

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 02. Cal para Estabilizaciones

CAPÍTULO: 018. Demanda Mínima de Cal para Materiales Tratados

A. CONTENIDO

Este Manual describe los métodos utilizados para la obtención de la demanda mínima de cal que se agrega a los materiales que necesiten ser estabilizados y que se utilicen en la construcción de terracerías, revestimientos, subbases y bases para pavimentos nuevos o recuperados, a que se refieren las Normas N·CMT·1·04, *Materiales Tratados con Cal para Terracerías* y N·CMT·4·02·003, *Materiales para Bases Tratadas*.

B. OBJETIVO

Obtener la demanda mínima de cal viva o hidratada (%DMC), que se agrega a los materiales que necesiten ser estabilizados para modificar su comportamiento mecánico e hidráulico, mediante el uso del método gráfico o del método de potencial de hidrógeno. Esta cantidad se obtiene como porcentaje de la masa total del material por estabilizar.

C. REFERENCIAS

Es referencia de este Manual, la norma AASHTO T220-66 (2013), *Standard Method of Test for Determination of the Strength of Soil-Lime Mixtures*, publicada por la *American Association of State Highway and Transportation Officials*, en 2013, en EUA.

Además, este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Materiales Tratados con Cal para Terracerías	N·CMT·1·04
Materiales para Bases Tratadas	N·CMT·4·02·003
Cal para Estabilizaciones	N·CMT·4·03·001
Muestreo de Materiales para Terracerías	M·MMP·1·01
Límites de Consistencia	M·MMP·1·07
Muestreo de Cal para Estabilizaciones	M·MMP·4·02·001

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 calidad considerando siempre la fecha de su caducidad.

D.1. MEDIDOR DE pH

Con pantalla digital, con un rango de medición de 0 a 14 en la escala de acidez-alcalinidad y aproximación de 0,1, adimensional.

D.2. SOLUCIÓN REGULADORA DE pH (BUFFER)

Soluciones pH 7 y pH 10.

D.3. HORNO

Eléctrico o de gas, con termostato, con capacidad suficiente para contener la porción de prueba de la muestra, capaz de mantener una temperatura constante de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

D.4. BALANZA

Con capacidad de 1 000 g y aproximación de 0,01 g.

D.5. MALLA N°40

De alambre de bronce o de acero inoxidable, con tejido en forma de cuadrícula, con abertura de 0,425 mm. El tejido estará sostenido mediante un bastidor circular metálico de lámina de bronce o latón 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.

D.6. TERMÓMETRO

Con un rango de 0 a 50°C y aproximación de $1,0^{\circ}\text{C}$.

D.7. RECIPIENTES

6, resistentes, de plástico transparente o translúcido, con tapa de ajuste hermético, con capacidad mínima de 150 mL, de forma tal que permita la inmersión del electrodo del medidor del pH sin tocar las paredes del recipiente o los sólidos que se precipiten en su fondo.

D.8. CHAROLA

De lámina galvanizada de forma circular o rectangular con capacidad suficiente para contener, secar y cuartear el material por tratar.

D.9. CUCHARÓN

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

D.10. BROCHA

Con las dimensiones y cerdas adecuadas para recoger el material fino durante el cuarteo de la muestra.

D.11. AGUA DESTILADA

1 000 mL, envasada en un recipiente cerrado que evite su contaminación.

D.12. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Tal como:

- Anteojos transparentes,
- mascarilla contra polvo,
- guantes flexibles de algún material impermeable como caucho, pvc o hule,
- bata de laboratorio o camisola de manga larga.

E. CARACTERÍSTICAS DE LA CAL

Para el uso de los métodos para la obtención de la demanda mínima de cal, ya sea, gráfico o por potencial de hidrógeno, se considera que para la estabilización de los materiales se utilizará cal viva o cal hidratada que cumpla con los requisitos de calidad que se establecen en la Norma N-CMT-4-03-001, *Cal para Estabilizaciones*.

F. OBTENCIÓN DE LA DEMANDA MÍNIMA DE CAL MEDIANTE EL MÉTODO GRÁFICO

El método gráfico para obtener la demanda mínima de cal se utiliza con materiales que tengan un porcentaje de material que pasa por la malla N°40 (0,425 mm) mayor del 10 % y que tengan un índice plástico mayor al 3 %. Si los materiales por estabilizar no cumplen con estas características la obtención de la demanda mínima de cal se realizará mediante el método del potencial de hidrógeno (pH) descrito en la Cláusula G. de este Manual.

La obtención de la demanda mínima de cal mediante el método gráfico depende del tipo de cal por utilizar, viva o hidratada, y se obtiene de acuerdo con lo siguiente:

F.1. DEMANDA MÍNIMA DE CAL HIDRATADA

Cuando se utilice cal hidratada, se obtiene previamente el índice plástico (I_p), de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-07, *Límites de Consistencia* y el porcentaje de material que pasa por la malla N°40 (0,425 mm) del material por estabilizar. Posteriormente, utilizando la gráfica mostrada en la Figura 1 de este Manual, se obtiene el valor de la demanda mínima de cal hidratada (%DMCH), de la siguiente manera:

- F.1.1. En el eje de las ordenadas, se identifica el porcentaje (%) de material que pasa por la malla N°40 (0,425 mm); en este punto se traza una línea recta horizontal (punto a).
- F.1.2. Se identifica el valor del índice plástico (I_p) en el eje de las abscisas en el margen superior de la gráfica (punto b), y con la curva de porcentaje de cal hidratada más cercana, se traza una línea paralela formando una nueva curva hasta intersectar la línea recta trazada en el inciso anterior.
- F.1.3. Se identifica el punto de intersección de la línea recta trazada en el inciso F.1.1. y la nueva curva trazada en el inciso anterior (punto c).
- F.1.4. Tomando como referencia el punto de intersección (punto c), se traza una línea recta paralela al eje de las ordenadas hasta intersectar el eje de las abscisas del margen superior (punto d).
- F.1.5. La demanda mínima de cal hidratada (%DMCH) se determina considerando lo siguiente:
 - F.1.5.1. Si el punto “d” coincide exactamente con alguna de las curvas de porcentaje de cal hidratada, el valor de esta curva corresponderá a la demanda mínima de cal hidratada (%DMCH).
 - F.1.5.2. En caso de que el punto “d” quede entre dos curvas, se selecciona como demanda mínima de cal hidratada (%DMCH) al porcentaje de cal de la curva inmediata superior, tal como se muestra en el ejemplo contenido en la Figura 1 de este Manual.

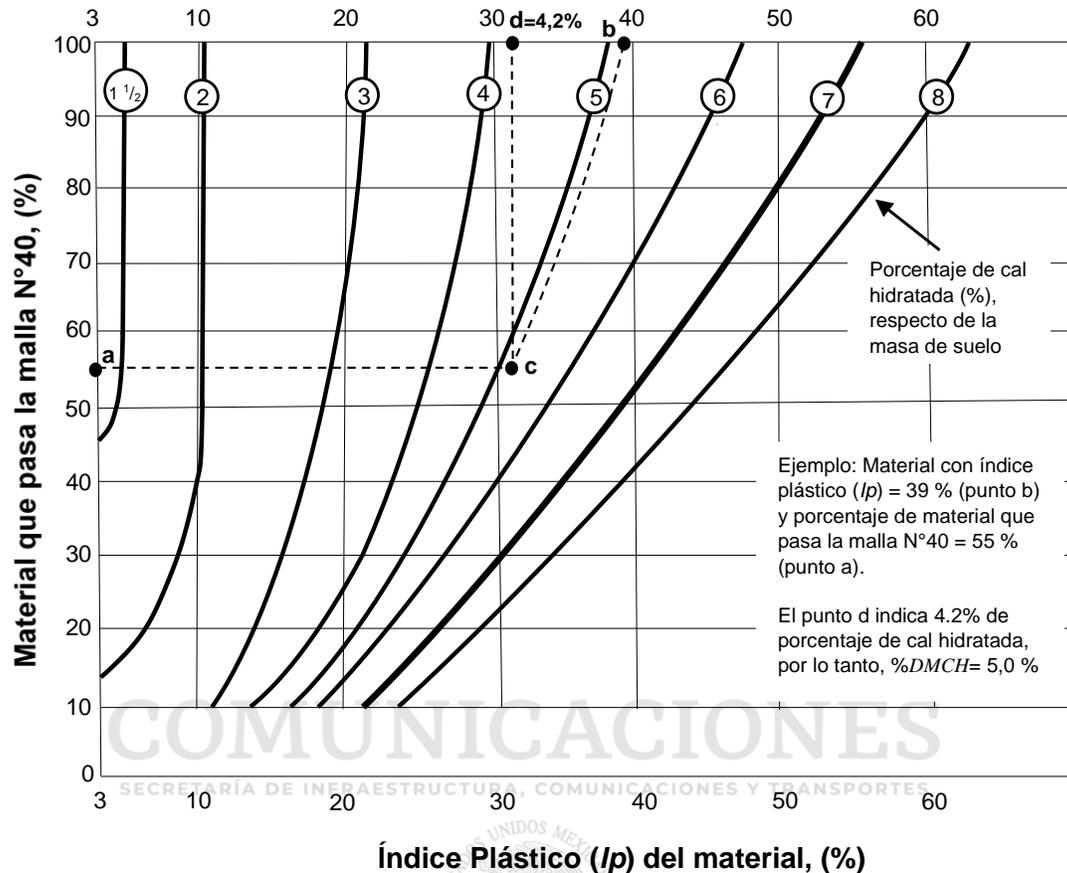


FIGURA 1.- Gráfica para determinar la demanda mínima de cal hidratada (%DMCH) mediante el método gráfico

F.2. DEMANDA MÍNIMA DE CAL VIVA

En caso de requerir la demanda mínima de cal viva (%DMCV) para la estabilización del material mediante el método gráfico, se obtendrá de la siguiente manera:

F.2.1. Se obtiene la demanda mínima de cal hidratada de acuerdo con lo indicado a la Fracción F.1. de este Manual.

F.2.2. A continuación, se obtiene la demanda mínima de cal viva mediante la siguiente expresión:

$$\%DMCV = \frac{\%DMCH}{1,3}$$

Donde:

%DMCV = Demanda mínima de cal viva, (%)

%DMCH = Demanda mínima de cal hidratada, (%)

G. OBTENCIÓN DE LA DEMANDA MÍNIMA DE CAL MEDIANTE EL MÉTODO DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Para obtener la demanda mínima de cal, viva o hidratada, para la estabilización de materiales mediante el método del Potencial de Hidrógeno (pH), es necesario que la mezcla del material por estabilizar y la cal alcance un valor de pH de 12,4, valor que representa la cal libre que queda en la mezcla y asegura la adecuada estabilización del material a tratar.

G.1. TRABAJOS PREVIOS

Previo a la realización de la prueba se calibra el medidor de pH de acuerdo con las instrucciones del fabricante utilizando las soluciones reguladoras (*Buffer*) de pH de 7 y 10 a una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

G.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- G.2.1.** Se toma una muestra del material por estabilizar, de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías*, o mediante algún método de muestreo que permita seleccionar muestras representativas de la naturaleza y las condiciones de los materiales para los revestimientos, subbases y bases.
- G.2.2.** La muestra de material se separa por cuarteos y se toma una porción del material de aproximadamente 1 500 g.
- G.2.3.** La porción de material obtenida en el Inciso anterior se seca en el horno a $60 \pm 5^\circ\text{C}$, hasta masa constante.
- G.2.4.** Una vez que el material se encuentre seco, se procede a cribarlo por la malla N°40 (0,425 mm); se toma el material que pasa por la malla, se mezcla de manera uniforme y se coloca sobre una charola.
- G.2.5.** Se obtienen 5 porciones de prueba del material por cuarteo, cada una de $25 \pm 0,01$ g.
- G.2.6.** Se colocan cada una de las 5 porciones de prueba del material en un recipiente hermético y se tapan de tal manera que no se contaminen o alteren con cualquier agente extraño.
- G.2.7.** Conforme a lo establecido en el Manual M-MMP-4-02-001, *Muestreo de Cal para Estabilizaciones*, se obtienen 6 porciones de prueba de cal viva o hidratada, que cumplan con los requisitos de calidad indicados en la Norma N-CMT-4-03-001, *Cal para Estabilizaciones*. Las primeras 5 porciones de prueba de cal viva o hidratada tendrán una masa correspondiente al 2, 3, 4, 5 y 6 % de la masa de las porciones de prueba del material por estabilizar respectivamente.
- G.2.8.** La sexta porción de prueba de cal viva o hidratada, tendrá una masa de 2 g, la cual se coloca en un recipiente y se mezcla con 100 mL de agua destilada para obtener una solución saturada de cal; una vez mezclada se tapa de tal manera que no se contamine o altere con cualquier agente extraño; esta será la solución de referencia la cual tendrá un valor de pH igual a 12,4 a una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$.
- G.2.9.** Las 5 porciones de prueba de cal obtenidas anteriormente, se incorporan a los 5 recipientes que contienen las porciones de prueba del material por estabilizar de tal manera que, a un recipiente con su respectiva porción de prueba del material por estabilizar, se le agregue una sola porción de prueba de cal. Posteriormente, los recipientes se tapan y se marcan indicando el porcentaje de cal que fue agregado.

- G.2.10.** Los 5 recipientes se agitan de tal manera que se asegure la mezcla uniforme de la cal con la porción de prueba del material por estabilizar.
- G.2.11.** A cada uno de los 5 recipientes que contienen la mezcla de cal con material a estabilizar se les agrega 100 mL de agua destilada, se tapan y se agitan de forma manual durante 30 s, en intervalos de 10 min durante 1 h, de tal manera que se asegure una mezcla uniforme del material a estabilizar con la cal y con el agua destilada añadida.
- G.2.12.** Al finalizar el periodo de agitación descrito en el Inciso anterior, se mide la temperatura de cada una de las mezclas con la ayuda del termómetro, la cual será de $25 \pm 1^\circ\text{C}$; en caso de que alguna o todas las mezclas no cumplan con dicha temperatura, se calentará o enfriará, según sea el caso, hasta obtener la temperatura requerida.
- G.2.13.** Cuando las mezclas tengan una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, se sumerge el electrodo del medidor de pH en cada uno de los recipientes que contienen las mezclas, de manera que no toque las paredes del recipiente, durante al menos 60 s y hasta que la lectura que se observa en la pantalla del medidor de pH se estabilice, es decir, que no presente variaciones. La lectura se registra como pH_i , de cada muestra con una aproximación de 0,1, adimensional. El electrodo medidor se limpia con agua destilada hasta eliminar cualquier residuo antes de introducirlo al siguiente frasco. La medición del pH de las mezclas se realizará durante los primeros quince (15) min a partir de la finalización del periodo de agitación.

G.3. DEMANDA MÍNIMA DE CAL

Una vez registrados los valores de pH (pH_i) de las 5 mezclas, se determina la demanda mínima de cal para estabilizar el material de la siguiente manera:

- G.3.1.** Si en las lecturas de pH de las 5 mezclas solo existe una lectura con un valor de pH igual a 12,4 y corresponde a la mezcla con el porcentaje más alto de cal, el porcentaje de cal de dicha mezcla corresponderá la demanda mínima de cal con la cual se asegura la estabilización del material a tratar.
- G.3.2.** Si dos o más lecturas de pH tienen un valor de 12,4 o superior, de estas se selecciona la mezcla que contenga el porcentaje más bajo de cal y se registra como la demanda mínima de cal con la cual se asegura la estabilización del material a tratar.
- G.3.3.** Si las lecturas de pH de las 5 mezclas no superan un valor de 12,3 y dos o más lecturas son iguales a 12,3, de estas se selecciona la mezcla con el porcentaje más bajo de cal y se registra como la demanda mínima de cal con la cual se asegura la estabilización del material a tratar.
- G.3.4.** Si de las 5 lecturas de pH, el valor más alto es de 12,3 y corresponde a la mezcla con el porcentaje más alto de cal, se realizarán pruebas adicionales usando porcentajes más altos de cal.
- G.3.5.** Si el pH más alto medido es menor que 12,3, la prueba no es válida debido a un error del equipo, del material o debido a porcentajes de cal muy bajos. En tal caso se verifica el electrodo del medidor de pH empleando la solución saturada de cal obtenida en el Inciso G.2.8. para detectar posibles errores en el equipo, así como el correcto estado de los materiales utilizados en la prueba o, en su caso, se repetirá la prueba usando porcentajes más altos de cal.
- G.3.6.** Una vez obtenida la demanda mínima de cal, se grafica cada una de las mediciones de pH de las mezclas, indicando en el eje de las abscisas el porcentaje de cal y en el de las ordenadas el respectivo valor de pH, tal como se muestra en la Figura 2 de este Manual.

G.3.7. A continuación, se obtiene la equivalencia entre la cal viva y la cal hidratada mediante la siguiente expresión:

$$\%C_v = \%C_h \times \frac{56}{74}$$

Donde:

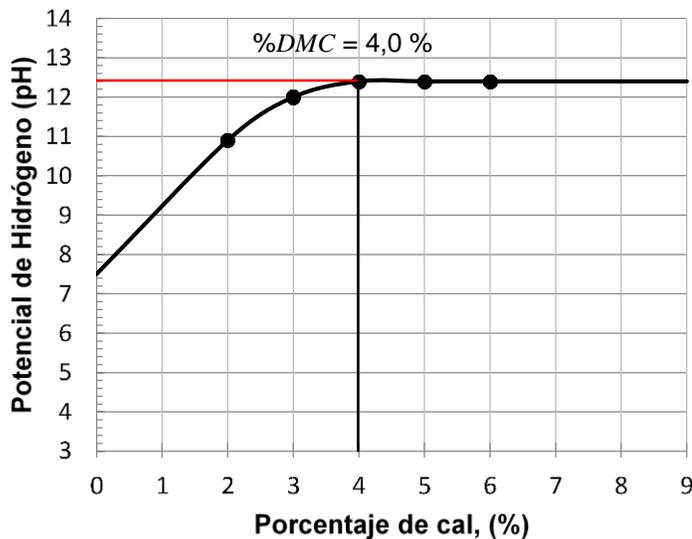
$\%C_v$ = Cantidad de cal viva, (%)

$\%C_h$ = Cantidad de cal hidratada, (%)

H. REPORTE Y RESULTADOS

Se reporta como resultado de la prueba la demanda mínima de cal, además como parte complementaria, el reporte incluirá la siguiente información:

- Fecha y lugar de elaboración de la prueba.
- Demanda mínima de cal obtenida.
- Método de obtención de la demanda mínima de cal.
- Tipo de cal utilizada en la prueba.
- Nombre del técnico que realizó la prueba.
- Número de muestras.
- Para el método gráfico, el índice plástico y porcentaje de material que pasó la malla N°40 (0,425 mm) del material por estabilizar.
- Para el método del potencial de hidrógeno (pH), la gráfica del porcentaje de cal y valores de pH.



Porcentaje de cal, (%)	pH
0,0	7,5
2,0	10,9
3,0	12,0
4,0	12,4
5,0	12,4
6,0	12,4

FIGURA 2.- Ejemplo de gráfica de porcentaje de cal y valores de pH

I. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

Para 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 las tapas de los recipientes de prueba ajusten herméticamente para evitar fugas.
- I.4. Que la balanza esté limpia en todas sus partes, bien calibrada y colocada en una superficie horizontal sin vibraciones que alteren las lecturas.
- I.5. Que se evite el uso de recipientes metálicos, ya que la mezcla de cal con agua y el material a estabilizar es alcalina y puede reaccionar con algunos metales.
- I.6. Que el medidor de pH se encuentre calibrado de acuerdo con las especificaciones del fabricante para asegurar su precisión.
- I.7. Que el electrodo del medidor de pH se encuentre limpio y seco y que en ningún momento entre en contacto con las manos ni con la parte sólida del material precipitado en las paredes del recipiente.
- I.8. Que una vez concluida la prueba, tanto el medidor del pH como el electrodo, limpio y seco, se guarden de acuerdo con las indicaciones del fabricante.

J. BIBLIOGRAFÍA

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), *T220-66 (2013), Standards Method of Test for Determination of the Strength of Soil – Lime Mixtures*, EUA (2013).

American Society for Testing and Materials (ASTM), C1097 – 19, *Standard Specification for Hydrated Lime for Use in Asphalt Cement or Bituminous Paving Mixtures*, EUA (2019).

Castañeda Garay Francisco Javier, *Estabilización de Suelos con Cal*, Editorial Trillas, México, 2021.

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

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