

# TECNOLOGIA DEL CONCRETO

Juan Luis Cottier Caviedes<sup>1</sup>

## RESUMEN.

El concreto es sin lugar a dudas el material mayormente utilizado en la construcción, como material requiere de actividades bien definidas y cuidadosamente supervisadas para lograr el éxito garantizando el cumplimiento de su resistencia a compresión simple, estabilidad volumétrica, su durabilidad etc. En el presente trabajo se enumeran en forma general actividades que el responsable de una estructura de concreto tiene que conocer y manejar con el fin de garantizar la calidad del concreto que esta trabajando y con ello parte de la seguridad de la estructura.

## 1. INTRODUCCION

El concreto cuyas características de resistencia, versatilidad, durabilidad y economía, lo han convertido en el material de construcción más utilizado en el mundo, se puede definir como una piedra artificial formada por cemento portland, agregados, agua y aire, material de apariencia simple pero con una compleja naturaleza interna.

La historia del concreto es un cúmulo de datos y hallazgos muy interesantes que nos transportan a épocas remotas de la civilización humana donde el hombre utilizaba diversos productos naturales como cementante para unir grandes bloques de piedra, sin embargo la identificación del primer concreto se puede ubicar en la época de los romanos quienes utilizaron cal y puzolanas para cementar pedazos de roca de diferentes tamaños, así como para incrementar la dureza de algunos suelos. En nuestro país se tienen datos de concretos que forman losas ubicadas en la prehispánica ciudad del Tajín en el estado de Veracruz. Este es un conglomerado de rocas de diversos tamaños unidos con un cementante natural de buena resistencia y durabilidad suficiente para perdurar hasta nuestros días.

El concreto utilizado en nuestro tiempo dosificado con cemento tipo portland su origen se ubica en el año de 1824 cuando el trabajador de la construcción Joseph Aspdin patentó el cemento utilizado actualmente y que es el componente principal del concreto de nuestra era.

Podemos entonces definir al concreto actual como una piedra artificial integrada por Cemento Portland, Agregados, Agua y Aire, de estos componentes se tenía la hipótesis de que el cemento era la parte activa que reacciona con el agua, utilizando los agregados como material de relleno con el carácter de inerte, aportaciones importantes han puesto en evidencia que los agregados participan activamente en la vida del concreto lo que desmiente la idea que se guardó por mucho tiempo.

Con una idea muy general se puede hablar de que los integrantes de concreto se encuentran distribuidos tomando como base su peso en los porcentajes siguientes:

Pasta (cemento + agua) de un 23 a un 25 %, agregados (grava y arena) de 73 a 75% y aire atrapado 2% .

---

<sup>1</sup>Director General de Control y Patología de Obras Civiles, S.A de C.V

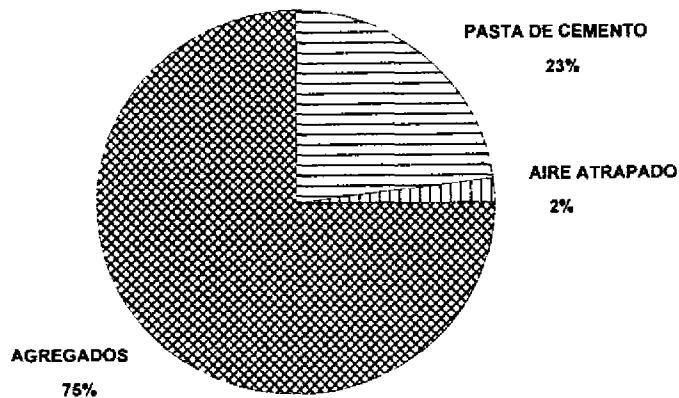


Fig. 1 Componentes del concreto en porcentaje.

## 2. CEMENTO PORTLAND.

Para la fabricación del cemento portland pueden utilizarse inicialmente minerales de origen natural o bien productos de desecho de procedencia industrial. En general, puede servir cualquier material entre cuyos componentes principales figuren la cal, la sílice, la alúmina y el óxido de hierro. Como es raro encontrar algún material en cuya composición se encuentren los cuatro componentes básicos mencionados en las proporciones adecuadas, es práctica habitual trabajar con mezclas de varias materias primas. Así por ejemplo, la cal generalmente proviene de minerales calcáreos como las calizas o las margas; las arcillas aportan sílice y alúmina.

La mezcla de las materias primas ha de hacerse de tal forma que cada uno de los componentes químicos básicos se encuentren en unas proporciones determinadas previamente fijadas. El clínker que se obtendrá calcinando la mezcla cruda deberá poseer una cantidad correcta de los minerales fundamentales, es decir de  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $C_4AF$ .

La fabricación del cemento se puede describir en los pasos siguientes:

- Obtención de la materia prima.
- Trituración preliminar de la materia prima.
- Eliminación de humedad
- Prehomogenización de las materias primas
- Cocción o Clinkerización.
- Enfriamiento del clínker.
- Molienda del clínker e integración del yeso.

Cada etapa requiere de actividades muy especializadas sin embargo pondremos atención a la etapa de Clinkerización que es el proceso térmico de cocción a que es sometido el crudo con el fin de conseguir un estado de fusión incipiente en el que se formen los componentes principales del clínker .

Desde el punto de vista de las transformaciones que sufre el material, la clinkerización podría esquematizarse del siguiente modo:

100 °C	Evaporación de humedad
450-600°C	Eliminación de agua combinada
700-1000°C	Disociación de los silicoaluminatos de las arcillas
800-1000 °C	Aparición de SiO <sub>2</sub> libre
600-800°C	Descarbonatación.
1300 °C	Aparición de una fase líquida.

Desde el punto de vista de la operación mecánica de la clinkerización se lleva a cabo en los denominados "hornos rotatorios", cilindros cuya parte exterior es de lamina de acero pero que interiormente estan recubiertos con material cerámico. El material introducido al horno por uno de sus extremos se mueve lentamente hacia el extremo opuesto gracias al movimiento de rotación permanente a que es sometido el cilindro y tambien a la ligera inclinación que posee éste.

Como se mencionó anteriormente los componentes principales del clinker obtenido del proceso anterior son:

C <sub>3</sub> S	Silicato tricálcico.
C <sub>2</sub> S	Silicato bicálcico
C <sub>3</sub> A	Aluminato tricálcico
C <sub>4</sub> AF	Ferro aluminato tetracálcico.

Componentes que al ser dosificados adecuadamente nos proporcionan cementos de características diferentes teniendo para nuestro uso 5 tipos de cemento como lo especifica la Nom. C 1

VALORES TIPICOS DE COMPOSICION PROMEDIO DE LOS COMPONENTES DE CEMENTO PORTLAND DE DIFERENTES TIPOS: %								
CEMENTO TIPO	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>2</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CS	CaO	MgO	Pc
I	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	1.2
II	46	29	6	12	2.8	0.6	3.0	1.0
III	56	15	12	8	3.9	1.3	2.6	1.9
IV	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	1.0
V	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	1.0

Fig. 2 Tipos de cementos y sus óxidos principales.

Si el tipo de obra no requiere de un cemento especial se debe utilizar el Tipo I o Tipo II

### 3. AGUA

El agua potable es, en la mayoría de los casos satisfactoria como agua de mezclado y este es el criterio de calidad que se especifica usualmente. Por lo general, se conocerá la presencia de cualquier impureza dañina, como álcalis, ácidos, materia vegetal en descomposición, aceite, aguas de albañal, o cantidades excesivas de limo. El agua de calidad dudosa deberá enviarse a un laboratorio para que se efectúen ensayos o pruebas; o, si no se dispone de tiempo, comparar la resistencia y durabilidad de especímenes de concretos o morteros hechos con dicha agua con las de especímenes de control hechos con agua que se sabe que es satisfactoria.

### 4. AGREGADOS

Los agregados son la parte mayoritaria en el concreto ocupan el 75% de su volumen y su influencia es de primer orden en el comportamiento del concreto tanto en su estado fresco como endurecido.

Comúnmente, se han considerado a los agregados como inertes en la definición del concreto. sin embargo la experiencia señala que la mayoría de los agregados son activos cuando se combinan con el cemento, agua y aditivos. Esta actividad puede involucrar cambios físicos, químicos o térmicos o combinación de los mismos.

Los agregados pueden limitar la resistencia del concreto pero más frecuentemente afectan la durabilidad y el comportamiento estructural del concreto.

Es de vital importancia considerar las características de los agregados para ser incluidos en el concreto las características de los agregados que influyen en el concreto se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS QUE INCIDEN EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO	
Propiedades del concreto	Características de los agregados
Durabilidad	Composición mineralógica
Resistencia	Textura superficial
Cambio de volumen	Dureza
Peso específico	Modulo de elasticidad
Modulo de elasticidad	Coefficiente de dilatación térmica
Resistencia al desgaste	Resistencia a la tensión
Dosificación	Partículas frías
Trabajabilidad	Absorción
Bombeabilidad	Permeabilidad
Acabado del concreto	Estructura de los poros
Tiempo de fraguado	Estabilidad de volumen
Exudación	Granulometría
Economía	Tamaño máximo
	Finos
	Forma
	Estabilidad química
	Sales solubles
	Adherencia en los granos
	Partículas de arcilla
	Materia orgánica
	Sensibilidad al agua
	Solubilidad en agua

#### **4.1 Textura y forma de los agregados.**

Las características de textura superficial y forma del agregado grueso tienen una influencia importante en la resistencia a compresión del concreto, particularmente en la resistencia a flexión.

Los conocimientos sobre la contribución del agregado grueso en la resistencia a compresión son muy escasos, pero posiblemente una textura rugosa dé como resultado una fuerza de adhesión más grande entre las partículas y la pasta de cemento. De igual forma, una superficie de concreto más grande en los agregados angulosos significa que se puede desarrollar una mayor fuerza adhesiva.

La parte fina de los agregados ( arena) en cuanto a su forma y textura tienen un efecto significativo en el requerimiento de agua de mezclado, ya que estas propiedades se pueden expresar en forma indirecta en función del porcentaje de huecos, entre las partículas del agregado grueso es menos definitiva en el consumo de agua, sin embargo, la forma del agregado grueso, y en particular el agregado lajeado, tiene efecto considerable en la trabajabilidad del concreto.

La forma del agregado influye en la bombeabilidad de una mezcla, en general son preferibles arenas naturales y gravas redondeadas a los agregados triturados, pero puede hacerse una mezcla con características adecuadas para ser bombeada con una combinación apropiada de fracciones de agregados triturados.

#### **4.2 Resistencia de los agregados en el comportamiento del concreto.**

La resistencia a compresión del concreto no puede exceder a la del agregado con el que se fabrica. La experiencia enseña que las mejores resistencias en el concreto se obtienen cuando la matriz o pasta y los agregados tienen características mecánicas similares. Sin embargo, la resistencia a compresión del agregado tal como se encuentra en la naturaleza es difícil de determinar y la información requerida tiene que ser obtenida a través de pruebas indirectas sobre muestras labradas de la roca a estudiar.

Una resistencia inadecuada del agregado representa una limitación ya que las propiedades del agregado influirán en la resistencia del concreto, aún cuando sea suficientemente resistente para no fracturarse prematuramente. Si se comparan concretos hechos con diferentes agregados se puede observar que la influencia es cualitativamente la misma, independientemente del proporcionamiento de la mezcla y de que el concreto se ensaye en compresión o tensión. Es posible que la influencia del agregado sobre la resistencia del concreto se deba no solamente a la resistencia mecánica del agregado sino también, y en grado considerable, a sus características de absorción y adherencia.

En general la resistencia y módulo de elasticidad del agregado dependen de su composición , textura y estructura, así una baja resistencia se puede deber a una debilidad de los granos constituyentes, a que los granos, no obstante de ser suficientemente resistente, no están bien ligados o cementados.

El módulo de elasticidad del agregados aunque se determina rara vez, no deja de tener importancia, ya que el módulo de elasticidad del concreto es más grande a medida que mayor es el módulo de elasticidad de los agregados que lo forman. El módulo de elasticidad del agregado afecta también la magnitud de la deformación diferida y de la contracción que puede presentarse en el concreto.

Para relaciones agua/cemento menores de 0.4 el empleo de agregados triturados ha dado como resultado resistencias hasta 38% superiores que cuando se emplean gravas redondeadas. Con incremento en la relación a/c de 0.65 no se observa diferencias entre las resistencias alcanzadas con agregados triturados o gravas redondeadas.

La influencia del agregado en la resistencia a flexión parece depender también de la condición de humedad del concreto en el momento del ensaye.

El módulo de elasticidad de los agregados afecta también a las siguientes características del concreto.

Módulo de elasticidad.

Resistencia a los cambios por temperatura.

Cambios Volumétricos.

#### **4.3 Influencia de los agregados en la contracción.**

Los agregados restringen la contracción que se puede presentar. El tamaño y la granulometría del agregado por ellos mismos no influyen en la magnitud de la contracción, pero un agregado más grande permite el uso de mezclas más pobres y origina, por lo tanto, una contracción menor.

Similarmente, para una resistencia dada, el concreto de baja trabajabilidad contiene más agregado que una de alta trabajabilidad hecho con agregados del mismo tamaño y, como consecuencia, la primera mezcla presentará una contracción más pequeña.

La presencia de arcilla en el agregado determinan el grado de restricción ofrecido. Por ejemplo los agregados de acero, conducen a una contracción un tercio menor y los agregados de arcilla expandida un tercio mayor que la que permiten los agregados ordinarios.

La presencia de arcilla en el agregado reduce su efecto restrictivo en la contracción y dado que la arcilla misma está sujeta a contracción, la presencia de arcilla en el recubrimiento de los agregados puede incrementar la contracción hasta en un 70%.

El agregado ligero generalmente conduce a contracciones más grandes que el de peso normal, debido principalmente a que el agregado, teniendo un módulo de elasticidad más bajo, presenta menos restricciones a la contracción potencial de la pasta de cemento. Los materiales ligeros que tienen una proporción importante de materiales más pequeños que la malla 200 tienen una contracción aún más grande, dado que la finura conduce a un contenido mayor de vacíos.

#### **4.4 Efecto de los agregados en la deformación diferida.**

En la mayor parte de los casos el agregado de peso normal no está sujeto a deformación diferida, por lo que es razonable suponer que el origen de la deformación diferida está en la pasta de cemento pero los agregados influyen en la deformación diferida del concreto hecho con agregados de diferentes tipos.

El agregado ligero merece atención especial porque la opinión generalizada sugiere que su uso conduce a deformación diferida sustancialmente más alta que la alcanzada con agregado de peso normal. Trabajos recientes indican que no hay diferencia fundamental entre agregado normal y ligero en lo que se refiere a la deformación diferida y que la deformación diferida más alta de los concretos ligeros refleja solamente el módulo de elasticidad más bajo de los agregados. No hay diferencia en el comportamiento inherente al hecho de que los agregados esten o no cubiertos o que sean obtenidos por procesos de manufactura diferente; esto no significa que todos los agregados conducen a la misma deformación diferida.

#### **4.5 Efectos de la granulometría.**

La granulometría de los agregados es decir, los diferentes tamaños de partículas en que se divide el agregado que se usará en la fabricación del concreto es uno de los parámetros fundamentales empleados para la dosificación del mismo, puesto que constituye el esqueleto del concreto, teniendo una gran influencia sobre las siguientes propiedades:

Durabilidad.  
Resistencia a compresión.  
Cambios volumétricos.  
Dosificación.  
Trabajabilidad.  
Bombeabilidad.  
Acabado superficial.  
Oclusión de aire.  
Exsudación

La granulometría de los agregados se valua mediante la obtención de la correspondiente curva granulométrica a partir del cribado del agregado por una serie dada de tamaños de mallas cuya relación de abertura entre dos consecutivos es, generalmente, dos.

#### **4.6 Influencia de los agregados reactivos.**

Los agregados pueden reaccionar con los componentes del concreto con resultados negativos para la calidad de este.

Las más conocidas de estas reacciones son las que ocurren entre los agregados y los álcalis solubles provenientes del cemento y de las adiciones e incluso de los propios agregados, con los álcalis, los agregados pueden tener dos tipos de reacción álcali-silice y la reacción álcali-carbonato.

La reacción álcali-silice puede presentar una expansión en el concreto que puede exceder del 0.5% lineal. Las grietas, producidas por esta expansión presentan una configuración irregular pero característica del fenómeno, acompañada en la superficie de un compuesto blanco y amorfo.

También es común que en la superficie del concreto fracturado, aparezcan los agregados afectados rodeados de una zona oscura que representa la profundidad a que la partícula a sido atacada por los álcalis.

La expansión de la reacción álcali-silice del agregado es causada por el gel producido entre los álcalis del cemento y ciertos minerales silíceos activos como el ópalo, vidrio, calcedonia, cuarzo con fuerte extinción ondulatoria.

Este inchamiento se produce por la inhibición de agua por el gel, es necesario por tanto, además de los álcalis y los minerales silíceos reactivos, la presencia de humedad en el concreto

### **5. PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO.**

El concreto para todas las partes de la obra debe ser de la calidad especificada y debe poderse colocar sin que haya una segregación excesiva. Una vez endurecido, el concreto debe contar con todas las características requeridas por estas especificaciones y por los documentos del contrato.

En los documentos del contrato debe señalarse la resistencia especificada  $f'c$  a la compresión del concreto para cada parte de la estructura. Los requerimientos de resistencia deben tomarse como base a los 28 días después del colado, a menos que se especifique una prueba distinta.

El concreto de peso normal que esté sometido a exposiciones especialmente destructivas como son el congelamiento-deshielo, climas severos o agentes químicos descongelantes debe ser con aire atrapado y adecuarse a los límites de contenido de aire recomendados.

### CONTENIDO TOTAL DE AIRE RECOMENDADOS PARA EL CONCRETO

Tamaño nominal máximo de agregado, mm	Contenido de aire, en porciento		
	Exposición severa	Exposición moderada	Exposición ligera
10	7 1/2	6	4 1/2
12	7	5 1/2	4
19	6	5	3 1/2
25	6	4 1/2	3
38	5 1/2	4 1/2	2 1/2
50	5	4	2
76	4 1/2	3 1/2	1 1/2

Fig. 3 Contenido total de aire para varios tamaños de grava para concretos de peso normal.

El concreto de peso normal para el caso de partes de la estructura que requieren ser impermeables, deben tener una relación agua/cemento que no exceda el 0.5 si va a estar expuesto al agua dulce o de 0.45 si va a estar expuesto al agua de mar. El concreto ligero para tales aplicaciones debe proporcionarse a fin de producir una resistencia a la compresión específica  $f'c$  de al menos 250 Kg/cm<sup>2</sup> si está expuesto al agua dulce y de 280Kg/cm<sup>2</sup> si está expuesto al agua de mar.

Para concretos que se encuentren expuestos a concentraciones dañinas de sulfatos u otros agentes químicos agresivos, deben usarse cementos de tipo II, IV o puzolánicos. Para el concreto de peso normal que se usen en este tipo de aplicaciones, la relación agua/cemento no debe exceder el 0.44 por peso.

Para el concreto presforzado y para todo aquel concreto en que vayan a ahogarse elementos de aluminio o metales galvanizados, debe demostrarse, mediante pruebas que el agua de mezcla, incluyendo aquella proporcionada por los agregados o cualquier aditivo que se utilice, no contiene cantidades dañinas de iones de cloro.

A menos que se especifique o se permita otra cosa, el concreto debe proporcionarse y fabricarse a fin de que tenga un revenimiento de 12 cm. en el caso de requerir un mayor revenimiento como por ejemplo para un concreto bombeable se utilizará un aditivo fluidizante para lograr la consistencia deseada del concreto.

El tamaño máximo del agregado no debe ser de más de una quinta parte de la dimensión más angosta entre los lados de la cimbra, de un tercio de la profundidad de las losas, ni de tres cuartas partes de la separación mínima entre varillas de refuerzo. Estas limitaciones pueden dejarse de lado si, a juicio del ingeniero /arquitecto, la capacidad de trabajo y los métodos de vibración permiten que el concreto pueda ser colocado sin que se provoquen oquedades.

Si se requieren o se permiten, los aditivos a las mezclas que se usen deben sujetarse a las siguientes limitaciones:

Las cantidad de cloruro de calcio no debe exceder el 2 % del cemento. La cantidad de cloruro de calcio puede determinarse de acuerdo al método descrito en el AASHTO T260 o el especificado en las normas mexicanas.NOM.

El método para dosificar el concreto podrá ser cualquiera que brinde la garantía de calidad, resistencia y durabilidad de la mezcla que se esté dosificando, el diseño podrá ser por peso, volúmen o como lo especifique el método utilizado.



## **6. CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.**

Para que tanto las construcciones en que se emplea concreto como su posterior comportamiento resulten satisfactorios, se requiere que el concreto posea ciertas propiedades específicas. El control de calidad y las pruebas son parte indispensable del proceso constructivo porque confirman que se están obteniendo las propiedades antes mencionadas. La experiencia y el buen juicio deberán apoyarse en la evaluación de las pruebas y en la estimación de su importancia con respecto al comportamiento último del concreto.

En general las especificaciones para el concreto y para los materiales que lo componen dan requisitos detallados en cuanto a los límites de su aceptabilidad. Estos requisitos pueden afectar las características de la mezcla, tales como el tamaño máximo del agregado o el contenido mínimo de cemento, las características del cemento, agua, agregados y aditivos; y las características del concreto fresco y del concreto endurecido, como la temperatura, el revenimiento, el contenido de aire o la resistencia a la compresión.

Los cementos se prueban para verificar su conformidad con los estándares establecidos a fin de evitar cualquier comportamiento anormal como lo sería la presencia de endurecimientos, prematuros, fraguados retrasados o resistencias bajas en el concreto.

La prueba de los agregados tiene como objetivos fundamentales: Determinar la adecuación del material para su uso en el concreto, incluyéndose las pruebas de abrasión, sanidad, peso específico, y análisis petrográficos y químicos; Para asegurar la uniformidad, como son las pruebas para el control de humedad y granulometría de los agregados. Algunas pruebas se emplean para ambos propósitos.

Las pruebas para concreto se hacen con la finalidad de evaluar el comportamiento de los materiales disponibles, establecer las proporciones de las mezclas, y controlar la calidad del concreto en el campo incluyen: revenimiento, contenido de aire, peso volumétrico y resistencia se exigen normalmente en las especificaciones de proyecto para el control de calidad, en tanto que la prueba para determinar el peso volumétrico se usa para el proporcionamiento de mezclas

### **6.1 Frecuencia de las pruebas.**

La frecuencia de las pruebas es un factor importante en la efectividad del control de calidad del concreto. La frecuencia de las pruebas de los agregados y del concreto en las instalaciones típicas que trabajan por mezclas dependerá en gran medida de la uniformidad de los agregados, incluyendo su contenido de humedad. Al principio será recomendable realizar las varias veces al día, aunque muchas veces se podrá reducir la frecuencia conforme el trabajo vaya avanzando.

Normalmente las pruebas de humedad se efectúan una o dos veces por día. Por la mañana la primera carga de agregado fino a menudo se encuentra demasiado húmeda porque durante la noche la humedad se desplaza hasta el fondo del depósito de almacenamiento. A medida que el agregado fino se va sacando del fondo, el contenido de humedad se debe estabilizar en un nivel menor y se puede realizar la primera prueba de humedad. Luego de unas cuantas pruebas, los cambios en el contenido de humedad pueden juzgarse con exactitud razonable con la vista y la percepción. Las pruebas subsecuentes normalmente serán necesarios solo cuando un cambio sea aparente a simple vista. Las pruebas de revenimiento deberán efectuarse para la primera mezcla de concreto cada día, siempre que la consistencia del concreto parezca variar, y siempre que se fabriquen cilindros para pruebas a compresión en el sitio

Las pruebas de contenido de aire, deberán hacerse en el punto de entrega con la frecuencia suficiente para asegurarse que el contenido de aire sea el adecuado, particularmente cuando varíen la temperatura y la granulometría del agregado.

Es deseable una prueba de contenido de aire para cada muestra de concreto con la que se fabrique cilindros ;

también se deberá llevar un registro de la temperatura de cada muestra de concreto.

El número de pruebas de resistencia que se haga dependerá de las especificaciones del trabajo y de la ocurrencia de variaciones. Las especificaciones del Reglamento de construcciones para Concreto Reforzado del D.F. , indican que para cada clase de concreto colado por día deberán hacerse pruebas de resistencia no menos de una vez al día, no menos de una vez por cada 115m<sup>3</sup> de concreto, y no menos de una vez por cada 465 m<sup>2</sup> de superficie de losas o muros.

Para cada prueba se requiere tomar la resistencia promedio de 2 cilindros. Se pueden llegar a necesitar especímenes adicionales cuando se trabaja con concretos de alta resistencia o cuando los requerimientos estructurales sean críticos. Los especímenes deberán curarse en el laboratorio las especificaciones pueden exigir que se fabriquen especímenes adicionales y se curen en campo, casi de igual manera que para el concreto en la estructura. Para proporcionar una indicación anticipada del desarrollo de la resistencia, a menudo se elabora y prueba un cilindro a 7 días junto con dos cilindros de prueba a 28 días. Como regla práctica, la resistencia a 7 días aproximadamente es 60 a 75 % de la resistencia a los 28 días dependiendo del tipo y cantidad de cemento, relación agua/cemento, temperatura de curado así como de otras variables.

## 6.2 Pruebas de resistencia

Los especímenes premoldeados para las pruebas de resistencia se deberán elaborar y curar de conformidad con las normas oficiales Mexicanas NOM.

El moldeado de los especímenes para pruebas de resistencia deberá comensar dentro de los quince minutos que siguen a la obtención de la muestra. El espécimen estandar para las pruebas que se determina la resistencia a compresión de concretos con tamaños máximos de agregado de 51mm (2") o menores es un cilindro de 15cm de diámetro por 30cm de altura. para agregados de mayor tamaño, el diámetro del cilindro deberá ser de por lo menos tres veces el tamaño máximo del agregado, y la altura deberá ser el doble del diámetro no obstante que son preferibles los moldes rígidos de metal, se pueden usar moldes de cartón parafinado, plástico, u otros tipos de moldes desechable que satisfagan la NOM. correspondiente. Deberán colocarse sobre una superficie lisa, nivelada y llenarse cuidadosamente para evitar su deformación.

Los cilindros de prueba deberán llenarse en tres capas aproximadamente iguales picando con una varilla cada capa 25 veces para los cilindros de 15 cm. de diámetro; las vigas de flexión de hasta 20 cm de peralte deberán llenarse en dos capas iguales picando con una varilla de 15.9 mm de diámetro una vez cada capa por trece centímetros cuadrados de superficie superior del espécimen. Si la acción con la varilla deja huecos, los lados del molde deberán recibir leves golpes con una maceta o simplemente con la mano. Las vigas con peraltes mayores de 20 cm y los cilindros de 30 a 45 cm de fondo que se vayan a vibrar deberán llenarse en dos capas; las vigas con peraltes de 15 a 20 cm que vayan a vibrar se pueden llenar en una capa los concretos con revenimientos mayores de 7.5 cm. deberán picarse con varilla; los concretos con revenimientos menores de 2.5 cm deberán vibrarse; los concretos con revenimiento entre 2.5 y 7.5 cm se pueden picar con una varilla o vibrar. Los vibradores internos deberán tener un ancho máximo no mayor de un tercio del ancho de las vigas o un cuarto del diámetro de los cilindros. Inmediatamente después del colado, las partes superiores de los especímenes deberán cubrirse con un vidrio o placa de acero aceitada, sellarse con una bolsa de plástico, o sellarse con una cubierta de plástico.

La resistencia de un espécimen de prueba puede afectarse gradualmente con los golpes, con los cambios de temperatura y con la exposición al secado en particular durante las 24 horas después del secado. Así, los especímenes de prueba deberán colocarse en lugares donde sean innecesarios los movimientos subsecuentes y donde se encuentren protegidos. Tanto los cilindros como las vigas de prueba deberán protegerse contra manejos bruscos a cualquier edad.

Los procedimientos normalizados de prueba exigen que los especímenes sean curados bajo condiciones controladas, ya sea en el laboratorio o en el campo. El curado controlado en el laboratorio en un cuarto húmedo o en agua de

cal da una indicación más precisa de la calidad del concreto al ser entregado. Los especímenes curados en el campo junto con la estructura que representan pueden dar una indicación más exacta de la resistencia real del concreto en la estructura en el momento de la prueba, pero dan pocos indicios respecto a que una deficiencias se deba a la calidad del concreto tal como se entrega o a un manejo y curado inadecuados. En algunas obras, se fabrican especímenes curados en campo además de los que reciben curado controlando en el laboratorio, especialmente cuando el clima es desfavorable, para determinar cuando se pueden retirar las cimbras o cuando se pueden poner en uso estructural.

#### Concreto para el Distrito Federal.

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal especifica dos tipos de concretos de acuerdo al tipo de estructura a construir, así como a la importancia del elemento estructuralmente hablando, estos concretos tienen que cumplir especificaciones expuestas en las Normas Técnicas Complementarias del RCDF.

La calidad y proporciones de los materiales componentes del concreto serán tales que se logren la resistencia, deformidad y durabilidad necesarias.

La calidad de los materiales componentes deberán verificarse al inicio de la obra, y también cuando exista sospecha de cambio en las características de los mismos, o haya cambio de las fuentes de suministro, Algunas de las propiedades de los agregados pétreos deberán verificarse con mayor frecuencia como se indica a continuación.

Coefficiente volumétrico de la grava	Una vez por mes
Material que pasa la malla NOM No. 200 en la arena y contracción lineal de los finos en ambos agregados.	Una vez por mes

La verificación de la calidad de los materiales componentes se realizará antes de usarlos, a partir de muestras tomadas en el sitio de suministro o del productor del concreto.

A juicio del corresponsable en Seguridad Estructural, o el Director de Obra, cuando no se requiera corresponsable, en el lugar de esta verificación podrá admitirse la garantía del fabricante del concreto de que los materiales cumplen con los requisitos aquí señalados. Los materiales pétreos grava y arena deberán cumplir con los requisitos de la Nom C 111, con las modificaciones y adiciones indicadas a continuación.

Propiedad	Concreto C1	Concreto C2
Coefficiente volumétrico de la grava, min.	0.20	---
Material más fino que la malla 200 en la arena porcentaje máx. en peso	15	15
Contracción lineal de los finos de los agregados que pasan la malla No.40 a partir del límite líquido	2	3

Los límites anteriores pueden modificarse si se comprueba que con los nuevos valores se obtiene concreto que cumpla con los requisitos de módulo de elasticidad, contracción por secado y deformación diferida establecidos

adelante.

Al concreto fresco se el harán pruebas de revenimiento y peso volumétrico. Estas se harán con la frecuencia que se indica.

Prueba	Premezclado	Hecho en obra.
Revenimiento del concreto Muestreado en obra.	Una vez por cada entrega de concreto	Una vez cada cinco revolturas
Peso volumétrico del concreto fresco, muestreado en obra	Una vez por cada día de colado pero no menos de 20 metros cúbicos	Una vez por cada día de colado.

El revenimiento será el mínimo requerido para que el concreto fluya a través de las barras de refuerzo o para que pueda ser bombeado en su caso, así como para lograr un aspecto satisfactorio. Los concretos que se compacten por medio de vibración tendrán un revenimiento nominal de 10 cm. Los concretos que se compacten por cualquier otro medio diferente al de vibración o se coloquen por medio de bomba tendrán un revenimiento nominal máximo de 12 cm.

Para incrementar los revenimientos antes señalados a fin de facilitar aún más la colocación del concreto, se podrá admitir el uso de aditivos superfluidificantes. La aceptación del concreto en cuanto a revenimiento se hará previamente a la incorporación del mencionado aditivo, comparando con los valores dados en el párrafo anterior, en tanto que las demás propiedades, incluyendo las del concreto endurecido, se determinarán en muestras de concreto que ya lo incluyan.

Esta prueba deberá efectuarse de acuerdo con la norma NOM C 156 y el valor determinado deberá concordar con el especificado con las siguientes tolerancias

Revenimiento cm.	Tolerancia cm
menor de 5	+ / - 1.5
de 5 a 10	+ / - 2.5
mayor de 10	+ / - 3.5

El peso volumétrico del concreto fresco se determinará de acuerdo con la norma NOMC 162. El peso volumétrico del concreto clase 1 será superior a 2200 Kg/m<sup>3</sup> y el de la clase 2 estará comprendido entre 1900 y 2200 Kg/m<sup>3</sup>.

La calidad del concreto endurecido se verificará mediante pruebas de resistencia a compresión en cilindros fabricados, curados y probados de acuerdo con las normas NOM C 159 y NOM C 83, en un laboratorio acreditado por SINALP.

Cuando la mezcla de concreto se diseña para obtener la resistencia especificada a 14 días, las pruebas anteriores se efectuarán a esta edad; de lo contrario, las pruebas deberán efectuarse a los 28 días de edad.

Para verificar la resistencia a compresión, de concreto con las mismas características y nivel de resistencia, se tomará como mínimo una muestra por cada día de colado, pero al menos una por cada cuarenta metros cúbicos de concreto. De cada muestra se fabricará y ensayará una pareja de cilindros.

Para el concreto clase 1, se admitirá que la resistencia del concreto cumple con la resistencia especificada,  $f'c$  si ninguna pareja de cilindros da una resistencia media inferior a  $f'c=35\text{Kg/cm}^2$ , y, además si los promedios de resistencia de todos los conjuntos de tres parejas consecutivas, pertenecientes o no al mismo día de colado, no son menores que  $f'c$ .

Para el concreto clase 2, se admitirá que la resistencia especificada,  $f'c$  si ninguna pareja de cilindros de una resistencia media inferior de todos los conjuntos de tres parejas consecutivas pertenecientes o no al mismo día de colado no son menores que  $f'c = 17 \text{ kg/cm}^2$ .

Cuando el concreto no cumpla con el requisito de resistencia, se permitirá extraer y ensayar corazones, de acuerdo con la norma NOM C 169, del concreto en la zona representada por los cilindros que no cumplieron.

Se probarán tres corazones por cada incumplimiento con la calidad especificada. La humedad de los corazones al probarse debe ser representativa de la que tenga la estructura en condiciones de servicio.

El concreto representado por los corazones se considerará adecuado si el promedio de las resistencias de los tres corazones es mayor o igual que  $0.8 f'c$  y si la resistencia de ningún corazón es menor que  $0.7 f'c$ . Para comprobar que los especímenes se extrajeron y se ensayaron correctamente, se permite probar nuevos corazones de las zonas representadas por aquellos que hayan resistencias erráticas. Si la resistencia de los corazones ensayados no cumple con el criterio de aceptación que se ha descrito, el Departamento del Distrito Federal, puede ordenar la realización de pruebas de carga o tomar otras medidas que juzgue adecuadas.

Previamente al inicio del suministro de concreto, y también cuando haya sospecha de cambio en las características de los materiales componentes, o haya cambio en las fuentes de suministro de ellos, se verificará el concreto que se pretende utilizar cumple con las características de módulo de elasticidad, contracción por secado y deformación diferida especificadas a continuación.

	Concreto clase 1	Concreto clase 2
Módulo de elasticidad a 28 días en $\text{Kg/cm}^2$	$14000\sqrt{f'c}$	$8000\sqrt{f'c}$
Contracción por secado después de 28 días de curado húmedo y 28 días de secado estándar, máx.	0.0005	0.0008
Coefficiente de deformación diferida después de 28 días de carga en condiciones de secado estándar, al 40% de su resistencia, máx	1	1.5

A juicio del Corresponsable en Seguridad Estructural, o del Director de Obra, cuando no se requiera Corresponsable, en lugar de esta verificación podrá admitirse la garantía escrita del fabricante del concreto de que este material cumple con los requisitos antes mencionados.

## **7. REFERENCIAS.**

Steven H, Kosmatka y Willam C. Panarese, 1988. Design and Control of Mixtures, Portland Cement Association.

ACI 301-84, 1988, Specifications for Structural Concrete for Buildings, American Concrete Institute.

ACI SP-2 , 1988, Manual of Concrete Inspection . American Concrete Institute.

Concrete Manual, 8th ed. U.S. Bureau of Reclamation, Denver, revised 1981.

ACI Manual of Concrete of practice, American Concrete Institute , 1981,

Kirt, Raymond E., and Othmer, Donald F., Cement "Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd ed. vol. 5 John Wiley and Sons, Inc. New York, 1979, pages 163-193.

Departamento del Distrito Federal, Reglamento de Construcciones para El Distrito Federal versión 1987.

Departamento del Distrito Federal, Normas Técnicas Complementarias para el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal versión 1987.

Mendoza Escobedo Javier C. , Propiedades Mecánicas de los Concretos Fabricados en el Distrito Federal, Instituto de Ingeniería UNAM. 1987.