

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS

TÍTULO: 02. Materiales para Concreto Hidráulico

CAPÍTULO: 004. Resistencia a la Compresión del Cemento Pórtland

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la resistencia a la compresión simple del cemento Pórtland a que se refiere la Norma N-CMT-2-02-001, *Calidad del Cemento Pórtland*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar la resistencia a la compresión simple de especímenes cúbicos elaborados con un mortero del cemento Pórtland y arenas de características conocidas.

C. REFERENCIAS

Es referencia de este Manual, la norma mexicana NMX-B-231, *Requisitos de las Cribas para Clasificación de Materiales*.

Además, este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad del Cemento Pórtland	N-CMT-2-02-001
Calidad del Agua para Concreto Hidráulico	N-CMT-2-02-003
Secado, Disgregado y Cuarteo de Muestras	M-MMP-1-03
Muestreo de Cemento Pórtland	M-MMP-2-02-001

D. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

D.1. MÁQUINA PARA COMPRESIÓN

Con capacidad para 150 kN (15 295,7 kg) y aproximación de 1kN, equipada con un sistema mecánico, hidráulico, o una combinación de ambos, con control de velocidad de aplicación de carga, sin producir impactos ni pérdidas de carga, que cuente con una placa superior de carga hecha de un bloque de metal endurecido, con asiento esférico y firmemente sujeto al centro de la cabeza superior de la máquina; una placa metálica circular marcadas con dos líneas diametrales perpendiculares entre si sobre su superficie, con una dureza Rockwell mayor de C-55, colocada sobre la platina inferior con el fin de disminuir el desgaste de ésta. Además, la máquina cumplirá con los siguientes requisitos:

- La placa superior será capaz de mantenerse firmemente en contacto con el asiento esférico, pero en condiciones de moverse libremente en cualquier dirección, considerando que el centro de la esfera coincidirá con el centro de la superficie del bloque que esté en contacto con el espécimen.
- La separación entre la placa de apoyo superior y la inferior debe permitir la colocación con comodidad de los especímenes por probar y tendrá capacidad para dar cabida a los dispositivos de verificación de la máquina.
- Las superficies de las placas de apoyo serán perfectamente planas, admitiéndose una tolerancia de $\pm 0,025$ mm, mientras que la diagonal o el diámetro de la placa de carga será ligeramente mayor que la diagonal de la cara del cubo bajo prueba y estará marcada de tal manera que permita centrar éstos con exactitud, aceptándose diámetros comprendidos entre 71 y 74 mm.
- La máquina para compresión, junto con sus aditamentos, contará con certificados de calibración vigente expedido por un laboratorio de calibración debidamente acreditado.

D.2. MEZCLADOR MECÁNICO

Impulsado eléctricamente del tipo epicíclico que imparte un movimiento de traslación y rotación a una paleta colocada en posición vertical dentro de un recipiente, con las dimensiones mostradas en la Figura 1 de este Manual y que contará con:

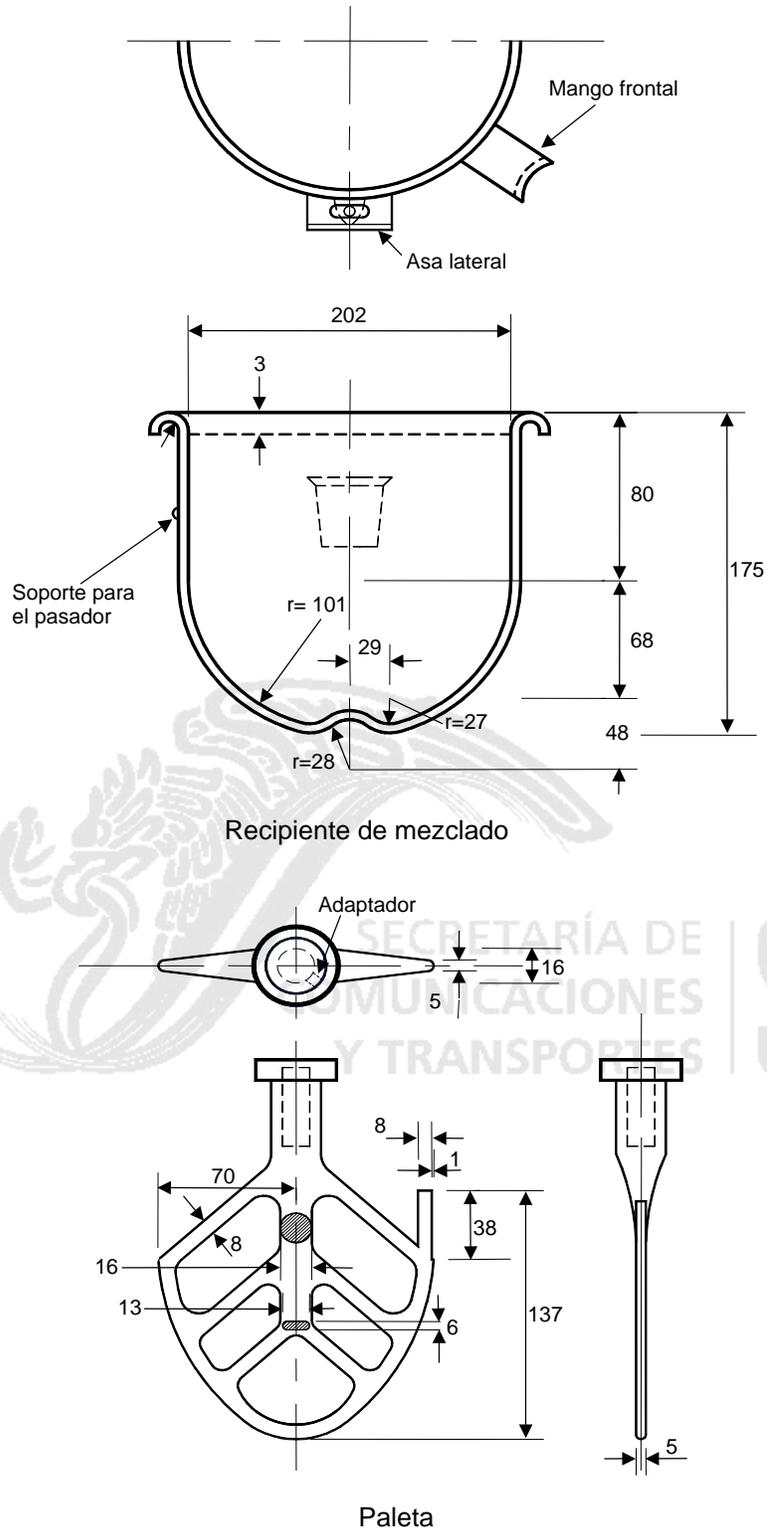
- D.2.1.** Motor eléctrico con una potencia no menor de 124 W ($1/6$ hp), provisto con dos velocidades cuyos cambios se realicen por medio de un dispositivo mecánico que evite pérdidas por fricción, considerando que la velocidad baja se aplica para el giro de la paleta a 140 ± 5 rpm, con un desplazamiento planetario de la paleta de 62 vueltas por minuto aproximadamente, mientras que la velocidad alta se aplica para el giro de la paleta a 285 ± 10 rpm, con un desplazamiento planetario de la paleta de 125 vueltas por minuto aproximadamente.
- D.2.2.** Paleta de acero inoxidable, capaz de ajustarse firmemente al mecanismo del aparato mezclador y fácilmente desmontable para su limpieza; su diseño debe coincidir con el perfil del recipiente, para que durante el movimiento planetario y giratorio de la paleta siempre se conserven las siguientes holguras:
- La distancia entre las aristas laterales de la paleta con las paredes del recipiente en su posición más cercana, considerando el equipo en funcionamiento, será de 0,8 mm a 4 mm.
 - La distancia entre la arista inferior de la paleta y el fondo del recipiente será de 0,8 mm a 2,5 mm.
- D.2.3.** Recipiente de mezclado de acero inoxidable, desmontable del mezclador, con capacidad de 4,73 L, que cuente con dispositivos para ajustarse firmemente al mezclador y tapa resistente a los cementos, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 1 de este Manual.

D.3. MÁQUINA AGITADORA PARA MALLAS

De acción mecánica, activada por un motor eléctrico o manivela de velocidad constante, mediante el cual se transmita un movimiento excéntrico controlado a un plato de soporte, sobre el que se sujeten las mallas en orden descendente. Este equipo es opcional y su empleo depende del procedimiento de cribado seleccionado, de acuerdo con lo indicado en el Inciso E.2.3. de este Manual.

D.4. MALLAS

Metálicas fabricadas con alambre de acero inoxidable o latón de diversos calibres, tejidos en forma de cuadrícula, con abertura determinada conforme a lo indicado en la Tabla 1 de este Manual, montada en un aro de 203,2 mm de diámetro con tapa y fondo.



Acotaciones en mm

FIGURA 1.- Recipiente y paleta de mezclado

D.5. CHAROLAS DE LÁMINA GALVANIZADA

De forma rectangular de 30 x 50 cm con borde tubular de refuerzo y con dos asas, para contener y manipular la arena graduada durante la prueba.

D.6. MOLDES METÁLICOS

Preferentemente de acero inoxidable o de otro material no corrosible, con una dureza en la escala Rockwell no menor de B-55, compuestos por dos piezas con paredes lisas y rígidas para evitar deformaciones; además de una base constituida por una placa de superficie plana y de material no absorbente. Las piezas estarán provistas de ensamble y sujeción firme entre sí y a su vez con la base para evitar fugas o filtraciones.

Las caras interiores de estos moldes deben ser superficies planas que formen cavidades cúbicas de 50 mm por lado, considerando que cada molde no podrá tener más de tres cavidades, además de cumplir con las siguientes holguras:

- La variación máxima en su perfil será de 0,05 mm.
- La distancia entre las caras opuestas será de $50 \pm 0,25$ mm y una altura de 50 mm con una variación máxima de +0,25 mm y de -0,38 mm.
- El ángulo formado entre las caras adyacentes interiores, las del fondo y bordes superiores será de $90 \pm 0,25^\circ$.

D.7. BALANZA

Con una capacidad de 2 000 g y aproximación de 1 g.

D.8. PISÓN

De 13 x 25 mm de sección transversal y de 15 cm de largo, considerando que la cara que se usa para apisonar será plana y en ángulo recto con los cantos de la pieza; estará fabricada con un material no absorbente, no oxidable, no abrasivo ni quebradizo, tal como:

- Hule sintético de una dureza Shore "A" de 80 ± 10 , ó
- Madera de encino desflemada e impermeabilizada mediante inmersión en una solución de pentaclorofenol durante 20 min.

D.9. PROBETAS

De vidrio, con capacidad de 200 a 500 ml y graduación a cada 5 ml como mínimo; los volúmenes para dichas marcas se verificarán a 20°C y en por lo menos en tres cuartas partes de la circunferencia de la probeta.

D.10. CUCHARA DE ALBAÑIL

De acero, de 100 a 150 mm de largo y con extremos rectos.

D.11. ESPÁTULA DE HULE SEMIDURO

De 75 x 50 mm, con forma de cuchillo, adelgazándose longitudinalmente hasta terminar en 2-mm de arista y provista en el extremo contrario de un mango de 150 mm de largo.

D.12. GUANTES

De hule látex.

D.13. ARENA GRADUADA DE CUARZO

De grano redondeado y no pulido, que cumpla con la granulometría indicada en la Tabla 1 de este Manual.

TABLA 1.- Granulometría de la arena para el mortero de prueba

Malla		Granulometría
Designación ^[1]	Abertura mm	Retenido %
40 M	0,149	98 ± 2
20 M	0,297	75 ± 5
14 M	0,420	30 ± 5
10 M	0,595	2 ± 2
5 M	1,190	0

[1] La designación y especificaciones de las cribas que se emplean en esta prueba corresponden a la Norma Mexicana NMX-B-231, *Requisitos de las Cribas para Clasificación de Materiales*.

D.14. AGUA

Potable, de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CMT-2-02-003, *Calidad del Agua para Concreto Hidráulico*.

D.15. LUBRICANTE

Aceite mineral grueso, vaselina o grasa delgada.

D.16. PARAFINA Y BREA

Para sellar los moldes.

E. TRABAJOS PREVIOS

E.1. ALMACENAMIENTO

La arena graduada debe manejarse con cuidado para evitar la segregación. La arena graduada en sacos debe vaciarse y mezclarse con pala o cucharón; si se requiere volver a llenar los sacos, no se deben sacudir para evitar la segregación. Cuando esta almacenada en tolvas, debe cuidarse de no formar montículos o cráteres que ocasionen que las partículas mayores rueden; este mismo cuidado se debe tener al extraerla de los sacos o de la tolva con el cucharón. Las tolvas deben ser de dimensiones suficientes y no se permitirá la extracción por gravedad.

E.2. VERIFICACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA ARENA DE CUARZO

Previo a la ejecución de la prueba, se debe verificar que la arena graduada de cuarzo recibida en el laboratorio cumpla con la granulometría señalada en la Tabla 1 de este Manual, lo cual se realiza de la siguiente manera:

- E.2.1. La arena graduada se extrae de los costales, evitando formar montículos o cráteres que ocasionen la segregación de las partículas mayores; posteriormente se mezcla con pala o cucharón para homogeneizar su granulometría.
- E.2.2. Mediante cuarteos, de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-03, *Secado, Disgregado y Cuarteo de Muestras*, se obtiene una porción de aproximadamente 700 g y de ésta se separan, también por cuarteos, cinco porciones de aproximadamente 100 g cada una.
- E.2.3. Empleando dispositivos mecánicos o mediante un cribado manual, se comprueba la granulometría de cada una de las porciones pasándolas por todas las mallas indicadas en

la Tabla 1. Es importante verificar que durante esta operación las mallas estén limpias y secas.

E.3. PREPARACIÓN DE LOS MOLDES

- E.3.1.** Las superficies de contacto entre las dos mitades que constituyen cada molde, así como sus caras interiores se cubren con una capa delgada de lubricante, que puede ser aceite mineral o grasa delgada.
- E.3.2.** Estas dos piezas se ensamblan y se aseguran, retirando posteriormente el exceso de lubricante de las caras interiores, así como del fondo y parte superior de cada molde.
- E.3.3.** Los moldes ya ensamblados, se colocan y aseguran sobre su placa de base, a la cual se le ha aplicado de antemano una capa delgada del lubricante. A continuación, a fin de asegurar una junta estanca entre el molde y su base, se aplica por la parte externa de la línea de contacto entre ambos moldes, una mezcla de tres partes de parafina y cinco de brea, medidas en masa, considerando que:
- Para poder colocar satisfactoriamente la mezcla de parafina y brea, ésta se calienta a una temperatura de 110 a 120°C.
 - Para facilitar la formación de la junta estanca, se podrá aplicar también un ligero calentamiento al molde y a su base antes de colocar la mezcla de parafina y brea en su unión, dejando enfriar los moldes hasta que alcancen una temperatura entre 20 y 27°C, antes de usarlos.
 - Debido a su baja resistencia, la mezcla de parafina y brea sólo debe usarse cuando el molde esté sujeto a la base por medios mecánicos, considerando que su uso únicamente se permite si asegura un sellado estanco.

E.4. VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO

Antes de iniciar la preparación de la muestra o la ejecución de la prueba es necesario que:

- E.4.1.** La temperatura ambiente del laboratorio, así como la de los materiales secos (cemento y arena) y del equipo, esté entre 20 y 27°C.
- E.4.2.** La temperatura del agua para la mezcla, la del cuarto de curado o cámara húmeda y la del agua del tanque de almacenamiento de los cubos sea de $23 \pm 2^\circ\text{C}$.
- E.4.3.** La humedad relativa del ambiente del laboratorio no sea menor de 50%, mientras que la del cuarto de curado o cámara húmeda sea mayor de 95%.

F. PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES DE PRUEBA

La preparación de los especímenes de prueba, fabricados con arena graduada, agua potable y el cemento obtenido, según se establece en el Manual M-MMP-2-02-001, *Muestreo de Cemento Pórtland*, se hace de la siguiente manera:

F.1. PROPORCIONAMIENTO DEL MORTERO

- F.1.1.** La proporción en masa de los materiales secos para elaborar el mortero estándar es de 1 parte de cemento por 2,75 de arena graduada, usando una relación agua-cemento de 0,485 para todos los tipos de cemento Pórtland.
- F.1.2.** Las cantidades necesarias de materiales secos que deben mezclarse al mismo tiempo, para elaborar seis o nueve cubos de mortero, son las que se muestran en la Tabla 2 de este Manual, considerando que el número de cubos para cada edad especificada de prueba es como mínimo de tres.

TABLA 2.- Cantidades de materiales

Materiales	Número de cubos	
	6	9
Cemento	500	740
Arena graduada	1 375	2 035
Agua	242	359

Unidades en g

F.2. MEZCLADO DEL MORTERO

Una vez definido el proporcionamiento, se procede a elaborar la pasta en el mezclador mecánico, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- F.2.1.** Se coloca la olla y la paleta en posición de mezclado, ambas piezas estarán secas y limpias; se vierte el agua considerada para la prueba dentro de la olla y se agrega la muestra de cemento; se pone en funcionamiento el mezclador en velocidad baja durante 30 s, periodo en el cual se agrega lentamente la arena graduada, vertiéndola con el mezclador en funcionamiento.
- F.2.2.** Se detiene por un instante el mezclador y enseguida se pone en marcha a velocidad alta durante 30 s más, tiempo después del cual se detiene definitivamente.
- F.2.3.** Se deja reposar la mezcla por 90 s, durante los cuales el mortero adherido a las paredes de la olla se desprende hacia abajo con la espátula de hule. Esta acción se ejecuta en un lapso máximo de 15 s; inmediatamente después se tapa la olla hasta completar los 90 s del periodo de reposo.
- F.2.4.** Finalmente se destapa la olla y se pone nuevamente en funcionamiento el mezclador a velocidad alta durante 60 s, después de los cuales el mortero está preparado.

F.3. PREPARACIÓN DE LOS CUBOS

La preparación de los cubos se empezará dentro de un tiempo no mayor de 150 s después de terminado el mezclado inicial del mortero y de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- F.3.1.** Se deposita en cada compartimento una capa de mortero de aproximadamente 25 mm de espesor, compactándola con el pisón 32 veces en aproximadamente 10 s. Esta compactación se efectúa mediante cuatro ciclos de ocho golpes adyacentes repartidos sobre la superficie de mortero, aplicando cada ciclo en dirección perpendicular con respecto a la anterior, tal como se muestra en la Figura 2 de este Manual, completando los 32 golpes a un compartimento antes de continuar con el siguiente.
- F.3.2.** Terminada la primera capa, se procede a llenar los moldes con el mortero sobrante, compactándolo en la forma descrita en el Inciso anterior. Durante esta segunda compactación, con las manos cubiertas con los guantes de hule, se reintegra al molde el mortero que sobresale después de cada ciclo de apisonado, antes de continuar con el ciclo siguiente.
- F.3.3.** Concluido el último ciclo de compactación, el mortero sobresaliente se extiende suavemente con la cuchara de albañil, aplanando y regresando al interior el mortero que se encuentra en los bordes. Finalmente se enrasa la superficie en relación al borde superior del molde, pasando la cuchara una sola vez con una posición ligeramente inclinada, eliminando los excesos mediante un corte con la orilla de la cuchara.

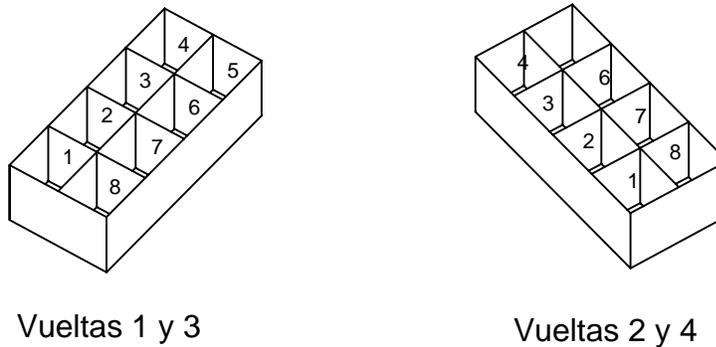


FIGURA 2.- Orden de compactación durante el moldeo de los cubos

F.4. ALMACENAMIENTO DE LOS CUBOS

Inmediatamente después de la elaboración de los cubos, éstos se colocan dentro del cuarto de curado o cámara húmeda, registrando la fecha y la hora, con su cara superficial expuesta pero cubierta del eventual goteo directo. Los cubos deben permanecer en los moldes un lapso de 20 a 24 h, período después del cual se retiran del molde, para sumergirlos en agua limpia, dentro de los tanques de almacenamiento, donde permanecerán hasta el momento de la prueba. Durante esta operación, el agua de los tanques se mantendrá limpia, renovándola cada 72 h.

F.5. VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS CUBOS

Antes de su empleo, se eliminan los cubos que presenten defectos, es decir, los que por diversas causas se considere que no cumplen con las características necesarias para obtener resultados confiables, considerando los siguientes casos:

- F.5.1. Los cubos con defectos visibles como fisuras, malformaciones o desportilladuras sufridas al retirarlos del molde, podrán ser ensayados y considerados siempre que su resistencia a la compresión no sea menor de 10% del valor medio obtenido con los cubos sin defectos, hechos de la misma muestra y ensayados a la misma edad. En caso contrario el resultado obtenido con ellos no debe ser considerado.
- F.5.2. Si por diversas causas durante una prueba para la determinación de la resistencia a la compresión para una misma edad, son rechazados todos los cubos o casi todos, quedando sólo el valor obtenido en uno de ellos, se deberá preparar otra muestra para efectuar la prueba.
- F.5.3. En el caso de encontrar oquedades en un cubo por causa de aire atrapado en el interior, siendo visibles las oquedades en el exterior, se obtiene su resistencia a la compresión; si este valor es menor de 10% del valor medio obtenido con los cubos sin defectos, hechos de la misma muestra y ensayados a la misma edad, se rechaza y no debe ser considerado.

G. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

G.1. EDAD A LA QUE SE ENSAYAN LOS CUBOS

Cuando se cumpla la edad estipulada para efectuar la prueba de cada grupo de cubos, de acuerdo con lo indicado en la Tabla 3 de este Manual, éstos se retirarán del cuarto de curado o cámara húmeda o en su caso de los tanques de almacenamiento para someterlos a prueba inmediatamente, considerando las tolerancias indicadas en la misma Tabla 3, medidas a partir del momento en que se retiraron los cubos del sistema de curado.

TABLA 3.- Edades y tolerancias de tiempo para los cubos que serán sometidos a la prueba de compresión

Edad del cubo	Tiempo de tolerancia
24 horas	± 30 min
3 días	± 1 h
7 días	± 3 h
28 días	± 12 h

G.2. CUIDADO DE LOS CUBOS DURANTE LA PRUEBA

Para la prueba efectuada a las 24 h, se extraen los cubos, del sistema de curado, se cubren con un trapo húmedo hasta el momento de su prueba; mientras que para las edades subsecuentes, los cubos se sumergen en agua a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$, contenida en un recipiente con la capacidad suficiente para que el agua los cubra totalmente.

G.3. EJECUCIÓN DE LA PRUEBA

- G.3.1.** Se seca cada cubo superficialmente, quitándole los granos de arena y las incrustaciones de las caras que estarán en contacto con las placas de la máquina, siendo estas caras las que estuvieron en contacto con las paredes verticales de los moldes durante el fraguado del mortero. Es muy importante señalar que las caras de los cubos deberán de estar perfectamente planas ya que no se permite el uso de materiales elásticos o de cabeceo para esta prueba.
- G.3.2.** El cubo se coloca en la placa inferior de la máquina de compresión, centrándolo respecto a la placa superior de la misma para evitar fracturas oblicuas ocasionadas por el movimiento lateral de una de las placas de la máquina al aplicar la carga.
- G.3.3.** En especímenes cuya carga máxima esperada sea inferior a 13,7 kN (1 400 kg), se ajusta la velocidad de aplicación de la carga, de manera que ésta se aplique ininterrumpidamente hasta la ruptura del cubo, a una velocidad tal que la carga máxima se logre en un tiempo mayor de 20 s y menor de 80 s. No podrá hacerse ningún ajuste a los controles de la máquina de compresión cuando un cubo ceda con rapidez antes de la ruptura.
- G.3.4.** En especímenes cuya carga máxima esperada sea superior a 13,7 kN (1 400 kg), se aplica una carga inicial, a cualquier velocidad conveniente, hasta el 50% de la carga máxima esperada y posteriormente se ajusta la velocidad de aplicación de la carga remanente, de manera que ésta se aplique ininterrumpidamente hasta la ruptura del cubo, tomando en cuenta las mismas consideraciones descritas en el Inciso anterior.
- G.3.5.** Finalmente, se registra como P_{max} en N, la carga máxima indicada por la máquina.

H. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se calcula y reporta como resultado de la prueba, la resistencia promedio a la compresión obtenida de un grupo de cubos sin defectos o que cumplan con lo indicado en la Fracción F.5. de este Manual, elaborados de la misma muestra y probados a la misma edad; la resistencia de cada cubo se determina utilizando la siguiente expresión:

$$R = \frac{10P_{m\acute{a}x}}{A}$$

En donde:

R = Resistencia a la compresión, (MPa)

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima, (kN)

A = Área de la sección transversal del cubo, (cm²). Se considera como 25 cm², pero en el caso que ésta varíe en más de 0,3 cm², se utilizará el área real

I. PRECAUCIONES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

- I.1. Realizar la prueba en un lugar cerrado que permita mantener la temperatura estable y la humedad especificada, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire que puedan provocar la pérdida de agua de las muestras de prueba.
- I.2. Verificar que todo el equipo esté perfectamente limpio, para que al hacer la prueba los materiales no se mezclen con agentes extraños que alteren el resultado, teniendo especial cuidado en:
 - Eliminar todos los residuos de parafina y brea utilizada para sellar los moldes.
 - Verificar que antes de utilizar el mezclador mecánico, esté seco en todas sus partes (olla, paleta y base con motor), para que al colocar las muestras de prueba no se adhieran en los elementos del equipo.
- I.3. Comprobar que la máquina de compresión esté bien calibrada y sin fugas en su sistema de medición.
- I.4. Verificar que la prueba se realice únicamente si las muestras de cemento por ensayar y la arena graduada están a la misma temperatura que el cuarto de laboratorio.
- I.5. Verificar que durante la preparación de los cubos de prueba, el apisonado se efectúe con particular precaución para evitar especímenes defectuosos. Así mismo, evitar la aplicación de un mayor número de golpes a lo estipulado en este Manual para prevenir la segregación de los materiales.
- I.6. Comprobar que la placa con asiento esférico esté en condiciones de moverse libremente antes de la prueba de cada cubo.
- I.7. Tener cuidado de colocar el cubo en el centro de la placa superior de la máquina de compresión, para evitar fracturas oblicuas ocasionadas por movimiento lateral de una de las placas de la máquina al aplicar la carga.

J. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS

NORMA	DESIGNACIÓN
Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cementantes Hidráulicos	NMX-C-061-1976