad de minerales finamente divididos provoca retardos en la velocidad de hidratación del concreto.

El uso de minerales finamente divididos reducen la cantidad de calor que se forma en una estructura de concreto debido a su menor calor de hidratación. Algunas puzolanas tienen un calor de hidratación del orden del 40% del presentado por el cemento. Esta reducción en el aumento de la temperatura resulta especialmente benéfico en los concretos usados en estructuras masivas. El humo de silice puede o no reducir el calor de hidratación, sin embargo, el calor de hidratación se eleva con la presencia de aditivos superplastificantes hasta una cantidad mayor de la que se obtendría con el Cemento Portland ordinario.

---

## ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO

---

### Curado húmedo.

El curado tiene una gran influencia sobre las propiedades del concreto endurecido como lo son durabilidad, resistencia, hermeticidad, resistencia a la abrasión, estabilidad volumétrica, y resistencia a la congelación y deshielo y al uso de sales para descongelar.

Para mantener los contenidos de humedad y de temperaturas satisfactorios en el concreto durante un período definido el concreto puede curarse de 3 maneras diferentes:

1. Métodos que mantengan la presencia de agua de mezclado en el concreto durante el período inicial de endurecimiento. Entre estos se incluye al estancamiento o inmersión, al rociado y a las cubiertas húmedas saturadas. Estos métodos proporcionan un cierto confinamiento a través de la evaporación, lo cual es beneficioso en climas cálidos.
2. Métodos que eviten la pérdida de la agua de mezclado del concreto sellando la superficie. Esto se puede lograr cubriendo el concreto con papel impermeable, con hojas de plástico, o aplicando compuestos de curado que formen membranas.
3. Métodos que aceleren la ganancia de resistencia suministrando calor y humedad adicional al concreto. Esto se logra normalmente con vapor directo, serpentines de calentamiento, cimbras o almohadillas calentadas eléctricamente.

El método o la combinación de estos que se elijan, dependerá de factores tales como la disponibilidad de los materiales de curado, el volumen y forma del concreto, las instalaciones de producción (en obra o en planta), la apariencia estética y la economía.

### Velocidad de secado.

La velocidad de secado está en función del volumen, temperatura y del contenido de humedad del concreto, así como también a la humedad relativa existente en el lugar, velocidad del viento y temperatura del medio ambiente. La velocidad de secado disminuye con un buen método de curado y control de la temperatura en el concreto.

### Resistencia.

Cuando el concreto endurece, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, mismos que no tienen resistencia alguna. La resistencia está en la parte sólida de la pasta, en su mayoría en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalinas.

Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más resistente es el concreto. Por lo tanto, cuando se mezcla el concreto no se debe usar una cantidad mayor de agua que la absolutamente necesaria para fabricar un concreto plástico y trabajable. Aún entonces, el agua empleada es usualmente mayor que la que se requiere para la completa hidratación del cemento. La relación mínima agua-cemento ( en peso ) para la hidratación total es aproximadamente de 0.22 a 0.25.

El uso de aditivos reductores de agua y reductores de agua de alto rango proporcionan al concreto desarrollos más altos de resistencia que un concreto sin aditivo.



Los aditivos finamente divididos, contribuyen a la adquisición de resistencia del concreto. Sin embargo, la velocidad en la adquisición de resistencia de un concreto que contenga estos aditivos variará con frecuencia respecto de la de un concreto que emplee exclusivamente Cemento Portland como material cementante. Debido a la menor velocidad de hidratación cuando se empleen algunos de estos aditivos, la adquisición de resistencia a edades tempranas puede ser menor que la de un concreto comparable sin aditivo, especialmente si las temperaturas de curado son bajas.

Los aditivos minerales son a menudo esenciales para producir concretos de alta resistencia. Con el Humo de Silice, los productores de concreto premezclado tienen la capacidad de producir concretos con resistencias de 1400 kg./cm<sup>2</sup> o más si se hace uso de agregados adecuados y de un aditivo reductor de agua de alto rango.

#### **Resistencia a congelación y deshielo.**

Con la inclusión de aire el concreto es sumamente resistente a este deterioro. Durante el congelamiento, el agua desplazada por la formación del hielo en la pasta se acomoda de tal forma que no resulta perjudicial; las burbujas de aire en la pasta suministran cámaras donde se introduce el agua y así se alivia la presión hidráulica generada.

Otra forma de que el concreto resista a los ciclos de congelación y deshielo es que la pasta sea de buena calidad, esto es que la relación agua-cemento sea baja ya que esto evitará que la mayor parte de las partículas de agregado se saturen. Un periodo de secado antes de la exposición a la congelación y deshielo beneficia substancialmente la resistencia a congelación y deshielo del concreto con aire incluido, pero no beneficia de manera significativa al concreto sin aire incluido.

La resistencia de un agregado a la congelación y deshielo, está relacionada con su porosidad, absorción, permeabilidad y estructura de poro.

Generalmente los concretos con inclusión de aire que contienen aditivos minerales finamente divididos tienen una buena durabilidad a la congelación y deshielo. Para lograr que los concretos que contienen aditivos minerales finamente divididos, presenten la misma resistencia ante los ciclos de congelación - deshielo que los concretos fabricados con Cemento Portland como cementante único, se deben cumplir tres condiciones. Que ambos concretos tengan aproximadamente la misma resistencia a la compresión, que tengan un sistema equivalente y adecuado de vacíos de aire y que ambos hayan sido curados adecuadamente.

#### **Permeabilidad y hermeticidad.**

La permeabilidad total del concreto está en función de la permeabilidad de la pasta y de los agregados, así como su proporción relativa de la pasta con respecto al agregado. La disminución de permeabilidad mejora la resistencia del concreto a la resaturación, al ataque de sulfatos y otros productos químicos y a la penetración del ion cloruro.

La permeabilidad de la pasta depende de la relación agua-cemento y del grado de hidratación del cemento o duración del curado húmedo. Si se quiere tener un concreto con baja permeabilidad, este deberá tener una relación agua-cemento baja (menor a 0.4) y un periodo de curado húmedo adecuado.

---

---

## ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO

---

---

Si se cuenta con un curado adecuado, los minerales finamente divididos, generalmente reducen la permeabilidad del concreto aun cuando el contenido del cemento sea relativamente bajo; a este respecto, el humo de sílice es especialmente efectivo.

### Resistencia al desgaste.

Para obtener un concreto resistente al desgaste se necesita que la relación agua-cemento sea baja, así como un curado adecuado. El tipo de agregado y acabado de la superficie o el tratamiento utilizado también tienen fuerte influencia en la resistencia al desgaste. Un agregado duro es más resistente a la abrasión que un agregado blando o esponjoso, y una superficie que ha sido tratada con llana de metal resiste más el desgaste que una que no lo ha sido.

Los minerales finamente divididos por la general mejoran la resistencia del concreto contra el ataque de los sulfatos y contra el agua de mar, fundamentalmente porque reducen la cantidad necesaria de elementos reactivos para que se produzcan las reacciones expansivas con los sulfatos y con ello obtener concretos durables y con resistencia mecánica superior a la comúnmente empleada en el diseño de estructuras y de la construcción ordinaria.

En términos generales podemos decir a manera de una conclusión sencilla que mediante un proporcionamiento adecuado, un conjunto específico de materiales y condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido está determinada por la cantidad de agua utilizada en relación con la cantidad de cemento. A continuación 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 refuerzo.
- Se presenta menor cambio volumétrico causado por humedecimiento y secado.
- Se reducen las tendencias de agrietamiento por contracción.

Los factores donde se incluyen aditivos químicos y aditivos minerales finamente divididos se explicarán con mayor amplitud en los capítulos siguientes.

## CAPÍTULO 2

### DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

#### 2.1 AGREGADOS.

Debido a que por lo menos tres cuartas partes del volumen del concreto están ocupadas por los agregados, la calidad de los mismos es de suma importancia. El agregado no sólo limita la resistencia del concreto, (ya que los agregados débiles no pueden constituir un concreto resistente), sino que además sus propiedades afectan en gran medida tanto la durabilidad como el comportamiento estructural del concreto.

Originalmente, los agregados eran considerados como un material inerte, que se repartía por toda la pasta de cemento, más que nada por razones económicas, sin embargo se puede decir que los agregados son un material de construcción unido a un todo cohesivo por medio de la pasta de cemento. De hecho, los agregados no son realmente inertes y sus propiedades físicas, térmicas y químicas influyen en el comportamiento del concreto.

Los agregados son más baratos que el cemento y por lo tanto, es más económico poner la mayor cantidad posible de aquellos y la menor de éste. No obstante, la economía no es la única razón para utilizar agregados; además, proporcionan al concreto una enorme ventaja técnica, dándole mayor estabilidad volumétrica y más durabilidad que si se empleara solamente pasta de cemento.

---

## DESCRIPCION DE LA MATERIA PRIMA

---

### 2.1.1 CLASES DE AGREGADOS.

Los agregados para concreto generalmente consisten en partículas de roca cuyas dimensiones varían desde unas cuantas micras hasta el tamaño máximo permitido o especificado, el cual puede llegar a ser, en algunos casos especiales de hasta 25 o 30 cm.

Con objeto de controlar la proporción que deben guardar los distintos tamaños de partículas entre sí, se acostumbra dividirlos en fracciones que se manejan por separado. Esto da lugar a una primera clasificación de los agregados de acuerdo con su tamaño, en lo que se llama agregado fino ( arena ) y agregado grueso ( grava ).

Se considera como arena la fracción compuesta de partículas que pasan a través de la malla N° 4, cuya abertura es de 4.75 mm, y como grava el agregado cuyas partículas quedan retenidas en esta malla.

Otra clasificación usual se basa en distinguir el origen de la fragmentación de las partículas de roca; de esta manera, hay agregados naturales y manufacturados.

Los agregados naturales provienen de la desintegración de una roca, producida por fuerzas naturales, cuyos fragmentos son transportados y depositados también por fuerzas naturales. Los materiales de esta clase que se presentan en la naturaleza, generalmente son depósitos de formación acuática ( fluvial, lacustre, marítima, glacial ), eólica ( dunas ) o ígnea ( depósitos piroclásticos ).

Los agregados manufacturados se obtienen por la trituración de una roca previamente fragmentada en dimensiones adecuadas, y conforme a un proceso definido de reducción progresiva. Cuando la roca original procede de una formación de roca, que debe ser explotada como cantera, o bien de grandes fragmentos aislados de roca que requieren una división inicial antes de ser triturados, se le conoce como agregado totalmente manufacturado.

Al producto se le denomina como agregado mixto, cuando el material con que se alimenta el proceso de trituración es de las partículas más grandes de un agregado natural que no son utilizables en esas condiciones por su exceso de tamaño.

También, es común clasificar los agregados de acuerdo con su forma de partículas y textura superficial. Desde este punto de vista se pueden tener desde las partículas naturales de formas muy redondeadas y superficies muy lisas, hasta los fragmentos manufacturados de formas muy angulosas, con aristas vivas y superficies ásperas.

En general, a igualdad de calidad los agregados naturales son más ventajosos que los manufacturados por las siguientes razones:

- Obtención más fácil
- Procesamiento más sencillo
- Instalaciones menos costosas
- Producto más económico
- Menores riesgos de producir agregados de mala calidad
- Partículas con forma y superficies más convenientes

Llegando a encontrar en ciertos casos especiales que los agregados manufacturados no solo pueden competir, sino inclusive, resultan más convenientes que los naturales.

### **2.1.2 NATURALIEZA DE LAS ROCAS.**

Independientemente de si los agregados son naturales o manufacturados, estos deben proceder de rocas que de acuerdo con su origen, se clasifican en tres grupos principales:

- a ) Rocas ígneas, producidas por solidificación a partir de un estado de fusión
- b ) Rocas sedimentarias, formadas por sedimentos transportados por agua, aire, hielo, o gravedad
- c ) Rocas metamórficas, que proceden de rocas ígneas o sedimentarias modificadas por condiciones de presión y temperatura.

En cada uno de estos grupos se presentan rocas que suministran buenos agregados para concreto y otras que son inadecuadas para este objeto.

Las rocas ígneas, por lo general, ofrecen muy buenas propiedades físicas ( densidad, dureza y resistencia ), excepto en tobas y escorias volcánicas que son porosas y de escasa resistencia.

Entre las rocas sedimentarias las hay duras y suaves, pesadas y ligeras, densas y porosas. En este grupo predominan las areniscas y calizas que, cuando son duras y densas, suministran buenos agregados.

Entre las rocas metamórficas también existe gran variedad de características. El cuarzo casi siempre es de buena calidad, pero las pizarras, normalmente son de calidad dudosa.

### **2.1.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS.**

Todas las características físicas de los agregados tienen, en mayor o menor grado, influencia sobre las propiedades y comportamiento del concreto, en el que intervienen algunas sobre el concreto en estado fresco y otras sobre el concreto ya endurecido.

- a ) **Graduación o análisis granulométrico** El análisis granulométrico es el ensaye de agregados que se realiza con más frecuencia. La graduación granulométrica de un agregado es la característica que resulta de la distribución de tamaños de las partículas que lo constituyen. Esta característica en los agregados, tiene un gran efecto en el consumo de agua del concreto, y por consiguiente, en todas las propiedades del concreto que se relacionan con el agua, también tiene efecto en la trabajabilidad y acabado del mismo. La granulometría se determina directamente haciendo pasar una muestra representativa de material por una serie de mallas con aberturas cuadradas sucesivamente más pequeñas, y posteriormente pesando el material retenido en cada una de ellas, con esta se puede obtener a su vez el tamaño máximo de las partículas que se encuentran en la misma muestra.

Del mismo análisis granulométrico del agregado fino y del agregado grueso se obtiene el módulo de finura, el cual se determina conforme a la norma ASTM C 136, sumando los porcentajes acumulados en la serie de mallas correspondientes y dividiendo entre 100. Las mallas que se utilizan para este fin son la de 0.15 mm (N° 100), 0.30 mm (N° 50), 0.60 mm (N° 30), 1.18 mm (N° 16), 2.36 mm (N° 8), 4.75 mm (N° 4), 9.52 mm (3/8"), 19.05 mm (3/4"), 38.10 mm ( 1 1/2" ), 76.20 mm ( 3" ), y 152.40 mm ( 6" ) El módulo de finura es un

## **DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

---

índice de la cantidad de finos que contiene el agregado, entre mayor sea el módulo de finura, menor cantidad de finos tendrá el agregado. El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

El tamaño máximo de las partículas se obtiene conjuntamente con la granulometría de la grava, observando entre cual de las mallas empleadas resultaron retenidas las partículas más grandes, si el 10% de estas se retiene en una malla "n" se dice que el tamaño máximo del agregado es aquel de la apertura de la malla inmediata superior.

b) **Peso específico o densidad.** Esta se define como la relación entre la masa de un volumen unitario del material y la masa de igual volumen de agua. Debido a que se trata de una relación de conceptos con unidades iguales, el peso específico no tiene unidades.

c) **Absorción.** La capacidad de los agregados para absorber agua depende del tamaño, granulometría y de los vacíos permeables que contienen. El agua de absorción es aquella que el agregado es capaz de absorber al ser puesto a saturar por 24 hrs, eliminándole el agua superficial, es decir llevando al agregado a su condición de saturado y superficialmente seco.

d) **Sanidad.** La sanidad de los agregados se refiere a la capacidad de estos para resistir y permanecer inalterables bajo condiciones de servicio que generan acciones destructivas debidas a cambios de volumen en el concreto del cual forman parte. Estas condiciones de servicio son representadas por los efectos de congelación y deshielo, periodos alternados de humedecimiento, secado y variaciones extremas de temperatura.

e) **Sustancias deletéreas.** Estas son sustancias que estando presentes en los agregados, pueden ser perjudiciales para la obtención de propiedades en el concreto o en su comportamiento posterior. Las sustancias de este tipo que se presentan con más frecuencia en los agregados son:

**Materiales muy finos.** Estos se presentan principalmente en tres formas: arcilla, limo y polvo de trituración, los cuales pueden ser aceptables en cierta proporción. Los efectos que pueden traer la presencia de estas son: un aumento en el requerimiento de agua del concreto provocando una disminución de la resistencia y aumento en la contracción, una interferencia con la adherencia entre agregado y pasta, o con el proceso de hidratación del cemento.

**Impurezas orgánicas.** Algunos tipos de materia orgánica pueden causar interferencia en la hidratación normal del cemento. La presencia de estas es más frecuente en las arenas que en las gravas.

**Partículas suaves, desmenuzables y ligeras.** Estas son partículas que por su escasa resistencia pueden provocar una baja resistencia y durabilidad del concreto endurecido, o bien partículas que pueden llegar a deshacerse durante el mezclado del concreto produciendo elementos perjudiciales.

f) **Resistencia a la abrasión.** La resistencia a la abrasión de la grava puede considerarse importante cuando está expuesto a cualquier acción que produzca desgaste o erosión.

g) **Forma y textura de partículas** Estas características influyen en el comportamiento del concreto, ya sea fresco o endurecido, ya que actúa en los desplazamientos de las partículas en el concreto fresco, en la adherencia que puede generarse entre las partículas y el concreto ya endurecido.

La forma de las partículas se califica de acuerdo a su mayor o menor proximidad a la equidimensional, ya que se considera que es la más deseable en los agregados. La forma deseable en las partículas dependerá de la clase de concreto y la resistencia que se requiere. En ocasiones las partículas muy alargadas y las excesivamente esféricas son de la misma forma indeseables, las primeras por dificultar la manejabilidad del concreto fresco y la segunda debido a que por la falta de adherencia limitan la posibilidad de obtener altas resistencias.

La textura superficial es el grado de aspereza o rugosidad que presenta la superficie de las partículas.

h) **Expansión térmica** El concreto ya endurecido, experimenta cambios de volumen por variaciones de temperatura, dependiendo esta variación en gran parte del tipo y contenido de grava, la posibilidad de un material para cambiar de dimensión con la temperatura es medido por medio del coeficiente de expansión lineal, el cual es el cambio de dimensión que ocurre en su longitud por cada variación unitaria de temperatura. La forma más usual de expresarla son millonésimas entre grados centígrados.

i) **Resistencia y elasticidad** Esta característica de resistencia de los agregados, se refieren a que estos deben de tener la suficiente resistencia para permitir el desarrollo de la resistencia de la pasta de cemento, para que así la misma resistencia de los agregados no sea una limitante para la resistencia del concreto.

Las propiedades elásticas del concreto son afectadas por las de la pasta de cemento como por las de los agregados, principalmente por las de la grava, estos últimos con una mayor influencia ya que siempre representan mayoría.

La elasticidad, la cual es la deformación que es recuperable de la deformación total que experimenta un cuerpo bajo la acción de una carga, manifiesta enormes variaciones de un material a otro. La capacidad de un material para deformarse bajo la acción de una carga y recuperarse en la descarga, es expresado por medio del módulo de elasticidad, el cual puede ser determinado a tensión o a compresión o bien estático o dinámico.

En el caso de rocas que constituyen los agregados para concreto solo se acostumbra aplicar el módulo de elasticidad estático a compresión.

## **2.2 CEMENTO.**

Los Cementos Portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio. Se llaman hidráulicos porque fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Durante la reacción química llamada hidratación, el cemento forma una pasta que se adhiere a todas las partículas de agregado para formar así al concreto.

---

---

## DESCRIPCION DE LA MATERIA PRIMA

---

---

La hidratación comienza tan pronto como el cemento entra en contacto con el agua. Cada partícula de cemento forma un aumento sobre su superficie mismo que se extiende gradualmente hasta unirse con el aumento de otras partículas de cemento o de otras partículas adyacentes, conforme va en aumento la superficie y unión de las partículas estas se rigidizan, se endurecen y adquieren desarrollo de resistencia.

La invención del Cemento Portland se atribuye generalmente a Joseph Aspdin, un albañil inglés, que en 1824 obtuvo una patente por su producto, al cual denominó Cemento Portland debido a que producía un concreto que en color semejaba a una caliza natural que se explotaba en el islote de Portland, península en el Canal de la Mancha.

### 2.2.1 FABRICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

El Cemento Portland se produce al pulverizar el Clinker, que consiste principalmente en silicatos hidráulicos de calcio junto con algunos aluminatos de calcio y alúmina ferrita de calcio y normalmente contiene una o más formas de sulfato de calcio (yeso), como adición en la molinenda.

Los materiales usados para fabricar Cemento Portland deben contener proporciones adecuadas de óxido de calcio, sílice, alúmina y componentes de óxido de hierro.

Las materias primas seleccionadas se trituran, muelen y dosifican de tal manera que la mezcla resultante tenga la composición química deseada. Las materias primas son generalmente una mezcla de material calcareo (óxido de calcio), como la caliza, margas, creta o coquilla y un material arcilloso (sílice y alúmina) como la pizarra, esquisto o escoria de alto horno.

Para la fabricación del Cemento Portland existen dos procesos: uno seco y el otro húmedo.

En el proceso seco la molinenda y el mezclado se efectúan con los materiales secos, en cambio en el proceso húmedo las operaciones se efectúan con los materiales en forma de lechada.

Luego del mezclado, la materia prima molida se alimenta por el extremo superior de un horno, ésta pasa a una velocidad que se controla por medio de la pendiente y la velocidad rotacional del horno. En el extremo inferior del horno el combustible para calcinar (carbón pulverizado, combustóleo o gas), es inyectado, donde las temperaturas de 1420 °C a 1650 °C transforman químicamente a la materia prima en Clinker de cemento, que tiene la forma de pelotillas negro-grisáceas de 12 mm de diámetro.

El Clinker se pone a enfriar y posteriormente se pulveriza. En el desarrollo de esta operación se agrega una pequeña cantidad de yeso que sirve para regular el tiempo de fraguado del cemento. El Clinker se muele tan finamente que casi en su totalidad logra pasar a través de la malla No 200 (75 micras) convirtiéndose así en lo que se conoce como Cemento Portland.



**2.2.2 TIPOS DE CEMENTO**

Existen distintos tipos de Cemento Portland para diferentes fines y usos los cuales se enuncian:

Tipo I	Normal
Tipo II	De resistencia moderada a los sulfatos
Tipo III	De alta resistencia temprana
Tipo IV	De bajo calor de hidratación
Tipo V	De alta resistencia a los sulfatos

La realidad de nuestro mercado mexicano es que los fabricantes de cemento, generalmente ofrecen el Tipo I y Tipo II y a su vez estos dos combinados, o bien con puzolanas, escorias de altos hornos o cenizas volantes, más adelante hablaremos sobre las características de los cementos combinados. Los tres tipos restantes es factible obtenerse en México siempre y cuando el volumen les sea atractivo a los fabricantes desde el punto de vista de rentabilidad en base a todos los cambios que se tienen que realizar en sus procesos de fabricación cotidiana.

**TIPO I**

Cemento de uso general, adecuado para ser empleado en concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos, tales como el ataque de sulfatos existentes en el suelo, en el agua o en concretos que tengan un aumento cuestionable de temperatura debido al calor generado durante la hidratación. Entre sus usos se incluyen pavimentos, pisos, edificios de concreto reforzado, puentes, estructuras para vías férreas, tanques y depósitos, tuberías, mamposterías, y otros productos de concreto prefabricado.

**TIPO II**

Cemento utilizado donde es necesario tomar precauciones contra el ataque moderado de sulfatos, como las estructuras de drenaje, donde las concentraciones de sulfatos existentes en las aguas frías son mayores de lo normal pero sin llegar a ser demasiado severas, ya que el Cemento tipo II genera normalmente menos calor a menor velocidad que el Cemento tipo I, este puede ser utilizado en estructuras de volumen considerable ya que reducirá el aumento de temperatura; este tipo de cemento puede utilizarse con gran efectividad en volados donde predominen los climas cálidos.

**TIPO III**

Este tipo de cemento proporciona en los concretos desarrollos de resistencia elevadas a edades tempranas. Química y físicamente es similar al Cemento tipo I, excepto que sus partículas han sido molidas más finamente. Se emplea cuando las cimbras deben ser retiradas lo más pronto posible o cuando la estructura a construir vaya a ponerse en servicio rápidamente. Este tipo de cemento tiene la ventaja de utilizarse en climas fríos ya que permite reducir el curado controlado. A pesar que se pueden usar mezclas más ricas de Cemento tipo I para lograr incrementos de resistencia a edades tempranas, el Cemento tipo III puede lograr esto mismo satisfactoriamente y con mayor economía.

**TIPO IV**

Este tipo de cemento se emplea en concretos donde se desea mantener en un valor mínimo la cantidad y velocidad de generación de calor provocada por la hidratación. Desarrolla resistencia a una velocidad muy inferior a la de otros tipos de cemento.

---

---

## DESCRIPCION DE LA MATERIA PRIMA

---

---

### TIPO V

Tipo de cemento que se emplea exclusivamente en concretos espuestos a acciones severas de sulfatos. Su resistencia es adquirida mas lentamente que en el Cemento tipo I. La elevada resistencia a los sulfatos del Cemento tipo V se atribuye al bajo contenido de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ). La resistencia a los sulfatos se incrementa si se incluye aire o relaciones  $A/C$  bajas. El Cemento tipo V, al igual que los demás tipos de Cemento Portland, no es resistente al ataque de acidos ni de otras sustancias fuertemente corrosivas.

### 2.2.3 CEMENTO PORTLAND BLANCO

Es un cemento con las mismas características que el Cemento Portland y difiere de este solamente en su color. Se fabrica conforme a las mismas especificaciones de proceso para elaborar Cemento Tipo I o Tipo III, sin embargo, el proceso de manufactura es controlado de manera tal que el producto terminado sea blanco. El Cemento Portland blanco es fabricado con materias primas que contienen cantidades insignificantes de óxidos de hierro y de manganeso, sus usos pueden ser varios principalmente para fines arquitectónicos.

### 2.2.4 CEMENTOS HIDRÁULICOS COMBINADOS

Como se habia mencionado antes los cementos hidráulicos combinados se elaboran mezclando de manera íntima y uniforme dos tipos de materiales finos para lograr diferentes finalidades y usos. Los principales materiales que se combinan con el Cemento Portland son escorias de alto horno molidas, cenizas volantes, cal hidratada, otras puzolanas, así como combinaciones previamente mezcladas de cemento con estos materiales.

### Tipo IS

El Cemento Portland de escoria de alto horno tipo IS, se puede emplear en las construcciones de concreto en general. Al producir este tipo de cemento, la escoria de alto horno granulada de calidad seleccionada se muele junto con el Chinker de Cemento Portland, o se muele separadamente luego se mezcla con Cemento Portland, o se produce por medio de una combinación de molienda y mezclado. El contenido de escoria de alto horno de este cemento varia entre el 25% y el 70% en peso.

### Tipo IP y tipo P.

Los tipos IP y P sirven para designar los Cementos Portland Puzolana. El tipo IP puede ser empleado en construcciones en general y el tipo P se utiliza en construcciones donde no sean necesarias resistencias altas a edades tempranas. El tipo P se utiliza normalmente en estructuras masivas. Estos cementos se fabrican moliendo Chinker de Cemento Portland con una Puzolana apropiada; mezclando Cemento Portland o Cemento Portland de escoria de alto horno junto con una Puzolana; o por una combinación de los dos procesos. El contenido de Puzolana de los dos cementos se encuentra entre el 15% y el 40% en peso. Los ensayos de laboratorio indican que el comportamiento en resistencia mecánica de un concreto hecho con Cemento tipo IP, como grupo, es similar al de un concreto de Cemento tipo I, aunque durante los 28 días son ligeramente inferiores para el Cemento tipo IP que para el Cemento tipo I.

**Tipo I (PM)**

El Cemento Portland tipo I (PM), modificado con Puzolana, se emplea en todo tipo de construcciones de concreto. El cemento se fabrica combinando Cemento Portland o Cemento Portland de escoria de alto horno con una Puzolana fina, esto se puede lograr con alguna de las siguientes opciones:

- Mezclando el Cemento Portland con la Puzolana
  - Mezclando el Cemento Portland de escoria de alto horno con la Puzolana
  - Moliendo conjuntamente el Clinker del Cemento Portland con la Puzolana
  - Por medio de una combinación de molienda conjunta y de mezclado
- El contenido de la Puzolana es menor que el 15%, en peso del cemento terminado

**Tipo S**

El Cemento tipo S, de escoria, se usa comúnmente en donde se requieran resistencias inferiores. Este cemento se fabrica por medio de alguno de los siguientes procesos:

- Mezclando escoria molida de alto horno y Cemento Portland
  - Mezclando escoria molida de alto horno y cal hidratada
  - La combinación de mezclar escoria molida de alto horno, Cemento Portland y cal hidratada.
- El contenido mínimo de escoria es del 70% del peso del Cemento de escoria.

**Tipo I (SM)**

El Cemento Portland modificado con escoria, tipo I(SM) se puede emplear en todo tipo de construcciones de concreto. Se fabrica por alguno de los siguientes procesos:

- Combinando durante la molienda el Clinker de Cemento Portland y alguna escoria granular de alto horno
- Mezclando Cemento Portland con escoria granular de alto horno finamente dividido
- Por la combinación de molienda y mezclado.

El contenido de escoria es inferior al 25% del peso del cemento terminado

Los cementos combinados se pueden usar en las construcciones de concreto cuando no sean necesarias las propiedades específicas de otros tipos de cemento, varios de los cementos combinados tienen una menor adquisición de resistencia a edad temprana si se les compara contra el Cemento tipo I. Las temperaturas bajas en el colado y curado pueden disminuir considerablemente el incremento de resistencia y aumentar la velocidad de hidratación en el concreto de cementos combinados con fuerte contenidos de escoria o Puzolana.

**2.2.5 CEMENTOS DE ALBAÑILERÍA**

Los Cementos de albañilería son cementos hidráulicos diseñados para emplearse en morteros para construcciones de mampostería, se componen de alguno o varios de los siguientes compuestos: Cemento Portland, Cemento Portland - Puzolana, Cemento Portland de escoria de alto horno, Cemento de escoria, cal hidráulica, y Cemento natural, además contienen normalmente materiales

---

---

## DESCRIPCION DE LA MATERIA PRIMA

---

---

como cal hidratada, caliza, creta, conchas calcáreas, talco, escoria o arcilla. Los materiales se seleccionan de acuerdo a su capacidad para impartir trabajabilidad, plasticidad y retención de agua a los morteros. Los Cementos de albañilería deben cubrir los requisitos de la norma ASTM C 91.

La trabajabilidad, resistencia, y color de los Cementos de albañilería se mantienen a niveles uniformes gracias a los controles durante su manufactura. Aparte de ser empleados en morteros para trabajos de mampostería, estos cementos se pueden usar para argamassas y aplastados; nunca se deben emplear para elaborar concreto.

### 2.2.6 CEMENTOS EXPANSIVOS

El Cemento expansivo es un cemento hidráulico que se expande ligeramente durante el periodo de endurecimiento a edad temprana después del fraguado final. Debe satisfacer los requisitos de la especificación ASTM C 845 en la cual se le designa como Cemento Tipo E-1.

Cuando la expansión se restringe, debido al refuerzo, el concreto de Cemento expansivo (concreto compensador de contracciones) puede ser usado para:

- 1.- Compensar la disminución de volumen ocasionada por la contracción por secado
- 2.- Inducir esfuerzos de tensión en el refuerzo (postensado)
- 3.- Estabilizar a largo plazo las dimensiones de las estructuras de concreto postensado respecto al diseño original.

Una de las principales ventajas de utilizar Cemento expansivo en el concreto consiste en controlar y reducir las grietas de contracción por secado.

### 2.2.7 CEMENTOS ESPECIALES

Existen tipos especiales de cemento, que no están necesariamente incluidos en las especificaciones ASTM, algunos de ellos contienen Cemento Portland. A continuación se enunciarán algunos:

#### Cementos para pozos petroleros.

Estos cementos son empleados para sellar pozos de petróleo, normalmente hechos de Clinker de Cemento Portland o de cementos hidráulicos combinados. Generalmente deben tener una velocidad de hidratación lenta y deben ser resistentes a temperaturas y presiones elevadas. La industria petrolera también emplea tipos convencionales de Cemento Portland con los aditivos adecuados para modificar al cemento.

#### Cementos Portland con impermeabilizante.

Este cemento usualmente se hace añadiendo una pequeña cantidad de aditivo repelente al agua, al Clinker de Cemento Portland durante la molinada final. Este cemento reduce la transmisión capilar de agua a presiones bajas o nulas, sin embargo no detiene la transmisión de vapor de agua.

**Cementos plásticos.**

Este tipo de cemento se fabrica añadiendo agentes plastificantes en un porcentaje no mayor al 12% del volumen total al Cemento Portland tipo I o II durante su molienda, estos cementos son empleados por lo regular para hacer morteros o aplados.

**Cementos de fraguado regular.**

Este tipo de cemento es un cemento hidráulico que se puede fabricar y controlar para producir concreto con tiempos de fraguado que varían desde unos minutos hasta una hora, y con desarrollo de resistencia a edad temprana de 70 Kg/cm<sup>2</sup> o más después de una hora de haber fraguado. Se trata de un Cemento Portland modificado que se puede fabricar en el mismo horno usado para el Cemento Portland convencional. Este tipo de cemento incorpora componentes para el control de fraguado junto con componentes para el desarrollo de resistencia a edad temprana. Las propiedades físicas finales del concreto hecho con este cemento son comparables a las de concretos similares fabricados con Cemento Portland.

**Cementos con adiciones funcionales.**

Las adiciones funcionales que se pueden mezclar con el Clinker de cemento durante su molienda, son una combinación de reductores de agua, retardantes, inclusores de aire y acelerantes. El cemento resultante debe cubrir los requisitos de la especificación ASTM C 688.

**2.2.8 COMPUESTOS QUÍMICOS EN EL CEMENTO PORTLAND**

Durante la calcinación en la fabricación del Clinker de Cemento Portland, el óxido de calcio se combina con los componentes ácidos de la materia prima para formar cuatro compuestos fundamentales que constituyen el 90% del peso del cemento. También se encuentran presentes yeso y otros materiales. A continuación se presentan los compuestos fundamentales, sus fórmulas químicas y sus abreviaturas:

Silicato tricálcico	3CaO SiO <sub>2</sub>	-	C <sub>3</sub> S
Silicato dicálcico	2CaO SiO <sub>2</sub>	-	C <sub>2</sub> S
Aluminato tricálcico	3CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	C <sub>3</sub> A
Aluminoferrito tetraélcico	4CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	C <sub>4</sub> AF

En presencia del agua, los cuatro compuestos se hidratan para formar nuevos compuestos que constituyen la infraestructura de la pasta de cemento endurecido en el concreto. Los silicatos de calcio, C<sub>3</sub>S y C<sub>2</sub>S, que constituyen cerca del 75 % del peso del cemento, se hidratan para formar los compuestos de hidróxido de calcio e hidrato de silicato de calcio (gel de tobermorita). El cemento hidratado contiene aproximadamente un 25 % de hidróxido de calcio y un 50 % de gel de tobermorita. La resistencia y otras propiedades del cemento hidratado se deben principalmente al gel de tobermorita. El Aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A) reacciona con el agua y con el hidróxido de calcio para formar el hidrato de aluminato tetraélcico. El Aluminoferrito tetraélcico (C<sub>4</sub>AF) reacciona con el agua para formar hidrato de aluminoferrito de calcio. El Aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A), el yeso y el agua se pueden combinar para formar el hidrato sulfoaluminato de calcio.

## DESCRIPCION DE LA MATERIA PRIMA

En el Clinker y en el cemento, el  $C_3S$  y  $C_2S$  son también conocidos como alta y belta, respectivamente. Estos compuestos tienen las siguientes propiedades químicas:

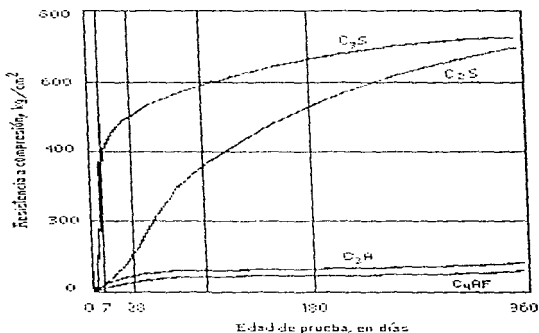
**El silicato tricálcico ( $C_3S$ ).** Este compuesto se hidrata y endurece rápidamente y es responsable en gran medida del fraguado inicial y de la resistencia temprana. En general la resistencia temprana del concreto de Cemento Portland es mayor con porcentajes superiores de  $C_3S$ .

**El silicato dicálcico ( $C_2S$ ).** Este compuesto se hidrata y endurece lentamente y contribuye en gran parte al incremento de resistencia a edades mayores de una semana.

**El aluminato tricálcico ( $C_3A$ ).** Este compuesto libera una gran cantidad de calor durante los primeros días de hidratación y endurecimiento. También contribuye levemente al desarrollo de la resistencia temprana. El yeso, que se agrega al cemento durante la molienda final, retrasa la velocidad de hidratación del  $C_3A$ . Sin el yeso, un cemento que contuviera  $C_3A$  fraguaría rápidamente. Los cementos con bajos porcentajes de  $C_3A$  son particularmente resistentes a los suelos y aguas que contienen sulfatos.

**El aluminoferrito tetracálcico ( $C_4AF$ ).** Este compuesto, reduce la temperatura de formación del Clinker, ayudando por tanto a la manufactura del cemento. Se hidrata con cierta rapidez pero contribuye mínimamente a la resistencia. La mayoría de efectos de color se debe al  $C_4AF$  y a sus hidratos. Ver Fig. 6.

Fig. 6



### 2.2.9 PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND.

La mayor parte de las especificaciones para el Cemento Portland, limitan su composición química y sus propiedades físicas. La comprensión del significado de algunas de estas propiedades físicas es útil para interpretar los resultados de las pruebas que se efectúan al cemento. En general las pruebas de las propiedades físicas del cemento deben ser utilizadas exclusivamente para evaluar las propiedades del cemento más que para el concreto.

En las siguientes especificaciones se enunciarán normas relacionadas con la legislación del concreto, la mayor parte de ellas norteamericanas: American Society for Testing of Materials (ASTM) y de la American Concrete Institute (ACI). Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son un equivalente a las de ASTM pero estas no se enunciarán por su falta de actualización y por lo tanto obsoletas.

#### 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 y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros siete días. La finura se mide por medio del ensaye del turbidímetro de Wagner (ASTM C 115), el ensaye Blaine de permeabilidad al aire (ASTM C 204), o con la malla No. 325 (45 micras) (ASTM C 430). Aproximadamente del 85 % al 95 % de las partículas de Cemento son menores de 45 micras.

#### Sauidad.

La sauidad se refiere a la capacidad de una pasta endurecida, para conservar su volumen después del fraguado. La expansión destructiva retardada o falta de sauidad es provocada por un exceso en las cantidades de cal libre o de magnesia. Casi todas las especificaciones para el Cemento Portland limitan los contenidos de magnesia (periclasa), así como la expansión registrada en la prueba de autoclave (ASTM C 151).

#### Consistencia.

La consistencia se refiere a la movilidad relativa de la pasta de cemento o mortero recién mezclado o 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 ± 1mm de la aguja de Vicat, mientras se mezclan morteros para obtener ya sea una relación A / C fija o para producir una cierta fluidez dentro de un rango dado. La fluidez se determina en una mesa de fluidez tal como se describe en la norma ASTM C 230. Los métodos de consistencia, el de consistencia normal y el de la prueba de fluidez sirven para regular los contenidos de agua de las pastas y morteros respectivamente, que serán empleados en pruebas subsiguientes. 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 ASTM C 150, se efectúan pruebas usando el aparato de Vicat (ASTM C 191) o la aguja de Gillmore. El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto, el fraguado

## DESCRIPCION DE LA MATERIA PRIMA

final tampoco debe ocurrir demasiado tarde. Los tiempos de fraguado indican si la pasta esta desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. Los tiempos de fraguado de los concretos no están relacionados directamente con los tiempos de fraguado de la pasta debido a la pérdida de agua en el aire (evaporación) o en los lechos, y debido a las diferencias de temperatura en la obra, en contraste con la temperatura controlada que existe en el laboratorio.

### Fraguado Falso.

El fraguado falso (ASTM C 351 para el método de la pasta y ASTM C 359 para el método del 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, la tendencia del Cemento Portland a provocar fraguado falso no causará 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 ASTM C 150, es la obtenida a partir de pruebas en cubos de mortero estándar de 5 cm, ensayados de acuerdo a la norma ASTM C 109. Estos cubos se hacen y se curan de manera precisa y utilizando una arena estándar.

En general, las resistencias de los cementos no se pueden usar 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, ver tabla 1.

### Calor de hidratación.

El calor de hidratación, es el calor que se genera cuando reaccionan el agua y el cemento. La cantidad de calor generado depende principalmente de la composición química del cemento, siendo el C<sub>3</sub>S y C<sub>3</sub>A los compuestos particularmente responsables del elevado desarrollo de calor.

Incrementos en la relación A / C, en la finura y en la temperatura de curado aumentan el calor de hidratación.

En ciertas estructuras, como ocurre con aquellas de masa considerable la velocidad así como la cantidad de calor generado son de gran importancia. Si este calor no se disipa rápidamente, puede ocurrir un aumento considerable en la temperatura del concreto. Esto puede ser indeseable puesto que después del endurecimiento a una elevada temperatura, el enfriado no uniforme en el concreto hasta alcanzar la temperatura ambiente, puede crear esfuerzos indeseables debidos a contracción térmica y a condiciones de restricción.

Las cantidades aproximadas de calor generado durante los primeros siete días, tomando como 100% al del Cemento Portland normal tipo I, son los siguientes:

Tipo II	Moderado	80% a 85%
Tipo III	Alta resistencia a edad temprana	hasta 150%
Tipo IV	Bajo calor de hidratación	40% a 60%
Tipo V	Resistencia a los sulfatos	60% a 75%



## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

### Pérdida por ignición.

La pérdida por ignición del Cemento Portland se determina calentando una muestra de cemento de peso conocido a 900 °C o 1000 °C, hasta que se obtenga un peso constante se determina entonces la pérdida en peso de la muestra. Normalmente una pérdida por ignición elevada indica prehidratación y carbonatación, que pueden ser causadas por un almacenamiento prolongado e inadecuado o por adulteraciones durante el transporte y la descarga. El ensaye para la pérdida por ignición se lleva a cabo de acuerdo con la norma ASTM C 114.

### Peso específico.

Generalmente el peso específico del Cemento Portland es de aproximadamente 3.15. El Cemento Portland de escoria de alto horno y los Cementos Portland - Pozzolana pueden tener valores de pesos específicos de aproximadamente 2.90. El peso específico de un cemento, determinado con la norma ASTM C188 no es indicador de la calidad del cemento, su uso principal se tiene en los cálculos de proporcionamiento de mezclas.

Tabla 1. Requisitos de resistencia a compresión para morteros elaborados con diferentes tipos de cementos.

Tipo de cemento	Resistencia a compresión				Denominación ASTM	
	1 día	3 días	7 días	28 días		
Cementos Portland						
I	....	127	197	281 *	C 150	
IA	....	102	158	225 *		
II	....	105	176	281 *		
IIA	....	70▲	120▲	225 *▲		
	....	84	141	225 *		
III	127	236	....	....		
IIIA	102	197	....	....		
IV	....	....	70	176		
V	....	84	155	211		
Cementos mezclados						
I(SM), IS	....	....	....	....	C 595	
I(PM), IP	....	127	197	246		
I(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		
Cemento expansivo						
E-1	....	....	148	246		C 845
Cementos de albañilería						
N	....	....	35	63		C 91
S	....	....	91	148		
M	....	....	127	204		

\* Requisito opcional

▲ Aplicable cuando se especifica el calor opcional de hidratación o el límite químico del total de C/S y C/A

### 2.3 AGUA.

De acuerdo a los efectos que puede causar sobre el concreto, la calidad del agua debe verse desde diferentes aspectos, como agua de mezclado para la elaboración del concreto, como agua de contacto con el concreto ya endurecido, esta como agua de curado o como un elemento que forma parte del medio que lo rodea.

En el agua de mezclado, sus impurezas, pueden tener efectos sobre el tiempo de fraguado, resistencia del concreto y corrosión del acero de refuerzo. Como agua de curado, sus efectos son básicamente de apariencia al contener sales que lo manchen o al producir pequeños levantamientos de la superficie del concreto. Por último como agua que forma parte del medio ambiente que rodea al concreto, al contener sustancias agresivas sus efectos pueden ser decisivos ya que puede llegar a la destrucción misma del concreto, si no se toman las precauciones debidas.

Con mucha frecuencia se manifiesta que el agua potable es útil para hacer concreto, pero esto no siempre es válido, ya que esta agua con pequeñas cantidades de azúcares o con sabor cítrico, no sirven para el concreto, aun siendo potable y al contrario algunas aguas sin ser potables son buenas para hacer concreto, de acuerdo con la cantidad y calidad de las impurezas que contengan.

Para comprobar la calidad del agua de mezclado que se utilizará para el concreto, se acostumbra realizar su análisis químico y hacer pruebas comparativas sobre pasta de cemento, mortero y / o concreto, comparando el agua de estudio con otra de calidad comprobada. Con el análisis químico se determinan sulfatos, cloruros, carbonatos y bicarbonatos, óxido de magnesio, materia orgánica y turbiedad.

Algunas de las pruebas físicas comparativas más usuales son: sanidad en autoclave y tiempo de fraguado sobre pasta de cemento de consistencia normal, y resistencia a compresión sobre mortero hecho con arena estándar o sobre concreto hecho con agregados procedentes del lugar donde se empleará esta agua.

### 2.4 ADITIVOS QUÍMICOS.

#### Definición:

Los aditivos son materiales diferentes del agua, de los agregados y del cemento que se emplean como componente del concreto o mortero, los cuales se agregan antes o durante el mezclado.

Los aditivos pueden emplearse para modificar las propiedades del concreto haciéndolo más adecuado para determinado trabajo, o simplemente por economía.

Algunos de los propósitos más importantes para los que se utilizan los aditivos son:

- Aumentar la trabajabilidad sin incrementar el contenido de agua, o para reducir el contenido de agua con la misma trabajabilidad.
- Retardar o acelerar el tiempo de fraguado inicial.
- Reducir la capacidad de sangrado.
- Reducir la segregación.
- Mejorar el bombeo y mejorar la penetración de los vibradores en el concreto fresco.
- Reducir la pérdida de revenimiento.
- Acelerar la resistencia a edades tempranas.

- Incrementar la durabilidad o resistencia a condiciones severas de exposición
- Reducir la permeabilidad
- Producir concreto celular
- Incrementar la adherencia del concreto con el acero
- Incrementar la adherencia entre el concreto viejo y el concreto nuevo
- Mejorar la resistencia al impacto y a la abrasión
- Impedir la corrosión del metal alojado
- Producir concreto o mortero de color

Dentro de los aditivos más comúnmente empleados se encuentran los aditivos acelerantes, retardantes, inclusores de aire, fluidizantes y puzolanas ( aditivos minerales finamente divididos, de estos se hablara posteriormente con mayor amplitud ), existiendo además otro tipo de aditivos como son los estabilizadores de volumen, expansores, colorantes, impermeabilizantes, inhibidores de corrosión, etc..

Para medir los efectos que produce un aditivo, se acostumbra envarar mezclas de concreto, de las cuales se obtiene mortero por medio de cribado a través de la malla N° 4 ( 4.8 mm ). Con este mortero se fabrican especímenes cuyo proceso de fraguado se detecta ( a temperatura controlada ) mediante pruebas de penetración con agujas de diferentes diámetros ( Método ASTM C 403 ). Por medio de esto se obtienen los datos de tiempos de fraguado, inicial y final, que corresponden a resistencias a la penetración de 35 y 280 kg / cm<sup>2</sup> ( 860 y 4000 lb / plg<sup>2</sup> ), respectivamente. Aunque estos valores fueron fijados de una forma arbitraria, tienen cierto sentido físico.

- a) Se considera que el concreto fresco ( mortero cribado ) puede ser manejado mientras su resistencia a la penetración sea menor de 35 kg / cm<sup>2</sup> esto es, antes de que se obtenga su fraguado inicial.
- b) En el intervalo definido por las resistencias a la penetración entre 35 y 280 kg / cm<sup>2</sup>, se considera que el concreto puede ser revitrado con precauciones.
- c) Cuando la resistencia a la penetración es mayor de 280 kg / cm<sup>2</sup>, el concreto se encuentra en proceso de adquisición de resistencia, y es perjudicial cualquier perturbación.

#### 2.4.1 ADITIVOS ACELERANTES\*

Mediante el uso de aditivos acelerantes se puede acortar el tiempo de fraguado e incrementar la resistencia a edades tempranas. Algunos beneficios que podemos obtener con la resistencia temprana o con un tiempo de fraguado más reducido mediante un aceleramiento son:

- Optimización de las cimbras por el retro a más corta edad
- Terminación más temprana de una estructura o de una reparación
- Compensación parcial o total en la ganancia de resistencia por los efectos de bajas temperaturas
- Inicio del acabado de la superficie a más corto tiempo
- Reducción de presión en las cimbras o del tiempo en que está sujetas a presiones hidráulicas.

La decisión más común por la que se emplea un aditivo acelerante es por la economía

---

\* Los acelerantes que se emplean en concreto deben cumplir con los requisitos Tipo C o E de la ASTM C494 Specifications for Chemical Admixtures for Concrete

---

## **DESCRIPCION DE LA MATERIA PRIMA**

---

También se pueden obtener los mismos resultados utilizando otros medios como son:

- Empleo de cemento de fraguado rápido, tipo III
- Empleo de cemento adicional
- Empleo de un método de curado diferente o más prolongado
- Calentamiento del agua y del agregado
- Por una combinación de los anteriores

Los aditivos acelerantes se dividen en tres grupos que son:

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

Dentro de las sales inorgánicas que producen un aceleramiento del fraguado y endurecimiento del Cemento Portland se encuentran los cloruros, bromuros, fluoruros, carbonatos, silicatos, etc., el cloruro de calcio es el acelerante que más se utiliza, ya que es la sal más efectiva, también además relativamente económica. También se sabe que el cloruro de calcio incrementa la fluencia del concreto y la contracción por secado del mismo. El empleo de cloruro de calcio en el concreto reduce su resistencia al ataque de sulfatos, e incrementa la acción entre el cemento altamente alcalino y los agregados reactivos. Una de las mayores desventajas de este es su tendencia a propiciar la corrosión de metales en contacto con el concreto. El cloruro de calcio no está permitido en concreto prefabricado cuando se utilizan plataformas metálicas galvanizadas, o cuando se ahogan metales disímboles.

Algunos de los aditivos acelerantes de fraguado se emplean para producir morteros o concreto de fraguado rápido, adecuados para ser utilizados en concreto lanzado, para sellar filtraciones o para otros fines especiales. Entre estos aditivos que producen fraguado rápido se encuentran las sales ferricas, el fluoruro de sodio, el cloruro de aluminio, el aluminato de sodio y el carbonato de potasio estos compuestos patentados se encuentran disponibles en forma líquida o en polvo para mezclarse con cemento.

Dentro del grupo de los compuestos orgánicos solubles los más comunes son la trietanolamina y el formiato de calcio, los cuales son usados para compensar los efectos retardantes de los aditivos reductores de agua o para proporcionar aditivos acelerantes no corrosivos. La trietanolamina y el formiato de calcio afectan la contracción por secado del concreto, de manera similar a como la afecta el cloruro de calcio.

Cuando se emplean relaciones A / C bajas se han encontrado varios compuestos orgánicos para acelerar el fraguado del Cemento Portland. Los azúcares son ejemplos de estos casos, aunque están reconocidos como fuertes retardantes, pero que con adiciones mayores de 0.25 % del peso del cemento y relaciones A / C de 0.22 a 0.24 presentan propiedades de fraguado rápido, aunque este efecto no puede acelerar el desarrollo de la resistencia.

En el grupo de los aditivos sólidos se encuentran diversos casos, como es el empleo de cemento con aluminato de calcio, con el cual el tiempo de fraguado del cemento puede reducirse, aunque la contracción por secado y el hinchamiento en agua son mayores y su durabilidad se puede ver afectada de manera adversa.

El concreto de Cemento Portland adicionado con cemento totalmente hidratado y finamente molido al 2 % por peso de cemento, es equivalente al empleo del 2 % de cloruro de calcio, con la ventaja de incrementar la resistencia a compresión sin aumentar la contracción por secado.

También diversos silicatos minerales actúan como acelerantes, así como los geles de sílice y el carbonato de magnesio finamente dividido.

#### **2.4.2 ADITIVOS RETARDANTES\*\*.**

A diferencia de los aditivos acelerantes, lo que se pretende al emplear un aditivo retardante es hacer más lento el tiempo de fraguado sin modificar la velocidad de adquisición de resistencia.

Este efecto de retardo es necesario cuando se requiere de más tiempo para la colocación del concreto antes del fraguado del mismo sin perder homogeneidad y provocar juntas frías por la falta de continuidad en el suministro del concreto, o para evitar el fraguado rápido en condiciones donde prevalezcan las altas temperaturas.

El retardo en el fraguado del concreto también se puede lograr por medio de la composición del cemento, aunque no es un procedimiento que se acostumbra aquí en México. Las bajas temperaturas también retardan el fraguado pero no es fácilmente realizable a una escala mayor, por lo anterior se acostumbra para lograr un retardo en el fraguado del concreto el uso de aditivos retardantes durante el mezclado.

Las sustancias que producen retardo en el fraguado del cemento se agrupan en tres grupos:

- 1 - Ácidos lignosulfónicos y sus sales ( productos de la celulosa )
- 2 - Ácidos hidrosilcarboxílicos y sus sales ( Adipico, gluconico, etc. )
- 3 - Diversas ( derivados de carbohidratos, gomas, proteínas, fosfatos, azúcares, etc. )

Los compuestos de los dos primeros grupos son los que más se emplean en los productos comerciales retardantes, pero como también presentan efectos fluidizantes estos se encuentran incluidos en la categoría de aditivos fluidizantes que se describirán posteriormente.

Los compuestos del tercer grupo son poco usados, dado que sus efectos en la mayoría de las ocasiones resultan más intensos y menos controlables.

Normalmente se considera que los aditivos retardantes detienen el fraguado del aluminato tricálcico y retardan su hidratación por la formación de películas de sulfatoaluminato a su alrededor.

Se deben de realizar pruebas antes de la aplicación de aditivos retardantes ya que en sus resultados pueden influir diversas variables como son la composición del cemento, el tipo y dosis del aditivo.

---

\*\* Los retardantes que se emplean en concreto deben cumplir con los requisitos Tipo B, D o G de la ASTM C494: Specifications for Chemical Admixtures for Concrete

---

---

---

---

## DESCRIPCION DE LA MATERIA PRIMA

---

---

### 2.4.3 ADITIVOS FLUIDIZANTES.

Estos aditivos fluidizantes son sustancias químicas que al ser adicionadas a una mezcla de concreto, incrementan su fluidez de manera similar a que si se le hubiera incrementado el contenido de agua, por lo que al permitir incrementar la fluidez de una mezcla de concreto sin incrementar el agua se les llama fluidizantes. Estos aditivos corresponden a los también llamados agentes reductores de agua por considerar que permiten obtener una fluidez dada con menor cantidad de agua. El efecto que nos producen estos aditivos tiene por lo general tres finalidades principales:

- a) Incrementar la fluidez de la mezcla, sin aumentar el agua, dejando constantes la cantidad de pasta de cemento y la relación  $A / C$ , con lo cual no debe haber un cambio significativo en el consumo de cemento y en la resistencia a compresión.
- b) Conservar la misma fluidez, reduciendo el agua sin variar el contenido de cemento (reduciendo con esto la relación  $A / C$ ), por lo cual debe incrementarse la resistencia a compresión sin aumentar el consumo de cemento.
- c) Conservar la misma fluidez, reduciendo el agua y el cemento de manera tal que se mantenga la relación  $A / C$ , para conservar de manera aproximada la misma resistencia con un menor consumo de cemento.

Las principales sustancias que se utilizan para conseguir estos propósitos son los ácidos lignosulfónicos o sus sales y los ácidos hidroxicarboxílicos o sus sales. La gran mayoría de estos compuestos reaccionan produciendo el efecto señalado por una combinación de efectos físico-químicos sobre las partículas de cemento, entre los que destacan los efectos humectantes, lubricantes y de dispersión, mediante los cuales las partículas adquieren mayor movilidad y es expuesta a la hidratación una mayor área superficial de cemento.

### 2.4.4 ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE.

El ACI 116 R define a un agente inclusor de aire como "una adición para cemento hidráulico o un aditivo para concreto o mortero el cual produce inclusión de aire para ser incorporado en el concreto o mortero durante el mezclado, usualmente para aumentar su trabajabilidad". Son adicionados al concreto inmediatamente antes o durante su mezclado.

La inclusión de aire ayuda al concreto a resistir la acción de la congelación y deshielo cuando se encuentra críticamente saturado.

La inclusión de aire modifica las propiedades del concreto en estado fresco. El concreto con aire incluido es más trabajable y cohesivo que el concreto sin aire incluido, con igual contenido de cemento o relación  $A / C$ , se reduce la segregación y el sangrado, el cual a su vez ayuda a la acumulación de lechada o material débil en la superficie del concreto. Los efectos anteriores son debidos a la presencia de diminutas burbujas de aire dispersas uniformemente en la mezcla de pasta de cemento. Por su tamaño y gran número por metro cúbico de concreto proporcionan lubricación y cohesión a la mezcla.

Son varios los factores que intervienen en el contenido de aire y en la distribución de tamaños de las cavidades de aire producidas en el concreto con aire incluido, los más importantes son:

- Naturaleza y cantidad del aditivo inclusor de aire
- Naturaleza y cantidad de los elementos de la mezcla de concreto
- Tipo y duración del mezclado empleado
- Consistencia
- Tipo y grado de compactación aplicada al concreto al momento de colocarlo
- Temperatura del concreto fresco

La inclusión de aire por lo general reduce la resistencia, particularmente en concretos con contenido de cemento de moderado a elevado, a pesar de la reducción de la cantidad de agua.

Los materiales que se mencionan a continuación son aditivos que se han empleado o que están disponibles comercialmente: sales de resmas de madera, detergentes sintéticos, sales de lignina sulfonada, sales de ácidos del petróleo, sales de materiales proteínicos, ácidos grasos y resinosos y sus sales, sales orgánicas de carbohidratos sulfonados. Todo material que se proponga como aditivo inclusor de aire debe cumplir con las especificaciones de la ASTM C 260

#### **2.4.5 DIVERSOS ADITIVOS.**

Aquí se mencionarán solo algunos tipos de aditivos que al igual que los anteriores se utilizan para modificar algunas características del concreto ya sea en estado fresco o en estado endurecido.

**Aditivos para rellenos.** Son aditivos para darles propiedades especiales a la lechada, estas lechadas se aplican principalmente para cementar pozos petroleros, en los que se pueden encontrar temperaturas y presiones elevadas y en las que las distancias de bombeo son considerables.

**Aditivos productores de expansión.** Estos aditivos durante el periodo de hidratación del concreto se expanden o reaccionan con otros constituyentes del concreto para causar expansión, se utilizan para minimizar los efectos de la contracción por secado.

**Aditivos adherentes.** Estos aditivos son formulados específicamente para utilizarse en mezclas de Cemento Portland para resaltar las propiedades adherentes, por lo general consisten en una emulsión de polímeros orgánicos, que incrementan el contenido de aire de la mezcla en la que se emplean.

**Aditivos colorantes.** Los pigmentos preparados específicamente para utilizarse en concretos y morteros, se suministran como materiales tanto naturales como sintéticos y están formulados para producir el color adecuado sin afectar materialmente las propiedades físicas convenientes de la mezcla.

#### **2.5 PUZOLANAS.**

Las puzolanas se definen en el ACI SP-19 " como un material silíceo o siliceoaluminoso que en sí posee poco o ningún valor cementante, pero que en forma finamente dividida y en presencia de humedad reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias, para formar compuestos con propiedades cementantes ". Algunos de estos materiales puzolánicos son las cenizas volantes, vidrios volcánicos, tierras diatomáceas y algunos esquistos o arcillas, ya sea que estén tratados con calor o crudos.

---

## DESCRIPCION DE LA MATERIA PRIMA

---

Hoy en día los materiales puzolánicos son ampliamente usados en la industria de la construcción; en México el uso de estos materiales se ha difundido desde unas décadas atrás, siendo una práctica común la adición de ciertos materiales sólidos de origen natural (volcánico o sedimentario) o subproductos de algunas industrias (cenizas volantes, cenizas de alto horno, etc.) al Cemento Portland. Estas adiciones proporcionan al cemento ciertas propiedades de gran importancia práctica, principalmente logrando una mayor estabilidad química y por lo tanto, una mayor durabilidad en el cemento y el concreto.

Las puzolanas son materiales naturales o artificiales que por su composición química, rica en sílice y alumina, resultan capaces de reaccionar con el hidróxido de calcio para formar compuestos que aporten resistencia mecánica y de baja solubilidad al agua.

Dado los avances de la tecnología del concreto se hace necesaria la utilización de puzolanas para la fabricación de cementos puzolánicos, los cuales se emplean en la elaboración de concretos con características especiales, en la que los materiales con actividad puzolámica influyen sobre la durabilidad de la estructura, proporcionándole ciertas propiedades y ventajas.

El uso original de las puzolanas en simple combinación con cal, se elevó a la categoría industrial mediante la elaboración de los Cementos Portland - Puzolana, encontrándose posteriormente otras aplicaciones en casos en que son consideradas como aditivos. En la actualidad, cuando se incluye una Puzolana como aditivo en una mezcla de mortero de Cemento Portland, se persigue alguna de las siguientes finalidades:

- Mejorar la trabajabilidad, aumentando la plasticidad y reduciendo al mismo tiempo la segregación y el sangrado.
- Resistencia al ataque químico como ciertos agentes agresivos, sulfatos de sodio o magnesio disueltos en el agua, así como aguas ligeramente ácidas o de bajo pH.
- Menor calor de hidratación con respecto al Cemento Portland correspondiente, siendo indeseable en el caso de concretos masivos de obras hidráulicas.
- Menor permeabilidad que lo hace idóneo para obras sobre terrenos húmedos o salitrosos.
- Inhibir o disminuir la expansión por la reacción álcali - agregado, expansión que ocurre cuando los agregados quedan expuestos a los álcalis del cemento o de cualquier otra fuente.
- Generar un menor costo de producción.
- Mayor rendimiento en el concreto cuando se utiliza un cemento puzolámico, con el consiguiente beneficio económico.
- Las resistencias a la tensión son mejoradas a edades tardías dando mayor resistencia al agrietamiento.
- Las resistencias mecánicas a la compresión son bajas a edades tempranas, aunque posteriormente aumentan.
- La temperatura elevada ayuda a desarrollar la actividad en el caso de los cementos puzolánicos, situación que favorece su utilización en climas cálidos.

Las puzolanas también presentan ciertos inconvenientes como son:

- Mayor cantidad de agua de mezclado para una consistencia dada y
- En ocasiones una contracción por secado mayor.



Cuando se adiciona Puzolana a una mezcla que contiene Cemento Portland, se puede esperar una reacción con el hidróxido de calcio que se haya producido durante la hidratación. Los productos de esta reacción son coloidales como los del cemento, por lo tanto resistentes y estables. A esta acción de la Puzolana se le designa como fijación de cal, y sus efectos en el concreto endurecido se traducen en mayor resistencia al ataque de aguas y suelos agresivos.

La efectividad de una Puzolana está directamente relacionada con su finura, por lo que una alta finura es un requisito para muchas puzolanas, aunque sin llegar a extremos en que sea tan excesiva que provoque efectos secundarios indeseables en el concreto.

La ceniza volante se utiliza en gran medida como aditivo, cuando lo hay disponible y en la cantidad adecuada, y como constituyente de concreto masivo, concreto estructural, pavimentos y productos de concreto. Durante los últimos años se han empleado puzolanas de origen natural en concretos masivos, en varios proyectos importantes en E.U., y se dispone de ellas localmente para el empleo general en construcciones de concreto y productos de concreto.

Cuando los agregados disponibles para la elaboración de concreto son deficientes en los tamaños de partículas más finos, el empleo de una Puzolana puede reducir el sangrado y la segregación e incrementar la resistencia del concreto, proporcionando los finos ausentes en el agregado. El sangrado tiende a reducir la homogeneidad del concreto, esta falta de homogeneidad se manifiesta por fisuras abiertas debajo de las partículas de agregado, lo suficientemente grandes como para ser visibles en una sección transversal del concreto. Esta falta de adherencia entre la pasta y el agregado reduce la resistencia potencial del concreto.

El empleo de puzolanas puede producir mayor beneficio económico en cuanto a que el empleo de estos materiales permite una reducción en la cantidad de Cemento Portland en la mezcla.

Usualmente a las puzolanas se les emplea entre el 15 y el 35 % por peso del total del medio cementante del concreto, dependiendo del fin para el cual se va a emplear el concreto y de las especificaciones de trabajo.

El efecto de una Puzolana sobre la resistencia del concreto varía según las propiedades del aditivo en particular, y según las características de la mezcla de concreto en la cual se utiliza. Por lo general se incrementa la resistencia de las mezclas pobres y se reduce la resistencia de las mezclas ricas. Cuando se utilizan puzolanas para reemplazar cemento sobre la base de peso equivalente, se pueden reducir las resistencias tempranas.

El empleo de aditivos puzolánicos con Cemento Portland en el concreto, generalmente incrementa la resistencia a los ataques agresivos de agua de mar, soluciones de terrenos portadores de sulfatos y aguas ácidas naturales. Esta mejora puede ser mayor en concretos con bajo contenido de cemento. Algunos investigadores han observado incremento en la resistencia a los sulfatos en concretos que contienen ceniza volante, independientemente del tipo de cemento empleado. Al aumentar la severidad de la exposición a los sulfatos se incrementa la efectividad de la ceniza volante para mejorar la resistencia del concreto a los sulfatos.

Casi todas las puzolanas cuando se emplean en la cantidad suficiente, son capaces de evitar la expansión excesiva que resulta de la reacción álcali - sílice, aunque en una proporción demasiado pequeña, puede incrementar los efectos perjudiciales de la reacción álcali - sílice. Esta reacción álcali - sílice comprende la interacción de alcalis en el Cemento Portland con ciertos constituyentes silíceos de los agregados en el concreto, el producto de esta reacción puede causar expansión excesiva.

---

## DESCRIPCION DE LA MATERIA PRIMA

---

agrietamiento y deterioro general del concreto. Los álcalis se refieren al sodio y al potasio presentes en proporciones relativamente pequeñas. Pruebas sobre el comportamiento a largo plazo de pavimentos muestran que las puzolanas pueden servir para reducir o eliminar el agrietamiento en forma de mapa y la expansión resultante de esa reacción.

El efecto de la ceniza volante y de otras puzolanas sobre la resistencia del concreto a la congelación y al deshielo, así como a la acción de productos químicos descongelantes durante la congelación, depende de las proporciones, resistencia y de las condiciones de humedad del concreto, así como del adecuado sistema de cavidades de aire al momento de la exposición. Generalmente con el empleo de una Puzolana se requiere una proporción más elevada de aditivo inclusor de aire para producir un determinado contenido de aire, que el requerido por un concreto sin Puzolana.

Ciertas puzolanas son más efectivas para reducir la permeabilidad del concreto a edades tempranas, sin embargo en muchas condiciones de servicio la permeabilidad del concreto que contiene cualquier tipo de ellas es marcadamente a edades posteriores. Investigadores han proporcionado información acerca de la utilización de puzolanas para reducir la permeabilidad del concreto, con lo que concluyen que en concreto masivo el uso de proporciones de moderadas a elevadas, de una Puzolana adecuada da como resultado una impermeabilidad que no se obtiene por otros medios, también, que el empleo adecuado de ceniza volante como aditivo puede llegar a reducir la permeabilidad aproximadamente a una séptima parte de la de concreto equivalente sin ceniza volante.

**CAPÍTULO 3.**  
**CONCRETOS PARA DIFERENTES FINES.**

**3.1 CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL.**

Este tipo de concreto es similar al concreto de peso normal excepto por su menor densidad. Su fabricación es por medio de agregados de peso ligero ( todo el concreto de peso ligero ) o con una combinación de agregados de peso ligero y de peso normal.

El concreto ligero estructural tiene una densidad en estado seco de 1350 a 1800 kg / m<sup>3</sup> y una resistencia a la compresión a edad especificada mayor a los 150 kg / cm<sup>2</sup>. El concreto de peso normal tiene una densidad seca en el intervalo de 2050 a 2500 kg / m<sup>3</sup>. El concreto ligero estructural se emplea principalmente para reducir el peso de la carga muerta en los elementos de concreto, como es el caso de las losas de edificios de gran altura.

**3.1.1 AGREGADOS LIGEROS ESTRUCTURALES.**

Los agregados ligeros estructurales deberán cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 330, que incluye:

- Pizarras, esquistos y arcillas expandidas de horno rotatorio
- Pizarras y esquistos expandidos de parrillas de sinterización
- Ceniza volante pelletizada o estruza
- Escorias expandidas.

---

---

## CONCRETOS PARA DIFERENTES FINES

---

---

Los agregados ligeros estructurales también pueden producirse procesando otros tipos de materiales, como la piedra pómez y la escoria volcánica que se encuentran de manera natural. Estos agregados tienen densidades considerablemente menores a las que tienen los agregados de peso normal, de 550 a 1100 kg/m<sup>3</sup> contra 1200 a 1750 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.1.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN.

La resistencia a compresión del concreto ligero estructural por lo general se relaciona con el contenido de cemento para un cierto revestimiento y contenido de aire más que con la relación A/C, esto debido a la dificultad para determinar la cantidad de agua de mezclado que es absorbida por el material y por consiguiente la cantidad que reacciona con el cemento. Las resistencias comunes a compresión van de 200 a 350 kg/cm<sup>2</sup>. También se pueden fabricar concretos de alta resistencia con agregados ligeros estructurales.

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.

### 3.1.3 AIRE INCLUIDO.

Al igual que en el concreto de peso normal, la inclusión de aire en el concreto ligero estructural asegura una resistencia adecuada contra la congelación y deshielo, y contra la aplicación de productos descongelantes, también mejora la trabajabilidad, reduce el sangrado y la segregación, y puede llegar a compensar deficiencias leves en la granulometría del agregado.

La cantidad de aire incluido debe ser tal que permita la buena trabajabilidad al concreto plástico y una resistencia adecuada a la congelación y deshielo en el concreto endurecido. El contenido de aire por lo general se encuentra entre 4.5 y 9 % dependiendo del tamaño máximo de agregado grueso, así como de las condiciones de exposición.

### 3.1.4 MEZCLADO.

En general los procedimientos de mezclado son similares a los del concreto de densidad normal.

### 3.1.5 TRABAJABILIDAD Y CAPACIDAD DE ACABADO.

Las mezclas de concreto ligero estructural pueden tener la misma trabajabilidad, capacidad de acabado y apariencia general que las mezclas de concreto de densidad normal. Debe de tener la cantidad suficiente de agregado fino para mantener cohesivo el concreto fresco, si el material es deficiente en la cantidad de material fino, la capacidad de acabado se puede mejorar con una porción de arena natural, con un aumento en el contenido de cemento o con el uso de finos minerales satisfactorios. Dado que la inclusión de aire mejora la trabajabilidad, se debería utilizar sin importar el grado de exposición.

### 3.1.6 REVENIMIENTO.

Debido a la densidad de los agregados empleados, este tipo de concreto no se desploma tanto como un concreto de peso normal de igual trabajabilidad. Rara vez es necesario rebasar revestimientos de 12.5 cm para los colados normales de concreto ligero estructural, con revestimientos

mayores, las partículas grandes de agregado presentan la tendencia a flotar hacia la superficie, dificultando con ello las operaciones de acabado.

### 3.1.7 VIBRADO.

Al igual que el concreto de peso normal, el vibrado puede usarse para consolidar de manera efectiva los concretos ligeros, un vibrado excesivo provoca segregación al forzar las partículas de agregado de mayor tamaño hacia la superficie.

### 3.1.8 COLOCACIÓN, ACABADO Y CURADO.

En general, el concreto ligero estructural es más fácil de manejar y colocar que el concreto convencional. Para el acabado se recomienda un revenimiento de 5 a 10 cm, mayores revenimientos pueden causar segregación, retrasos en las operaciones de acabado, y producir superficies toscas y disparejas.

Las operaciones de acabado deberán comenzar antes que en el caso de los concretos comparables de peso normal, aunque el acabado demasiado temprano puede ser perjudicial.

Para los concretos ligeros se deberán seguir las mismas prácticas de curado empleadas para el concreto de densidad normal. Los dos métodos más comúnmente usados son el curado con agua (mediante inundación, rocío o utilizando cubiertas húmedas) y la prevención de la pérdida de humedad en las superficies descubiertas (cubriendo con papel a prueba de agua, láminas de plástico o sellando con compuestos líquidos formadores de membranas).

## 3.2 CONCRETOS LIGEROS DE DENSIDAD BAJA Y DE RESISTENCIA MODERADA.

El concreto de densidad baja (también conocido como concreto aislante), es un concreto ligero cuyo peso volumétrico seco es igual o menor que  $800 \text{ kg / m}^3$ . Se fabrica con cemento Portland, agua, aire y con o sin agregado y aditivos minerales. El peso volumétrico seco varía de 240 hasta  $800 \text{ kg / m}^3$  y la resistencia a compresión a los 28 días por lo general es de  $7$  a  $70 \text{ kg / cm}^2$ . El concreto de densidad baja colado en el sitio se utiliza principalmente para aislamientos térmicos y acústicos, cubiertas, rellenos para subbases de losas sobre el terreno, capas de nivelación para pisos o azoteas, muros a prueba de incendios, y revestimientos de conductos térmicos subterráneos. El concreto de densidad baja también se emplea en unidades prefabricadas de concreto reforzado para pisos, cubiertas y muros.

Un concreto ligero de resistencia moderada pesa aproximadamente de  $800$  a  $1900 \text{ kg / m}^3$  y tiene una resistencia a la compresión de aproximadamente  $50$  a  $150 \text{ kg / cm}^2$ . A densidades menores, se utiliza como relleno para aislamiento térmico y acústico de pisos, muros y cubiertas y se le conoce como concreto de relleno. A densidades mayores se le utiliza para muros, pisos y cubiertas coladas en el lugar y en paneles prefabricados para pisos y muros.

Los concretos ligeros de densidad baja se pueden agrupar como sigue:

**GRUPO I.** Fabricado con agregados expandidos, tales como perlita, vermiculita o esferas de tamaño pequeño de poliestireno expandido. Los pesos volumétricos secos varían generalmente entre  $250$  y  $800 \text{ kg / m}^3$ . Este grupo se utiliza principalmente en concretos de densidad baja y algunos concretos de resistencia moderada.

---

---

## CONCRETOS PARA DIFERENTES FINES

---

---

**GRUPO II.** Fabricado con agregados manufacturados al expandir, calcinar o sintetizar materiales, tales como la escoria de alto horno, arcilla, diatomita, ceniza volante, esquistos, o pizarra, o mediante el procesamiento de materiales naturales como la piedra pómez, escoria volcánica o tufa. Los pesos volumétricos secos varían de 720 a 1440 kg / m<sup>3</sup>. Los agregados de este grupo se utilizan en concretos ligeros de resistencia moderada, algunos también en concretos ligeros estructurales.

**GRUPO III.** Concretos fabricados incorporando dentro de una pasta de cemento o mortero de cemento - arena una estructura celular uniforme de vacíos - aire que se obtiene mediante espuma preformada (ASTM C 869), espuma formada in situ, o agentes espumantes especiales. Este concreto se conoce como concreto celular. Los pesos volumétricos secos varían entre 240 y 1900 kg / m<sup>3</sup>, estos se pueden obtener mediante la sustitución de algunas o todas las partículas de agregado o vacíos - aire, los cuales pueden llegar a constituir hasta el 80 % del volumen.

### 3.2.1 PROPORCIONES DE LA MEZCLA.

En el grupo I los contenidos de aire pueden llegar a alcanzar hasta un 25 a 35 %. Los requisitos de agua para los concretos aislantes y de relleno varían de manera considerable, dependiendo de las características de los agregados, de la inclusión de aire, y de las proporciones de la mezcla. El exceso de agua provoca una alta contracción por secado y grietas que podrían dañar la membrana a prueba de agua.

Algunas mezclas, como las de los concretos sin fines, se fabrican sin agregado fino pero con un contenido total de vacíos de 20 a 35 %. Los contenidos de cemento para concreto del grupo II varían entre 100 y 350 kg / m<sup>3</sup> dependiendo del contenido de aire, de la granulometría del agregado y de las proporciones de la mezcla.

Los concretos sin fines que contengan piedra pómez, escoria expandida o esquisto expandido se pueden fabricar con 150 a 170 l de agua por m<sup>3</sup>, con 20 a 35 % de vacíos de aire, y con un contenido de cemento aproximado de 280 kg / m<sup>3</sup>.

### 3.2.2 TRABAJABILIDAD.

Dado su elevado contenido de aire, los concretos ligeros que pesan menos de 800 kg / m<sup>3</sup> presentan una trabajabilidad excelente. Los concretos celulares se manejan como líquidos y se vacían o se bombean hasta su lugar sin consolidación posterior.

### 3.2.3 MEZCLADO Y COLOCACIÓN.

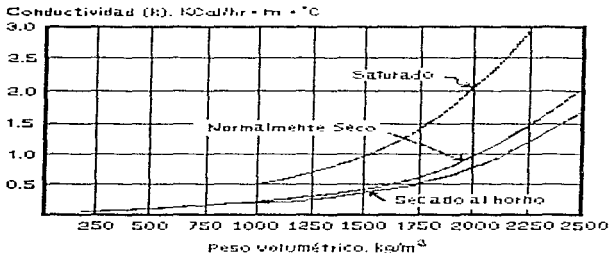
Se deberán evitar mezclados y manejos excesivos ya que tienden a romperse las partículas de agregados, y con ello a modificar la densidad y consistencia. Los agregados normalmente no constituyen ningún problema, debido a las cantidades relativamente grandes de aire incluido.

El bombeo es el método de colocación más común. Las operaciones de acabado se deberán mantener en un mínimo, normalmente basta con alisar usando una llana.

3.2.4 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.

Para determinar los valores de conductividad térmica se utiliza la norma ASTM C 177 ( método de prueba para las mediciones de flujo de calor en estado estable y propiedades de transmisión térmica por medio del aparato de placa caliente protegida ) La siguiente figura muestra una relación aproximada entre la conductividad térmica y la densidad. La conductividad térmica del concreto aumenta con los incrementos de contenido de humedad y de densidad. Ver fig. 7.

Fig. 7



3.2.5 RESISTENCIA.

Los requisitos de resistencia dependerán del uso que se proponga dar al concreto, una resistencia a la compresión de 7 kg / cm<sup>2</sup> o aún menor podría ser satisfactoria para aislamiento de líneas subterráneas de vapor, las resistencias a la compresión de 7 a 14 kg / cm<sup>2</sup> normalmente son adecuados para rellenos de azoteas.

3.2.6 RESISTENCIA A LA CONGELACIÓN Y DESHIELO.

Los concretos ligeros de baja densidad y de resistencia moderada normalmente no requieren soportar expansión a la congelación y deshielo en condiciones de saturación, por lo general, durante su servicio se encuentran protegidos del clima.

3.2.7 CONTRACCIÓN POR SECADO.

La contracción de los concretos ligeros de densidad baja o de resistencia moderada normalmente no es crítica cuando se les utiliza para aislamientos o rellenos; sin embargo, una contracción excesiva puede provocar curvaturas. Los concretos celulares sin agregado 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 empleada. Los concretos aislantes fabricados con agregados de perlita o de piedra pomez se pueden

---

## CONCRETOS PARA DIFERENTES FINES

---

contraer de 0.1 a 0.3 % en seis meses de secado a una humedad relativa de 80 %, 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 aproximadamente de 0.6 hasta 0.1 % en seis meses.

### 3.3 CONCRETO DE GRAN PESO.

El concreto de gran peso, como lo es el concreto de blindaje contra radiación, se produce con agregados especiales de gran peso y tiene una densidad de hasta aproximadamente 6400 kg / m<sup>3</sup>.

El concreto de gran peso se utiliza principalmente para blindajes contra radiaciones, aunque también, se le puede emplear para contrapesos y otras aplicaciones en que sea importante tener una densidad elevada. Como material de blindaje, el concreto de gran peso protege contra los efectos dañinos de los rayos X, rayos Gamma y de la radiación de neutrones.

En general, el tipo e intensidad de la radiación determinan los requisitos de densidad y contenido de agua del concreto para blindaje. La efectividad de un blindaje contra los rayos Gamma es aproximadamente proporcional a la densidad del concreto, es decir, entre mayor peso tenga el concreto, más efectivo será el blindaje.

#### 3.3.1 AGREGADOS DE DENSIDAD ELEVADA.

Los agregados de densidad elevada como la baritina, ferrosulfuro, goetita, hematita, ilmenita, limonita, magnetita y las pepitas de punzonado de acero así como los perdigones de acero se utilizan para producir concretos de densidad elevada.

Los perdigones y las pepitas de punzonado de acero se utilizan cuando se necesita un concreto con una densidad mayor que 4800 kg / m<sup>3</sup>.

Por lo general, la selección de un agregado lo determinan sus propiedades físicas, su disponibilidad y su costo. Para la buena trabajabilidad, densidad máxima y economía, los agregados deberán ser de forma aproximadamente cúbica y libres de partículas planas o alargadas.

#### 3.3.2 ADICIONES.

En ocasiones se utilizan adiciones de boro como la colemanita, fritas de bórax con silice y burocalcita para mejorar las propiedades de blindaje del concreto contra neutrones, pueden afectar adversamente al fraguado y a la resistencia del concreto a edad temprana. Se pueden usar aditivos tales como la cal hidratada a presión con tamaños de arena gruesa para minimizar cualquier efecto retardante.

#### 3.3.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO DE GRAN PESO.

Las propiedades del concreto de gran peso, ya sea en estado fresco o en estado endurecido, se pueden adecuar para satisfacer las condiciones de la obra y los requisitos de blindaje por medio de una selección apropiada de los materiales y de las proporciones de las mezclas.

A excepción de la densidad, las propiedades físicas del concreto de gran peso son similares a las del concreto normal. La resistencia es función de la relación A / C, por lo tanto, para cualquier



conjunto de materiales en particular, se pueden lograr resistencias comparables a las de los concretos de peso normal.

### **3.3.4 PROPORCIONAMIENTO, MEZCLADO Y COLOCACIÓN.**

Los procedimientos para seleccionar las proporciones de las mezclas de concreto de gran peso son los mismos que se utilizan para el concreto de peso normal.

Los métodos más comunes de mezclado y colocación de concreto de densidad elevada son:

Los métodos convencionales de mezclado y colocación se utilizan frecuentemente, aunque se debe tener especial cuidado de evitar sobrecargar el mezclador, especialmente con agregados muy pesados como lo son los perligones de acero. Como algunos agregados de gran peso son bastante desmenuzables se deberá evitar el mezclado excesivo para prevenir que el rompimiento de los agregados ocasione efectos adversos sobre la trabajabilidad y el sangrado.

Los métodos con agregado precolado, se pueden utilizar para colocar concretos de densidad normal y alta en zonas confinadas y alrededor de artículos insertos con el propósito de minimizar la segregación del agregado grueso, especialmente de perligones o pepitas de purizonado de acero. El método también reduce la contracción por secado y produce concretos de composición y densidad uniforme.

El bombeo de concreto de gran peso a través de tuberías puede ser ventajoso en los lugares donde el espacio se encuentre limitado. Los concretos pesados no pueden bombearse tan lejos como los concretos de peso normal debido a sus mayores densidades.

### **3.4 CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA.**

Generalmente se define al concreto de alta resistencia como el concreto que tiene una resistencia a compresión de  $400 \text{ kg/cm}^2$  o mayor. En edificios se han llegado a usar concretos con resistencias de  $1400 \text{ kg/cm}^2$ . En las estructuras de gran altura que requieren concretos de altas resistencias, 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 tal razón, comúnmente se especifican resistencias a compresión basadas en resultados de pruebas a 56 ó 90 días, a fin de obtener un importante ahorro en los costos de los materiales.

Algunas aplicaciones del Concreto de Alta Resistencia son:

- Obtención de alta resistencia a edad temprana, permitiendo una rápida transmisión del esfuerzo del acero de refuerzo al concreto o, para permitir un rápido desmoldado de elementos prefabricados
- Elaboración de unidades prefabricadas, durmientes y pilas de concreto reforzadas y presforzadas
- En columnas y muros de corte de edificios de gran altura
- En estructuras donde la durabilidad es crítica
- Para construir o reparar áreas que requieren pronto uso.

---

## CONCRETOS PARA DIFERENTES FINES

---

Así mismo el uso del concreto de alta resistencia trae consigo ciertas ventajas tales como

- Se puede obtener mayor resistencia de diseño
- Se puede introducir mayores esfuerzos en el Concreto de Alta Resistencia, y se puede evitar la destrucción del concreto durante la entrega y manipulación
- Con la Alta Resistencia, la sección transversal de la estructura puede reducirse, esta reducción da como resultado la disminución de la carga muerta de una estructura
- Debido a la estabilidad química, se requiere mucho menos mantenimiento para puentes de concreto que para puentes de acero, y la durabilidad es mayor con menos mantenimiento

Frecuentemente se agregan aditivos superplastificantes al concreto para producir mezclas trabajables y en ocasiones fluidas

### 3.4.1 SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.

La producción de concretos de alta resistencia puede requerir o no de la adquisición de materiales especiales

**Cemento.** La selección del Cemento Portland para los concretos de alta resistencia no se debe basar únicamente en las pruebas de cubos de concretos a 28, 56 y 90 días. El cemento que dé mayor resistencia a la compresión a los 90 días, será la mejor selección. El cemento a usar en concretos de alta resistencia deberá producir una resistencia mínima en cubos de mortero a 7 días de aproximadamente 300 kg / cm<sup>2</sup>

Las mezclas de prueba se fabrican con contenidos de cemento entre 380 y 560 kg / m<sup>3</sup> para cada cemento, dependiendo las cantidades de las resistencias deseadas

**Puzolanas.** La ceniza volante o el humo de sílice son frecuentemente de uso obligatorio al producir concretos de alta resistencia, debido a que la resistencia obtenida con estas puzolanas no se puede obtener con el puro uso de cantidades adicionales de cemento. Sin embargo estas puzolanas se deberán usar como adición de la cantidad regular de cemento y no como un sustituto parcial del mismo. Comúnmente estas puzolanas se adicionan en dosis de 5 a 20 % del peso de cemento. Para cada conjunto de materiales existirá un contenido óptimo de cemento más puzolana en el cual la resistencia no continuará aumentando con cantidades mayores y la mezcla se volverá demasiado pegajosa para poder ser manejada adecuadamente

**Agregados.** Se debe dedicar atención al tamaño, forma, textura superficial, mineralogía y limpieza de los agregados. Para cada fuente de agregado y nivel de resistencia del concreto existe un tamaño óptimo de agregado que producirá la mayor resistencia a compresión por kg de cemento, para encontrar este tamaño óptimo, se deben hacer mezclas de prueba con agregados gruesos de 19 mm ( 3 / 4" ) y menores, y contenidos variables de cemento. El TMA en las mezclas raras es más importante a 90 que a 28 días

En los concretos de alta resistencia, la resistencia del agregado y la unión o adhesión entre la pasta de cemento y el agregado son factores de importancia. Se ha demostrado mediante pruebas que los agregados triturados producen una mayor resistencia a la compresión que los agregados de grava natural usando el mismo tamaño de agregado y el mismo contenido de cemento, tal vez debido a una

mayor adherencia entre el agregado y la pasta cuando se emplean materiales asperos, angulados y triturados.

La cantidad de agregado grueso en el concreto de alta resistencia deberá ser la máxima compatible con la trabajabilidad necesaria.

Dada la elevada cantidad de material cementante en los concretos de alta resistencia, el papel del agregado fino para otorgar trabajabilidad y buenas propiedades de acabado no es tan relevante como en el concreto convencional.

**Aditivos.** La eficiencia química del aditivo se debe evaluar comparando las resistencias obtenidas en mezclas de prueba, también ciertos factores como la compatibilidad entre el cemento y la puzolana, la reducción de agua, los tiempos de fraguado, la trabajabilidad y la dosificación de aditivos, así como el momento de efectuar la adición, se deberán determinar por medio de mezclas de prueba.

Debido a que la inclusión de aire disminuye la resistencia de las mezclas de concreto ricas en cemento, puede ser necesaria la elaboración de pruebas para establecer los contenidos de aire óptimos.

### **3.4.2 PROPORCIONAMIENTO.**

Las mezclas de prueba es el mejor para seleccionar los proporcionamientos de los concretos de alta resistencia. Para obtener una resistencia elevada es necesario usar la menor relación  $A/C$  posible (generalmente de 0.3 a 0.4) así como un contenido elevado de cemento.

El requerimiento de agua para el concreto se incrementa a medida que el contenido de agregado fino aumenta para cualquier contenido de agregado grueso. Aún con agregados de buena granulometría, una relación  $A/C$  baja puede producir un concreto que no sea suficientemente trabajable.

Los niveles de resistencia que llegan a desarrollarse en las mezclas de prueba de laboratorio pueden ser difíciles de lograr en campo.

### **3.4.3 COLOCACIÓN, CONSOLIDACIÓN Y CURADO.**

Se deberán eliminar los retrasos en la entrega y en la colocación y, en ocasiones, deberá ser necesario reducir los tamaños de las mezclas si los procedimientos de colocación son más lentos de lo estimado.

La consolidación es de gran importancia para lograr las resistencias potenciales en los concretos de alta resistencia. Después de su colocación en las cimbras, el concreto deberá vibrarse lo más rápido que sea posible.

El curado es de gran importancia para que un concreto de alta resistencia alcance su resistencia potencial. Es preciso suministrar la humedad adecuada así como las condiciones favorables de temperatura durante un periodo prolongado principalmente cuando se especifiquen resistencias para el concreto a 56 o 90 días.

## **CONCRETOS PARA DIFERENTES FINES**

---

### **3.5 CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA A EDAD TEMPRANA.**

El concreto de alta resistencia a edad temprana es un concreto que alcanza su resistencia especificada a edad más temprana que en un concreto normal. El periodo en el cual se tenga que obtener una resistencia especificada puede llegar a variar desde unas cuantas horas ( e incluso minutos ) hasta varios días.

La alta resistencia temprana se puede obtener por medio de una o de alguna combinación de los puntos siguientes, dependiendo de la edad a la cual la resistencia especificada se tenga que alcanzar y de las condiciones de la obra.

- El uso de cemento de alta resistencia temprana, Tipo III
- Un contenido elevado de cemento ( 356 a 593 kg / m<sup>3</sup> )
- Una baja relación A / C ( 0.20 a 0.45 en peso )
- Una mayor temperatura de curado
- El uso de aditivos químicos
- El uso de humo de sílice
- Un curado a vapor o en autoclave
- Usando aislamientos para retener su calor de hidratación
- El uso de cementos de fraguado regulado o de otros cementos especiales.

El concreto de alta resistencia a edad temprana se utiliza en los concretos preforzados para permitir que se pueda cargar rápidamente; en concretos prefabricados para tener una rápida producción de elementos; en las construcciones de alta velocidad coladas en el lugar; 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; para pavimentaciones rápidas de caminos y para varios otros usos.

En la pavimentación rápida de caminos, el uso del concreto de alta resistencia a edad temprana permite que se puedan abrir al tránsito 24 hrs después de haber colado.

### **3.6 CONCRETO MASIVO.**

El Comité ACI 116 define al concreto masivo como " Cualquier volumen cuantioso de concreto colado en el lugar con dimensiones lo suficientemente grandes que obliguen a tomar medidas para enfrentar la generación de calor y el cambio volumétrico que le acompaña a fin de minimizar los agrietamientos ". Como concreto masivo no solo se consideran a los concretos con bajo contenido de cemento que se utilizan en presas y en otras estructuras masivas, sino además a los concretos con un contenido de cemento de moderado a alto usados en miembros estructurales que requieren de la adopción de consideraciones especiales para manejar el calor de hidratación y el aumento de temperatura.

En el concreto masivo, el aumento de temperatura es provocado por el calor de hidratación. A medida que el concreto del interior aumenta su temperatura, el concreto de la superficie puede estar enfriándose y contrayéndose. Esto produce esfuerzos de tensión y grietas en la superficie si el diferencial de temperatura es muy grande.

---

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

---

No se dispone de un tamaño de elemento definido más allá del cual se deba clasificar una estructura de concreto como masivo. El Reporte del comité ACI 211.1 señala que " Muchos elementos estructurales grandes pueden ser lo suficientemente masivos como para considerar la generación de calor, en particular cuando las dimensiones transversales mínimas de un elemento sólido de concreto se acerquen o superasen de 60 a 90 cm o cuando se hayan considerado contenidos de cemento superiores a 350 kg / m<sup>3</sup>."

Para evitar agrietamientos en los concretos masivos para presas y para otras estructuras sin reforzar que tengan resistencias a compresión relativamente bajas, no se deberá permitir que su temperatura interna se eleve más de 14 °C por encima de la temperatura ambiente media anual. El desarrollo de la temperatura interna del concreto se puede controlar usando ( 1 ) un contenido bajo de cemento - 120 a 270 kg / m<sup>3</sup>, un tamaño grande de agregado - 76.2 mm ( 3" ) a 152.4 mm ( 6" ), y un contenido elevado de agregado grueso - hasta 80 % de la cantidad total de agregado, ( 2 ) Cemento Portland de bajo calor de hidratación o cemento mezclado, ( 3 ) Puzolanas - el calor de hidratación de la puzolana es aproximadamente 25 a 50 % al del cemento; ( 4 ) reducciones en la temperatura inicial del concreto hasta aproximadamente 10 °C enfriando los ingredientes del concreto; ( 5 ) enfriando al concreto por medio de la introducción de tuberías de enfriamiento, ( 6 ) embras de acero para tener una rápida disipación de calor; ( 7 ) curado con agua; y finalmente ( 8 ) colados pequeños - 1.5 m<sup>3</sup> o menos durante la colocación.

El concreto reforzado estructural masivo con contenidos elevados de cemento ( 500 a 600 ) no puede hacer uso de muchas de las técnicas de colado ni de muchos de los factores de control antes mencionados para mantener las temperaturas bajas a fin de controlar los agrietamientos.

### 3.7 CONCRETO CON AGREGADO PRECOLADO.

El concreto con agregado precolado es un concreto que se produce colocando el agregado grueso dentro de una cámara y posteriormente inyectando un mortero cemento - arena, normalmente con aditivos, para rellenar los vacíos. Las propiedades del concreto resultante son similares a las de un concreto comparable colocado por medio de métodos convencionales, sin embargo, se puede esperar una contracción por secado y térmica considerablemente inferior debido al contacto punta a punta entre las partículas de agregado.

Los agregados gruesos deberán satisfacer los requisitos de la norma ASTM C 33. Generalmente los agregados están graduados para producir un contenido de vacíos de 35 a 40 %. El agregado fino que se emplea en el mortero por lo general está graduado para tener un módulo de finura de entre 1.2 y 2.0.

Aunque el método del agregado precolado se ha empleado principalmente en trabajos de restauración y en la construcción de blindajes para reactores, estribos de puentes y estructuras bajo agua, también ha sido usado en edificios para lograr efectos arquitectónicos poco comunes.

### 3.8 CONCRETO DE REVENIMIENTO NULO.

El Comité ACI 110 define al concreto de revenimiento nulo como aquel concreto cuya consistencia corresponde a la de un revenimiento de 0.5 cm o menor. Tal concreto, a pesar de ser muy seco, deberá ser lo suficientemente trabajable para ser colocado y consolidado con el equipo que se utilice en obra.

## CONCRETOS PARA DIFERENTES FINES

Muchas de las leyes básicas que rigen las propiedades de los concretos de revestimiento mayores se aplican al concreto de revestimiento nulo, por ejemplo, las propiedades del concreto endurecido dependen principalmente de la relación A / C, siempre y cuando la consolidación del concreto haya sido satisfactoria.

La medición de la consistencia de los concretos de revestimiento nulo es diferente de la de los concretos de revestimientos mayores, ya que el uso del cono de revestimiento resulta poco práctico para consistencias más secas. En el Reporte ACI 211.3 se describen tres métodos para medir la consistencia de los concretos de revestimiento nulo. El aparato Vebe, la prueba del factor de compactación y la mesa de caída Thaulow.

### Métodos para medir la consistencia

**Factor de compactación.** Los detalles de el aparato del factor de compactación son presentados en la figura 8. La zona superior es llenada cuidadosamente con una muestra de concreto fresco usando una pala. La muestra es vaciada a través de una compuerta trampa dentro de algún recipiente más pequeño debajo de él y entonces se vacía por gravedad dentro de un cilindro molde de 15 X 30 en que se encuentra abajo. Después de quitar de golpe el cilindro, el peso de el concreto en el molde es determinado. La relación de este peso a el peso del concreto de la misma revuelta compactada por vibración pesada en el molde es llamado factor de compactación. La prueba es sensitiva para mezclas teniendo una consistencia muy rígida y para mezclas húmedas. Este método no es tan sensitivo como el método de Vebe para consistencias extremadamente secas.

**Aparato de Vebe.** Los principales componentes son una tabla de vibración, un recipiente para muestras, como de revestimiento, una placa de plástico y una varilla graduada sirviendo como peso de sobrecarga y punto final de referencia. La medida de consistencia es el tiempo de vibración en segundos requerida para cambiar la forma de el cono truncado del concreto, en posición vertical a la izquierda después traslado de el cono de revestimiento hacia el interior de un cilindro con una superficie enrasada. Este tiempo es supuestamente directamente proporcional a la energía usada para compactar la muestra. En muchas mezclas secas, este método aparenta ser el más sensitivo para determinar las diferencias en consistencia. Ver Fig 9.

**Mesa de caída de Thaulow.** Análogo a el método de Vebe, la prueba consiste en la transformación del cono truncado por aplastado y subsecuentes caídas de la tabla previa a quitarla de golpe. La energía de transformación es obtenida por caídas sucesivas de la tabla y la medida usada para caracterizar la consistencia es el número de revoluciones del giro con la mano (4 caídas por revolución). Mientras no es tan sensitivo como el método de Vebe con consistencias muy secas, este simple aparato aparenta tener cierto merito.

La interrelación de estos métodos es presentada en la siguiente tabla. Note que el aparato de Vebe o la caída de la tabla puede proveer una medida de consistencia de mezclas en condiciones extremadamente secas.

Tabla 2. Comparación de medidas de consistencia por varios métodos.

Descripción de la consistencia	Revestimiento (tn)	Vebe (sec)	Promedio del factor de compactación	Revoluciones de la tabla de extensión
Extremadamente seca	.....	32 a 18	.....	112 a 56
Muy rígida	.....	18 a 10	0.70	56 a 28
Rígida	0 a 3	10 a 5	0.75	28 a 14
Plástica	3 a 8	5 a 3	0.85	14 a 7
Fluida	8 a 13	3 a 0	0.90	7
.....	13 a 18	.....	0.95	.....

Tabla 3. Aproximación relativa del contenido de agua en porcentaje para diferentes consistencias

Descripción de la consistencia	Aproximación relativa del agua, porciento	
	Tharlow	ACI 211.1
Extremadamente seca	78	----
Muy rígida	83	----
Rígida	88	----
Rígida plástica	93	92
Plástica	100	100
Fluida	108	106

Diseño de mezclas de concreto con revenimiento nulo

El diseño de mezclas de concreto teniendo una consistencia seca (concretos con medidas de revenimiento menores a 3.0 cm) se pueden hacer con los mismos principios que el conite ACI 211 señala. El siguiente método es una extensión del ACI 211.1 el cual facilitará el diseño de concretos con consistencia capaces de ser colocados, consolidados y acabados con facilidad.

Fig 8.

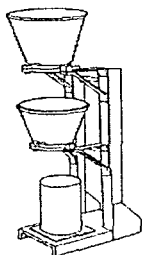
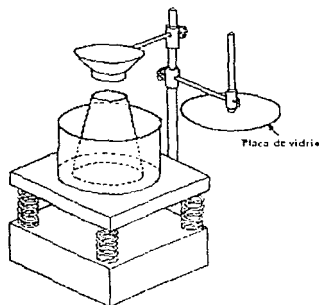


Fig 9



Se describen una serie de pasos apoyados en tablas donde se relacionan los requisitos de diseño y las materias primas del concreto

**Paso 1.** Selección de la consistencia ver tablas 2 y 3

**Paso 2.** Selección del tamaño máximo de agregado

**Paso 3.** Determinación A/C por peso, necesario para durabilidad (Tabla 4) y por resistencia (Tabla 5) La más baja relación A/C gobierna y debe ser usado en subsecuentes cálculos

**Paso 4.** Determine la cantidad de agua de mezclado necesaria para la consistencia y tamaño máximo de agregado y el porcentaje de aire incluido (Tabla 6)

**Paso 5.** Cálculo de contenido de cemento

**Paso 6.** Determinación del contenido del agregado grueso. El peso seco del agregado grueso requerido para un metro cúbico de concreto es igual a lo valuado en la Tabla 7 multiplicado por el peso seco - varillado de agregado en kilogramos por metro cúbico multiplicado por un factor apropiado Tabla 8

**Paso 7.** Determinación del contenido de agregado fino. El volumen de el agregado fino es obtenido por (a) cálculo de los volúmenes absolutos de el cemento, agua, agregado grueso y aire en metros cúbicos, y (b) restando la suma de esos volúmenes absolutos de un metro cúbico. El peso requerido de agregado fino, en Kg, es entonces calculado multiplicando su volumen absoluto por su densidad específica (SSS) y el resultado por 1000



## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

**Paso 8.** En campo, deben ser hechas correcciones necesarias por el agua absorbida por los agregados si ellos están secos, o por el exceso de agua en los agregados si ellos están húmedos

Tabla 4. Relación A/C máxima permisible para concretos en severas exposiciones

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente húmeda y expuesta a ciclos de congelamiento y deshielo ☞	Estructura expuesta a agua de mar o sulfatos
Secciones delgadas y secciones con menos de 2.5 cm de cubierta sobre el acero	0.45	0.40 ▲
Todas las demás estructuras	0.50	0.45 ▲

☞ El concreto debe también tener aire incluido

▲ Si el cemento es resistente a los sulfatos (Tipo II o Tipo V de ASTM C 150), se permite que la relación A/C se incremente a 0.05

Tabla 5. Relación Agua - Cemento y resistencia a la compresión del concreto.

Resistencia a la compresión a 28 días, kg/cm <sup>2</sup> *	Relación Agua - Cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
500	0.33	----
450	0.38	----
400	0.43	0.34
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.61

\* Estos valores son estimado del promedio de resistencia para concretos conteniendo no más del porcentaje de aire presentado en la Tabla 1. Para una relación A/C constante, la resistencia del concreto es reducida tanto como el contenido de aire es incrementado.

Esta relación asume un tamaño máximo de agregado de ¾ a 1 in.; para una fuente dada, la resistencia producida por una relación A/C se incrementará como el tamaño máximo del agregado disminuya.

Tabla 6. Requerimiento de agua de mezclado aproximado para diferentes consistencias y tamaño máximo de agregado

		Consistencia			Porcentaje relativo del contenido de agua	Cantidad de agua, Kg/m <sup>3</sup> de concreto para un tamaño máximo de agregado en mm				
De espesura	Requerimiento en cm	Veha sec.	Tabla de reducciones	Factor de compensación		10	12.5	20	25	40
<i>Concreto sin aire incluido</i>										
Extremadamente seca	---	32-18	112-56	---	78	180	170	150	150	150
Muy rígida	---	18-10	56-28	0.70	83	185	185	170	160	150
Rígida	0-3	10-5	28-14	0.75	88	200	195	180	170	155
Rígida plástica	3-8	5-3	14-7	0.83	92	215	210	195	185	170
Plástica	8-13	3-0	<7	0.91	100	235	235	220	210	195
Fluida	13-18	---	---	0.95	105	250	250	230	220	205
Cantidad aproximada de aire incluido, porcentaje					5	2.5	2	1.5	1	1
<i>Concreto con aire incluido</i>										
Extremadamente seca	---	32-18	112-56	---	78	185	170	14	155	155
Muy rígida	---	18-10	56-28	0.70	83	170	170	150	140	135
Rígida	0-3	10-5	28-14	0.75	88	175	170	160	150	140
Rígida plástica	3-8	5-3	14-7	0.83	92	180	175	165	150	145
Plástica	8-13	3-0	<7	0.91	100	200	190	180	175	160
Fluida	13-18	---	---	0.95	105	215	205	190	185	170
Promedio total recomendado del porcentaje de aire incluido					8	7	6	5	4.5	4.5

**CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO**

Tabla 7 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto de consistencia plástica.

Tamaño máximo de agregado mm	Volumen de agregado grueso seco - varillado por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de la arena			
	2.40	2.6	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70

Tabla 8 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto para diferentes consistencias

Descripción	Consistencia				Factor de compactación	Volumen de agregado grueso seco - varillado por unidad de volumen de concreto para un tamaño máximo de agregado (expresado como un porcentaje de los valores de la tabla 6)				
	Revenimiento mm	Velocidad sec	fcv	De la tabla de extensión		10	12.5	20	25	40
Extremadamente seco	...	32 - 48	...	12 - 26	...	140	170	145	140	130
Muy rígida	...	18 - 40	...	26 - 28	0.70	160	145	130	125	125
Rígida	0 - 3	10 - 5	...	28 - 34	0.75	135	130	115	115	120
Rígida plástica	3 - 8	5 - 3	...	34 - 37	0.85	108	106	104	106	109
Plástica	8 - 14	3 - 0	...	...	0.91	110	100	110	100	100
Fluida	14 - 18	...	...	...	0.95	97	98	100	100	100

**Ejemplo de aplicación.**

A continuación se enunciará un ejemplo para comprender mejor este método

**Requisitos**

La resistencia a la compresión será  $f'_{c} = 300 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días. El tamaño máximo del agregado será de 40 mm para satisfacer los requisitos del tamaño de las secciones y la separación mínima de las barras de acero. El peso seco - varillado de el agregado grueso es de  $1600 \text{ kg/m}^3$ . El agregado grueso tiene una densidad específica (SSS) de 2.68 y una absorción de 0.5 %. El agregado fino tiene una densidad específica (SSS) de 2.64, una absorción de 0.7 % y un módulo de finura de 2.8. La estructura en la cual se colocara este concreto será expuesta a una severos cambios meteorológicos con frecuentes ciclos de congelación y deshielo. Con una rigurosa vibración interna y externa es posible lograr una buena consolidación, facilitando así el uso de concreto una consistencia dura. El diseño debe realizarse como sigue

## CONCRETOS PARA DIFERENTES FINES

1. Debe intencionalmente incluirse aire en el concreto debido a la severa exposición que tendrá la estructura, a partir de la tabla 4 presenta que la relación A/C no debe exceder de 0.50, por peso

2. De la tabla 5, la relación agua-cemento requerida para producir un promedio de resistencia a la compresión de  $300 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días y aire incluido es alrededor de 0.43 por peso. Este valor es más bajo que el requisito de las consideraciones de durabilidad, este valor de relación agua-cemento será el que gobierna

3. la cantidad aproximada de agua de mezclado necesaria para producir una consistencia "muy dura" en el rango de aire incluido hecho con 40 mm de T.M.A es encontrado en la tabla 5 (c) como  $130 \text{ kg/m}^3$ . En la misma tabla el desecado porcentual de aire incluido, el cual será en este caso logrado con un aditivo químico inclusor de aire, es indicado como 4.5 % para ser una mezcla plástica.

4. De 2 y 3 se observa que el consumo de cemento es  $135 / 0.43 = 314 \text{ kg/m}^3$

5. De la tabla 7 encontramos que con un tamaño máximo de agregado de 40 mm y un módulo de finura en la arena de 2.80,  $0.72 \text{ m}^3$  de agregado grueso, seco - varillado, sería requerida en cada metro cúbico de concreto teniendo una consistencia alrededor de 8 - 10 cm de revestimiento (plástico)

6. De la tabla 8 encontramos que para la consistencia "muy dura" desecada, la cantidad de agregado grueso debe ser 125% que para la consistencia plástica, o  $0.72 * 1.25 = 0.90$ . El peso de el agregado grueso será  $0.90 * 1602 = 1442 \text{ kg}$

7. Con las cantidades de cemento, agua, agregado grueso y aire estabilizado, el contenido de arena es calculada como sigue

Volumen de cemento	$= 314/3.15/1000$	$\approx 0.100 \text{ m}^3$
Volumen de agua	$= 135/1000$	$\approx 0.135 \text{ m}^3$
Volumen de agregado grueso	$= 1442/2.68/1000$	$\approx 0.538 \text{ m}^3$
Volumen de aire	$= 0.03 * 1.000$	$\approx 0.030 \text{ m}^3$
Volumen total de ingredientes excepto la arena		$0.803 \text{ m}^3$
Volumen de arena requerida	$= 1.000 - 0.803$	$= 0.197 \text{ m}^3$
Peso seco de arena requerido	$= 0.197 * 2.64 * 1000$	$= 520 \text{ Kg}$
Agua absorbida por agregados	$= (520 * 0.007 = 3.6 \text{ Kg}) + (1442 * 0.005 = 7.2 \text{ Kg})$	$= 10.8 \text{ Kg}$

---

---

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

---

---

Las cantidades estimadas para una revoltura de un metro cúbico son:

Cemento	= 314.0 Kg
Agua	= 145.8 Kg
Arena (seca)	= 520.0 Kg
Grava (seca)	= 1142 Kg

Deben realizarse pruebas de laboratorio a partir de este primer diseño para observar sus resultados y así lograr un diseño más económico.

Los materiales en este caso se encuentran en estado seco así que en el campo se tendrá que realizar las correcciones por contaminación y humedad.

Se recomienda la inclusión intencional de aire en los concretos de revenimiento nulo cuando se necesite una cierta durabilidad.

### 3.9 CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.

El concreto compactado con rodillo es un concreto pobre, de revenimiento nulo, casi seco, que se compacta en el lugar por medio de equipo con rodillos vibratorios o de consolidación de placa. Es una mezcla de agregado, cemento y agua, también se han utilizado materiales cementantes suplementarios tales como la ceniza volante. Los contenidos de cemento varían desde 60 hasta 360 kg / m<sup>3</sup>. El mezclado se realiza por medio de mezcladores convencionales, o en ciertas ocasiones en camiones mezcladores de tambor basculante.

El concreto compactado con rodillo se ha desarrollado como un método rápido y económico para construir grandes presas de gravedad, en proyectos de pavimentos no carreteros tales como instalaciones de manejo de contenedores y áreas para clasificación de troncos en aserraderos, en pistas de rodamiento de aeropuertos, en caminos secundarios y como subbases para pavimentos convencionales de carreteras y calles. Se han obtenido resistencias a compresión de 50 a 300 kg / cm<sup>2</sup> en los concretos compactados con rodillos que han sido empleados en los proyectos para presas. Los proyectos de pavimentos han tenido resistencias a compresión de diseño de aproximadamente 350 kg / cm<sup>2</sup> con resistencias de campo que varían desde 350 hasta 700 kg / cm<sup>2</sup>.

El concreto compactado con rodillos se debe colocar en capas suficientemente delgadas que permitan una compactación completa mediante el equipo de construcción disponible. Los espesores de capa óptimos, mismos que varían desde 20 hasta 30 cm se colocan y se consolidan con equipos convencionales de movimiento de tierra o de pavimentación ( conformadoras, aplanadoras y demás). En los proyectos donde se necesiten capas múltiples, es importante la adopción de un procedimiento de construcción que asegure una adherencia correcta entre las capas. El método que se usó para tender el concreto compactado con rodillos constituirá un factor importante para controlar la producción.

El concreto compactado con rodillo difiere de un concreto convencional principalmente en que este tiene una consistencia que podría soportar un rodillo vibratorio y una clasificación de agregado y contenido de pasta convenientes para el rodillo u otros métodos externos.

La selección de materiales y proporcionamientos de las mezclas del concreto compactado con rodillo son controlados por los requerimientos de diseño, disponibilidad de los materiales, y procedimientos de colocación planeados. Las mezclas pueden ser proporcionadas y diseñadas para

---

---

## CONCRETOS PARA DIFERENTES FINES

---

---

proveer la resistencia, durabilidad e impermeabilidad necesaria para satisfacer todos los requerimientos de diseño para la estabilidad y comportamiento.

La base para el proporcionamiento de mezclas de concreto masivo es el proporcionar el máximo de agregado y una mínima cantidad de cemento la cual desarrolle las propiedades requeridas al menor costo posible.

Los procedimientos para el proporcionamiento de estas mezclas reflejan la necesidad de una consistencia diferente con la cual se producen las mezclas de concreto convencional con un revenimiento medible.

El principal cuidado en el diseño de concreto compactado con rodillo es la obtención de una adecuada unión entre las capas del mismo.

Un concreto conveniente para la compactación con rodillos vibratorios difiere significativamente en apariencia de un concreto convencional teniendo un revenimiento medible, hay poca o ninguna evidencia de fluido de pasta en la mezcla cuando es depositada. La energía requerida para compactar este tipo de concreto a su máxima capacidad es mucho más grande que para un concreto con un revenimiento que se pueda medir. Algun método de compactación aplicado externamente es suficiente para obtener una adecuada densidad de este concreto el cual puede ser usado.

Un aparato Vebe modificado teniendo un recipiente tamaño estándar ha sido usado para determinar una consistencia de la mezcla por compactación en el campo ( ese aparato es ya descrito con anterioridad ).

El contenido de agua seleccionado para una mezcla de concreto compactado con rodillo podrá ser influenciado por el tamaño, tipo, y granulometría de los agregados y el volumen de materiales cementantes. La dureza mínima de este concreto es controlada por la necesidad de el material para soportar la colocación y equipo de compactación.

El concreto compactado con rodillo puede ser hecho con alguno de los tipos de cemento básicos o con una combinación de cemento y puzolana.

La resistencia del concreto depende principalmente de la calidad de los agregados, grado de compactación, y las proporciones de cemento, puzolana y agua. El tipo de material cementante tiene un efecto significativo en el grado de hidratación y el grado de desarrollo de resistencia, además, efectos significantes de resistencia a edades tempranas.

La selección de agregados y control de la granulometría del agregado son factores importantes que influyen en la calidad y propiedades del concreto compactado con rodillo. La variación de agregados durante la construcción afectan significativamente el cemento y los requerimientos de agua, la cual, afecta la resistencia y rendimiento.

Las ventajas del uso de aditivos que realizan la trabajabilidad y retardan la colocación para el mantenimiento del concreto masivo y prevenir juntas frías, particularmente durante el tiempo cálido, están bien establecidas.

### **3.10 SUELO - CEMENTO.**

El suelo - cemento es una mezcla de suelo pulverizada o de material granular, cemento y agua. Algunos otros términos con los que se conoce al suelo - cemento son " Base o subbase tratada con cemento ", " Estabilización con cemento ", " Suelo modificado con cemento " y " Agregado tratado con cemento ". La mezcla se compacta para tener una densidad alta, y a medida que el cemento se hidrata, el material se vuelve duro y durable.

El suelo - cemento se usa principalmente como capa de base para caminos, calles, aeropuertos y áreas para estacionamiento. El suelo - cemento también se emplea para sub - bases de pavimentos de concreto, para la defensa de taludes en presas y terraplenes de tierra, para revestimientos de presas y acequias y para la estabilización de cimentaciones.

El suelo que se usa en el suelo - cemento es casi cualquier combinación de arena, limo, arcilla y gravas naturales o piedras trituradas.

Los contenidos de cemento van desde 80 hasta 250 kg / m<sup>3</sup>. El suelo, el cemento y el agua se pueden mezclar en una planta mezcladora central o en el lugar utilizando mezcladores de eje transversal o viajeras. La mezcla se coloca y compacta con equipo convencional para construcción de caminos hasta un 96 a 100 % de su densidad máxima ( Norma ASTM D 558 ).

Dependiendo del suelo empleado, las resistencias a compresión a 7 días varían entre 21 y 56 kg / cm<sup>2</sup>.

### **3.11 CONCRETO LANZADO.**

El concreto lanzado es un mortero o un concreto que se arroja neumáticamente sobre una superficie a gran velocidad. La mezcla relativamente seca se consolida con la fuerza del impacto y se puede colocar sobre superficies verticales u horizontales sin desprenderse. Su empleo se adapta especialmente para estructuras de concreto delgadas o de forma curva y para reparaciones superficiales. El concreto lanzado tiene un peso volumétrico y una resistencia a compresión similares a los de concretos de resistencia normal y de alta resistencia. Se pueden usar tamaños de agregados de hasta 19 mm ( 3 / 4" ).

El concreto lanzado se puede producir mediante dos procesos: seco o húmedo. En el proceso seco una premezcla de cemento y agregado húmedo es propulsada a través de una manguera por medio de aire comprimido hasta una boquilla, en ella se agrega el agua a la mezcla de cemento y agregado y los integrantes íntimamente mezclados se proyectan sobre la superficie. En el proceso húmedo todos los integrantes se encuentran premezclados, el aire comprimido transporta la mezcla a través de la manguera hasta la boquilla, en la boquilla se aplica una cantidad adicional de aire comprimido para aumentar la velocidad, momento en el cual la mezcla se proyecta sobre la superficie.

### **3.12 CONCRETO COMPENSADOR DE CONTRACCIÓN.**

El concreto compensador de contracción, que utiliza un cemento expansivo o un aditivo expansor agregado al Cemento Portland, se expande después del fraguado y durante el endurecimiento hasta en una cantidad igual o ligeramente mayor que la cantidad de contracción por secado esperada en una mezcla de concreto normal. El concreto compensador de contracción se

---

---

## CONCRETOS PARA DIFERENTES FINES

---

---

utiliza en losas de concreto, pavimentos, estructuras y trabajos de reparación para minimizar las grietas que provoca la contracción por secado.

El concreto compensador de contracción se puede proporcionar, dosificar, colocar y curar de manera similar al concreto normal si se tienen ciertas precauciones necesarias para asegurar la expansión esperada.

### 3.13 CONCRETO POROSO.

El concreto poroso (sin finos) contiene un agregado grueso con granulometría estrecha, una cantidad pequeña o nula de agregado fino y una cantidad de pasta de cemento insuficiente para rellenar los vacíos entre los agregados gruesos. Este concreto con relación  $A/C$  y revenimiento bajos que tiene una apariencia parecida a palomitas de maíz, se mantiene unido principalmente por la pasta de cemento en los puntos de contacto de las partículas de agregado grueso. El concreto producido tiene un volumen elevado de vacíos (20 a 35 %) y una gran permeabilidad que permite al agua fluir a través de él con mucha facilidad.

El concreto poroso se utiliza en las estructuras hidráulicas como medio de drenaje, en los parques de estacionamiento, pavimentos y pistas de aterrizaje de aeropuertos para reducir la afluencia de las aguas pluviales. Los concretos porosos también se han empleado en canchas de tenis e invernaderos.

Como material de pavimentación, el concreto poroso se remueve o moldea en su lugar con equipo convencional de pavimentación y después se compacta con rodillos. La resistencia a compresión de las distintas mezclas pueden variar desde 35 hasta 280 kg/cm<sup>2</sup>.

El concreto poroso se utiliza en la construcción de edificios (principalmente muros) debido a sus propiedades de aislamiento térmico. Este concreto también tiene un peso ligero, de 1600 a 1920 kg/m<sup>3</sup>, y presenta propiedades de contracción bajas.

### 3.14 CONCRETO BLANCO Y DE COLOR.

#### 3.14.1 CONCRETO BLANCO.

El Cemento Portland Blanco se utiliza para producir concreto blanco, el cual es un material arquitectónico ampliamente usado.

El concreto blanco se fabrica con agregados blancos o de colores claros. Se deberá evitar el uso de materiales de curado que pudieran causar manchas. Las losas se deberán curar con papel a prueba de agua que no manche ni decolore y el material se deberá traslapar y sellar en las juntas con material que tampoco ocasione manchas.

#### 3.14.2 CONCRETO DE COLOR.

El concreto de color se puede producir utilizando agregado de color, agregando pigmentos de color (Norma ASTM C 979) o mediante ambos recursos. Cuando se utilicen agregados de color, deberán quedar expuestos en la superficie del concreto. Los agregados de color pueden ser agregados naturales como el cuarzo, el mármol y el granito, o también pueden ser materiales cerámicos.



Los pigmentos para colorear concreto deberán ser óxidos minerales puros que estén molidos más finamente que el cemento y que no sean solubles al agua, que estén libres de sales y ácidos solubles, que sean de colores firmes ante la luz del sol, resistentes a los álcalis y a los ácidos débiles y que se encuentren virtualmente libres de sulfato de calcio; los pigmentos los hay naturales y sintéticos siendo estos los que dan resultados más uniformes.

La cantidad de pigmentos de color que se agrega en la mezcla de concreto no deberá ser mayor al 10 % del peso de cemento.

### **3.15 CONCRETO CON CEMENTO PORTLAND POLIMERIZADO.**

El concreto con Cemento Portland polimerizado es utilizado actualmente en Europa, Asia y Norteamérica como sustituto del concreto con Cemento Portland convencional, es una resina Políster desarrollada a finales de la década de los años cuarenta con motivo de la reconstrucción de los países involucrados en la Segunda Guerra Mundial.

El concreto con Cemento Portland polimerizado, al que también se le conoce como concreto modificado con polímeros, consiste básicamente, de concreto de Cemento Portland al que durante el mezclado se le agrega un polímero o un monómero. Los latex elastoméricos y termoplásticos son los polímeros más comúnmente empleados para este tipo de concreto. Los compuestos epoxicos y otros polímeros se utilizan también de manera común. En general, el latex mejora la ductilidad, las propiedades de adherencia, la unión por cortante y la resistencia a la tensión y a la flexión del concreto y del mortero. Este concreto se emplea principalmente, para resanes y para capas superpuestas.

El concreto con polímeros, es un material de alta resistencia a la compresión, la cual puede incrementarse de acuerdo a los agregados, sus granulometrías y sus diferentes combinaciones.

Este concreto acepta combinaciones de diferentes agregados incluyendo los metálicos (escorias, viruta de hierro, de aluminio, de bronce, de cobre, de latón, etc.), así como de agregados no metálicos (dolomitas, carbonatos, silicatos de aluminio, granitos, calizas, etc.), en combinación con agregados pétreos convencionales (arenas, basaltos, calizas, andesitas, etc.).

En combinación con arena gris, con granulometrías controladas, se obtienen morteros con una resistencia promedio a la compresión de 1200 kg / cm<sup>2</sup>, misma que se puede incrementar al utilizar arenas o arenillas de materiales pétreos con alta resistencia.

La utilización de resina políster modificada para la elaboración del concreto modificado con polímeros varía desde un 4 hasta un 15 % del peso de los agregados, según el % de absorción de los mismos.

Además de las ventajas mencionadas anteriormente, este tipo de concreto es un material de alta resistencia a la tensión, a la ruptura, con módulo de elasticidad variable según los requerimientos estructurales, muy baja permeabilidad, alta resistencia al intemperismo, resistente al fuego, resistente al congelamiento y deshielo sin presentar fracturas ni pérdida de peso. Dadas sus características permite reducir espesores, reduciendo peso y material de armado, su densidad es de aproximadamente 1.8 a 2 veces al del concreto convencional.

---

## CONCRETOS PARA DIFERENTES FINES

---

Permite la utilización de pigmentos sin perder sus características con el paso del tiempo. El concreto convencional alcanza su resistencia máxima a los 28 días mientras que este la alcanza a las 72 horas a temperatura ambiente, pudiendo obtenerse la misma en 24 horas a una temperatura de 70°C.

Algunas de las aplicaciones de este tipo de concreto son: rápida reparación de bacheo de carreteras y puentes, la rehabilitación de proyectos de construcciones hidrotécnicas, así como nuevas estructuras, especialmente revestimiento de canales de presas, instalaciones de tratamientos de agua en industrias y municipios (potable y residual), etc.

### 3.16 FERROCEMENTO.

El ferrocemento es un tipo especial de concreto reforzado que se compone de capas estrechamente espaciadas de alambre o de malla continua metálica relativamente delgada insertada dentro de un mortero cemento - arena.

La mezcla de mortero generalmente tiene una relación arena - cemento de 1.5 a 2.5 y una relación A / C de 0.35 a 0.5. El refuerzo constituye aproximadamente el 5 a 6 % del volumen del ferrocemento.

El ferrocemento se considera fácil de producir en una gran variedad de formas y tamaños, sin embargo, requiere de una gran cantidad de mano de obra. El ferrocemento se emplea para construir cascarones, albercas, silos, tanques, casas prefabricadas, barcas, botes, esculturas y tableros delgados o secciones con espesores normalmente menores de 2.5 cm.

### 3.17 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.

El concreto reforzado con fibras es un concreto convencional al que se adicionan fibras separadas discontinuas durante el mezclado. Las fibras, fabricadas de acero, plástico, vidrio y naturales (celulosa), así como de otros materiales, se pueden conseguir en una gran variedad de formas (cilíndricas, planas, rizadas y estradas) y de tamaños, con longitudes típicas de 6 a 76 mm y espesores que varían desde 0.005 mm hasta 0.8 mm.

Se ha demostrado que las fibras de acero mejoran de manera importante la resistencia a la flexión, la resistencia a los impactos, la tenacidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia contra agrietamientos del concreto. Se pueden emplear contenidos de fibra hasta del 4 o 5 % en volumen del concreto o del mortero, sin embargo, el límite superior aplicable bajo condiciones prácticas para colocar en obra a la mayoría de fibras es de 1 o 2 %.

El concreto reforzado con fibras de acero se puede colocar por medio de la mayoría de métodos convencionales entre los que se puede incluir al bombeo. Las fibras de acero, vidrio y plásticas de polipropileno se pueden utilizar en concretos lanzados.

Este concreto con fibras de acero se emplea principalmente para pavimentos, capas superpuestas, resacas, estructuras hidráulicas, cascarones delgados y para productos prefabricados. Las fibras de vidrio se utilizan principalmente para aplicaciones de rocío en tableros delgados.

## CAPÍTULO 4 CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

El siguiente capítulo muestra la forma de diseñar los Concretos de Alto Comportamiento tanto del Dr. Kumar Mehta, así como también del Laboratorio de Investigación de "LATINOAMERICANA DE CONCRETOS".

Durabilidad y excelente resistencia son las características principales para mezclas de Concreto de Alto Comportamiento ( HPC ), siendo estos desarrollados para uso en medios ambientes agresivos tales como túneles subterráneos, estructuras marinas, confinamiento para depósitos que contienen materiales sólidos y líquidos peligrosos, entre otros. Resistencia, estabilidad dimensional, impermeabilidad y alta trabajabilidad son usualmente las principales características requeridas para los HPC.

En este capítulo se hace un análisis de la composición del concreto y el efecto en las propiedades deseadas para el Alto Comportamiento de la mezcla. Este análisis es una alternativa para la selección de los materiales componentes y el diseño de las mezclas. Se describe un procedimiento paso a paso para el proporcionamiento de los materiales constituyentes del Concreto de Alto Comportamiento. También, una forma ideal para la producción y práctica recomendable para obtener un Alto Comportamiento del producto final.

En las siguientes décadas, el concreto será de modo creciente más durable para servir como un material de construcción para medios ambientes agresivos tales como túneles subterráneos donde

---

---

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

---

---

existe agua frática con sulfatos, plataformas y muelles, tuberías de aguas residuales, estructuras de confinamiento para almacenar sólidos y líquidos conteniendo químicos tóxicos y elementos radioactivos. También, debido a el alto costo de reparación o remplazo, la mayoría de las estructuras serán requeridas para tener una vida de servicio de cientos de años, en cambio los concretos ordinarios se preservan de 40 a 50 años en el mejor de los casos, ya que se tienen experiencias de concretos que no han durado ni los 10 años. Diseños de HPC están desarrollándose para lograr este cambio.

Comúnmente Alto Comportamiento se entiende como sinónimo de Alta Resistencia, si bien, esto no es verdad en todos los casos. Claramente hay una necesidad para definir las características esenciales del HPC y una guía para su producción con métodos convencionales.

### 4.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO DE ALTO COMPORTAMIENTO.

La resistencia a la compresión, la cual es fácilmente regulada por el control de la relación A/C, ha servido bien en la pasta como el principal criterio para el comportamiento del concreto ordinario. Inaceptables razones de deterioración en muchas recientes estructuras de concreto expuestas a ambientes agresivos presenta que este criterio a la larga no es adecuado para asegurar la durabilidad a largo tiempo, ¿cual debe verdaderamente ser el primer requisito para el Alto Comportamiento? El comité ACI 201 define la durabilidad del concreto como la habilidad para resistir los efectos de la intemperie, ataques químicos, abrasión y cualquier otro proceso de deterioración. Los efectos de la intemperie incluye efectos del medio ambiente, tales como exposición a ciclos de humedad y secado, calentamiento y enfriamiento y congelamiento y deshielo. El proceso de deterioración química incluye ataque con ácidos y reacciones químicas expansivas tales como el ataque de sulfatos, reacción álcali - agregado y corrosión del acero en el concreto reforzado. Consecuentemente un concreto para ser clasificado como HPC debe cumplir con las siguientes especificaciones

#### 4.1.1 IMPERMEABILIDAD.

Desde la penetración de la humedad e iones que generan ataques químicos, la impermeabilidad del concreto tiene que ser la primera línea de defensa. Las pruebas tradicionales para medir la permeabilidad del agua son muy incómodas y frecuentemente no dan datos reproducibles. Para aplicación al concreto con muy bajas coeficientes de permeabilidad ( $1 \times 10^{-12}$  m/s), la prueba de permeabilidad del ion cloruro (ASTM-277) en general es el más conveniente. En esta prueba, el coeficiente de permeabilidad del ion cloruro está expresado en unidades de Coulombs. Una mezcla de concreto presentando 500 C o menos en unas 6-h de la prueba de permeabilidad del ion cloruro es considerado para ser virtualmente impermeable.

#### 4.1.2 ESTABILIDAD DIMENSIONAL.

Un alto Módulo Elástico, baja contracción por secado y fluencia y baja tensión calorífica son algunos de los factores que contribuyen a una alta estabilidad dimensional del concreto. El cual es esencial para contrarrestar cualquier esfuerzo indeseable producido como un resultado de cambios de volumen bajo condiciones de restricción. Con materiales naturales, aunque no es difícil producir concretos con resistencia a la compresión de 60 a 100 Mpa, el incremento en el Módulo Elástico no es proporcional. Como sea, comparado con 20 a 25 Gpa ( $3$  a  $4 \times 10^6$  psi) de Módulo Elástico para

concreto convencional, es posible obtener de 40 a 45 Gpa (6 a 7\*10<sup>6</sup> psi) de Módulo Elástico para HPC conteniendo materiales adecuados y buenos diseños y/o proporcionamientos de los mismos.

La fluencia y contracción por secado en el concreto, frecuentemente es tan alto, como 0.08% (Conforme a ASTM C-157 "Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic Cement Mortar and Concret" y ASTM C-512 "Test Method for Creep of Concret in Compression", respectivamente), es altamente dependiente en el tamaño, cantidad y tipo de agregado. Para obtener alta estabilidad dimensional es deseable reducir la magnitud de esos esfuerzos limitando el volumen total de la pasta de cemento en el concreto y empleando un agregado grueso que tenga alta resistencia y Módulo Elástico elevado. Con proporcionamientos y materiales adecuados, la experiencia presenta que es posible hacer bajar los esfuerzos de contracción por secado a menos de 0.04 %.

#### **4.2 EL CONCRETO DE ALTO COMPORTAMIENTO COMO UNA NUEVA TECNOLOGÍA.**

Haciendo un producto especial usualmente hablamos por algunos cambios en el proceso convencional de la tecnología. Para un material multicomponente tal como el concreto, este no sólo requerirá una revisión en el criterio usado para la selección de los componentes y proporciones, si no también para los métodos de producción por ejemplo mezclado, colocación y curado.

Un mayor problema en la producción de HPC es la imposición que Alta Resistencia y Alto Comportamiento son sinónimos. Mientras que esto no es estrictamente verdad, en la mayoría de los casos, alta durabilidad para ciertas condiciones agresivas, tales como la abrasión y la erosión, han sido logradas por el uso de concretos de Alta Resistencia ya que ellos poseen alta impermeabilidad, pero el concepto de HPC como es dado aquí, es relativamente nuevo porque no existen datos de laboratorio que indiquen un método para diseñar el HPC, se han compilado fórmulas de alta resistencia como un primer paso para desarrollar HPC.

La selección de los materiales es un problema, debido a que el cemento y los agregados están disponibles tienen una amplia variación en sus propiedades, y no hay claras líneas de conducta tanto para el cemento como para los diferentes tipos de agregados más convenientes para emplearse en HPC. La situación es complicada por el hecho que un número de aditivos químicos y minerales pueden ser usados simultáneamente (También existe una proliferación de estos aditivos en el mercado), y no existen simples reglas por cada uno para hacer fácilmente una juiciosa selección.

La selección del proporcionamiento de una mezcla es un serio problema porque la relación entre resistencia y la relación A / C, es la columna vertebral de los métodos para diseñar mezclas de concretos ordinarios, no es suficiente para proporcionar todos los requisitos de HPC como fueron enunciados anteriormente. Se ha encontrado que en una muy baja relación A / C, el tipo y dosificación de los aditivos minerales tienen una fuerte influencia en la resistencia y otras características del concreto. También el tipo y contenido de los agregados, para el cual los métodos de proporcionamiento convencionales no proporcionan adecuada atención, y puede ser debido a su gran influencia en la estabilidad del concreto. Este documento no tiene un simple seguimiento de reglas o un método paso a paso para cualquier persona interesada en hacer un diseño HPC con materiales locales adecuados, que sea capaz de seleccionar materiales y realizar un diseño para la primera revuelta. Como resultado, siguiendo un camino empírico, se requiere de un gran número de ensayos antes de llegar a un diseño de mezcla, satisfaciendo los requisitos de resistencia y trabajabilidad. Usualmente un extensivo programa tiene que ser emprendido en orden para optimizar

---

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

---

la mezcla de concreto con respecto a otras características, tal como la estabilidad dimensional y durabilidad a largos periodos de condiciones ambientales dadas.

Finalmente, la secuencia en el cual los componentes o constituyentes de la mezcla deben ser vertidos en la mezcladora durante la operación de mezclado, la eficiencia propia del mezclador, el método de transportación, colocación y tecnología empleada en el curado son otros factores, los cuales también tienen un efecto considerable en la microestructura y propiedades del concreto. Ante una minuciosa selección de materiales, proporcionamientos de mezclas y métodos en la producción, analizaremos la composición de el concreto y sus efectos en las propiedades del mismo en el siguiente inciso.

### 4.3 ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN DEL CONCRETO Y SUS EFECTOS EN SUS PROPIEDADES.

Acordando a un método simple, el concreto es un material compuesto de dos componentes: Pasta cementante y agregados. La pasta cementante es la combinación de agua, cemento y aditivos que cubre el agregado, la cual es la fase discontinua. Como una primera aproximación, la permeabilidad, resistencia, estabilidad dimensional, y otras propiedades del concreto, depende de ambos, la relación pasta - agregado y la calidad de cada uno de los componentes.

Una mezcla seca de agregado fino bien graduado y de agregado grueso contiene aproximadamente 21 a 22% de espacio vacío el cual puede ser llenado por la pasta. Sin embargo, en la práctica, se requiere por lo menos el 25% de pasta cementante en volumen para producir mezclas de concreto trabajables. Los agregados normales cuyas densidades varían entre 2.4 a 2.75 y una absorción de 0.5 a 5% son generalmente resistentes, por eso la permeabilidad del concreto y resistencia son determinados por la porosidad y los componentes químicos que hidratan a la pasta cementante. La pasta cementante hidratada con grandes cantidades de agua, son usualmente débiles y permeables porque ellos contienen un volumen alto de poros capilares, grandes cristales de compuestos químicos que hidratan a la pasta cementante (Especialmente Hidróxido de Calcio), y productos químicos microestructurales no homogéneos. Con un concreto normal (Mayor de 0.4 en relación  $A/C$ ) la presencia de partículas de agregado grueso adheridas en la pasta cementante provoca una homogénea distribución del agua durante la colocación y la consolidación. Esto es, porque, debido a que en la superficie del agregado se forman regiones locales de alta relación  $A/C$ . La zona interfacial débil entre la pasta cementante y el agregado explica porque la resistencia y la impermeabilidad de la pasta cementante con una dada relación  $A/C$ , son reducidos por la presencia de agregado grueso en el concreto.

Naturalmente, para baja permeabilidad y alta resistencia en el concreto, será deseable reducir ambas el agua y el contenido de agregado. De hecho, las mezclas de concreto de excepcional alta resistencia y baja permeabilidad han sido producidos por investigadores usando muy bajas relaciones  $A/C$  (0.08 a 0.2) y muy altos contenidos de pasta cementante (40 a 50% por volumen). Estos son de poca o no valuada aplicación para la práctica estructural del concreto porque son de pobre estabilidad dimensional y alto costo de fabricación. En conclusión, con incrementos del contenido de la pasta cementante en el concreto, la resistencia e impermeabilidad será aumentada, pero la estabilidad dimensional será deteriorada. Para HPC, parece que el 35% de pasta cementante por volumen representa una óptima solución en el balance de los requisitos conflictivos de resistencia, trabajabilidad y estabilidad dimensional.

#### **4.4 SELECCIÓN DE MATERIALES.**

En adición a la relación pasta - cemento - agregado, el tipo de agregado tiene una gran influencia en la estabilidad dimensional del concreto. Por ejemplo, para un dado Módulo Elástico o bajo coeficiente de expansión calorífica entre la pasta cementante y agregado causara agrietamiento cuando la estructura este expuesta a frecuentes ciclos de cambios de temperaturas. También en una dada relación pasta - agregado, el uso de un agregado con muy bajo Módulo Elástico presenta en el concreto alta deformación y alta contracción por secado. Desde el punto de vista estándar del término de estabilidad dimensional, las mezclas de concreto conteniendo agregados gruesos derivadas de rocas calcáreas o basalto generalmente tienen un mejor comportamiento que aquellos concretos que contienen piedra pomez, cuarcita o grava de río. Considerando los aspectos inherentes a la estabilidad dimensional, podemos examinar la elección del tipo de agregado y la calidad de la pasta cementante que influya en otras propiedades de HPC.

##### **4.4.1 AGREGADO.**

En un contenido dado de cemento, mas propiedades del concreto son adversamente afectados por el incremento del contenido de agua. Debemos subrayar la importancia del uso de agregados bien graduados y limpios que sean libres de limos, arcilla y partículas desmenuzables para evitar mayor demanda de agua. Como agregado fino (menor que 5 mm), en arenas naturales con un módulo de finura medio a alto (2.5 a 3.0) son generalmente adecuadas. Para usar como agregado grueso, las partículas equidimensionales, obtenidas por trituración de una roca calcárea densa o una roca plutónica tipo ígnea (tal como granito, sienita, diorita o diabase) son usualmente satisfactorias.

Existen algunas controversias en cuanto a la elección del tamaño máximo de agregado (TMA). Para alcanzar alta resistencia en mezclas de concreto, existe una gran suma de datos presentando que el uso de partículas más grandes que 25 mm TMA generalmente perjudica la resistencia y la permeabilidad del concreto.

La zona interfacial del agregado - pasta cementante es fuerte en HPC, el agregado puede en efecto ser de resistencia limitada, el cual es pocas veces un asunto de poca importancia para el caso de concretos convencionales. Con la mayoría de las rocas, reduciéndolos a TMA de 10 a 15 mm frecuentemente elimina cualquier efecto interno presentes dentro de las partículas del agregado (tales como microgrietas, grandes poros e inclusiones de minerales blandos). De aquí que, 10 a 15 mm TMA debe ser considerado óptimo para HPC.

##### **4.4.2 CEMENTO.**

La resistencia y permeabilidad de las mezclas de concreto son controladas por agregados de alta calidad, por la calidad de la pasta cementante, el tipo y dosificación de químicos y aditivos minerales, la relación original A / C y el grado de hidratación.

El requisito mínimo de agua para una dada consistencia de la pasta cementante es una primera consideración en la selección de materiales para hacer HPC. Cementos comerciales conocidos en la especificación para Cemento Portland de ASTM C-150 para Cemento Portland Tipo I varia considerablemente en la composición química y finura, ambas del cual influyen en el requisito de agua para una consistencia normal. También, interacción físico - química entre algunos cementos y aditivos reductores de agua son conocidos para causar un rápido endurecimiento o pérdida de revenimiento, el cual algunas veces requiere retemplado de la mezcla de concreto con agua adicional.

---

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

---

Por ejemplo, algunos superplastificantes contienen significante cantidades de sulfato libres, los cuales pueden contribuir para un endurecimiento anormal de una pasta cementante hecha con Cemento Portland con alto  $C_3A$ . La pérdida de consistencia es asociada con la formación de *Etringite*, un Sulfatoalumínato de calcio hidratado, el cual es conocido para inmovilizar grandes cantidades de agua libre por la adsorción de la superficie.

Algunos investigadores han descrito un método simple para la evaluación de la reología y la tendencia a perder revenimiento de la combinación cemento - superplastificantes. Una mezcla especialmente diseñada llamada Rheoplástica es usada para una rápida y homogénea dispersión de el cemento en el agua conteniendo el superplastificante. La fluidez de la pasta es determinada midiendo el tiempo tomado para vaciar 1 L de pasta cementante en un recipiente cónico, el cual es alterado por el cono de Marsh. Los resultados de pruebas muestran que algunos Cementos Portland con porcentajes más altos de 8% de  $C_3A$  fueron tendiendo a el problema de pérdida de revenimiento, el cual es agravado por los altos alcalis y sulfatos contenidos. Cementos con bajos contenidos de  $C_3A$  tienden a ser bajos en fraguado y endurecimiento cuando son comparados con cementos de  $C_3A$  altos. Cementos Tipo II molidos a alta finura que lo normal son generalmente buenos para hacer HPC. Debido a que su bajo calor de hidratación y otros efectos desfavorables asociados con la presencia de aditivos minerales, como seran discutidos despues, el Cemento Tipo IP Portland - Pozzolana y el Cemento Tipo IS Portland - Escoria debe ser seriamente considerado.

### 4.4.3 ADITIVOS QUÍMICOS.

Aditivos químicos son agregados al concreto para llevar a cabo un número de objetivos, tales como edificante de consistencia, control en el tiempo de fraguado y promoción a la protección a la deterioración por ciclos de congelamiento y deshielo. Con HPC, la reducción del contenido de agua en una mezcla de concreto, mientras mantenga la trabajabilidad deseada, es de principal importancia. Una dosis normal, los aditivos reductores de agua convencionales, tales como los derivados de lignosulfonatos, son capaces de reducir contenido de agua de mezclas de concreto de un 5 a 10%. En altas dosificaciones, los aditivos reductores de agua causan excesivo retardo. En los 70's, la entrada de químicos reductores de agua de alto rango, popularmente conocidos como superplastificantes, promovieron un método de obtención de alta consistencia en las mezclas de concreto y contenidos muy bajos de agua y sin causar un excesivo retardo.

Los superplastificantes son altos en peso molecular derivados de formaldehído sulfonados y naftaleno o melamina. Cuando son usados en cantidades alrededor del 1 al 2% solido por peso de material cementante, producen un potente efecto dispersante en la pasta cementante, el cual puede resolver este problema, una porción de la dosificación del plastificante puede ser ahorrado para una posterior adición cuando la mezcla de concreto ha llegado al sitio de trabajo. La elección de el tipo de superplastificante es generalmente determinado por el costo, dosificación y compatibilidad con otros componentes de la pasta cementante. Esto no es común para alcanzar las propiedades deseadas en el concreto usando en un diseño dos tipos de superplastificantes o usando en un diseño un superplastificante y un químico reductor de agua normal. El más avanzado es una propuesta costo - efectivo cuando un retardo de fraguado es necesario en adición a la reducción de agua.

### 4.4.4 ADITIVOS MINERALES.

Aditivos minerales son polvos finos generalmente compuestos de cristales de Sílice o Sílice no cristalino el cual en la presencia de humedad, iones de calcio e iones de hidróxidos, se hidratan lentamente para formar productos cementantes. Cristales volcánicos y tufos, arcilla calcinada, tierra



diatomacea han estado en uso como aditivos minerales. Como sea, cada vez más están en uso los productos silíceos, tales como escoria Granulada de Alto Horno, Ceniza Volante y Humo de Silíce. Una clasificación compresiva de aditivos minerales, con sus características físicas y químicas fue dada en el Capítulo 2 inciso 2.5 (puzolanas).

La incorporación de aditivos minerales en concreto pueden conducir a muchas ventajas técnicas y a menos que existan razones especiales, las mezclas de concreto no deben ser hechas sin ellos. Primero, la presencia de partículas finas de un aditivo mineral en concreto fresco, especialmente en aditivos puzolánicos, considerablemente mejora las propiedades reológicas, tales como la cohesión y estabilidad. Segmentando los canales de flujo de agua en la pasta - cemento, las partículas de aditivo mineral son generalmente capaces para reducir sangrado y segregación, el cual se convierte en las primeras causas de microestructuras no homogeneizadas en el concreto, especialmente en la zona interfacial pasta - cementante - Agregado. Segundo, incrementando el tiempo de fraguado y reduciendo la tasa de pérdida de revenimiento en el concreto fresco, el aditivo mineral es capaz de proveer algún grado de control sobre el problema de pérdida de revenimiento, el cual puede ser molesto con mezclas de concreto superplastificado. Debe notarse que una mezcla de concreto que es difícil de colocar y consolidar no resultará un producto final satisfactorio. Tercero, partículas finas de menor reacción sólida (comparada al Cemento Portland), cuando han sido bien dispersadas en la pasta cementante, provee numerosos lugares de nucleación por la precipitación de la hidratación de los productos. Buscando, estudios de electrones microscópicos han confirmado que en una relación  $A / C$  y grado de hidratación, la pasta de cemento hidratado conteniendo aditivos minerales son generalmente compuestos no descripciones (cristales insuficientes) producidos con una distribución homogénea de poros finos. Por consiguiente, desde el punto estándar de resistencia e impermeabilidad, la microestructura de la pasta de cemento conteniendo un aditivo mineral será superior a una pasta cementante similar sin ningún aditivo mineral.

Para un claro entendimiento de los mecanismos por el cual los aditivos minerales aumentan las propiedades del concreto, es obvio que el comportamiento de un aditivo mineral dependerá de el tamaño de la partícula, características puzolánicas y cementicias, grado de dispersión uniforme y condiciones de curado. Alta calidad en la Ceniza Volante y la Escoria Granulada de Alto Horno, las cuales son usualmente menos expansivas que el Cemento Portland, pueden ser usadas en cantidades desde 20 a 30% por masa total del material cementante, ellas tienden a reducir no solo el calor de hidratación, sino también para las resistencias tempranas (3 y 7 días), grandes dosificaciones son usualmente evitadas con mezclas HPC. Cuando Alta Resistencia Temprana es una consideración, por ejemplo, en clima frío, el Humo de Silíce condensado (altamente puzolánico) o una mezcla de Humo de Silíce condensado con Ceniza Volante o Escoria puede ser ventajosamente usada. Es porque no solamente el Humo de Silíce condensado (0.1 um promedio de tamaño de partículas, y 20 m<sup>2</sup>/gr área específica) es muy caro pero incrementando la dosificación de el superplastificante puede lograrse mayor dispersión. Note que los superplastificantes son también mucho más caros que los químicos reductores de agua normal. Debe notarse que un substancial ahorro en el uso de superplastificantes usualmente ocurre como un resultado de la sustitución parcial del Cemento Portland por un aditivo mineral debido a reducción en el contenido de  $C_3A$  de el sistema cementante. Alrededor de 15 a 25% de Humo de Silíce por peso o por volumen de material cementante ha sido usado en mezclas de laboratorio. Los autores no recomiendan usar mas que 10%. Para HPC, una óptima solución es usar una combinación de 10% de Humo de Silíce con 15% de Ceniza Volante o escoria por volumen.

---

---

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

---

---

### 4.4.5 HUMO DE SÍLICE.

El Humo de Sílice (Silica Fume) es un subproducto de la reducción de cuarzo de alta pureza con carbón en hornos de arco eléctrico en la manufactura de silicio y aleaciones de ferrosilicio. El Humo, es colectado de gases escapando del horno. El Humo de Sílice también es colectado como un subproducto en la producción de otras aleaciones tales como, ferrocromo, ferromagnesio, ferromagnesio y silicio calcio. Existe poca información publicada acerca del Humo de Sílice a excepción de que el Humo de Sílice de Ferrocromo tiene propiedades similares al Humo de Sílice obtenido del Ferrosilicio, por lo tanto el uso de este Humo de Sílice será evitado a menos de que se tengan datos de su eficiencia en el concreto.

El Humo de Sílice varía de un color gris claro a un gris obscuro. La densidad del Humo de Sílice es aproximadamente de 2.2 comparada a 3.1 del Cemento Portland, sin embargo en algunos casos puede ser tan alta como 2.5. La densidad a granel del Humo de Sílice es del orden de 250 a 300 kg/m<sup>3</sup> comparado con el Cemento Portland de aproximadamente 1200 kg/m<sup>3</sup>.

El Humo de Sílice consiste de una muy fina partícula vítrea con una superficie del orden de 20,000 m<sup>2</sup>/kg medida con técnicas de adsorción por nitrógeno. La distribución del tamaño de partículas de Humo de Sílice muestra tamaños más pequeños que un micrometro (1  $\mu$ m) el cual es aproximadamente 100 veces más pequeño que la partícula promedio del cemento.

La incorporación del Humo de Sílice en pastas de Cemento Portland contribuye a las reacciones de hidratación dando sitios de nucleación para Ca(OH)<sub>2</sub>, y también por la reacción con iones  $Ca^{++}$ .

El Humo de Sílice por tener un alto contenido de sílice y su extrema finura, tiene una alta eficiencia como material puzolámico. El Humo de Sílice reacciona puzolánicamente con la cal durante la hidratación del cemento para formar compuestos de hidratos de silicato de calcio (CSH).

Parte del cemento puede ser reemplazado por una cantidad muy pequeña de Humo de Sílice sin la pérdida de fuerza, por ejemplo 1 kg puede reemplazar 3 o 4 kg de cemento. Como resultados de la adición del Humo de Sílice puede haber un incremento en la demanda de agua, si se desea mantener la misma relación A/C, es necesario usar aditivos reductores de agua de alto rango (HRWR o Superplastificantes) para mantener los requerimientos del revestimiento sin el cambio en la relación A/C. El reemplazo normal de niveles de cemento va de 5 a 10%.

El Humo de Sílice ha sido utilizado con mucho éxito para la producción de Concretos de Alta Resistencia a la compresión, baja permeabilidad y buena resistencia química. Estos concretos tienen concentraciones mayores al 25% de Humo de Sílice por peso de cemento.

Las experiencias en el campo y laboratorio muestran que para que se lleve acabo una adecuada dispersión del Humo de Sílice en el concreto es necesario incrementar el tiempo de mezclado, este incremento de tiempo depende del porcentaje de Humo de Sílice usado y de las condiciones de la mezcla.

**Propiedades del concreto fresco.**

El concreto fresco y endurecido incorporado con el Humo de Silíce, puede ser de color gris oscuro más que el concreto convencional, esto particularmente para concretos con alto contenido de Humo de Silíce que tiene un alto contenido de % de carbón

La dosificación de un aditivo inclusor de aire, para producir un volumen requerido de aire en el concreto se incrementa con el contenido de Humo de Silíce debido a la alta área superficial del mismo y el efecto del carbón cuando este último está presente.

El concreto fresco incorporado con Humo de Silíce es más cohesivo y menos propenso a la segregación. Este tipo de concreto con más del 10% en peso del cemento se transforma pegajoso; para mantener la misma consistencia por largo tiempo es necesario incrementar el revenimiento inicial del concreto aproximadamente 50 mm

El concreto con Humo de Silíce muestra una reducción en el sangrado ya que presenta cambios en sus propiedades reológicas, estos cambios son debidos a que el Humo de Silíce tiene una gran afinidad por el agua resultando una pequeña cantidad de agua libre dejada en la mezcla para el sangrado.

Las grietas por contracción generalmente ocurren cuando la velocidad de evaporación de agua de la superficie del concreto excede la velocidad con que el agua viaja a la superficie por sangrado, por tanto debido a la reducción del sangrado en el concreto con Humo de Silíce se debe tener cuidados para dar una protección al concreto fresco para las perdidas tempranas de humedad para prevenir las grietas por contracción plástica.

**Propiedades del concreto endurecido.**

La contribución principal del Humo de Silíce en el desarrollo de resistencia en el concreto a un curado de temperaturas normales se lleva a cabo de 3 a 28 días. La resistencia a la compresión a un día de un concreto con Humo de Silíce generalmente es igual o mayor que un testigo a menos de que Humo de Silíce sea usado como un reemplazo directo o como aditivo. Sin embargo la resistencia a la compresión a 28 días es siempre mayor y en ocasiones muy marcada. Los patrones de conducta de la resistencia a la flexión y a la tensión del concreto es similar que para la resistencia a la compresión. Concretos con Humo de Silíce gana más resistencia que los concretos elaborados con Ceniza Volante o Escoria.

Algunos investigadores han demostrado que los morteros y concretos con Humo de Silíce son menos permeables, esto debido a la disminución en el número de poros gruesos de la pasta de Cemento - Humo de Silíce.

La contracción por secado de concretos con Humo de Silíce (después de 28 días de curado húmedo) es comparable al concreto testigo sin hacer caso de la relación A / C.

La inclusión de aire y la incorporación superior al 20% de Humo de Silíce, da al concreto muy buena eficiencia en pruebas de congelación y deshielo concluidas de acuerdo con ASTM C 666, procedimiento A; sin embargo en varios ejemplos, de prisnas de concreto con inclusión de aire con relación de A / C de 0.4 y una dosificación de Humo de Silíce del 20 al 30% muestran ser insatisfactorias.

---

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

---

Los concretos con Humo de Silíce tienen una mayor resistencia al ataque de los sulfatos.

### Aplicaciones del humo de silíce en el concreto.

Debido a su alta eficiencia, el uso del Humo de Silíce ayuda a ahorrar cemento, especialmente en concretos con alta relación A/C.

El uso del Humo de Silíce y Aditivos Reductores de Agua de Alto Rango han sido usados para la producción de Concretos de Alta Resistencia a la Compresión del orden de 14 500 psi y aún más altas, además de la obtención de una baja permeabilidad. Este tipo de concretos tienen posibles aplicaciones en el área de puentes, construcción de diques y reparaciones y en situaciones donde la baja permeabilidad es una consideración importante.

Al igual que la Ceniza Volante y las Puzolanas Naturales, el Humo de Silíce puede ser usado para prevenir la expansión deletérea debida a la reacción silíce álcali en el concreto, teniendo la ventaja adicional de que una pequeña cantidad de Humo de Silíce puede ser necesaria comparada con otros materiales.

En años recientes, el concreto usado en puentes, diques y estructuras de estacionamientos, en muchos países muestran daños debidos a los químicos de deshielo. Los concretos con Humo de Silíce dada su baja permeabilidad ofrecen buenos beneficios por la reducción a la velocidad de penetración de iones de cloro, es también mas resistente a otros químicos agresivos.

### Problemas asociados con el humo de silíce.

La extrema finura y baja densidad del Humo de Silíce crea problemas en su manejo que pueden ser resueltos con diseños propios de carga, transporte, almacenamiento y sistemas de dosificación. Los métodos de manejo han sido desarrollados por Noruega, Estados Unidos y Canadá, en la forma no compactada pelletizada, compactada densificada y lechadas slurry, todas las formas tienen aspectos positivos y negativos.

Trabajos presentados en el simposium "Health Effects of Synthetic Silica Particulates" ("Efectos Específicos a la Salud de la Silíce Sintética") (Dunom 1981) indica que existe un pequeño potencial de riesgo a la salud debido a la inhalación del Humo de Silíce amorfo debido al pequeño tamaño de partícula y a la estructura no cristalina. Experiencias en plantas productoras de ferrosilicio en Noruega indica que el riesgo de silicosis es muy bajo en las exposiciones de este tipo de silíce amorfa, sin embargo se recomienda que los trabajadores que manejan el Humo de Silíce usen equipos protectores y sistemas que minimicen la generación de polvo.

Las experiencias de campo y laboratorio muestran que la incorporación de Humo de Silíce en el concreto tiene una tendencia a incrementar el desarrollo de grietas por contracción plástica. Como el sangrado es virtualmente eliminado, no hay exceso de agua en la superficie del concreto para evitar el secado rápido superficial causado por uno o la combinación de varios factores como la temperatura, baja humedad y la velocidad del viento, por lo cual es de suma importancia cubrir la superficie del concreto fresco para prevenir la rápida evaporación del agua.

El control de calidad es extremadamente importante con respecto a minimizar las variaciones del producto debido a los cambios en la finura del material y la forma de los productos de Humo de Silíce.

**4.5 DISEÑO DE CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO.**

El diseño de una mezcla de concreto es el proceso de determinar la correcta combinación de los materiales componentes que producirán una mezcla de concreto con las deseadas características en el más bajo costo posible. Incluso con concretos ordinarios el proceso no es fácil porque envuelve el arte de balancear varios requisitos conflictivos. Un vasto laboratorio de pruebas puede frecuentemente llevar a cabo un diseño satisfactorio de los materiales arribados.

El costo efectivo de el proceso de diseñar mezclas depende mucho en la disponibilidad de un método computacional en el cual permitiría la determinación de la proporción de los materiales componentes para la primera tentativa de colocación tan exactamente como sea posible. Para ser generalmente aplicable en una amplia variedad de materiales, el método computacional tiene que ser más o menos independiente de las características del material. Por ejemplo, el comité ACI 211 procede para el diseño de mezclas de concreto con resistencias arriba de 40 Mpa, es aplicable a agregados con un amplia característica mineralógica y granulométrica (Graduación). El procedimiento ACI no puede ser usado para mezclas de concreto con mas de 40 Mpa de resistencia a la compresión, 20 a 25 cm de revenimiento, especialmente cuando las propiedades del concreto son altamente sensitivos a las características de el agregado y contenido de agua. Los autores han procurado desarrollar un procedimiento simple paso por paso descrito aquí, el cual puede ser usado para determinar la proporción de materiales para la primera prueba. Antes de describir el procedimiento será deseable resumir las consideraciones generales esenciales de algunas suposiciones necesarias para el desarrollo de el procedimiento.

**4.5.1 CONSIDERACIONES GENERALES.**

Relación entre la pasta cementante y agregado. Es asumido que, usando un adecuado agregado grueso, adecuada estabilidad dimensional de HPC (Modulo Elástico, Contracción por Secado y Fluencia) puede ser obtenido en una relación pasta - cementante - agregado de 35 a 65% por volumen.

**Resistencia graduada:** Aunque la resistencia no es sólo el criterio para alto comportamiento, concretos con mas de 60 MPa de resistencia a la compresión generalmente presentan muy baja permeabilidad (menor que  $10^{-12}$  m/s) y características satisfactorias a la intemperie tal como resistencia a la abrasión. Por eso, la resistencia a la compresión puede ser usada como una base de diseño en una mezcla y control de calidad. Con la mayoría de los agregados naturales, es posible hacer concretos de mas de 120 MPa de resistencia a la compresión gracias a la calidad de la pasta cementante, la cual puede ser controlada a través de la selección del contenido de agua, tipo y dosificación, auxiliada por los aditivos superplastificantes. Para los proporcionamientos de mezcla propuestos, puede ser conveniente dividir el rango de resistencia entre 60 y 120 MPa dentro de los diversos grados de resistencia.

**Agua - Cemento (A / C):** Con mezclas de concreto convencional el contenido de agua depende del tamaño máximo de los agregados y del revenimiento del concreto. Desde que HPC se fabrica con un rango bastante limitado de TMA (10 a 15 mm), así como el revenimiento (200 a 250 mm), y ya que el revenimiento puede ser controlado por la dosificación de los superplastificantes, se asume que ambos TMA y el revenimiento no son tomados en cuenta para la determinación de los requerimientos de agua. Un análisis de diseño de mezclas de concreto de alta resistencia en diferentes partes del mundo (con materiales muy diversos) muestran que en general existe una relación inversa

---

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

---

entre el contenido de agua y la resistencia del concreto, esto es porque esta relación puede ser explotada para la predicción y control de la resistencia a compresión del concreto.

**Contenido de cemento:** La pasta de cemento fresco contiene cemento anhidrido, agua y aire. Las mezclas de concreto de alta resistencia requieren una perfecta homogeneización por mezclado vigoroso, por eso ellos tienden a atrapar aproximadamente 2% de aire siempre y cuando no hayan sido adicionados, melisores de aire. Con un volumen de pasta de cemento fijo (35%), si los volúmenes de aire y agua son conocidos, el volumen de cemento o materiales cementantes pueden ser calculadas por diferencia. Por supuesto, grandes volúmenes de aire incluido (5 a 6%) pueden ser tomados cuando la inclusión de aire es necesaria para durabilidad y revertir los ciclos de congelación y deshielo.

**Tipo y dosificación de aditivos minerales:** Un simple acercamiento es el considerar una de tres opciones. De acuerdo a la primera opción, el Cemento Portland puede ser usado sólo sin algún aditivo mineral. En el rango de resistencia recomendado para HPC (60 a 120 MPa), esta opción podría ser ejercida cuando sea absolutamente necesario. Esto es porque, sin la incorporación de aditivos minerales, muchos beneficios técnicos importantes asociados con su uso no serán aprovechables (por ejemplo, características superiores de manejabilidad, mejorar la resistencia al agrietamiento por temperatura y mejor durabilidad a largo plazo a medios corrosivos). De acuerdo a la segunda opción, un remplazo parcial de cemento es hecho con uno o más aditivos minerales. Desde el punto de vista de reducción del calor de hidratación, mejor trabajabilidad y control en las características microestructurales de la pasta cementante bien hidratada, experiencias muestran que aproximadamente el 25% de cemento puede ser sustituido con una Ceniza Volátil o Escoria de Alta Calidad. Como una primera aproximación es conveniente asumir una proporción volumétrica 75:25 entre el Cemento Portland y el aditivo mineral seleccionado.

Podría notarse que las mejoras en las características de resistencia e impermeabilidad resultan por el uso de la Ceniza Volante. Escoria son usualmente no aprovechables hasta después de por lo menos 28 días de curado húmedo a temperatura normal. Con algún aditivo mineral, periodos de curado más prolongados son necesarios para conseguir los resultados deseados. Los efectos asociados con el uso de aditivos minerales pueden ser acelerados por una sustitución de Humo de Sílice condensado por Ceniza Volante o Escoria, la cual es la tercera opción. Por ejemplo, en lugar de el 25% de Ceniza Volante, una mezcla de 10% de Humo de Sílice y 15% de Ceniza Volante por volumen puede ser usado.

**Tipo y dosificación de aditivos reductores de agua:** El grado de reducción en el contenido de agua e incremento en la trabajabilidad que es deseada con HPC no es posible con aditivos químicos reductores de agua normal. Más conveniente para este propósito son los superplastificantes o reductores de agua de alto rango (Clase F) encontrados en ASTM C-494, "Especificación para aditivos químicos para concreto". Generalmente la selección es entre derivados de Naftaleno o Melamina sulfonatados. Los productos industriales varían considerablemente en composición e interacción con diferentes Cementos Portland y aditivos, por eso hace que no exista una clara preferencia en favor de uno u otro de los dos grupos de superplastificantes. Algunos investigadores han reportado que las Melaminas producen una reducción de agua grande pero tienden a causar una mayor pérdida de revenimiento. Se ha reportado que las Melaminas producen considerablemente menos retardo que la Naftalina y son más compatibles con los aditivos melisores de aire. Pruebas preliminares de laboratorio son, por lo tanto, esenciales para determinar cual tipo y marca de superplastificantes es más compatible con el Cemento Portland dado y otros aditivos que sean utilizados.

Los rangos de dosificación normal de superplastificantes es de 0.8 a 2% por peso de los materiales cementantes. El primer grupo de prueba, 1% de superplastificante es recomendado. Dado que los superplastificantes son caros, severas pruebas pueden ser necesarias para determinar la dosificación óptima para llevar a cabo una reología satisfactoria de la pasta de cemento dado sin causar retardo indeseable. Esto no es raro usar dos tercios o tres cuartos de la dosificación total de superplastificante durante el mezclado del concreto y el restante en el lugar de trabajo. También, dado que los superplastificantes son generalmente aplicados en forma de solución, el agua presente en la solución podría ser considerada cuando se calcule la dosificación del superplastificante y el agua de mezclado requerida para el concreto.

**La relación entre agregado fino y agregado grueso:** Fue determinado que la proporción óptima de agregado en mezclas de HPC es el 65% del volumen. La distribución entre agregados fino y grueso depende generalmente de la graduación y forma del agregado, la reología de la pasta de cemento y la trabajabilidad deseada del concreto. Debido al volumen de pasta de cemento relativamente alto en mezclas de HPC, usualmente no es necesario usar más de el 40% de agregado fino por volumen de el agregado total. Por consiguiente, para el primer grupo de prueba, una relación 2:3 entre el agregado fino y el agregado grueso puede ser apropiado.

#### **4.5.2 PROCEDIMIENTO PASO POR PASO.**

Basado en las consideraciones generales discutidas anteriormente, la siguiente secuencia de pasos puede ser usada para calcular el peso de los materiales necesarios para la primera prueba de 1 m<sup>3</sup> de concreto sin aire incluido.

##### **Paso 1: Selección de resistencia.**

El rango de resistencia de 60 a 120 MPa está arbitrariamente dividido dentro de cinco grados de resistencia, esto es 65, 75, 90, 105 y 120 MPa, promedio de resistencia de especímenes de concreto a curado estándar a 28 días. En general, las características al tiempo resistentes del concreto mejoran con aumento de resistencia pero también el costo. Asumiendo que el agregado local no está limitando la resistencia, la selección de resistencia podría ser hecha de un análisis costo - beneficio.

##### **Paso 2: Estimación del agua de mezclado.**

De un grado de resistencia dado, la tabla 1 es usada para estimar el contenido máximo. Esta estimación está basada en experiencias con mezclas de concreto superplastificado de alto revenimiento conteniendo de 12 a 19 mm TMA. Para la corrección de el agua presente en el superplastificante (también en agregado, si están húmedos), el agua de mezclado del conjunto puede ser calculada (ver paso 6 y 7).

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

Tabla 1. Relación entre el promedio de resistencia a la compresión y el máximo contenido de agua.

Grado de Resistencia	Promedio de Resistencia MPa	Máximo contenido de Agua kg/m <sup>3</sup>
A	65	160
B	75	150
C	90	140
D	105	130
E	120	120

### Paso 3: Fracción de volumen de los componentes de la pasta cemento.

Dado que el volumen total de pasta de un cemento es 0.35 m<sup>3</sup>, restando el contenido de agua de mezclado (Paso 2) y 0.02 m<sup>3</sup> de aire atrapado, los volúmenes calculados del total de materiales cementantes para cada grado de resistencia son mostrados en la tabla 2. También se muestran en la tabla 2 las fracciones de volumen de Cemento Portland y aditivos minerales, tomando una de las siguientes tres opciones.

Opción 1. Cemento Portland (CP) sólo

Opción 2. Cemento Portland más uno u otro Ceniza Volátil (CV) o Escoria de Alto Horno (EAH) con relación 75:25 por volumen.

Opción 3. Cemento Portland más uno u otro CV más HSC (Humo de Silice Condensado) con relación 75:15:10 por volumen, respectivamente.

Tabla 2. Fracción de volumen de los componentes en 0.35 M<sup>3</sup> de pasta de cemento. M<sup>3</sup>

Grado de Resistencia	Material Total Cementante		Opción 1 Solo CP	Opción 2 CP + (CV o EAH)	Opción 3 CP + (CV o EAH) + HSC
	Agua	Aire			
A	0.16	0.02	0.17	0.1275 + 0.0425	0.1275 + 0.0255 + 0.0170
B	0.15	0.02	0.18	0.18	0.1350 + 0.0450
C	0.14	0.02	0.19	0.1425 + 0.0475	0.1425 + 0.0285 + 0.0190
D	0.13	0.02	0.20	0.1800 + 0.0500	0.1500 + 0.0300 + 0.0200
E	0.12	0.02	0.21	0.1575 + 0.0525	0.1575 + 0.0315 + 0.0210

a Concretos de Grados D y E no son hechos sin aditivos minerales

### Paso 4: Estimación del contenido de agregados.

De el total del volumen de agregados (0.65 m<sup>3</sup>), asumiendo una relación volumétrica 2.3 entre al agregado fino y agregado grueso para la mezcla de grado A, las fracciones de volumen individuales serán de 0.36 y 0.39 m<sup>3</sup> respectivamente. Para otros grados (B a E), debido a la disminución del contenido de agua e incremento en el contenido de superplastificantes, algo inferior de las relaciones por volumen de agregados grava / arena podría asumirse con un incremento de resistencia, por ejemplo 1.95:3.05 para grado B, 1.90:3.1 para grado C, 1.85:3.15 para grado D y 1.80:3.20 para grado E.



**Paso 5: Cálculo de los pesos.**

Los valores de gravedad específica típicos para el Cemento Portland, Ceniza Volátil (clase C) o Escoria de Alto Horno y Humo de Silíce condensado son 3.14, 2.5 y 2.1, los valores de gravedad específica para las arenas silíceas naturales y la mayoría de las gravas de peso normal o rocas trituradas que son tomadas son de 2.65 y 2.70, respectivamente. Usando los datos del Paso 3 (Tabla 2) y Paso 4, los pesos saturados y superficialmente secos (SSS) son mostrados en la Tabla 3. Para diferencias significativas en la gravedad específica de agregado comparados con los valores tomados, la correlación apropiada podría ser hecha.

**Paso 6: Dosificación de los superplastificantes.**

Si no hay experiencias anteriores con los superplastificantes, se sugiere iniciar con 1% de superplastificante por peso de material cementante. Cuando la gravedad específica de los superplastificantes en solución y la fracción de peso de sólidos en la solución son conocidos, es fácil estimar el volumen de la solución para un consumo dado. Los siguientes ejemplos muestran como son hechos los cálculos.

Para el grado de resistencia A (65 Mpa) con opción 3, el total de peso de materiales cementantes serán  $500 \text{ kg/m}^3$ . Para el conjunto de prueba, con 1% de sólidos en la solución es 40%, el peso de la solución es 5 dividida por 0.4 =  $12.5 \text{ kg/m}^3$ . Si la gravedad específica de la solución es 1.2, el volumen de la solución es 12.5 dividido por  $1.2 = 10.41 / \text{m}^3$ . Esta cantidad de agua puede ser restada del agua de mezclada (Paso 2), como se discute adelante.

Note que el peso de agua en  $10.41 / \text{m}^3$  de solución superplastificante es igual a  $10.4 \cdot 1.2 \cdot 0.6 = 7.5 \text{ kg/m}^3$ .

**Paso 7: Corrección por humedad.**

Dadas que las proporciones mezcladas en la tabla 3 están en SSS, dependiendo las condiciones de humedad de los agregados del conjunto, las correcciones por humedad apropiada en ambos agregados finos y gruesos podría ser hecho. Una corrección correspondiente en el agua de mezclada del conjunto en la tabla 3 es también hecha para la cantidad de agua presente en la solución superplastificante (Paso 6).

**Paso 8: ajuste de la carga prueba.**

Debido a muchas suposiciones fundamentales al método propuesto, las proporciones de la mezcla calculada para la primera carga de prueba sirve únicamente como una guía. Diversas pruebas de laboratorio usando los materiales actuales para ser requerida antes de un arribo a la combinación correcta de los materiales y proporciones de mezclas la cual satisface los criterios dados de trabajabilidad y consistencia. Las siguientes sugerencias son ofrecidas para el propósito de hacer los ajustes necesarios: Si las mezclas de concreto son también rígidas, la dosificación de superplastificantes podría ser incrementado gradualmente hasta la consistencia deseada. El incremento de la dosificación de superplastificantes puede ser acompañado por ciertos efectos indeseables, como una tendencia a la segregación y/o retardo de fraguado. Lo primero puede ser corregido por incremento a la relación entre el agregado fino y grueso o por usar un agregado fino con un módulo de finura bajo. Para mezclas con aditivos no minerales, este problema puede ser resuelto con la incorporación de Humo de Silíce o Ceniza Volante o ambos. Para resolver el

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

problema de retardo de fraguado, combinaciones de otros tipos o marcas de superplastificantes disponibles localmente y cementos pueden ser probados. El contenido de superplastificantes modifican el aceleramiento del fraguado, los cuales no demandan causas de retardo de fraguado excesivo, están también disponibles comercialmente. Podría ser notable cuando la causa de consistencia rígida de una mezcla de concreto tiene un contenido alto de C3A reactivo en el cemento, dosificaciones adicionales de superplastificantes serían necesarias. En cuyos casos, un incremento en la relación A/C se hace inevitable.

Tabla 3. Proporciones para diseño (SSS) para la primera revoltura, kg/m<sup>3</sup>

Grado de resistencia	Prom Resistencia Mpa	Opcion	CP	CV o FAH	HS C	Agua Total	Arregado Grueso	Arregado Fino	Peso Total	a/c
A	65	1	534			160	1050	690	2434	0.30
		2	400	106		160	1050	690	2406	0.32
		3	400	64	36	160	1050	690	2400	0.32
B	75	1	565			150	1070	670	2455	0.27
		2	423	113		150	1070	670	2426	0.28
		3	423	68	38	150	1070	670	2419	0.28
C	90	1	597			140	1090	650	2477	0.23
		2	447	119		140	1090	650	2446	0.25
		3	447	71	40	140	1090	650	2438	0.25
D	105	2	471	125		130	1110	630	2466	0.22
		3	471	75	42	130	1110	630	2458	0.22
E	120	2	495	131		120	1120	620	2486	0.19
		3	495	79	44	120	1120	620	2478	0.19

### 4.5.3 PRODUCCIÓN DE CONCRETO, CONSTRUCCIÓN PRÁCTICA Y RECOMENDACIONES FINALES.

La secuencia de ensayos y métodos deben ser dirigidos a la producción de mezclas de concreto las cuales sean tan homogéneas como sea posible. Por ejemplo, un estudio experimental mostro que el revestimiento de partículas de agregado grueso como Humo de Silice antes de adicionar otros materiales componentes a la mezcla produjo un concreto con resistencia inferior porque el Humo de Silice agregado de esta manera no fue dispersado apropiadamente en la mezcla de concreto. El método estándar es para obtener primero una mezcla homogénea de el agregado grueso y fino en la mezcla y luego adicionar los materiales cementantes seguidos por agua y los superplastificantes.

\* Agua total incluye agua en el aditivo plastificante, la dosificación del cual puede ser del rango de 10 a 20 lbs/m<sup>3</sup> dependiendo de los requisitos de resistencia y consistencia

Alta velocidad de mezclado en una pasta de cemento superplastificada sola, subsecuentemente seguidos por adición de agregados, es una interesante idea de exploración para mezclas de HPC.

Similarmente, para prevenir la segregación de las mezclas de concreto, el equipo y métodos de transportación y colocación de concreto puede ser regularmente verificado. En lo siguiente, la colocación por vibración es necesario aun con mezclas de concreto fluido en orden para remover bolsas de aire atrapado y obtener una distribución uniforme de agregado grueso y agua. Las mezclas de concreto con alto contenido de cemento, especialmente aquellos con contenido Humo de Silice, tiende a ser pegajoso y difícil de acabar. El vibrado especial puede ser usado para obtener una lisa, "Superficie Impermeable", la cual es la primera línea de defensa contra medios ambientes corrosivos.

Finalmente, un curado conveniente o mantenimiento de humedad adecuado y condiciones de temperatura por un cierto periodo de tiempo es esencial para las reacciones de hidratación de los materiales cementantes sin los cuales, el proceso de desarrollo de resistencia e impermeabilidad podrá impedirse. El curado húmedo externo provee la mejor manera para encerrar el agua de mezclado, la cual es suficiente para la hidratación. Porque las mezclas de HPC tiene un contenido de materiales cementantes más altos, hay una tendencia para resumir que ellas requieren un mayor periodo de curado húmedo que el concreto ordinario, trabajando con una mezcla de concreto de alta resistencia. Se ha encontrado que un periodo de curado húmedo de 7 días es suficiente para hacer al concreto bastante impermeable, además, curado húmedo adicional no es necesario para realizar la resistencia a la compresión.

#### Conclusiones y recomendaciones finales.

1. La producción de concretos de alto comportamiento requiere de una selección cuidadosa de los materiales componentes, empleo de aditivos reductores de agua de alta eficiencia y un estricto control de calidad en todas sus etapas de fabricación y uso.
2. Para que los aditivos reductores de agua de alto rango sean más efectivos en la reducción de agua de las mezclas de concreto, se sugiere limitar el contenido de Aluminato tricalcico del cemento a 5%.
3. Para producir concretos de alto comportamiento se recomienda emplear agregado fino con módulo de finura cercano a 3.
4. Para un agregado grueso de calidad adecuada, la resistencia máxima a compresión que se puede alcanzar se incrementa con la reducción en el tamaño máximo del agregado. Para obtener mejores resultados se requiere emplear agregado grueso adecuado.
5. La contracción por secado de los concretos de alto comportamiento es del orden de la mitad de la correspondiente a los concretos convencionales.

Porcentajes inaceptables de deterioración en estructuras de concreto, tales como las carreteras de pavimento de concreto, cubiertas de puentes, pilotes, esclusas y presas están causando serios cuidados acerca del comportamiento del concreto a largo tiempo. Al mismo tiempo, la necesidad de extender además el uso del concreto a medios ambientes agresivos tales como agua de mar y aguas industriales están haciendo nuevas demandas en concretos de alto comportamiento.

Al desarrollar el HPC, uno de los problemas es la falta de una clara definición como el que constituye "alto comportamiento". Tener una alta conciencia que el HPC podría ser sinónimo con alta durabilidad y no con alta resistencia. Además de resistencia las otras propiedades importantes las cuales contribuyen a la durabilidad son alta estabilidad dimensional (baja contracción y expansión), impermeabilidad y alta trabajabilidad. En la selección de materiales componentes y diseños de mezcla para un concreto, estos requerimientos pueden estar en conflicto con cada uno, y además, un adecuado entendimiento de la microestructura del concreto y su influencia de las propiedades es esencial antes de probar y desarrollar mezclas de HPC que puedan ser convenientes para aplicación industrial.

Basados en las relaciones fundamentales de la microestructura - propiedades en el concreto, se ha descrito un acercamiento racional para la selección de materiales y proporcionamientos para HPC. Este acercamiento es usado para desarrollar un proporcionamiento paso a paso para determinar las proporciones de las mezclas. Usando este proporcionamiento, las proporciones de mezclas calculadas están en para la primera batchada de pruebas HPC. En el rango de resistencias a compresión de 60 a 120 Mpa los proporcionamientos de mezclas calculadas se comparan bien con las experiencias en campo y laboratorio de muchos investigadores. Este procedimiento puede no ser perfecto, pero es simple y provee un acercamiento racional para los cuales los proporcionamientos de mezclas para HPC pueden ser determinados sin emprender pruebas de laboratorio extensivas.

#### **4.6 TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.**

##### **4.6.1 DESARROLLO.**

En este estudio se identifican los materiales y proporcionamientos que conducen a los resultados en cuanto a resistencia y propiedades mecánicas de los Concretos de Alto Comportamiento en un intervalo de resistencia entre 400 y 900 Kg/cm<sup>2</sup>.

La producción de Concretos de Alto Comportamiento, requiere de una adecuada selección de los materiales componentes, empleo de aditivos y estricto control de calidad en las etapas de fabricación, transporte y colocación.

Para el presente estudio, se requirió seleccionar un cemento que permitiera alcanzar una alta resistencia a la edad de tres meses, agregados basálticos con granulometrías y formas de partícula adecuada; arena de río cuya característica importante es la disminución de partículas indeseables de la misma; además de emplear combinaciones de aditivos reductores de agua que permitió reducir los consumos de esta, manteniendo niveles aceptables de trabajabilidad en las mezclas.

##### **Cemento.**

Como anteriormente se indicó existe una gran influencia de los diferentes tipos de cemento sobre la efectividad de los aditivos reductores de agua de alto rango por sus características físicas y químicas.

Recordemos que estos aditivos son más efectivos en la reducción de agua y en el desarrollo de resistencia al combinarlos con cementos con bajo contenido de Aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A) y finura media. Además se ha encontrado que concretos con cementos contenidos de C<sub>3</sub>A superiores a 9 %, presentan pérdida de revenimiento rápida. Un límite aceptable en el contenido de C<sub>3</sub>A puede ser 5%.

Para el presente estudio se seleccionó un cemento tipo II modificado.

#### **Agregados pétreos.**

##### **a) Agregado fino**

La granulometría y forma del agregado fino para Concreto de Alto Comportamiento esta determinada por su efecto en el requerimiento de agua, así como también, en su capacidad de friccionar con otras partículas. Para este estudio se utilizó arena de río con módulo de finura de 2.85, un equivalente de arena del 85%, Densidad en estado Saturado y Superficialmente Seco (SSS) de 2.55 y una absorción de 3.75%

##### **b) Agregado grueso**

Como ya hemos mencionado para la fabricación de Concretos de Alta Resistencia el agregado grueso debe tener una óptima granulometría, forma y textura adecuada, tamaño máximo de agregado recomendable de 10 a 13 mm, estar sanos y limpios para inducir una buena adherencia.

En el estudio se empleo agregado grueso de origen basáltico, este tiene una densidad (SSS) de 2.76, absorción de 1.96%, coeficiente volumétrico de 0.234 y tamaño máximo de 19 mm.

#### **Aditivo**

Se utilizaron aditivos reductores de agua de medio y alto rango de dos compañías diferentes, así como también en algunos estudios se utilizó un aditivo químico inclusor de aire.

Como aditivo mineral finamente dividido se utilizó humo de sílice de dos diferentes compañías.

#### **Proporcionamiento.**

El proporcionamiento de mezclas de Concreto de Alto Comportamiento requiere de un proceso más cuidadoso que el diseño de mezclas de concretos convencionales.

Los concretos (HPC) deben ser diseñados para su comportamiento en estado fresco y sólido cumplan los requisitos para cubrir las necesidades particulares de cada estructura y medio ambiente. Desde el punto de vista de la estructura el reconocer el tipo de servicio que va a prestar el elemento a construir, nos dará una clara idea de las propiedades que deberemos exigirle al concreto, es claro que las exigencias de un concreto para una losa de entrepiso son muy diferentes a las que una pila de puente nos exige o bien la forma que tenemos que realizar el colado del concreto en este punto, podemos definir otro tipo de propiedades del concreto que pueden ser: un bajo calor de hidratación, una estabilidad volumétrica, bajas posibilidades de agrietamiento a temprana edad, adherencia con el acero de refuerzo, trabajabilidad, facilidad de bombeo, etc

En el caso del medio ambiente dependiendo de las condiciones a las que estará expuesta la estructura será el tipo de concreto a fabricar, siendo claro que las condiciones climáticas exigen comportamientos diferentes al concreto en clima cálido, frío, húmedo seco o con posibilidades de sufrir ciclos de congelamiento y deshielo, es también muy importante considerar el potencial químico al cual la estructura puede estar sometida ya que este tipo de agentes degradantes puede estar en el aire, en el agua o en el suelo donde se desplante la estructura

## **CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO**

Conviene aplicar los medios que propicien la reducción de la relación A/C a valores cercanos a 0.27 que teóricamente es el valor adecuado para que exista una hidratación total del cemento. Los reductores de agua de alto rango satisfacen este requerimiento, debido a que con ellos se puede obtener reducciones de agua entre 20 y 30 % mediante su uso adecuado.

Los bajos contenidos de agregado fino con alto consumo de agregado grueso, dan como resultado un reducción de los requerimientos de pasta y normalmente conducen a mezclas más económicas. La relación grava/arena estará en función de sus características físicas, así como también del consumo y tipo de cemento, eficiencia de los aditivos, en el aspecto y trabajabilidad requerida y el porcentaje de aire incluido.

Los concretos (HPC) emplean revenimientos mayores de 18 en sin tener el riesgo de segregarse y perder cohesión.

Esta investigación se realizó en el Laboratorio de calidad de LATINOAMERICANA DE CONCRETOS S.A. DE C.V. la cual es una empresa dedicada a la producción de concreto premezclado.

La forma de diseñar se describe a continuación.

Ya que son mezclas de estudio se comenzará con un consumo inicial y se irá incrementando formando así una serie de mezclas, se definirá si esta mezcla contendrá aditivo químico inductor de aire para mejorar sus características ya descritas anteriormente, para efecto de diseño se consideró 1% de aire incluido en mezclas sin aditivo químico inductor de aire y el 3% para mezclas donde su utilizó el aditivo químico.

Para los diferentes tipos de cemento no portlandicos o sin una sustitución de algún mineral finamente dividido su densidad es de 3.1 a 3.15. Por lo tanto el consumo inicial dado en peso (Kg) se divide por su densidad para así obtener litros de cemento. Lo mismo se hará con el Humo de sílice cuya densidad es de 2.2 y su consumo en peso será un porcentaje del consumo de cemento.

En función del consumo y tipo de los cementantes, propiedades físicas de los agregados, relación grava/arena, tipos y calidad de aditivos utilizados y experiencia se propone el consumo de agua.

1. El diseño se hará para un proporcionamiento de un metro cúbico, esto es, 1000 litros de concreto. El volumen de agregados se obtiene:

$$V_{agr} = 1000 - C_{cem} / D_{cem} - C_{sf} / D_{sf} - A - ai \cdot 10$$

V <sub>agr</sub>	= Volumen de agregados (Lts)
C <sub>cem</sub>	= Consumo de cemento (Kg)
C <sub>sf</sub>	= Consumo de Humo de Sílice (Kg)
A	= Consumo de Agua (Lts)
ai	= Porcentaje de aire incluido (%)
D <sub>cem</sub>	= Densidad del cemento
D <sub>sf</sub>	= Densidad del humo de sílice

2. Una vez definida la relación grava / arena conforme a lo descrito antes, el consumo de arena se obtiene:

$$\text{Care} = ((\text{Dgra} \cdot \text{Dare}) / (\text{Rga} \cdot \text{Dare} + \text{Dgra})) \cdot \text{Vagr}$$

Care	= Consumo de arena (Kg)
Dgra	= Densidad de el agregado grueso (SSS)
Dare	= Densidad agregado fino (SSS)
Rga	= Relación grava / arena

- 3.- El consumo de grava se obtiene

$$\text{Cgra} = \text{Rga} \cdot \text{Care}$$

Cgra	= Consumo de grava (Kg)
------	-------------------------

4. El consumo de aditivo o aditivos a utilizar se obtendrá como un porcentaje del material cementicio en peso de la mezcla.
5. El diseño por metro cúbico se reduce a una cantidad manejable de laboratorio y se hacen las correcciones de contaminación, humedad y absorción de los agregados.  
Corrección por humedad y absorción

Se toma una muestra representativa de los agregados a utilizar para el estudio (aprox. 500 gr.)

#### **Concreto fresco**

Se determinó el peso volumetrico, la consistencia, medida por el revenimiento y el contenido de aire.

#### **Concreto endurecido**

Se determinaron las propiedades más importantes a las edades de 7, 28 y 45 días.

##### **A. Relaciones esfuerzo - deformación**

###### **Esfuerzo - deformación longitudinal**

Las gráficas esfuerzo - deformación bajo compresión uniaxial de los concretos de alto comportamiento presentan en su rama ascendente, un tramo donde los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones cada vez mayor a medida que el nivel de esfuerzo máximo es más grande. A su vez, las deformaciones correspondientes al esfuerzo máximo se incrementa también con el nivel de resistencia.

En relación con la rama descendente, la pendiente de esta parte de la gráfica también se incrementa con el nivel de resistencia y la deformación última se reduce con dicho nivel

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

### B. Módulo de elasticidad

Una de las ventajas de los concretos (HPC) son los altos módulos de elasticidad que se alcanzan con ellos. Sin embargo, no obstante que el módulo de elasticidad se incrementa proporcionalmente con la raíz cuadrada de la resistencia a compresión, esta proporción resulta menor para los concretos (HPC) en comparación con la correspondiente a la de los concretos convencionales.

### C. Contracción por secado

El empleo de bajas relaciones agua/cemento, volúmenes reducidos de pasta y agregados pétreos de alto módulo de elasticidad, dan como resultado que la contracción por secado de los concretos (HPC) sean del orden de la mitad de las correspondientes a los concretos convencionales.

### D. Deformación diferida

La deformación diferida de los concretos (HPC) tiende a disminuir al aumentar la resistencia a compresión. Al reducir el volumen de pasta que interviene en el concreto y por consecuencia aumentar el volumen de agregados pétreos por unidad de volumen de concreto la deformación diferida tiende a ser menor.

## 4.6.2 RESULTADOS

En el primer estudio se aprecia la eficiencia del cemento empleando una serie de mezclas donde se va incrementando el consumo. Aquí se utilizó agregado grueso de origen basáltico.

Consumo de 150 a 400 Kg/m<sup>3</sup> de cemento. Los valores mostrados en la tabla son consumos reales.

Tabla 1. Proportcionamiento

Diseño	1	2	3	4	5	6
cemento	150	199	253	305	361	410
arena	960	915	870	820	770	705
grava	1040	1030	1065	180	1105	1115
agua	199	192	190	186	13	182
aditivo 1	1.05	1.4	1.75	2.135	2.53	2.87
a/c	1.33	0.96	0.75	0.61	0.48	0.44
g/s	52/48	53/47	55/45	57/43	59/41	61/39

Cemento Portland Tipo II modificado

Aditivo 1, Aditivo reductor de agua de medio rango

El cemento, la arena y la grava están expresadas en Kg/m<sup>3</sup>

El agua y el aditivo 1 están expresadas en l/m<sup>3</sup>



## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

Tabla 2. Propiedades del concreto en estado fresco

Diseño	1	2	3	4	5	6
Peso Vol. Kg/m <sup>3</sup>	2348	2336	2379	2390	2409	2412
Revenimiento, cm	15	14.5	16.5	17	15	15
Contenido de aire, %	1.8	2.2	1.9	2.3	2.2	2.4
Aspecto	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Cohesion	Regular	Regular	Buena	Buena	Buena	Buena
Trabajabilidad	Regular	Regular	Buena	Buena	Buena	Buena

Tabla 3. Propiedades del concreto endurecido

Diseño	Días	1	2	3	4	5	6
Resistencia	7	46	97	178	259	363	484
a la compresion	28	60	135	254	410	518	578
Kg / cm <sup>2</sup>	45	65	132	262	399	533	604
Modulo elastico Kg/cm <sup>2</sup>	28	128618	202848	237633	255802	293678	283621

Consumo de 400 a 700 Kg/m<sup>3</sup> de cemento. Los valores mostrados en la tabla son consumos reales.

Tabla 4. Proporcionamiento

Diseño	7	8	9	10	11	12
Cemento	451	407	550	592	639	689
arena	670	615	580	545	520	505
grava	1090	1095	1085	1055	1020	990
agua	185	193	199	206	214	222
aditivo 1	3.157	3.479	3.85	4.144	4.473	4.823
a/c	0.41	0.39	0.36	0.35	0.33	0.32
g/s	62/38	64/36	65/35	66/34	66/34	66/34

Cemento Portland Tipo II modificado

Aditivo 1. Aditivo reductor de agua de medio rango.

El cemento, la arena y la grava están expresadas en Kg/m<sup>3</sup>

El agua y el aditivo 1 están expresados en l/m<sup>3</sup>

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

Tabla 5 - Propiedades del concreto en estado fresco

Mezcla	7	8	9	10	11	12
Peso Vol. Kg/m <sup>3</sup>	2399	2400	2414	2398	2392	2407
Revenimiento, cm	17	14.5	16.3	17.5	18	18
Contenido de aire, %	2.7	2.2	2.5	2.0	2.0	2.0
Aspecto	Buena	Pastoso	Pastoso	Pastoso	Pastoso	Pastoso
Cohesion	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Trabajabilidad	Buena	Pecajosa	Pecajosa	Pecajosa	Pecajosa	Pecajosa

Tabla 6. Propiedades del concreto endurecido

Diseño	7	8	9	10	11	12
Resistencia	7	513	547	582	612	598
a la compresion	28	597	640	675	650	702
Kg/cm <sup>2</sup>	45	674	671	730	697	709
Modulo elástico Kg/cm <sup>2</sup>	28	298374	296450	301290	305537	308163
						310349

En la siguiente serie de consumos se utilizara un aditivo quimico inlusor de aire

Consumo de 150 a 400 Kg/m<sup>3</sup> de cemento. Los valores mostrados en la tabla son consumos reales

Tabla 7. Proporcionamiento

Diseño	13	14	15	16	17	18
Cemento	151	202	246	298	357	403
Arena	900	865	800	760	725	665
Grava	1015	1015	1020	1050	1085	1090
Agua	183	176	167	167	177	181
Aditivo 1	1.057	1.414	1.722	2.086	2.500	2.821
Aditivo 2	0.158	0.141	0.172	0.209	0.179	0.202
A/C		0.87	0.68	0.56	0.50	0.45
G/S	53/47	54/46	56/44	58/42	60/40	62/38

Cemento Portland Tipo II Modificado

Aditivo 1. Aditivo Reductor de Agua de Medio Rango

Aditivo 2. Aditivo Inlusor de Aire

El Cemento, la Arena y la Grava están expresados en kg/m<sup>3</sup>

El Agua, El Aditivo 1 y el Aditivo 2 están expresados en l/m<sup>3</sup>.

**CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO**

Tabla 8. Propiedades del concreto en estado fresco

Diseño	13	14	15	16	17	18
Peso Vol. $\text{kg/m}^3$	2247	2254	2232	2270	2344	2335
Revenimiento, cm	17	17	17.4	16.5	15.5	14.5
Contenido de aire, %	5.6	6.5	7.0	7.8	4.8	5
Aspecto	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Cohesión	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Trabajabilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

Tabla 9. Propiedades del concreto endurecido

Diseño	Días	13	14	15	16	17	18
Resistencia a la compresión $\text{kg/cm}^2$	7	50	117	181	267	381	417
	28	73	183	251	341	463	521
	45	82	186	256	375	515	531
Modulo Elástico $\text{kg/cm}^2$	28	181810	199947	219406	234038	258169	271098

Consumo de 450 a 700  $\text{kg/m}^3$  de cemento. Los valores mostrados en la tabla son consumos reales

Tabla 10. Proportcionamiento

Diseño	19	20	21	22	23	24
Cemento	440	507	559	614	668	715
Arena	600	565	530	490	475	450
Grava	1060	1090	1075	1050	1005	960
Agua	188	201	211	219	229	232
Aditivo 1	3.08	3.549	3.913	4.298	4.676	5.005
Aditivo 2	0.264	0.254	0.280	0.307	0.334	0.358
A/C	0.43	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32
G/S	64/36	66/34	67/33	68/32	68/32	68/32

Cemento Portland Tipo II Modificado

Aditivo 1. Aditivo Reductor de Agua de Medio Rango

Aditivo 2. Aditivo Includor de Aire

El Cemento, la Arena y la Grava están expresados en  $\text{kg/m}^3$ .

El Agua, El Aditivo 1 y el Aditivo 2 están expresados en  $\text{l/m}^3$ .

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

Tabla 11. Propiedades del concreto en estado fresco

Diseño	19	20	21	22	23	24
Peso Vol. kg/m <sup>3</sup>	2286	2350	2371	2373	2373	2357
Reventamiento, cm	15	16	17	17	18	18
Contenido de aire, %	6.5	4.7	4.3	4.4	4.5	4.4
Aspecto	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Cohesión	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Trabajabilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

Tabla 12. Propiedades del concreto endurecido

Diseño	Días	19	20	21	22	23	24
Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>	7	439	546	576	620	611	627
	28	519	665	695	710	696	709
	45	531	650	702	683	698	695
Módulo Elástico kg/cm <sup>2</sup>	28	260097	302688	272359	280966	289863	291025

Se puede observar en este primer estudio que conforme aumenta el consumo de cemento, aumenta la resistencia pero hasta un cierto límite. También se observa que la trabajabilidad y el tiempo de permanencia disminuye conforme aumenta el consumo de cemento.

En la segunda parte de este estudio se utilizara Humo de Silice compactado el cual mejorara el comportamiento mecánico del concreto.

Se utilizaron dos tipos de Humo de Silice de dos compañías diferentes.

Consumo de 250' 450 kg/m<sup>3</sup> de cemento más 10% de Humo de Silice (S.F. 1). Los valores mostrados en la tabla son consumos reales.

Tabla 13. Proporcionamiento

Diseño	25	26	27	28	29
Cemento	243	294	342	387	431
S.F. 1	24	29	34	39	43
Arena	870	815	755	695	635
Grava	1015	1040	1045	1045	1040
Agua	208	497	196	202	209
Aditivo 3	4.005	4.845	5.640	6.390	7.110
A/C	0.78	0.61	0.52	0.47	0.44
G/S	54/46	56/44	58/42	60/40	62/38

Cemento Portland Tipo II Modificado

Aditivo 3 Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

El Cemento, el Humo de Silíce (S F ),la Arena y la Grava están expresados en kg/m<sup>3</sup>  
El Agua. El Aditivo 3 están expresados en l/m<sup>3</sup>

Tabla 14. Propiedades del concreto en estado fresco

Diseño	25	26	27	28	29
Peso Vol. kg/m <sup>3</sup>	2564	2372	2372	2567	2359
Revenimiento. cm	20	19	20	19	20
Contenido de Aire. %	1.4	1.4	1.4	1.7	1.7
Aspecto	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Cohesion	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Trabajabilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

Tabla 15. Propiedades del concreto endurecido

Diseño	Dias	25	6	27	28	29
Resistencia a la compresion kg/cm <sup>2</sup>	7	177	276	354	395	413
	28	308	322	496	548	611
	45	362	376	543	584	618
Modulo Elástico kg/cm <sup>2</sup>	28	226057	264855	282489	281731	286619

Consumo de 250 a 350 kg/cm<sup>3</sup> de cemento mas 10% de Humo de Silíce (S F )y utilizando dos aditivos quimicos reductores de agua. Los valores mostrados en la tabla son consumos reales.

Tabla 16

Diseño	30	31	32	35	34
Cemento	245	296	348	397	448
S.F. 1	25	30	35	40	45
Arena	890	850	805	745	690
Grava	1005	1000	1025	1033	1040
Agua	186	180	177	178	179
Aditivo 1	0.810	0.978	1.149	1.311	1.479
Aditivo 3	4.050	4.890	5.745	6.555	7.395
A/C	0.69	0.55	0.46	0.41	0.36
G/S	53/47	54/46	56/44	58/42	60/40

Cemento Portland Tipo II Modificado

Aditivo 1. Aditivo Reductor de Agua de Medio Rango

Aditivo 3. Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango

El Cemento, el Humo de Silíce (S F ),la Arena y la Grava están expresados en kg/m<sup>3</sup>

El Agua. El Aditivo 1 y el Aditivo 3 están expresados en l/m<sup>3</sup>

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

Tabla 17. Propiedades del concreto en estado fresco

Diseño	30	31	32	33	34
Peso Vol. kg/m <sup>3</sup>	2349	2357	2362	2364	2405
Revenimiento, cm	18	18	19	19	20.5
Contenido de Aire, %	2.2	2.6	2.5	2.6	2.5
Aspecto	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Cohesión	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Trabajabilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

Tabla 18. Propiedades del concreto endurecido

Diseño	Días	30	31	32	33	34
Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>	7	232	349	455	541	590
	28	418	555	609	748	825
	45	---	---	783	821	845
Módulo Elástico kg/cm <sup>2</sup>	28	231252	258125	272720	280154	283456

Consumo de 250 a 450 kg/cm<sup>2</sup> de cemento más 10% de Humo de Silice (S.F. 2). Los valores mostrados en la tabla son consumos reales.

Tabla 19. Proporcionamiento

Diseño	35	36	37	38	39
Cemento	249	298	354	406	455
S.F. 2	25	30	35	41	46
Arena	900	840	800	745	685
Grava	1020	1025	1061	1070	1075
Agua	180	169	173	173	173
Aditivo 3	4.110	4.920	5.835	6.705	7.515
A/C	0.66	0.51	0.44	0.39	0.35
G/S	53/47	55/45	57/43	59/41	61/39

Cemento Portland Tipo II Modificado

Aditivo 3, Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango

El Cemento, el Humo de Silice (S.F. 2), la Arena y la Grava están expresados en kg/m<sup>3</sup>

El Agua, El Aditivo 3 están expresados en l/m<sup>3</sup>

**CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO**

Tabla 20 Propiedades del concreto en estado fresco

Diseño	35	36	37	38	39
Peso Vol. kg/m <sup>3</sup>	2378	2363	2422	2437	2436
Revenimiento, cm	20	20	19	21	20.5
Contenido de Aire, %	1.7	3.6	2.3	1.8	1.4
Aspecto	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Cohesion	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Trabajabilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

Tabla 21 Propiedades del concreto endurecido

Diseño	Dias	35	36	37	38	39
Resistencia a la compresion kg/cm <sup>2</sup>	7	244	331	453	562	652
	28	413	542	667	748	848
	45	462	589	717	841	907
Módulo Elástico kg/cm <sup>2</sup>	28	267924	256546	290164	305086	311477

Consumo de 250 a 450 kg/cm<sup>3</sup> de cemento más 10% de Humo de Silíce (S.F. 2) y utilizando dos aditivos químicos reductores de agua. Los valores mostrados en la tabla son consumos reales

Tabla 22 Proporcionamiento

Diseño	40	41	42	43	44
Cemento	247	297	347	405	451
S.F. 1	25	30	35	41	45
Arena	895	835	785	745	680
Grava	1015	1025	1040	1070	1070
Agua	158	163	167	166	167
Aditivo 1	1.604	2.289	2.674	3.122	3.472
Aditivo 3	4.080	4.905	5.730	6.690	7.440
A/C	0.58	0.50	0.44	0.37	0.34
G/S	53/47	55/45	57/43	59/41	61/39

Cemento Portland Tipo II Modificado

Aditivo 1 Aditivo Reductor de Agua de Medio Rango

Aditivo 3 Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango

El Cemento, el Humo de Silíce (S.F. 1), la Arena y la Grava están expresados en kg/m<sup>3</sup>

El Agua, El Aditivo 1 y el Aditivo 3 están expresados en l/m<sup>3</sup>.

**CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO**

Tabla 23. Propiedades del concreto en estado fresco

Diseño	40	41	42	43	44
Peso Vol. kg/m <sup>3</sup>	2339	2344	2376	2426	2414
Revenimiento, cm	20	20.5	20.5	20	22
Contenido de Aire, %	4.8	4.7	3.5	2.0	2.1
Aspecto	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Cohesion	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Trababilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

Tabla 24. Propiedades del concreto endurecido

Diseño	Días	40	41	42	43	44
Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>	7	265	336	374	522	494
	28	467	587	603	744	772
	45	512	603	614	837	848
Modulo Elástico kg/cm <sup>2</sup>	28	248528	277602	297220	315060	317582



**CAPÍTULO 5**  
**INFLUENCIA EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO**  
**ESTRUCTURAL DEL CONCRETO DE ALTO**  
**COMPORTAMIENTO SOBRE EL CONCRETO**  
**CONVENCIONAL.**

**5.1 ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.**

En este estudio se analizaron dos edificios de los cuales uno fue diseñado con las características de un Concreto Convencional y otro con Concreto de Alto Comportamiento.

El edificio consta de 15 niveles para servicio de oficinas, consta de 4 crujeías cuya longitud es de 6.2 m cada una, la altura de entrepiso es de 4 m en planta baja y de 3 m en todos los demás niveles, las características de diseño son las siguientes según el Reglamento del Distrito Federal en vigor:

C. V máx = 250 kg / m<sup>2</sup>  
C. V inst = 180 kg / m<sup>2</sup>  
C. muerta = 700 kg / m<sup>2</sup>  
C. V med = 100 kg / m<sup>2</sup>

C. V máx azotea = 100 kg / m<sup>2</sup>  
C. V inst azotea = 70 kg / m<sup>2</sup>  
C. V med azotea = 15 kg / m<sup>2</sup>

Este edificio se encuentra ubicado en la zona III ( Compresible ) y su factor de comportamiento sísmico  $Q = 2$ .

Para el análisis y diseño de este edificio se utilizó un programa de computadora el cual diseña de acuerdo al reglamento y a su vez toma en cuenta el marco mas desfavorable.

**INFLUENCIA EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DEL CONCRETO DE ALTO COMPORTAMIENTO SOBRE EL CONCRETO CONVENCIONAL**

---

**Resultados.**

**Caso de Concreto Convencional.**

$F'c = 250 \text{ kg / cm}^2$

Clase I Calidad B

Revenimiento 12 cm fluidizado con un aditivo superplastificante a 18 cm

Costo \$ 745 00 / m<sup>3</sup>

Acero de refuerzo A-36 con una  $F_y = 4200 \text{ kg / cm}^2$ .

Costo por tonelada \$ 3 350 00

Alambros

Costo por kilogramo \$ 4 80

Dimensiones ( cm ).

NIVEL	COLUMNA	VIGA
1	75*75	40*65
2	75*75	40*65
3	75*75	40*65
4	75*75	40*65
5	75*75	40*65
6	75*75	40*65
7	75*75	40*65
8	75*75	35*60
9	75*75	35*60
10	75*75	35*60
11	70*70	35*55
12	60*60	35*55
13	45*45	35*55
14	40*40	35*45
15	35*35	25*40

De este análisis se contemplan los siguientes volúmenes y costos de materiales:

Concreto	Volumen	Costo
Acero longitudinal	831.89 m <sup>3</sup>	\$619 758.05
Acero transversal	24.14 m <sup>3</sup> = 178.63 ton	\$598 430.60
TOTAL.	8.68 m <sup>3</sup> = 64.232 ton	\$289 044.00
		\$1 507 232.65

**CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO****Caso de Concreto de Alto Comportamiento.**F'c = 850 kg / cm<sup>2</sup>

Clase 1 Calidad B

Revoimiento 23 cm

Costo \$ 1.150.00 / m<sup>3</sup>Acero de refuerzo A-36 con una Fy = 4200 kg / cm<sup>2</sup>

Costo por tonelada \$ 3.350.00

Alambros

Costo por kilogramo \$ 4.80

Dimensiones ( cm ).

NIVEL	COLUMNA	VIGA
1	65*65	35*55
2	65*65	35*55
3	65*65	35*55
4	65*65	35*55
5	65*65	35*55
6	65*65	35*55
7	65*65	35*55
8	65*65	35*50
9	65*65	35*50
10	65*65	30*50
11	65*65	25*50
12	55*55	25*45
13	45*45	25*45
14	40*40	20*40
15	30*30	20*35

De este análisis se contemplan los siguientes volúmenes y costos de materiales:

	Volumen	Costo
Concreto	615.39 m <sup>3</sup>	\$707.698.50
Acero longitudinal	27.05 m <sup>3</sup> = 200.17 ton*	\$670.569.50
Acero transversal	7.23 m <sup>3</sup> = 53.802 ton	\$240.759.00
TOTAL		\$1.619.027.00

Como se puede apreciar por los resultados anteriores, nos podemos dar cuenta que el edificio construido con un concreto convencional es más barato que el edificio construido con Concreto de

\* Aunque disminuye la sección de las trabes en el edificio construido con Concreto de Alto Comportamiento, el acero de refuerzo aumenta por ser más rígida la estructura

## **INFLUENCIA EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DEL CONCRETO DE ALTO COMPORTAMIENTO SOBRE EL CONCRETO CONVENCIONAL.**

Alto Comportamiento, tomando en cuenta que únicamente se tomaron los costos por material de la estructura (columnas y trabes) faltando por analizarse los costos generados por mano de obra, estructura de soporte, cimentación, avance de obra, rentabilidad y mantenimiento, con los cuales si se analizaran el resultado a largo plazo sería diferente favoreciendo al Concreto de Alto Comportamiento siendo más económico ya que estos costos se elevarían para el edificio construido con concreto convencional.

### **5.2 APLICACIONES.**

Las obras en las que se recomienda usar Concretos de Alto Comportamiento van en relación a sus principales características, como son la durabilidad, impermeabilidad y trabajabilidad, no así su resistencia ( de aquí, que se pueden utilizar en todo tipo de obras como puentes y claros cortos, etc. ).

De acuerdo con la experiencia alcanzada en otros países, el Concreto de Alto Comportamiento se ha utilizado con éxito dentro de las siguientes aplicaciones:

- En la obtención de alta resistencia a edad temprana para permitir una rápida transmisión del esfuerzo del acero de refuerzo al concreto o para permitir un rápido desmolde de elementos prefabricados
- En la elaboración de elementos prefabricados, durmientes y pilotes de concreto reforzado o presforzado
- En concreto de alta resistencia última, con el fin de permitir que dichos concretos soporten grandes cargas axiales en su aplicación final
- En columnas y muros de cortante de edificios de gran altura
- Para construir o reparar áreas que requieran entrar en servicio a corto plazo

Dentro de las aplicaciones de este tipo de concreto en edificios han sido principalmente para columnas de estructuras de gran altura. Desde 1972, más de 30 edificios en el área de Chicago han sido construidos con columnas con un diseño de resistencia a la compresión de 9000 PSI (62 MPa). Se ha aplicado también el Concreto de Alto Comportamiento en los estados de Nueva York, Houston, Minneapolis, Melbourne, Australia, Dallas y Seattle.

En puentes han sido muchas las aplicaciones de Concreto de alto Comportamiento en vigas precoladas de puentes pretensados.

Quizá las aplicaciones más significantes en los Estados Unidos son los puentes Huntington, West Virginia, en Proctorville, Ohio. Estos puentes consisten de una superestructura de vigas de soporte asimétrica con un claro principal de 900 ft ( 274 m ).

También se ha utilizado este concreto en puentes de ferrocarril en Japón con resistencias a la compresión superiores a 11000 PSI ( 76 MPa ).

Otras aplicaciones para este tipo de concreto son:

- Tableros precolados

- Proveer un concreto extremadamente denso para resistir la exposición severa
- Postes de concreto pretensado producidos para barrenar
- Para reducir el tamaño de las columnas
- En presas de arco reduce volúmenes de concreto logrando una economía
- Techos de gradcerías cubiertas
- Pilas para bases marinas
- Cubiertas para estructuras de muelles
- Baja permeabilidad y concreto con resistencia química para las industrias
- Protección del acero de refuerzo contra la corrosión, etc.

### **5.3 EXPERIENCIAS.**

A continuación se mencionan ejemplos de algunos proyectos con concretos HPC. En la tabla siguiente se presenta la información acerca de la composición de los concretos empleados en estos proyectos:

1. Water Tower Place ( Chicago, 1975 ), un ejemplo de cómo se pudo alcanzar una alta resistencia antes de que los superplastificantes empezaran a usarse
2. Puente Joligny ( Franca, 1989 ) con toda intención se excluyó el humo de sílice del concreto con el fin de simular las condiciones más desfavorables de campo.
3. Edificio La Laurentienne ( Montreal, 1984 ) en dos columnas experimentales se ilustra la manera en que el empleo conjunto de un superplastificante y de un agente retardante fue necesario debido a la escasa disponibilidad de cemento y al tiempo tan largo de entregas.
4. Plaza Scotia ( Toronto, 1987 ) un ejemplo de HPC que contiene escoria de alto horno molida granulada y humo de sílice como sustitutos parciales del cemento.
5. Two Union Square ( Seattle, 1988 ) HPC sin rival en cuanto a su comportamiento para la construcción de un proyecto importante.

**INFLUENCIA EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DEL CONCRETO DE  
ALTO COMPORTAMIENTO SOBRE EL CONCRETO CONVENCIONAL**

COMPOSICIÓN DEL CONCRETO	PROYECTOS CON HPC				
	1	2	3	4	5
RELACION AGUA/MATERIALES CEMENTANTES	0.35	0.37	0.27	0.31	0.25
AGUA, kg/m <sup>3</sup>	195	165	135	145	130
CEMENTO, kg/m <sup>3</sup>	505	451	500	315	513
IMPUR. DE SILICE, kg/m <sup>3</sup>	*	*	30	36	43
CEIZA VORANTE, kg/m <sup>3</sup>	60	*	*	*	*
ESCORIA, kg/m <sup>3</sup>	*	*	*	137	*
AGREGADO ARENOSO, kg/m <sup>3</sup>	1030	1030	1100	1130	1080
AGREGADO PULV. kg/m <sup>3</sup>	630	745	700	745	685
REDUCTOR DE AGUA, ml/m <sup>3</sup>	975	*	*	900	*
RETARDANTE, l/m <sup>3</sup>	*	4.5	1.8	*	*
SUPERPLASTIFICANTE, l/m <sup>3</sup>	*	11.25	14	5.9	15.7
F'CA 28 DIAS, MPa	64.8	79.8	92.5	83.4	119
F'CA 90 DIAS, MPa	78.6	87	106.5	93.4	145

En los ejemplos anteriores se puede observar que no existe una receta única para la fabricación del concreto HPC. La composición del concreto se puede adaptar a las condiciones locales cuando se seleccionan los mejores materiales disponibles.

A final de cuentas el éxito depende en gran medida en poder reducir la relación A / C al mismo tiempo que se logra un concreto que ofrezca la mejor combinación de comportamiento, facilidad de colocación y bajo costo.

## ANEXO A CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE UN TANQUE CONTENEDOR DE AGUA

### A.1 MECÁNICA DE SUELOS.

#### A.1.1 CRITERIOS PARA LA EXPLORACIÓN Y MUESTREO EN SUELOS.

Para contar con datos fidedignos acerca del tipo y las características del suelo en donde se construirá el tanque el proyectista deberá realizar pruebas de exploración y muestreo, las cuales serán llevadas a un laboratorio de mecánica de suelos en donde se obtendrán los datos definitivos.

Resultan así estrechamente ligadas las dos importantes actividades, el muestreo de los suelos y la realización de las pruebas necesarias del laboratorio. El muestreo debe estar regido ya anticipadamente por los requerimientos impuestos a las muestras obtenidas por el programa de pruebas de laboratorio y, a su vez, el programa de pruebas debe estar definido en términos de la naturaleza de los problemas que se suponga puedan resultar del suelo presente en cada obra, el cual no puede conocerse sin efectuar previamente el correspondiente muestreo. Este circuito suele resolverse recurriendo a la ayuda de programas preliminares de exploración y muestreo. Por procedimientos procedimientos simples y económicos, debe procurarse adquirirse una información preliminar suficiente respecto al suelo. El conocimiento apriorístico de tales problemas permite, a su vez, programar en forma completa las pruebas necesarias para la obtención del cuadro completo de

---

---

## **ANEXO A**

datos de proyecto, investigando todas aquellas propiedades físicas del suelo de las que se pueden sospechar que lleguen a plantear en la obra una condición crítica. La realización de esta nueva serie de pruebas definitivas suele presentar nuevas exigencias respecto a las muestras de suelo de que haya de disponerse y ello obligará, en general, a efectuar nuevas operaciones de sondeo y muestreo, a fin de obtener las muestras definitivas.

Se tendrán dos tipos de sondeos: preliminares y definitivos, cada uno con sus métodos propios de muestreo.

### **Tipos de sondeos**

Los tipos de sondeos que se usan en Mecánica de Suelos para fines de muestreo y conocimiento del subsuelo, en general son los siguientes.

#### **Métodos exploración de carácter preliminar**

- a) Pozos a ciclo abierto, con muestreo alterado o malterado
- b) Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares
- c) Métodos de lavado
- d) Método de penetración estándar
- e) Método de penetración cónica
- f) Perforaciones en boleos y gravas

#### **Métodos de sondeo definitivo**

- a) Pozos a ciclo abierto con muestreo malterado
- b) Métodos con tubo de pared delgada
- c) métodos rotatorios para roca

#### **Métodos geofísicos**

- a) Sísmico
- b) De resistencia eléctrica
- c) Magnético y gravimétrico

#### **Número, tipo y profundidad de los sondeos**

El número, tipo y profundidad de los sondeos que deben ejecutarse en el programa de exploración de suelos depende fundamentalmente del tipo del subsuelo y de la importancia de la obra. El número de sondeos exploratorios será el suficiente para conocer las condiciones del subsuelo. Para nuestro caso la profundidad del sondeo estará en función de la distribución de esfuerzos del tanque a lo largo del suelo y el número de sondeos estará en función al tipo de suelo y al área de influencia del tanque.

Frecuentemente se recomienda explorar una profundidad comprendida entre 1.5B y 3B, siendo B el ancho de la estructura por cimentar.



---

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

---

Del resultado de laboratorio se obtendrán varias características físicas del suelo, así como la distribución de estas características a lo largo de este, estas nos ayudarán para nuestro caso, obtener la capacidad de carga del suelo y así poder diseñar la cimentación correspondiente.

### A.1.2 CAPACIDAD DE CARGA

Para visualizar el problema de capacidad de carga en suelos, resulta útil, el análisis del modelo mecánico que se presenta a continuación.

Considérese una balanza ordinaria cuyo desplazamiento vertical esta restringido por la fricción entre la guías de los platillos y lo que se esta considerando como suelo.

Si un peso suficientemente pequeño se coloca en un platillo la balanza permanecerá en equilibrio, pues la fricción generada en las guías pueden neutralizarlo; en cambio si el peso colocado es mayor que la capacidad de las guías para desarrollar fricción, se requerirá, para el equilibrio un peso suplementario en el otro platillo.

En el platillo derecho existe P y se requiere conocer Q que debe colocarse en el platillo izquierdo para tener la balanza en equilibrio crítico (situación en que la balanza pierde su equilibrio con cualquier incremento de peso en cualquiera de sus platillos). Este problema tiene dos soluciones: uno corresponde  $Q < P$  y la otra por el contrario cuando  $Q > P$ .

Considérese ahora el caso de una cimentación de un ancho B que se encuentra desplantada a una profundidad DF, dentro de un medio continuo. El problema de una cimentación sería encontrar la carga Q máxima que puede ponerse en el cimiento, sin que se pierda la estabilidad del conjunto. La presión Q que puede ponerse en el platillo izquierdo es mayor que la carga que el otro platillo ( $P = \gamma mDF$ ), puesto que la resistencia del suelo representada en el modelo por las fricciones de las guías esta trabajando en favor de la carga Q.

Cuando Q es nulo, pero se va profundizando en el nivel de excavación sucedería que los platillos de la balanza van disminuyendo al mismo tiempo y que coinciden con el nivel de excavación por lo tanto la carga P iría en aumento paulatinamente. Existiría una profundidad crítica tal, que al tratar de aumentar el nivel de excavación el fondo de esta se levantara como el platillo de la balanza lo haría, este es el principio de lo que comúnmente se llama falla de fondo.

Una cimentación tendrá un peso Q y dependiendo de la magnitud de P se tendrán cimentaciones parcialmente compensadas, totalmente compensadas y sobrecompensadas.

#### Teorías de capacidad de carga

Se puede decir que todas las teorías de capacidad de carga desde un punto de vista del análisis matematico tienen como punto de partida la solución de Prandtl, al problema de la indentación (clavar la zapata dentro del suelo) de un sólido rígido en un medio continuo semiinfinito, homogéneo e isótropo bajo condiciones de deformación plana, esta solución desarrollada en el marco de la teoría de la elasticidad supone al medio rígido-plástico perfecto.

Las teorías se enfocan a cada tipo de suelo  
Cohesivos  
Friccionantes  
Más se utilizan Cohesivos-fricciones

---

## ANEXO A

---

### Solución de Prandtl

Prandtl estudió en 1920 el problema de indentación de un medio seminfinito, homogéneo, isotrópico y rigidoplástico perfecto, por un elemento rígido de longitud infinita de base plana. Considerando que el contacto entre el elemento y el medio era perfectamente liso, propuso el mecanismo de falla que se muestra en la figura.

Se trata de calcular la máxima presión que se puede dar al elemento rígido en que penetre en el medio seminfinito a este valor particular de la presión se le denominó carga límite.

Con los estados de esfuerzos generados en dicho mecanismo Prandtl calculó que la presión límite que puede oponerse en la superficie AB está dada por el valor  $q_{max} = (\pi + 2) c$ .

La solución anterior está asociada a un mecanismo cinemático de falla, con un campo de velocidades cinemáticamente admisibles. Prandtl logró lo anterior considerando que la región ABH ( I ) se incrusta como cuerpo rígido moviéndose verticalmente como si formara parte del elemento rígido. En la región AEH ( II ) la línea de deslizamiento son círculos con centro en A y con una velocidad tangente constante en toda la región. Finalmente en la región III se mueve también como un cuerpo rígido en la dirección S.

La anterior solución debido a Prandtl es la base de todas las teorías de capacidad de carga que se han desarrollado para aplicación específica en suelos.

Las teorías de capacidad de carga son y su forma de falla son:

#### Teoría de Terzaghi

- Falla local
- Falla general
- Casos especiales: cuadrados y circular

#### Teoría de Skempton

- Suelos cohesivos
- Penetración en un instante resistente

#### Teoría de Meyerhof

- Suelos cohesivos-friccionantes
- Factores de ajuste ( Forma, profundidad e inclinación )
- Ecentricidad de la carga.

Las teorías de capacidad de carga, desarrolladas a partir de 1920, proporcionaron una base más o menos científica al estudio de las cimentaciones combinadas con el creciente conocimiento de los suelos y sus propiedades mecánicas y con el mejoramiento de las técnicas de medición de campo, han permitido en la actualidad el desarrollo de una metodología de proyecto y construcción de cimentaciones.

### A.1.3 CIMENTACIONES POCO PROFUNDAS

Los tipos más frecuentes de cimentaciones poco profundas son las zapatas aisladas, las zapatas corridas y las losas de cimentación.

Las zapatas aisladas son elementos estructurales, generalmente cuadrados o rectangulares y más raramente circulares que se construyen bajo las columnas con el objeto de transmitir la carga de estas al terreno con una mayor área, para lograr una presión apropiada. En ocasiones las zapatas aisladas soportan más de una columna. Las zapatas aisladas se construyen generalmente de concreto reforzado. Las zapatas corridas son elementos análogos a los anteriores, en los que la longitud supera en mucho al ancho. Soportan varias columnas o un muro y pueden ser de concreto reforzado o de mampostería, en el caso de cimientos que transmiten cargas no muy grandes. La zapata corrida es una forma evolucionada de la zapata aislada, en el caso en el que el suelo ofrezca una resistencia baja que obligue al empleo de mayores áreas de repartición o en el caso en que deban transmitirse al suelo grandes cargas.

Cuando la resistencia del terreno sea muy baja o las cargas sean muy altas las áreas requeridas para apoyo de la cimentación deben aumentarse, llegando al empleo de verdaderas losas de cimentación, construidas también de concreto reforzado, las que pueden llegar a ocupar toda la superficie construida. No existe ningún criterio preciso para distinguir entre si los tres tipos anteriores, siendo la práctica la norma para su distinción. También existen multitud de variedades de cimentaciones combinadas, en que los tres tipos básicos se entremezclan al gusto del proyectista o del constructor, que se esforzara siempre por extraer del suelo el mayor partido posible, combinando los factores estructurales con las características del terreno de la manera más ventajosa en cada punto.

Si aún en el caso de emplear una losa corrida la presión transmitida al subsuelo sobrepasa la capacidad de carga de este, es evidente que habrá de recurrirse a soportar la estructura en estratos más firmes que se encuentren a mayores profundidades, llegando así a la cimentaciones profundas.

## **A.2 ESTRUCTURAS.**

### **A.2.1 CRITERIOS SOBRE EL DISEÑO ESTRUCTURAL**

#### **Principales tipos de estructuras.**

El diseño de estructuras sanitarias debe ejecutarse en cuatro fases consecutivas o traslapadas, de la siguiente manera:

1. Diseño funcional
2. Esquema físico de la planta
3. Diseño hidráulico
4. Diseño estructural

A menos que se indique lo contrario en este capítulo, en general el diseño estructural deberá seguir los lineamientos del Reglamento ACI 318.

Por lo general, las instalaciones sanitarias son para el tratamiento de agua o aguas residuales y están compuestas de varias unidades separadas, como se muestra a continuación:

**Plantas para el tratamiento de agua.**

Estructuras de captación	Filtros
Cámaras separadoras	Galería de filtración
Cámara de mezclado rápido	Deposito de agua clarificada
Tanques de floculación	Estaciones de bombeo
Tanques de sedimentación	Depósito de distribución
Conductos	Almacén de productos químicos
Clorinadores	Edificio para oficinas y laboratorios

**Plantas para el tratamiento de aguas residuales.**

Desarenador	Estaciones de bombeo y ventilación
Tanques primarios de sedimentación final	Filtros al vacío y centrifugadores
Digestores	Instalaciones de eliminación de lodos
Espesadores	Almacén de productos químicos
Tanques aeradores	Edificio para oficinas y laboratorio
Tanque de retención de lodos	Filtros terciarios
Filtros precoladores	Instalaciones de cribado
Cámaras de clorinación por contacto	

Las estructuras mencionadas pueden clasificarse también de la siguiente forma:

Tanques, depósitos y estructuras que contengan agua o líquido

Conductos y tuberías de interconexión

Cimentaciones para maquinaria y equipo

Alojamientos de protección, pisos, almacenes, andenes y escaleras.

**Condiciones de carga .**

**Carga muerta.** Existe en el Reglamento de construcciones del Distrito Federal varias listas, disponibles para calcular las cargas muertas de materiales convencionales de construcción.

**Carga viva.** Los siguientes son valores conservadores para cargas vivas, las cuales deben considerarse en el diseño estructural

Aguas negras sin tratar	1 009 Kg/m <sup>3</sup>
Gravilla excavada del desarenador	1 760 Kg/m <sup>3</sup>
Cieno digerido, aeróbico	1 040 Kg/m <sup>3</sup>
Cieno digerido, anaeróbico	1 120 Kg/m <sup>3</sup>
Cieno deshidratado dependiendo del contenido de humedad.	1 200 Kg/m <sup>3</sup>

Para otras cargas vivas, los requisitos mínimos se especifican en los reglamentos locales de construcción. Se debe pedir al fabricante el peso real del equipo. Si difieren los pesos proporcionados por varios fabricantes, en el diseño estructural deberá usarse más pesado de ellos. Por lo tanto, no es esencial que haya una exactitud extrema en la estimación de estos pesos para el cálculo del diseño de la cimentación.

Las cargas vivas en pasarelas y escaleras, y en pisos de oficinas y laboratorios deben ser de un mínimo de 488 Kg/m<sup>2</sup>. En los cuartos para equipo pesado donde las máquinas pueden desarmarse y almacenarse en el piso, se aconseja diseñar las losas para un mínimo de carga viva de 1.465 Kg/m<sup>2</sup>, para diseñar las vigas de piso deben usarse los pesos reales de la maquinaria y de otros equipos, incluyendo los efectos de carga dinámica.

En los cuartos de control eléctrico lo mejor es calcular el área de cimentación y el peso del equipo. Se debe suponer que el peso de una unidad se puede aplicar en cualquier sitio de la sala de control, ya que el equipo se puede trasladar de su lugar original a otros sitios, o se puede incluir más equipo después. En la mayoría de los casos, una carga viva supuesta de 1.221 kg/m<sup>2</sup> cubrirá la carga normal del equipo.

En las construcciones para almacenaje de productos químicos, deben usarse las cargas vivas que aparecen en el Reglamento local. Es preciso tomar las precauciones necesarias, como son bordillos o barreras, para aislar y evitar que los productos químicos se esparzan o se derramen. El ingeniero estructural deberá decidir cual es la altura razonable de hacinamiento cuando diseñe losas, vigas y otros elementos de apoyo. Se recomienda que la carga viva específica diseñada para cada una de las partes del piso se indique en los planos y se exhiba en el área de aplicación.

### **A.3 SANITARIA.**

#### **A.3.1 CRITERIOS BÁSICOS PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.**

Con el fin de evaluar un proyecto se han hecho diferentes métodos de evaluación de impactos ambientales.

Estos métodos son fáciles de entender y fáciles de aplicar y son los siguientes:

- Métodos Ad-Hoc
- Listados
- Matrices
- Superposición de mapas
- Redes

Para llevar a cabo estos métodos de evaluación de impactos ambientales es necesario de varios profesionistas como son Agrónomos, Economistas, Sociólogos, Biólogos, Ingenieros, etc. Este grupo de profesionistas podrán identificar más fácil los impactos Ambientales a medida que ellos estén más preparados.

## ANEXO A

### Etapas de proyecto

1. Selección del sitio
2. Preparación del sitio
3. Construcción
4. Operación y mantenimiento
5. Abandono del sitio

Etapas del proyecto				
1	2	3	4	5
Ambiente				
Biótico			Social	
Abiótico			Económico	
Técnicas de evaluación de Impacto Ambiental				
Impacto Ambiental				
Medidas de investigación de Impacto Ambiental				
Compensación				
Restauración				
Control				

### Identificación

- Descripción del ambiente existente
- Determinación de los componentes del proyecto
- determinación de las alteraciones del medio causadas por las componentes del proyecto

### Predicción

- Estimación de las alteraciones ambientales significativas

### Evaluación

- determinación de la incidencia de costos y beneficios de los grupos de usuarios y en la población afectada por el proyecto
- Especificación y comparación de la relación costo-beneficio entre varias alternativas.

### Métodos Ad-Hoc

Se debe prever que es lo que sucederá cuando la obra termine su vida y se abandone.

### Listados

Elaborar un listado de los parámetros que pueden ser analizados y identificar cuales van a ser impactados por el proyecto

Listado descriptivo - Se describe el impacto ( - ) si es negativo y ( + ) si es positivo

Listado de Escala - Se aplica calificación a los diferentes factores ambientales y van de -1 a +1

**Método de Batell - Columbus.**

Fue desarrollado en 1972 por los laboratorios Batell-Columbus de Ohio para evaluar impactos ambientales producidos por proyectos hidráulicos.

Se llama también Sistema de Evaluación Ambiental (SEA)

Este sistema presenta diferentes niveles de información para analizar los impactos son medición de unidades mesurables y con alertas en las áreas ambientales más sensibles.

**Niveles de información**

1. Información muy general. Categorías ambientales
2. Información intermedia. Componentes ambientales
3. Información específica. Medición ambiental

La base de este método es la definición de una lista de 78 parámetros ambientales, estos parámetros ambientales se agrupan en 18 componentes ambientales que son:

Especies y poblaciones	Ruido	Composición
Hábitats y comunidades	Suelo	Valores educacionales y científicos
Ecosistemas	Agua	Valores históricos
Contaminación del agua	Aire	Cultura
Contaminación de la atmósfera	Biota	Sensaciones
Contaminación del suelo	Objetos artesanales	Estilo de vida

Estas componentes se agrupan en 4 categorías ambientales

- Ecología
- Contaminación ambiental
- Aspectos estéticos
- Aspectos de interés humano

Al definir los parámetros ambientales se pretendió que representen la calidad del ambiente (identificación), sean fácilmente medibles en campo ( Predicción, interpretación e inspección ), respondan a las exigencias del proyecto a evaluar ( Identificación ), sean evaluables a nivel del proyecto ( predicción e interpretación ).

Batell Columbus desarrolló una técnica para transformar los parámetros en unidades conmensurables. Consta de 3 etapas

1. Transformar los parámetros en calidades ambientales
2. Obtener el peso de todos los parámetros en proporción a su importancia relativa
3. Multiplicar la calidad ambiental por su peso relativo y obtener unidades de impacto ambiental.

**Paso 1. Calidad Ambiental (CA)**

El impacto en la calidad ambiental de los proyectos hidráulicos se basa casi totalmente en estándares de los aspectos físicos y químicos del ambiente.





---

---

## CONCRETOS DE ALTO COMPORTAMIENTO

---

---

Generalmente la calificación que se da a esta características es de 1 a 10 aunque algunas veces la calificación de la magnitud puede darse de -5 a +5 y la importancia de 1 a 5.

Las características ambientales se agrupan en

- A.- Características físicas y químicas
  - B.- Condiciones biológicas
  - C.- Factores culturales
  - D.- Relaciones ecológicas
- y las acciones del proyecto en las siguientes categorías:
- A.- Modificación del régimen
  - B.- Modificación del suelo y construcciones
  - C.- Cambios de comunicación
  - D.- Disposición y tratamiento de desperdicios
  - E.- Tratamientos químicos
  - F.- Accidentales
  - G.- Otros
  - H.- Renovación de recursos.

## CONCLUSIONES

En países desarrollados, se han implementado programas nacionales de Concretos de Alto Comportamiento o " High Performance Concrete " ( HPC ) Sin embargo en México no existe un programa de Concreto de Alto Comportamiento que coordine los esfuerzos a nivel nacional, aunque se dan casos aislados. Esta nueva generación de concretos son diseñados para cumplir una función específica en las diferentes áreas de la construcción

El desarrollo de la industria del concreto ha sido muy lento en comparación con el de otras industrias. Las excepciones más notables han sido el descubrimiento de la relación  $A / C$ , en 1919 y la introducción de aditivos químicos para mejorar su comportamiento, en 1938. Esta nueva generación de Concretos de Alto Comportamiento se puede definir de acuerdo a lo siguiente:

Son concretos con propiedades diseñadas, uniformidad y comportamiento tan especiales que no se pueden obtener normalmente usando concretos convencionales, así como también los procedimientos típicos en su colocación y curado. Entre las propiedades de estos concretos destacan

- Son fáciles de colocar y compactar sin segregación
- Propiedades mecánicas especiales a edades tempranas y posteriores
- De alta resistencia, son sumamente resistentes al impacto y a la abrasión
- Tienen una gran estabilidad de volumen
- Observan una gran durabilidad en condiciones y ambientes severos

Para poder conseguir este desarrollo en la Industria del Concreto se requiere de la colaboración de agencias gubernamentales, Universidades y de la Industria del Concreto. Es necesario contar con un grupo que coordine los programas, desarrolle un plan para llevar a cabo las investigaciones necesarias y sobre todo, lograr la transferencia de tecnología a los usuarios. En virtud de que el uso más importante del HPC se enfoca a la reconstrucción de la infraestructura, el financiamiento de las investigaciones del HPC debe ser tomado en cuenta e incluirse dentro de los programas relacionados con la infraestructura, ya existentes y a futuro.

Para la producción de HPC, la Industria de Concreto Premezclado debe contar con una infraestructura adecuada para investigación y desarrollo, control de calidad, servicio técnico a los clientes, equipo adecuado para producir HPC y transportarlo, personal capacitado en ventas y mercadeo con conocimiento en concreto y materiales.

La producción e investigación del HPC llevará al productor a proporcionar los nuevos productos que requiere la industria de la construcción.

Los directivos de las compañías involucradas en la Industria de la Construcción deben estar familiarizados con los conceptos de este tipo de concreto, a fin de que puedan usarlos como herramientas de mercadeo.

El concepto y la etapa de Concretos de Alto Comportamiento requiere de madurez, especialmente con el compromiso de los miembros de la industria de la construcción. El diseñador, el constructor, autoridades municipales, personas que elaboran los reglamentos, quienes están al frente de los laboratorios de materiales y las compañías de Concreto Premezclado deben ponerse de acuerdo, aceptar y promover este concepto, trabajar coordinadamente para eliminar las barreras institucionales y tener como meta una nueva etapa en la evolución de la industria de la construcción. Sin este esfuerzo coordinado de todos los grupos involucrados, no será posible consolidar la posición del Concreto de Alto Comportamiento (HPC).

**REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.**

- 1.- Steven H. Kosmatka y William C. Panarese, " Diseño y control de mezclas de concreto ", IMCYC, México 1992.
- 2.- Adam M. Neville, " Tecnología del concreto ", IMCYC, México 1992 obra completa.
- 3.- Seminario FIC, " Aditivos para concreto ", CNIC, México 1995.
- 4.- Dirección de proyectos, Departamento de Ingeniería Experimental, " Manual de concreto, parte 1" , Secretaría de Recursos Hidráulicos, México 1970
- 5.- Comité ACI 212, " Aditivos para concreto " IMCYC, México 1983.
- 6.- Staff - Portland Cement Association, " Proyecto y control de mezclas de concreto ", Limusa, México, 1981
- 7.- P. Kumar Mehta, " Factores para lograr concretos durables y producción de concretos de alto comportamiento ", IMCYC, México 1995
- 8.- Terence Holland, " Aplicaciones y especificaciones de los aditivos para concreto ", IMCYC, México 1995

- 9.- Dr. René Muciño, "Tecnología del concreto", IMCYC, México 1995.
- 10.- Ing. Mario Tena Bernal, "Taller de diseño de mezclas de Concreto de Alta Calidad", IMCYC, México 1995.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) Tomos 1 y 2
- American Concrete Institute (ACI) Tomos 1, 2 y 3
- Jaimé Moreno, "El estado del arte del concreto de gran comportamiento", Revista Construcción y Tecnología, Volumen VIII, No. 92, Enero 1996, pp 6 - 14 y 31 - 35.
- Pierre - Claude Aitein, Michael Shirlaw, Eric Fines, "Concreto de Alta Resistencia", Revista Construcción y Tecnología, Volumen IX, No. 97, Junio 1996, pp 11 - 14.
- Ing. Juan Luis Cottier Caviedes, "Concretos de Alto Comportamiento", Revista Construcción y Tecnología, Volumen VIII, No. 95, Abril 1996, pp 18 - 22.
- Reglamento de Construcciones del DDF.