

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 02. Cal para Estabilizaciones

CAPÍTULO: 021. Resistencia a la Compresión no Confinada de Materiales Tratados con Cal

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para determinar la resistencia a la compresión no confinada de materiales tratados con cal, a que se refieren la Norma N·CMT·4·02·003, *Materiales para Bases Tratadas* y el Manual M·MMP·4·02·020, *Criterios para el Diseño de Mezclas de Materiales Tratados con Cal*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Este procedimiento permite determinar la resistencia a la compresión no confinada de especímenes compactados de materiales tratados con cal, mediante la aplicación de una carga axial hasta alcanzar una carga máxima por falla o una deformación axial del 5 %.

Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la siguiente:

NORMA Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Materiales para Bases Tratadas	N·CMT·4·02·003
Muestreo de Materiales para Terracerías	M·MMP·1·01
Criterios para el Diseño de Mezclas de Materiales Tratados con Cal	M·MMP·4·02·020
Curado Acelerado de Materiales Tratados con Cal	M·MMP·4·02·022

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

D.1. EQUIPO DE CARGA

Como el mostrado en la Figura 1 de este Manual, compuesto por:

- D.1.1.** Un gato de carga, mecánico o hidráulico, capaz de proveer un desplazamiento constante de la altura del espécimen de 0,5 a 2 % por minuto y con la capacidad mínima de 10 kg/cm², provisto con un plato de apoyo donde se colocará el espécimen por probar.
- D.1.2.** Un marco de carga adosado al gato de carga y adaptado para sujetar el anillo de medición y el disco de compresión.

- D.1.3.** Anillos de medición de carga calibrados, de 1 020 y 3 060 kg, con resolución de 4,54 kg, provistos con un extensómetro de 5 mm de carrera, con graduaciones a cada 0,001 mm y carátula ajustable a cero.
- D.1.4.** Una placa de acero o disco de compresión, con sección circular similar a la sección del espécimen a probar.
- D.1.5.** Un extensómetro para medir la deformación axial, de 25 mm de carrera mínima, con resolución de 0,01 mm y carátula ajustable a ceros; provisto de una abrazadera con varillas de extensión y dispositivo giratorio, para acoplarlo al disco de compresión.
- D.1.6.** Un cronómetro o reloj con resolución de 1 s.

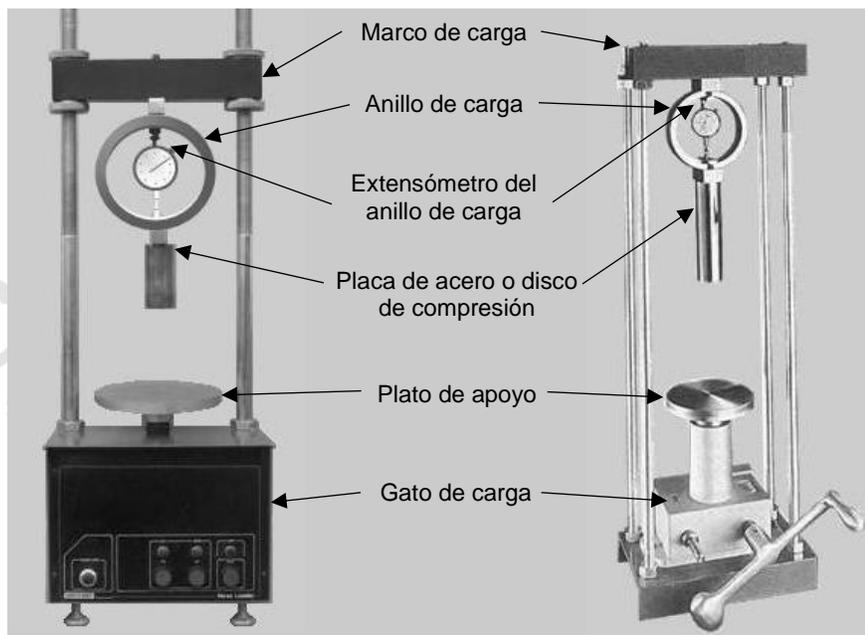


FIGURA 1.- Equipo de carga

D.2. PRENSA UNIVERSAL

Opcionalmente, se puede utilizar una prensa universal mecánica, hidráulica o neumática, con capacidad de 29,42 kN (3 t), una resolución de lectura de al menos 44 N (4,49 kg) y control de velocidad de aplicación de cargas que permita un desplazamiento constante de 0,5 a 2 % por minuto de la altura del espécimen, sin producir impactos o pérdida de carga. Además, que cuente con una placa de acero o disco de compresión, así como el extensómetro y el cronómetro que se indican en los Incisos D.1.5. y D.1.6. de este Manual.

D.3. JUEGO DE MALLAS (CRIBAS)

Fabricadas en alambre de bronce o de acero inoxidable de diversos calibres, tejidos en forma de cuadrícula, con abertura determinada conforme a lo indicado en la Tabla 1 de este Manual. El tejido estará sostenido mediante un bastidor circular metálico, de lámina de bronce o latón, de 206 ± 2 mm de diámetro interior y 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 del bastidor. Para cribar las partículas mayores de 4,75 mm (malla N°4), también se podrán utilizar mallas con marco de 400 mm o más por lado, a fin de facilitar la operación.

TABLA 1.- Juego de mallas

Designación	Abertura mm
3 in	75,0
2 in	50,0
1 ½ in	37,50
1 in	25,0
¾ in	19,0
½ in	12,5
⅜ in	9,5
¼ in	6,3
Nº4	4,75

D.4. MOLDES

Metálicos de forma cilíndrica, con un diámetro interior mínimo de 100 mm y una relación de esbeltez de 0,76 como mínimo, provistos de una placa de base metálica a la cual se asegura el cilindro y una extensión o collarín removible con diámetro interior igual al del cilindro. Se evitará el uso de moldes de aluminio.

D.5. PISÓN

Metálico, con cara inferior de apisonado circular, de $50,8 \pm 0,25$ mm de diámetro, $2,5 \pm 0,1$ kg de masa, acoplados a una guía metálica tubular con una altura de caída de $30,5 \pm 0,1$ cm, como el mostrado en la Figura 2 de este Manual.

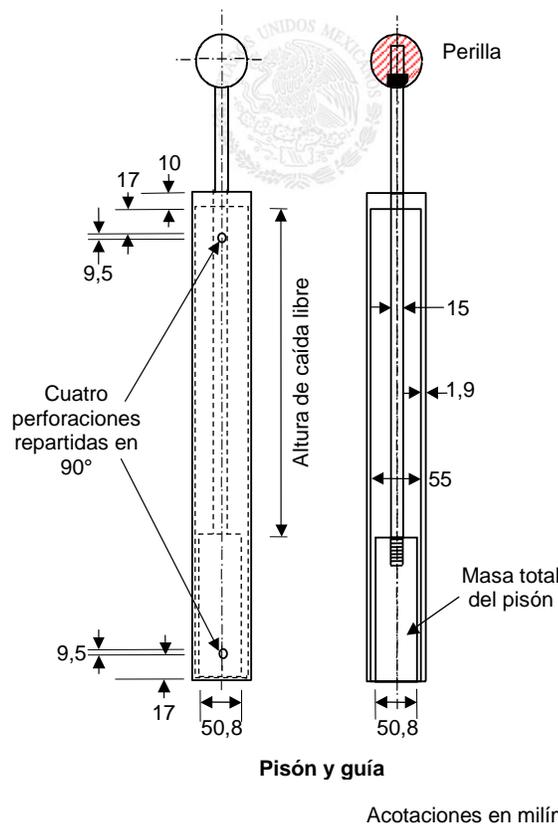


FIGURA 2.- Pisón compactador tipo martillo deslizante

D.6. REGLA

Metálica, con arista cortante, de aproximadamente 25 cm de largo.

D.7. BALANZA

Con una capacidad mínima de 25 kg y resolución de 1 g.

D.8. BASE CÚBICA

De concreto o de otro material de rigidez similar con dimensiones mínimas de 40 cm por lado.

D.9. PROBETAS

Una con capacidad de 500 cm³ y graduaciones a cada 10 cm³, otra con capacidad de 1 000 cm³ y graduaciones a cada 10 cm³, y otra con capacidad de 100 cm³ y graduaciones a cada 10 cm³.

D.10. CHAROLAS

De plástico, con capacidad suficiente para contener la muestra de prueba.

D.11. CUCHARÓN

De plástico o metal resistentes.

D.12. ESPÁTULAS

Para limpiar la parte inferior del pisón durante la ejecución de la prueba de compactación.

D.13. ACEITE

Para lubricar las paredes de los moldes.

D.14. BOLSAS O RECIPIENTES

De plástico, herméticos a prueba de humedad para sellar y almacenar los especímenes después de la compactación.

D.15. PELÍCULA PLÁSTICA

Elastomérica, resistente al agua y autoadherible.

D.16. PAPEL FILTRO

Grueso con forma circular.

D.17. CRONÓMETRO O RELOJ

Con resolución de 1 s.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- E.1.** Se toma una muestra del material sin tratar de acuerdo con lo establecido en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías*, o mediante algún otro método de muestreo que permita seleccionar muestras representativas de los materiales para revestimientos, subbases y bases.

- E.2. Se efectúa el cribado manual del material sin tratar y se determina el tamaño máximo de partícula para la elección del molde. Los materiales con tamaño máximo de partícula menor de 7,2 mm utilizarán moldes con diámetro interior mayor a 10 veces el tamaño máximo de partícula, materiales con tamaño de partícula igual a 7,2 mm o mayor utilizarán moldes con diámetro interior mayor a 6 veces el tamaño máximo de partícula.
- E.3. Se elabora una mezcla de aproximadamente 90 kg de material sin tratar mezclado con el porcentaje de cal que corresponda a la demanda de cal inicial, en %, determinada mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-02-020, *Criterios para el Diseño de Mezclas de Materiales Tratados con Cal*.
- E.4. Se agrega el contenido óptimo de agua, determinado mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-02-020, *Criterios para el Diseño de Mezclas de Materiales Tratados con Cal*, más 3 puntos porcentuales en masa de agua.
- E.5. Se mezclan los materiales hasta lograr una mezcla homogénea.
- E.6. Se almacena la mezcla en una bolsa o recipiente hermético de plástico que evite la pérdida de humedad, con la capacidad suficiente para contener la mezcla, dejándolo reposar por un periodo de 24 o 48 h para suelos con alta plasticidad.

F. ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE PRUEBA

Una vez finalizado el periodo de reposo indicado en la Fracción E.6. de este Manual, se elaboran y compactan 3 especímenes, en la forma que se describe a continuación:

- F.1. Para cada espécimen, se toma una porción de aproximadamente 25 kg de la muestra de prueba y se divide en tres fracciones.
- F.2. Se lubrican con aceite las paredes interiores del molde, se coloca el papel filtro bajo el molde para evitar que la mezcla se adhiera a él y se apoya el conjunto sobre la base cúbica.
- F.3. Se coloca el molde apoyado sobre la base cúbica, se vierte una de las tres fracciones de la porción de la mezcla y se compacta con el pisón, aplicando los primeros 4 golpes como indica el patrón de golpeo mostrado en la Figura 3 (a) de este Manual y siguiendo el patrón de golpeo de la Figura 3 (b) hasta completar 25 golpes. Se escarifica ligeramente la superficie de la capa compactada y se repite el procedimiento descrito en las capas subsecuentes. Es indispensable que la base del pisón se limpie las veces necesarias para que el material que se adhiere por el choque con el material no afecte la prueba alterando la masa del pisón durante la compactación.

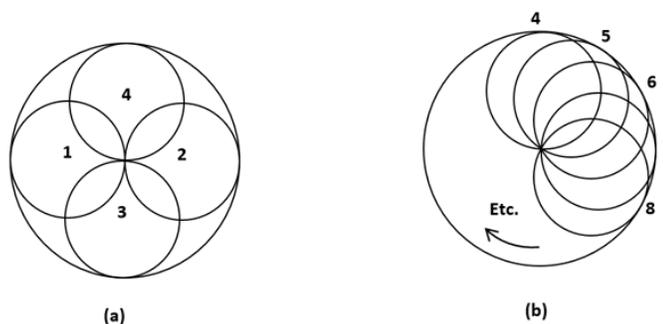


FIGURA 3.- Patrón de compactación del espécimen

- F.4. Terminada la compactación de todas las capas, se comprueba que el material no sobresalga del cilindro en más de 10 mm de espesor aproximadamente, de lo contrario la prueba se repetirá utilizando de preferencia una nueva porción de la muestra de prueba con masa ligeramente menor que la inicial. En caso de que no exceda dicho espesor, se enrasa cuidadosamente el espécimen con la regla.

- F.5. Se retiran los especímenes del molde y por cada espécimen, se registra la longitud inicial L_0 , en mm, así como su diámetro inicial D_0 , a la mitad de su altura, en m.
- F.6. Los especímenes se envuelven con la película plástica, se sellan y almacenan en la bolsa o en el recipiente plástico para preservar el contenido de agua.
- F.7. Los especímenes se someten a curado acelerado de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-4-02-022, *Curado Acelerado de Materiales Tratados con Cal*.

G. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Una vez finalizado el periodo de curado de los especímenes de prueba indicado en la Fracción F.7. de este Manual, se realiza la prueba de compresión no confinada de la siguiente manera:

- G.1. Se extraen los especímenes de prueba, se determina su masa y longitud, comprobando que no exista una variación mayor al 2 % en comparación con las determinadas en la Fracción F.5. de este Manual. Se registran los valores obtenidos después del curado de los especímenes de prueba.
- G.2. Se coloca el espécimen a probar en el equipo de carga de tal manera que quede centrado en la placa inferior.
- G.3. Se ajusta la placa superior del equipo de carga de tal manera que esté en contacto con la cara superior del espécimen de prueba.
- G.4. Se comprueba que el extensómetro se encuentre en cero.
- G.5. Se aplica, de forma continua y sin golpes, la carga necesaria para producir una tasa de deformación axial de entre 0,5 a 2,0 % por minuto, cuyo valor dependerá de la resistencia esperada de los especímenes. La carga se aplica hasta que los valores de carga disminuyan con el aumento de la deformación o hasta que se exceda el 5 % de deformación.
- G.6. Se registra la fuerza axial, deformación y los valores de tiempo a intervalos suficientes para definir la curva de compresión-deformación, así como la fuerza axial máxima y la deformación producida.
- G.7. Se realiza una fotografía del espécimen de prueba que muestre el modo de falla.
- G.8. Se mide y registra el diámetro del espécimen fallado con una precisión de tres dígitos significativos en tres puntos en su altura media, a menos que ocurra una falla frágil.

H. CÁLCULO Y RESULTADOS

Junto con los resultados de la prueba, se incluirá la fecha de la última calibración del equipo que se utilice, de acuerdo con lo que se indica a continuación:

H.1. CÁLCULO DE LA DEFORMACIÓN AXIAL

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

Donde:

ε = Deformación axial, (%)

ΔL = Cambio de longitud del espécimen según la lectura del indicador de deformación, (mm)

L_0 = Longitud inicial, (mm)

H.2. CÁLCULO DEL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL PROMEDIO

Se calcula el área de la sección transversal promedio para una fuerza axial aplicada; para el caso en el que el diámetro del espécimen de prueba no presente variación una vez realizada la prueba o que presente una falla por fragilidad, como se indica en la Figura 4 de este Manual, se utiliza el área de la sección transversal inicial, la cual se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$A_0 = \pi \left(\frac{D_0}{2} \right)^2$$

Donde:

A_0 = Área de la sección transversal inicial del espécimen, (m²)

D_0 = Diámetro inicial del espécimen, (m)

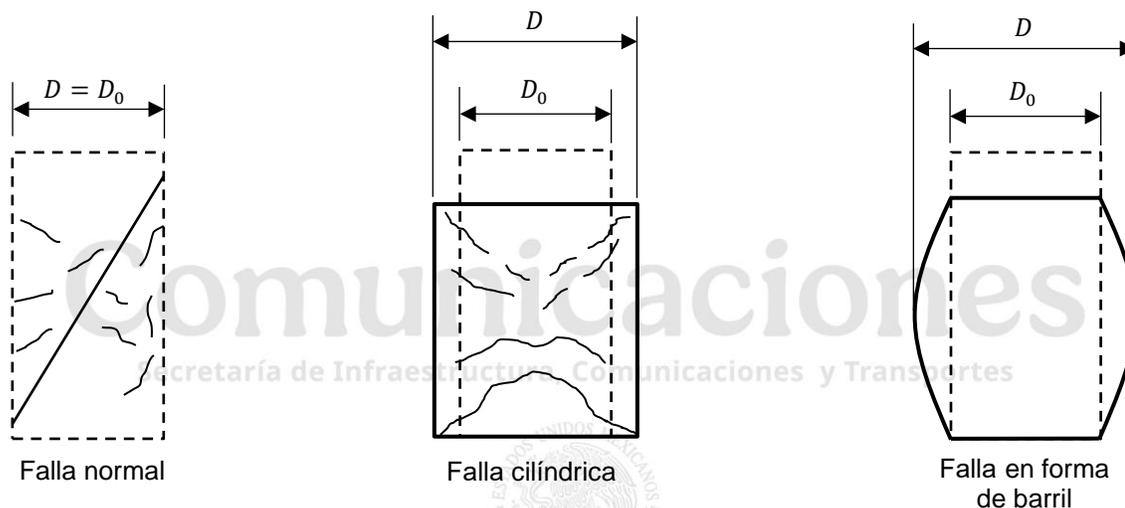


FIGURA 4.- Modos de falla comunes en los especímenes de materiales tratados con cal sometidos a compresión no confinada

H.2.1. Corrección por falla cilíndrica

En caso de que el espécimen presente una falla cilíndrica, de acuerdo con lo mostrado en la Figura 4 de este Manual, el área de la sección transversal promedio se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A = \frac{A_0}{\left(1 - \frac{\varepsilon}{100} \right)}$$

Donde:

A = Área de la sección transversal corregida del espécimen, (m²)

A_0 = Área de la sección transversal inicial del espécimen, (m²)

ε = Deformación axial para una fuerza axial dada, (%)

H.2.2. Corrección por falla en forma de barril

En caso de que el espécimen presente una falla en forma de barril, de acuerdo con lo mostrado en la Figura 4 de este Manual, el área de la sección transversal se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A = \frac{A_0}{\left(1 - \frac{0,6 \varepsilon}{100}\right)}$$

A , A_0 y ε tienen el significado indicado en el Inciso anterior.

H.3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ = Resistencia a la compresión no confinada, (kPa)

P = Fuerza axial aplicada, (kN)

A = Área de la sección transversal, (m²)

I. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- I.1. Que la prueba se realice en un lugar cerrado con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire que puedan provocar la pérdida de partículas de material.
- I.2. Que todo el equipo se encuentre limpio para que al momento de realizar la prueba los materiales no se mezclen con agentes extraños que alteren el resultado.
- I.3. Que el equipo de carga esté debidamente calibrado y en perfectas condiciones de mantenimiento.
- I.4. Que las tapas de los recipientes de prueba ajusten herméticamente para evitar fugas.
- I.5. Que se evite el uso de recipientes y moldes de aluminio, ya que los materiales tratados con cal son alcalinos y pueden reaccionar con este material.

J. BIBLIOGRAFÍA

American Society for Testing and Materials (2022). ASTM D5102-22, *Standard Test Methods for Unconfined Compressive Strength of Compacted Soil-Lime Mixtures*. EUA.

Comunicaciones

Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes



SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA
Dirección General de Servicios Técnicos
Av. Coyoacán 1895
Col. Acacias, Benito Juárez, 03240
Ciudad de México
www.gob.mx/sct



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
Km 12+000, Carretera Estatal No. 431
"El Colorado-Galindo", San Fandila,
Pedro Escobedo, 76703, Querétaro
<https://normas.imt.mx>
normas@imt.mx