

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS

TÍTULO: 02. Materiales para Concreto Hidráulico

CAPÍTULO: 038. Efectividad de Aditivos Minerales para Evitar una Expansión Excesiva del Concreto

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la efectividad de la puzolana como aditivo mineral para evitar una expansión excesiva del concreto, a que se refiere la Norma N·CMT·2·02·002, *Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico*, en muestras tomadas conforme al Manual M·MMP·2·02·019, *Muestreo de Agregados Pétreos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar la expansión de un mortero hecho con cemento Pórtland de alto contenido de álcalis, puzolana como aditivo mineral y vidrio de borosilicato como agregado. La prueba consiste en fabricar especímenes con una mezcla de control sin aditivo mineral y especímenes con una mezcla de prueba con aditivo mineral; en ambos, se mide sus expansiones y se obtiene la diferencia entre ellas lo cual permite determinar la efectividad del aditivo mineral para inhibir la expansión excesiva del concreto.

C. REFERENCIAS

Es referencia de este Manual, la norma ASTM·C1437-15, *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*, publicada por ASTM International, en EUA, en el año 2015.

Además, este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUAL	DESIGNACIÓN
Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico	N·CMT·2·02·002
Calidad del Agua para Concreto Hidráulico	N·CMT·2·02·003
Muestreo de Agregados Pétreos	M·MMP·2·02·019

D. INSTALACIONES, EQUIPO Y MATERIALES

D.1. INSTALACIONES

Las instalaciones donde se realice la prueba contarán con:

- D.1.1.** Cuarto de curado o cámara húmeda con temperatura controlable a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad relativa mayor de 95 %.
- D.1.2.** Cuarto de almacenamiento con temperatura controlable donde permanezcan los especímenes de control y de prueba en sus contenedores a $38 \pm 2^\circ\text{C}$.

D.2. 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 su fecha de caducidad.

D.2.1. Balanza

Con capacidad mínima de 2 000 g y una aproximación de 0,1 g.

D.2.2. Moldes

D.2.2.1. Preferiblemente sencillos o dobles, de acero o cualquier otro material metálico resistente a la acción de la mezcla de mortero, que permitan obtener especímenes de control y de prueba prismáticos de sección cuadrada. Los moldes tendrán las dimensiones mostradas en la Figura 1 de este Manual.

D.2.2.2. Las paredes de los moldes serán planas, lisas, libres de ralladuras y una vez ensamblado el molde, el conjunto será lo suficientemente rígido a fin de prevenir deformaciones o derrames.

D.2.2.3. Cada extremo del molde tendrá un sujetador que permita colocar los pernos de referencia durante el tiempo de fraguado, cuidando que al momento de colocar los pernos en el sujetador su eje longitudinal coincida con el eje longitudinal del molde. Los pernos de referencia serán fabricados en acero inoxidable AISI Tipo 316 o de cualquier otro material resistente a la corrosión que tenga una dureza similar.

D.2.2.4. Los pernos de referencia penetrarán a los especímenes de control y de prueba hasta $17,5 \pm 0,5$ mm, con una distancia entre los extremos interiores de los pernos de $250 \pm 2,50$ mm medida a lo largo del eje longitudinal del molde, como se muestra en la Figura 1 de ese Manual.

D.2.3. Comparador de longitud

Capaz de realizar una medición precisa y rápida de la longitud de los especímenes de control y de prueba, con las siguientes características:

D.2.3.1. Contará con un micrómetro electrónico o de barril de alta precisión. El micrómetro de barril tendrá una carátula graduada que permita leer unidades de 0,001 ó 0,002 mm y aproximación de $\pm 0,002$ mm en cualquier rango de 0,020 mm y aproximación de $\pm 0,004$ mm en cualquier rango de 0,200 mm. Si el micrómetro es electrónico, contará con una pantalla que muestre las lecturas obtenidas con las aproximaciones ya mencionadas.

D.2.3.2. Terminales planas, pulidas y tratadas con calor que se ajusten con los extremos de los especímenes de control y de prueba para garantizar mediciones reproducibles de la longitud. Si el dispositivo de medición es un micrómetro de barril, éste tendrá un tope con retén que produzca una presión constante sobre el espécimen.

D.2.3.3. El rango de medición tendrá un recorrido de al menos de 8,0 mm que permita medir con precisión las longitudes de los especímenes de control y de prueba, así como las diferencias entre las longitudes de distintos especímenes.

D.2.3.4. Una barra de referencia de aleación de acero con un coeficiente de expansión térmica no mayor de $2,0 \times 10^{-6}$ °C, de 295 ± 3 mm. Además, contará con una marca cerca de uno de sus extremos que permita determinar su posición cuando sea colocada en el comparador de longitud.

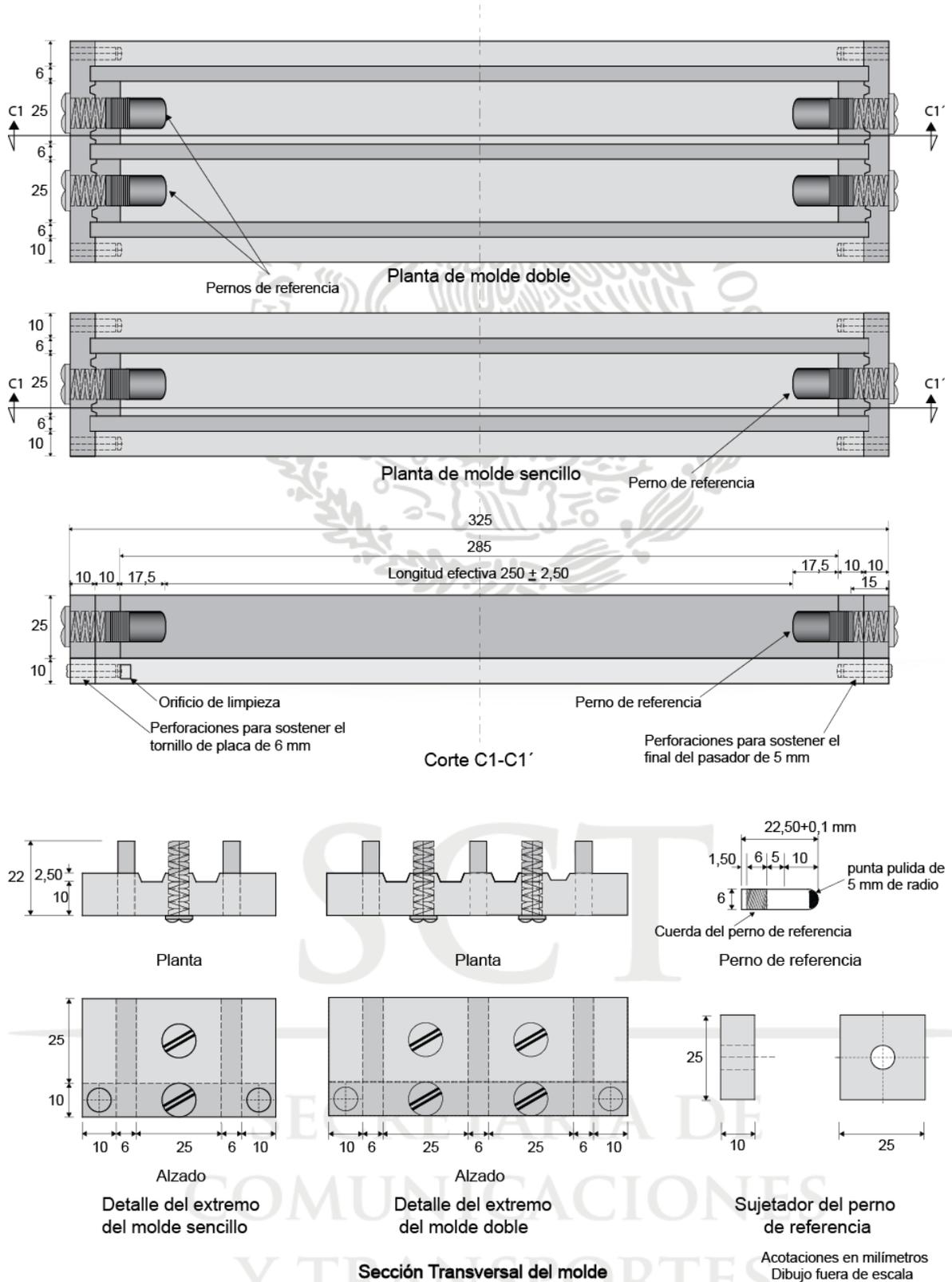


FIGURA 1.- Moldes

D.2.4. Juego de mallas

Fabricadas con alambre de bronce o de acero inoxidable de diversos calibres, tejidos en forma de cuadrícula, con las aberturas indicadas en la Tabla 1 de este Manual. El tejido estará sostenido mediante un bastidor circular metálico, de lámina de bronce o de latón, de 206 ± 2 mm de diámetro interior y de 68 ± 2 mm de altura, sujetando la malla rígida y firmemente mediante un sistema de engargolado de metales, a una distancia de 50 mm del borde superior del bastidor.

TABLA 1.- Juego de mallas

Unidades en mm

Malla		Variación permisible de la abertura promedio con respecto a la denominación de la malla	Abertura máxima permisible para no más del 5% de las aberturas de la malla	Abertura máxima individual permisible	Diámetro nominal del alambre ^[1]
Designación	Abertura nominal				
N°4	4,75	$\pm 0,15$	5,02	5,14	1,54
N°8	2,36	$\pm 0,08$	2,515	2,60	1,00
N°16	1,18	$\pm 0,45$	1,270	1,330	0,650
N°30	0,600	$\pm 0,025$	0,660	0,695	0,390
N°50	0,300	$\pm 0,014$	0,337	0,363	0,215
N°100	0,150	$\pm 0,008$	0,174	0,192	0,110

[1] El diámetro promedio de los alambres que forman cualquier malla no variará de los valores nominales en 5% para mallas con aberturas mayores de 0,6 mm y 7,5% para mallas con aberturas de 0,6 mm a 0,125 mm.

D.2.5. 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 y que contará con:

- D.2.5.1.** Motor eléctrico con una potencia no menor de 124 W ($\frac{1}{6}$ hp), provisto con dos velocidades cuyos cambios se realicen por medio de un dispositivo mecánico que evite pérdidas por fricción, considerando que en la velocidad baja se aplica un movimiento de traslación de la paleta de 140 ± 5 r/min, con un desplazamiento rotacional de 62 r/min aproximadamente, mientras que la velocidad alta se aplica un movimiento de traslación de la paleta de 285 ± 10 r/min, con un desplazamiento rotacional de 125 r/min aproximadamente
- D.2.5.2.** Adaptador de posición como el mostrado en la Figura 2 de este Manual, que se usa cuando el tazón está en posición de mezclado, para mantener entre el extremo inferior del agitador y la superficie del tazón, un espacio libre comprendido entre 5 y 6 mm.
- D.2.5.3.** Paleta mezcladora de acero inoxidable, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 3 de este Manual, capaz de ajustarse firmemente al mecanismo del aparato mezclador y fácilmente desmontable para su limpieza; su diseño coincidirá con el perfil del recipiente, para que durante el movimiento de traslación y rotación 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 a 4 mm.
 - La distancia entre la arista inferior de la paleta y el fondo del recipiente será de 0,8 a 2,5 mm.

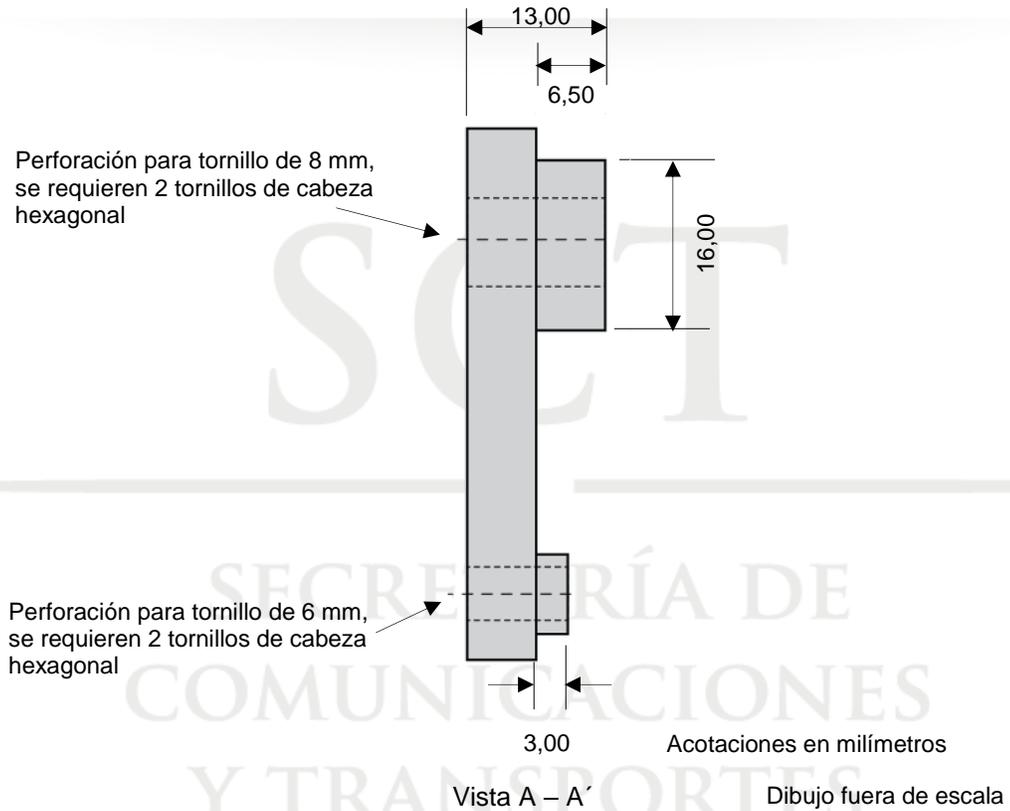
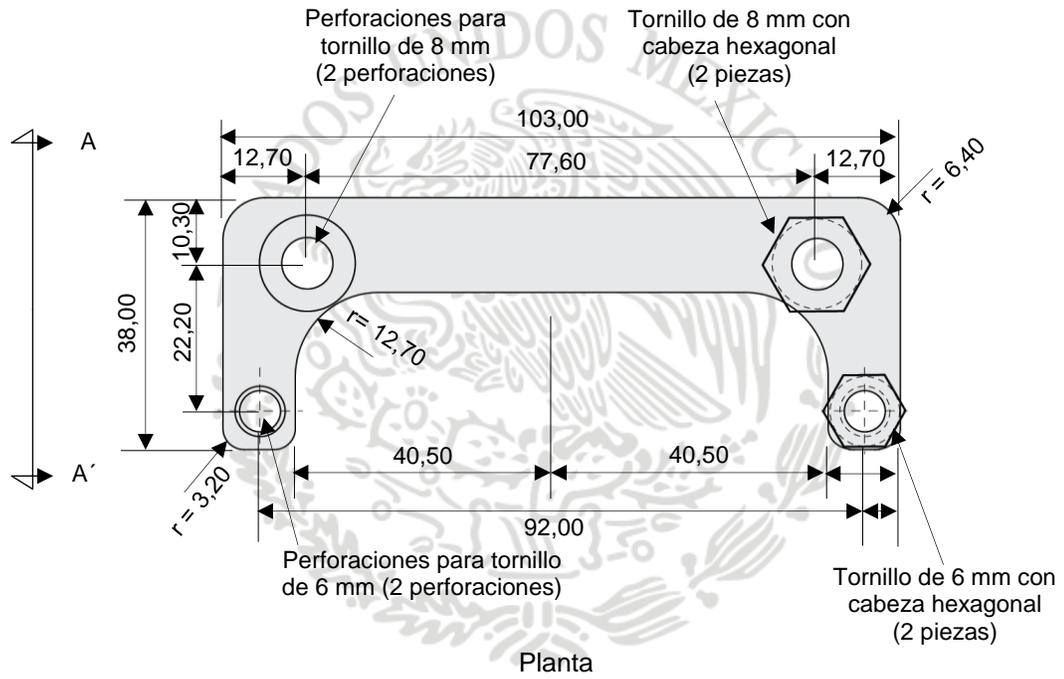


FIGURA 2.- Adaptador de posición

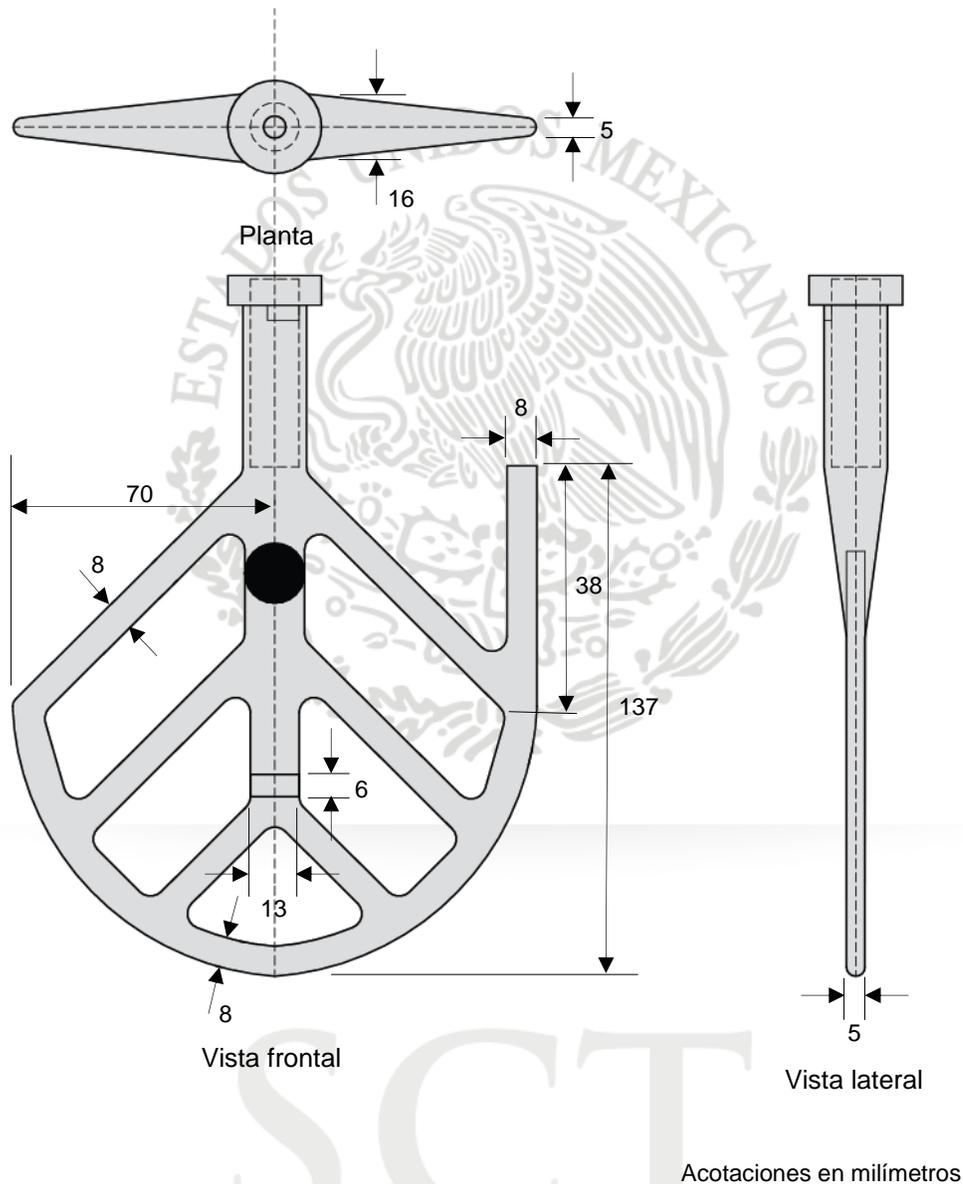


FIGURA 3.- Paleta mezcladora

D.2.5.4. 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 de un material no absorbente, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 4 de este Manual.

D.2.6. Apisonador

De 13 x 25 mm de sección transversal y una longitud entre 120 y 150 mm, considerando que la cara que se usa para apisonar será plana y en ángulo recto con los cantos de la pieza; 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 desflepada e impermeabilizada mediante inmersión en una solución de pentaclorofenol durante 20 min o en parafina durante 15 min a temperatura de 200°C.

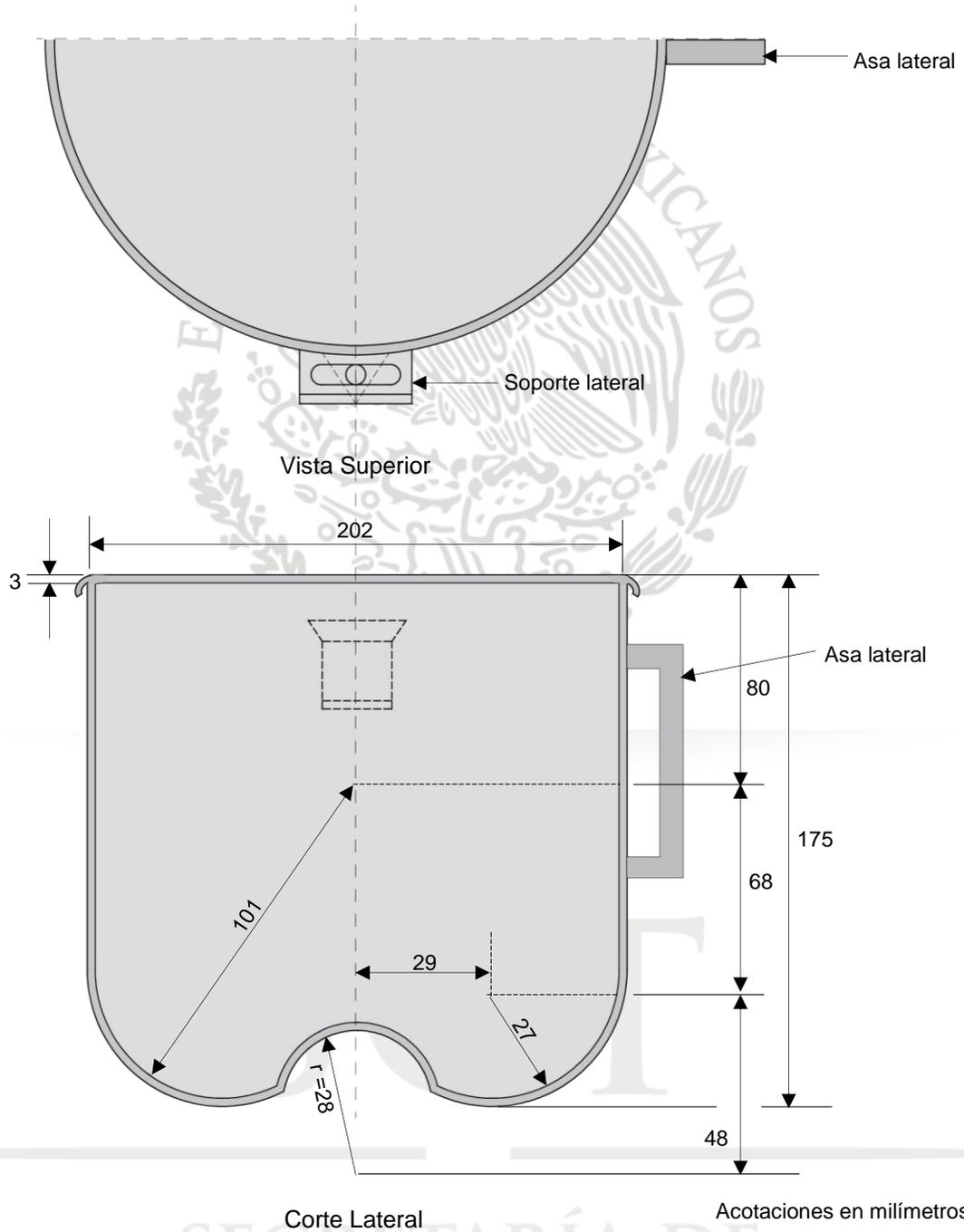


FIGURA 4.- Recipiente de mezclado

D.2.7. Probetas

Para medir la cantidad de agua por agregar a la mezcla, 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.

D.2.8. Espátula

Con cuchilla de acero de 100 a 150 mm de longitud, con bordes rectos.

D.2.9. Contenedor

Para mantener los especímenes de control y de prueba almacenados durante la prueba, con las siguientes características:

- D.2.9.1.** Fabricado con acero galvanizado o inoxidable, o plástico y cuyas paredes sean de hasta 6 mm de espesor a fin de reducir los efectos del aislamiento y permitan la transferencia rápida de calor durante los 14 días iniciales del periodo de prueba. Además, tendrá una tapa que permita un sello resistente y hermético con la parte superior de las paredes del contenedor, el cual podrá hacerse con una capa doble de cinta de vinilo de 38 mm de ancho colocada en todo el perímetro del contenedor y de la tapa, que evite la pérdida de humedad.
- D.2.9.2.** Las caras internas y, en su caso, el núcleo central del contenedor, estarán forrados, desde 5 mm arriba de la superficie del agua que se vierte en el fondo del contenedor hasta la parte superior de los especímenes de control y de prueba, con material absorbente como papel filtro o papel secante que regule la absorción de humedad y permita asegurar que la atmósfera dentro del contenedor se sature rápidamente con el vapor del agua tan pronto se cierre el contenedor con los especímenes adentro.
- D.2.9.3.** Dos bastidores internos, metálicos y resistentes a la corrosión. Uno para soportar a los especímenes de control y de prueba en posición vertical cuya cara inferior se encuentre aproximadamente a 25 mm por encima de la superficie del agua en el fondo del contenedor; y otro fabricado preferiblemente con alambre de bronce que permita el libre flujo del vapor de agua dentro del contenedor y mantenga los especímenes a una distancia no mayor de 30 mm del material absorbente, permitiendo que todas las caras de los especímenes queden expuestas a la humedad dentro del contenedor en las mismas condiciones y no se toquen entre sí.

D.2.10. Material absorbente

Para regular la humedad dentro del contenedor, como papel filtro o papel secante.

D.2.11. Lubricante

Aceite mineral.

D.2.12. Vernier o calibrador

Provisto de pantalla digital o con carátula graduada, con un rango de medición de al menos 300 mm y una aproximación de 0,001 mm.

D.2.13. Vidrio de borosilicato

Aproximadamente 3 000 g, compuesto de 81% de óxido de silicio (SiO_2) y 13% de anhídrido bórico (B_2O_3), granulado y que cumpla con la composición granulométrica indicada en la Tabla 2 de este Manual. Puede utilizarse vidrio tipo Pyrex No. 7740 molido siempre que cumpla con la granulometría antes mencionada.

TABLA 2.- Composición granulométrica del vidrio de borosilicato para las mezclas de morteros de control y de prueba

Pasa la malla		Retenido en la malla		Masa g (%)
Abertura mm	Designación	Abertura mm	Designación	
4,75	N°4	2,38	N°8	180 (10)
2,38	N°8	1,18	N°16	450 (25)
1,18	N°16	0,600	N°30	450 (25)
0,600	N°30	0,300	N°50	450 (25)
0,300	N°50	0,150	N°100	270 (15)
Masa total para la prueba				1 800 (100)

D.2.14. Cemento con alto contenido de álcalis

Aproximadamente 700 g, Tipo CPO (cemento Pórtland ordinario), que contenga entre 0,95% y 1,05% de álcalis totales expresados como porcentaje de óxido de sodio equivalente ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0,658 \text{ K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$).

D.2.15. Puzolana

La necesaria, de acuerdo con el proporcionamiento indicado en el Párrafo F.1.1.2. de este Manual.

D.2.16. Agua

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

D.2.17. Cucharón

De acero galvanizado de 20 cm de largo, 11 cm de ancho y 10 cm de altura, formando un cajón rectangular con cuatro caras, cuya cara menor tenga un mango metálico de sección circular de 13 cm de largo.

D.2.18. Charolas

De lámina galvanizada, con forma rectangular de aproximadamente 40 x 70 x 20 cm.

D.2.19. Termómetro

Calibrado, con un rango de 0 a 40°C y aproximación de 0,5°C.

D.2.20. Marcador

De tinta indeleble resistente al agua.

D.2.21. Horno

Eléctrico o de gas, con capacidad suficiente para contener la muestra, con termostato capaz de mantener una temperatura constante de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

E. TRABAJO PREVIOS

E.1. CONDICIONES AMBIENTALES DE LAS INSTALACIONES

Antes de iniciar la ejecución de la prueba es necesario verificar que el laboratorio donde se realice tenga una temperatura ambiente entre 20 y 27,5°C y una humedad relativa mayor de 50 %, y que los cuartos de curado y de almacenamiento cumplan con lo indicado en la Fracción D.1. de este Manual.

E.2. VIDRIO DE BOROSILICATO

Previo a la ejecución de la prueba, el vidrio de borosilicato recibido en el laboratorio se criba por las mallas indicadas en la Tabla 2 de este Manual; el material retenido en cada una se lava para eliminar el polvo adherido y las partículas pequeñas, se seca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y de cada tamaño se toman las masas señaladas en dicha Tabla para obtener 1 800 g de vidrio que cumpla con la composición granulométrica señalada en la misma Tabla.

E.3. PREPARACIÓN DE LOS MOLDES

Se preparan los moldes de los especímenes de control y de prueba de la siguiente manera:

- E.3.1. Con objeto de evitar fugas de agua, se cubren o sellan las juntas de los moldes por su cara exterior. Una manera de realizar el sellado es utilizando una mezcla compuesta de 3 partes de parafina y 5 partes de brea, en masa, las cuales se mezclan en caliente a una temperatura de 110 a 120°C, la mezcla se deja enfriar hasta que tenga la consistencia necesaria para poder ser utilizada. Puede usarse otro material para asegurar el sello, siempre que las condiciones de la prueba no se alteren.
- E.3.2. Se cubren las caras interiores del molde con lubricante y se fijan los pernos de referencia al molde, teniendo precaución de que al momento de la colocación de estos en el sujetador se encuentren limpios y libres de aceite, grasa o cualquier otra sustancia. Además, cuidando que el eje longitudinal de los pernos coincida con el eje longitudinal del molde.
- E.3.3. Con un vernier o calibrador se mide la distancia entre los extremos interiores de los pernos de referencia a lo largo del eje longitudinal del molde y se registra como la longitud efectiva, LCe_i y LPe_i en mm, respectivamente para los especímenes de control y de prueba.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

F.1. ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES

En el mismo día se elaborarán 3 especímenes de control y 3 de prueba con los morteros de control y de prueba respectivamente. La preparación de los especímenes se hace de la siguiente manera:

F.1.1. Proporcionamiento del mortero

Las cantidades requeridas para cada tipo de mezcla de mortero son las siguientes:

F.1.1.1. Proporcionamiento para mortero de control

Para elaborar la mezcla de mortero de control se requieren 400 g de cemento Pórtland de alto contenido de álcalis y 900 g de agregado de vidrio de borosilicato obtenido como se indica en la Fracción E.2. de este Manual.

F.1.1.2. Proporcionamiento para mortero de prueba con puzolana

Para elaborar la mezcla de mortero de prueba con puzolana se requieren 300 g de cemento Pórtland de alto contenido de álcalis, 900 g de agregado de vidrio de borosilicato obtenido como se indica en la Fracción E.2. de este Manual. La cantidad de puzolana necesaria para la mezcla de mortero de prueba se determina utilizando la siguiente expresión:

$$W_p = 100 \times \frac{\gamma_p}{\gamma_c}$$

Donde:

W_p = Masa de la puzolana, (g)

γ_p = Masa volumétrica de la puzolana, (kg/m³)

γ_c = Masa volumétrica del cemento Pórtland, (kg/m³)

- F.1.1.3.** Para los morteros de control y de prueba la cantidad de agua para las mezclas en mL, será tal que produzca una fluidez comprendida entre 100 y 115 % determinada de acuerdo con el procedimiento establecido en la norma ASTM C1437-15, *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*. La cantidad de agua añadida a la mezcla se mide utilizando la probeta y se expresa en porcentaje de masa de cemento.

F.1.2. Mezclado del mortero

Una vez definido el proporcionamiento del mortero para cada caso, se mezclan los materiales de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- F.1.2.1.** Antes del mezclado del mortero se verifica que la temperatura del material seco y del cemento sea de 20 a 27,5°C, y que la temperatura del agua que se emplee sea de 23 ± 2°C.
- F.1.2.2.** Se coloca el recipiente de mezclado y la paleta mezcladora en posición de mezclado dentro del mezclador mecánico, ambas piezas estarán secas y limpias. Se vierte el agua considerada para la mezcla dentro del recipiente de mezclado, para el mortero de control se agrega el cemento o, para el mortero de prueba, se agrega el cemento y la puzolana previamente mezclados. Se pone el mezclador mecánico en funcionamiento a una velocidad de 140 ± 5 r/min durante 30 s; pasado ese tiempo, se agrega lentamente el vidrio de borosilicato seco a la mezcla y se continúa mezclándolo durante otros 30 s.
- F.1.2.3.** Se detiene por un instante el mezclador mecánico y enseguida se pone en marcha a velocidad de 285 ± 10 r/min durante 30 s más.
- F.1.2.4.** Se detiene el mezclador mecánico y se deja reposar la mezcla por 90 s, para lo cual durante los primeros 15 s se desprende el mortero adherido a las paredes del recipiente de mezclado utilizando la espátula y se reincorpora a la mezcla. Inmediatamente después, se tapa el recipiente de mezclado hasta completar los 90 s de reposo.
- F.1.2.5.** Finalmente se destapa el recipiente de mezclado y se pone nuevamente el mezclador mecánico en funcionamiento a una velocidad de 285 ± 10 r/min durante 60 s, después de los cuales el mortero se usará de inmediato para elaborar los especímenes, ya sean de control o de prueba.

F.1.3. Moldeo de los especímenes de control o de prueba

- F.1.3.1.** Inmediatamente después de terminado el mezclado, se realiza la prueba de fluidez de acuerdo con el procedimiento de prueba indicado en la norma ASTM C1437-15, *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*, verificando que cumpla con lo indicado en el Párrafo F.1.1.3. de este Manual.
- F.1.3.2.** El mortero que se utilizó para la prueba de fluidez se reintegra con el resto de la mezcla contenida en el recipiente de mezclado y se pone nuevamente en funcionamiento el mezclador mecánico a una velocidad de 285 ± 10 r/min durante 15 s; posteriormente se inicia el moldeo de los especímenes de control y de prueba como se indica en el Párrafo siguiente.
- F.1.3.3.** Se llenan los moldes con el mortero, ya sea de control o de prueba, en dos capas aproximadamente iguales compactando cada una de ellas con el apisonador y cuidando que el mortero penetre en las esquinas del molde, alrededor de los pernos de referencia y a lo largo de las superficies del molde hasta obtener un espécimen de control o de prueba homogéneo. Después de que haya sido compactada la segunda capa, se quita el remanente de mortero que hubiera quedado enrasándolo y alisándolo con la espátula.

F.2. ALMACENAMIENTO Y MEDICIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE CONTROL Y DE PRUEBA

- F.2.1.** Inmediatamente después de concluido el moldeo de los especímenes de control o de prueba, se colocan en el cuarto de curado o cámara húmeda dentro de sus moldes durante 24 ± 2 h; transcurrido ese tiempo, los especímenes se retiran del molde y se realiza una marca cerca de alguno de sus extremos que permita determinar su posición vertical cuando sea colocado en el comparador de longitud y se identifica cada espécimen de control o de prueba de acuerdo con el tipo de mezcla del que esté elaborado.
- F.2.2.** Una vez concluido el plazo a que se refiere el Inciso anterior, utilizando el comparador de longitud y cuidando que no pierdan humedad, se registra la longitud inicial de cada espécimen de control o de prueba, registrándola como *LIC* y *LIP*, en mm, respectivamente. Es importante considerar que antes de realizar la medición de la longitud de los especímenes de control y de prueba en cualquier periodo, el comparador de longitud se calibre utilizando la barra de referencia colocada siempre en la misma posición vertical y ambos a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$.
- F.2.3.** Una vez medidos los especímenes de control o de prueba, se colocan en el interior del contenedor en posición vertical haciendo uso de los bastidores internos. Dentro del contenedor, los especímenes estarán a 25 mm sobre la superficie del agua vertida previamente en su interior, pero evitando en todo momento el contacto con ésta. Todos los especímenes que se coloquen en el contenedor después de la medición inicial a la que se refiere el Inciso anterior, serán los fabricados el mismo día, tanto los elaborados con la mezcla de mortero de control como los elaborados con la mezcla de mortero de prueba con puzolana. Los especímenes se colocan en el contenedor de manera que todos se encuentren durante la prueba en las mismas condiciones.
- F.2.4.** Se sella el contenedor y se resguarda en el cuarto de almacenamiento durante 13 días a una temperatura de $38 \pm 2^\circ\text{C}$.
- F.2.5.** Cuando los especímenes de control y de prueba tengan 14 días de edad o cada vez que se vaya a hacer una medición periódica, se traslada el contenedor del cuarto de almacenamiento a un cuarto con una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ donde se mantienen los especímenes durante al menos 16 h; pasado este tiempo se realiza la medición de la longitud de cada uno registrándola como *LC_t* y *LP_t*, en mm, respectivamente para los especímenes de control o de prueba, donde *t* es la edad en meses de los especímenes. Al momento de

hacer las mediciones, el comparador de longitud, los especímenes y la barra de referencia estarán a una temperatura de $23^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$. Cada vez que se hagan mediciones de longitud, se limpia el contenedor, se cambia el agua que contengan y de ser necesario, se cambia el material absorbente.

- F.2.6.** Una vez determinada la longitud de los especímenes de control o de prueba, se regresan al contenedor en una posición invertida respecto de la que tenían antes de ser medidos y se resguardan en el cuarto de almacenamiento a una temperatura de $38 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- F.2.7.** La medición de la longitud de los especímenes de control o de prueba se realiza colocándolos en el comparador de longitud siempre en la misma posición vertical en la que se realizó la medición de la longitud inicial a la que se refiere el Inciso F.2.2. de este Manual.
- F.2.8.** Se harán lecturas de la longitud de los especímenes de control y de prueba a las edades de 0,5 (14 días), 1, 2, 3 y 6 meses y, si es necesario a 9, 12 y por lo menos cada 6 meses de allí en adelante.

G. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- G.1.** La expansión de los especímenes de control y de prueba es el porcentaje de la diferencia en la longitud que exista entre la medición del primer día y la hecha en cualquier periodo subsecuente, respecto a la longitud efectiva del espécimen y se calcula mediante una de las siguientes expresiones:

$$EC_{t_i} = \frac{LCt_i - LIC_i}{LCe_i} \times 100 \quad \text{y} \quad EP_{t_i} = \frac{LPt_i - LIP_i}{LPe_i}$$

Donde:

EC_{t_i} = Expansión del espécimen de control i a la edad de t meses, (%), con aproximación al centésimo

EP_{t_i} = Expansión del espécimen de prueba i a la edad de t meses, (%), con aproximación al centésimo

LCt_i = Longitud del espécimen de control i a la edad de t meses, (mm)

LIC_i = Longitud inicial del espécimen de control i , (mm)

LCe_i = Longitud efectiva del espécimen de control i , (mm)

LPt_i = Longitud del espécimen de prueba i a la edad de t meses, (mm)

LIP_i = Longitud inicial del espécimen de prueba i , (mm)

LPe_i = Longitud efectiva para el espécimen de prueba i , (mm)

i = Corresponde al número de cada uno de los especímenes de control o de prueba

- G.2.** Se calculan, para cada edad, los promedios de las expansiones de los especímenes de control, así como de los especímenes de prueba mediante las siguientes expresiones:

$$EC_{P_t} = \frac{\sum_{i=1}^3 EC_{t_i}}{3} \quad \text{y} \quad EP_{P_t} = \frac{\sum_{i=1}^3 EP_{t_i}}{3}$$

Donde:

ECp_t = Expansión promedio a los t meses de los especímenes de control, (%), con aproximación al décimo

EPp_t = Expansión promedio a los t meses de los especímenes de prueba, (%), con aproximación al décimo

ECt_i = Expansión del espécimen de control i a la edad de t meses, (%)

EPt_i = Expansión del espécimen de prueba i a la edad de t meses, (%)

i = Corresponde al número de cada uno de los especímenes de control o de prueba

- G.3.** Se calculan y reportan, para cada edad, las expansiones del mortero como el porcentaje de la diferencia de las expansiones promedio de los especímenes de control y los especímenes de prueba con puzolana, respecto a la expansión promedio de los especímenes de control utilizando la siguiente expresión:

$$EM_t = \frac{ECp_t - EPp_t}{ECp_t} \times 100$$

Donde:

EM_t = Expansión del mortero a la edad t meses, (%), con aproximación al décimo

ECp_t = Expansión promedio de los especímenes elaborados con mortero de control a la edad t meses, (%)

EPp_t = Expansión promedio de los especímenes elaborados con mortero de prueba a la edad t meses, (%)

- G.4.** Además, de lo indicado en la Fracción G.3. de este Manual, el informe de los resultados incluirá, como mínimo, los siguientes datos:

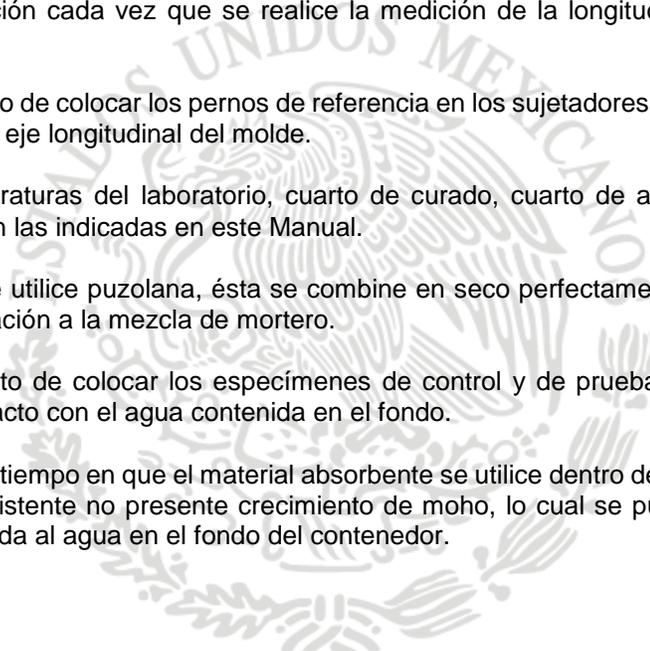
- Obra, tramo, subtramo, localización, origen del kilometraje.
- Fechas de inicio y terminación de la prueba.
- Responsable de la prueba.
- Tipo, marca, lugar de manufactura del cemento Pórtland utilizado y el contenido total de álcalis indicando el porcentaje de óxido de potasio (K_2O), óxido de sodio (Na_2O) y óxido de sodio equivalente ($Na_2O_{eq}=0,658 K_2O + Na_2O$).
- Tipo de vidrio de borosilicato utilizado.
- Tipo, marca, lugar de manufactura y proporción de la cantidad de puzolana utilizada.
- Cantidad de agua utilizada en las mezclas expresada en porcentaje respecto de la masa de cemento.

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- H.1.** Que la prueba se realice en un lugar cerrado, limpio y libre de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de los especímenes de prueba.
- H.2.** Que todo el equipo esté perfectamente limpio, para que al realizar la prueba los materiales no se mezclen con agentes extraños que alteren el resultado. En el caso de las mallas, que los alambres de la trama no presenten deformaciones y sus aberturas sean uniformes.

- H.3.** Que la balanza se encuentre debidamente calibrada y se coloque sobre una superficie perfectamente horizontal y sin vibraciones al momento de realizar la prueba.
- H.4.** Que el comparador de longitudes se calibre utilizando la barra de referencia colocada siempre en la misma posición cada vez que se realice la medición de la longitud de los especímenes de prueba.
- H.5.** Que al momento de colocar los pernos de referencia en los sujetadores, su eje longitudinal quede alineado con el eje longitudinal del molde.
- H.6.** Que las temperaturas del laboratorio, cuarto de curado, cuarto de almacenamiento, equipo y materiales sean las indicadas en este Manual.
- H.7.** Que cuando se utilice puzolana, ésta se combine en seco perfectamente con el cemento antes de su incorporación a la mezcla de mortero.
- H.8.** Que al momento de colocar los especímenes de control y de prueba en los contenedores no entren en contacto con el agua contenida en el fondo.
- H.9.** Que durante el tiempo en que el material absorbente se utilice dentro del contenedor para regular la humedad existente no presente crecimiento de moho, lo cual se puede evitar añadiendo un poco de fungicida al agua en el fondo del contenedor.



SCT

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS
AV. COYOACÁN 1895
COL. ACACIAS
CIUDAD DE MÉXICO, 03240
WWW.GOB.MX/SCT

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
NUEVA YORK 115, 4o PISO
COL. NÁPOLES
CIUDAD DE MÉXICO, 03810
WWW.IMT.MX
NORMAS@IMT.MX