

**LIBRO:** **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

**PARTE:** **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

**TÍTULO:** 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

**CAPÍTULO:** 063. *Densidad, Densidad Relativa y Absorción de Mezclas Asfálticas Compactadas Absorbentes*

**A. CONTENIDO**

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la densidad relativa de las mezclas asfálticas compactadas con absorción mayor a 2%, a que se refieren los Manuales M·MMP·4·05·034, *Diseño de Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa por el Método Marshall* y M·MMP·4·05·046, *Método de Diseño por Desempeño para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*.

**B. OBJETIVO DE LA PRUEBA**

Esta prueba consiste en determinar la densidad relativa de las mezclas asfálticas compactadas, es decir, sus relaciones masa–volumen de la mezcla respecto a la relación masa–volumen del agua, así como la absorción de especímenes elaborados a partir de núcleos extraídos en campo o elaborados en laboratorio a partir de muestras de mezcla asfáltica.

**C. DEFINICIÓN**

La densidad relativa de la mezcla asfáltica compactada ( $d_{mc}$ ) es un número abstracto que representa la relación entre la masa volumétrica del espécimen seco,  $\gamma_d$  a 25°C, y la masa volumétrica del agua,  $\gamma_o$  a la misma temperatura, de acuerdo con lo mostrado en la siguiente expresión:

$$d_{mc} = \frac{\gamma_d}{\gamma_o} = \frac{W_s}{(V_m)\gamma_o} = \frac{W_s}{(V_s + V_v)\gamma_o}$$

Donde:

$d_{mc}$  =Densidad relativa de la mezcla asfáltica compactada, (adimensional)

$\gamma_d$  =Masa volumétrica de la mezcla asfáltica seca a 25°C, (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma_o$  =Masa volumétrica del agua a 25°C, (kg/m<sup>3</sup>)

$W_s$  =Masa de la mezcla asfáltica seca en aire, (kg)

$V_m$  =Volumen total de la muestra, (m<sup>3</sup>)

$V_s$  =Volumen de sólidos, (m<sup>3</sup>)

$V_v$  =Volumen de vacíos, (m<sup>3</sup>)

**D. REFERENCIAS**

Este Manual se complementa con los siguientes:

MANUALES	DESIGNACIÓN
Muestreo de Mezclas Asfálticas .....	M-MMP-4-05-032
Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa .....	M-MMP-4-05-034
Método de Diseño por Desempeño para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa .....	M-MMP-4-05-046
Densidad, Densidad Relativa y Absorción de Mezclas Asfálticas Compactadas No Absorbentes .....	M-MMP-4-05-051
Compactación de Mezclas Asfálticas en Caliente con el Compactador Giratorio ....	M-MMP-4-05-058

**E. 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.

**E.1. BALANZA**

Analítica, con capacidad mínima de 6 000 g y aproximación de 0,1 g, equipada con un dispositivo para determinar masas sumergidas.

**E.2. DISPOSITIVO DE SUSPENSIÓN**

De alambre u otro material adecuado para suspender la canastilla del centro del platillo de la balanza, como el mostrado en la Figura 1 de este Manual. El alambre, cuerda de pesca o material utilizado en este dispositivo será del diámetro más pequeño posible para reducir al mínimo los efectos del volumen sumergido del mismo, así como las lecturas erróneas por desplazamiento excesivo del espécimen en el agua.

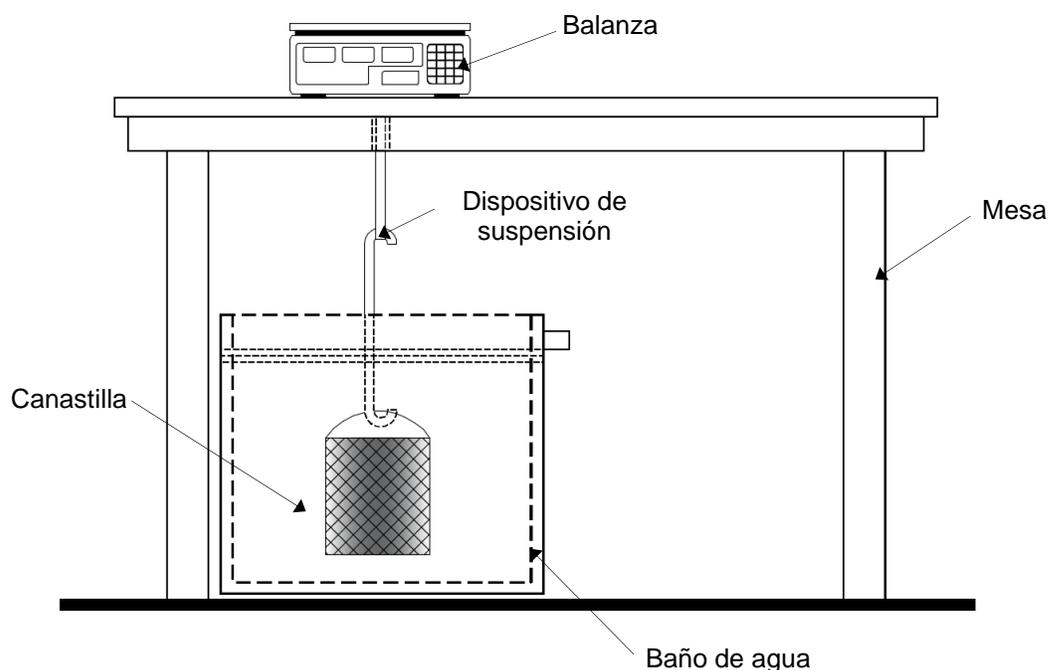


FIGURA 1.- Disposición del equipo para la determinación de la masa sumergida

**E.3. BAÑO DE AGUA**

Capaz de mantener una temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  para sumergir el espécimen mientras está suspendido de la balanza, provisto con una salida de agua para mantener un nivel constante con y sin espécimen.

**E.4. CANASTILLA**

De alambre, malla u otro material resistente, con tamaño y capacidad que permita para contener los especímenes de mezcla asfáltica compactada.

**E.5. HORNO DE SECADO**

Capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .

**E.6. TERMÓMETRO**

Podrá ser alguno de los siguientes:

**E.6.1.** Termómetro de vidrio de columna de mercurio de inmersión parcial, con un rango de  $-2$  a  $+68^\circ\text{C}$  y aproximación de  $0,2^\circ\text{C}$ .

**E.6.2.** Termómetro de inmersión parcial, con un rango de  $0$  a  $50^\circ\text{C}$  y aproximación de  $0,5^\circ\text{C}$ .

**E.6.3.** Termómetro de resistencia de platino (PRT por sus siglas en inglés, *Platinum Resistance Thermometer*) con un rango capaz de medir a la temperatura de ensayo de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  y aproximación de  $0,5^\circ\text{C}$ . Contará con una sonda, la cual tendrá una longitud tal que sea al menos  $50$  mm ( $2$  in) mayor que la profundidad de inmersión del espécimen.

**E.6.4.** Termómetro termistor revestido de metal con un rango capaz de medir la temperatura de ensayo de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  y aproximación de  $0,5^\circ\text{C}$ . Contará con un sensor con características similares a la sonda del termómetro PRT, descrita en el Inciso anterior.

**E.7. PIRÓMETRO**

Con un rango de  $0$  a  $150^\circ\text{C}$  y aproximación de  $0,1^\circ\text{C}$ .

**E.8. EQUIPO DE CORTE**

De ser necesario, será con discos de diamante o carburo de silicio de diferentes diámetros, de  $500$  rpm como mínimo.

**E.9. VERNIER**

Con división mínima de  $0,1$  mm.

**E.10. CRONÓMETRO O RELOJ**

Con aproximación de  $1$  s.

**E.11. PAÑO O TOALLA**

De tela o de otro material absorbente, de  $60 \times 60$  cm ( $24 \times 24$  in).

**E.12. CHAROLAS**

De lámina galvanizada, con forma rectangular de aproximadamente  $70 \times 40 \times 20$  cm ( $28 \times 16 \times 8$  in).

**E.13. VENTILADOR O COMPRESOR DE AIRE**

Que genere un flujo de aire adecuado para los propósitos de esta prueba.

**E.14. TIJERAS O NAVAJA**

Para cortar la película plástica.

**E.15. CEPILLOS PARA LIMPIEZA DE ESPECÍMENES**

Dos, uno de cerdas de acero y otro de fibras suaves.

**E.16. PELÍCULA PLÁSTICA**

De película elastomérica, de poliolefinas y parafina, resistente al agua.

**E.17. PANEL DE ESPUMA DE POLIURETANO**

Con dimensiones mínimas de 50 × 50 × 1,25 cm (20 × 20 × 0,5 in) para ser usado como superficie de trabajo. Adicionalmente, se tendrá disponible otro panel de la misma espuma con un tamaño aproximadamente igual a las dimensiones de la superficie superior del espécimen de prueba.

**E.18. CILINDRO DE CALIBRACIÓN**

De aluminio, de superficie lisa con un diámetro aproximado de 10 cm (4 in) y una altura de 6 cm (2,5 in).

**F. PREPARACIÓN DEL EQUIPO**

**F.1.** Se acondicionará el baño de agua a la temperatura de prueba de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .

**F.2.** Se fija la canastilla de tal manera que se suspenda de la balanza y se sumerja completamente en el agua, teniendo un tirante de agua de 2 cm por encima de la canastilla.

**G. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

Los especímenes se elaboran en moldes cilíndricos o se extraen de la carpeta asfáltica de acuerdo con lo indicado en las Fracciones siguientes. En ambos casos, el diámetro del espécimen será, al menos, cuatro veces el tamaño máximo del material pétreo y el espesor de los especímenes no será inferior de una vez y media veces el tamaño máximo del agregado. Los especímenes estarán libres de materiales extraños, para lo cual, se eliminará papel, suciedad y los rastros de otros materiales con el cepillo de alambre y el cepillo suave o de ser necesario con el equipo de corte con el que se obtuvo el espécimen de la carpeta asfáltica tendida y compactada, cuando sea el caso.

**G.1. ESPECÍMENES EXTRAÍDOS DE UNA CARPETA ASFÁLTICA TENDIDA Y COMPACTADA**

Si se van a probar especímenes de una carpeta asfáltica tendida y compactada, estos se extraerán de acuerdo con lo indicado en el M-MMP-4-05-032, *Muestreo de Mezclas Asfálticas*. Una vez extraídos, se almacenarán en el cuarto húmedo.

**G.2. ESPECÍMENES ELABORADOS EN LABORATORIO**

Si se van a probar especímenes elaborados y compactados en laboratorio a partir de mezclas asfálticas obtenidas en campo, estos se elaborarán de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-4-05-058, *Compactación de Mezclas Asfálticas en Caliente con el Compactador Giratorio*.

## H. TRABAJOS PREVIOS

Previo al inicio de la prueba se realizarán las siguientes actividades:

### H.1. DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA COMPACTADA

- H.1.1.** Se determina la absorción de la mezcla de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-4-05-051, *Densidad, Densidad Relativa y Absorción de Mezclas Asfálticas Compactadas No Absorbentes*.
- H.1.2.** Si el porcentaje de absorción es igual que 2% o menor, entonces se determina la densidad relativa de la mezcla asfáltica compactada con el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-4-05-051, *Densidad, Densidad Relativa y Absorción de Mezclas Asfálticas Compactadas No Absorbentes*, así mismo si el porcentaje de absorción es mayor de 2%, entonces se continua con el procedimiento descrito en este Manual para calcular la densidad relativa de la mezcla asfáltica compactada.

### H.2. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA APARENTE DEL CILINDRO DE CALIBRACIÓN DE ALUMINIO

- H.2.1.** Se determina la masa del cilindro de calibración seco y sin el recubrimiento de película plástica, registrándola como  $W_c$ , en g.
- H.2.2.** Con ayuda del pirómetro se determina la temperatura del cilindro de calibración sin el recubrimiento de película plástica.
- H.2.3.** Se sumerge el cilindro de calibración en el baño de agua a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  y se determina su masa, registrándola como  $W_{ca}$ , en g.
- H.2.4.** Se calcula la densidad relativa aparente del cilindro de calibración de acuerdo con la siguiente expresión:

$$d_{c1} = \frac{W_c}{W_c - W_{ca}}$$

Donde:

- $d_{c1}$  = Densidad relativa aparente del cilindro de calibración, (adimensional)
- $W_c$  = Masa del cilindro de calibración seco en aire, (g)
- $W_{ca}$  = Masa del cilindro sumergido en agua, (g)

### H.3. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA APARENTE DE LA PELÍCULA PLÁSTICA

- H.3.1.** Se seca el cilindro de calibración.
- H.3.2.** Sobre una superficie firme, se cortan dos piezas de la película plástica de al menos  $100 \times 100$  mm ( $4 \times 4$  in) y una de al menos  $100 \times 200$  mm ( $4 \times 8$  in).
- H.3.3.** Se desprende el papel protector de una de las piezas de  $100 \times 100$  mm ( $4 \times 4$  in) de película plástica.
- H.3.4.** Se sujetan los lados opuestos de cada pieza de  $100 \times 100$  mm ( $4 \times 4$  in) de película plástica y se estiran hasta obtener un cuadrado de aproximadamente  $150 \times 150$  mm ( $6 \times 6$  in).
- H.3.5.** Se coloca la película plástica estirada sobre una base del cilindro de calibración y se envuelve alrededor de este, ejerciendo presión para garantizar su adherencia.

- H.3.6.** Se voltea el cilindro de calibración y se coloca sobre el panel de espuma de poliuretano, repitiendo el procedimiento descrito en el Inciso anterior pero ahora sobre la otra base del cilindro, adhiriendo la película plástica sobre esta y envolviendo nuevamente su circunferencia, de tal forma que el cilindro quede totalmente envuelto.
- H.3.7.** Luego de que ambos extremos han sido cubiertos y manteniendo el cilindro sobre el panel de espuma de poliuretano, se coloca sobre el cilindro de calibración el panel de espuma que tiene área y forma similares a la superficie superior de este y se ejerce presión con la mano, con el fin de eliminar las bolsas de aire atrapadas en la superficie entre la base del cilindro y la película plástica. Se repite este procedimiento sobre la otra cara.
- H.3.8.** A continuación, se utilizan unas tijeras o cuchillo para recortar el exceso de película plástica de los lados del cilindro, quedando un traslape de aproximadamente de 15 mm (0,5 in).
- H.3.9.** Se desprende el papel protector de la pieza de aproximadamente 100 x 200 mm (4 x 8 in) de película plástica, se sujeta por los lados más grandes y se estira hasta obtener un rectángulo de al menos 100 x 400 mm (4 x 16 in).
- H.3.10.** Se coloca la película plástica estirada en una de las caras del cilindro y se estira sobre todo el contorno, adhiriéndola de una manera totalmente ceñida.
- H.3.11.** Al terminar de adherir la película plástica, sus bordes se doblan y se presionan contra la superficie del cilindro, para eliminar las bolsas de aire generadas.
- H.3.12.** Se determina la masa al aire del cilindro cubierto con la película plástica, registrándola como  $W_{cp}$ , en g.
- H.3.13.** Se sumerge completamente el cilindro recubierto en el baño de agua a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  y se determina la masa del espécimen cubierto, registrándola como  $W'_{cp}$ , en g.
- H.3.14.** Se calcula la densidad relativa aparente de la película plástica de acuerdo con la siguiente expresión:

$$d_{fap} = \frac{W_{cp} - W_c}{W_{cp} - W'_{cp} - \frac{W_c}{d_{c1}}}$$

Donde:

$d_{fap}$  = Densidad relativa aparente de la película plástica a  $25^\circ\text{C}$ , (adimensional)

$W_c$  = Masa del cilindro de calibración seco en aire, (g)

$d_{c1}$  = Densidad relativa aparente del cilindro de calibración, (adimensional)

$W_{cp}$  = Masa del cilindro cubierto de la película plástica al aire, (g)

$W'_{cp}$  = Masa del cilindro cubierto de la película plástica sumergido en agua, (g)

## J. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

### J.1. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL ESPÉCIMEN SECO SIN RECUBRIMIENTO

- J.1.1.** Se coloca el espécimen sobre una superficie que permita drenar el agua y se aplica directamente una presión de aire utilizando un ventilador o un compresor de aire, hasta que el espécimen se encuentre en condición seca a masa constante.
- J.1.2.** Después de que la muestra se haya secado hasta lograr una masa constante, se determina la masa de la muestra y se designa como  $W_s$ , en g.

## J.2. DETERMINACIÓN DE LA MASA DEL ESPÉCIMEN SECO CUBIERTO

- J.2.1.** Se repite el procedimiento de los Incisos H.3.2. a H.3.11. ahora cubriendo el espécimen de mezcla asfáltica con película plástica.
- J.2.2.** Se determina la masa en el aire del espécimen, registrando esta masa como  $W_1$ , en g.

## J.3. DETERMINACIÓN DE LA MASA SUMERGIDA DEL ESPÉCIMEN CUBIERTO CON LA PELÍCULA PLÁSTICA

Se coloca el espécimen de mezcla asfáltica compactada dentro de la canastilla o dispositivo y se sumerge en el baño de agua a una temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  evitando el contacto con las paredes como se muestra en la Figura 1 de este Manual. La canastilla o dispositivo se sumergirá a una profundidad adecuada para que esta y el espécimen queden completamente cubiertos por el agua durante la operación de pesado. Se verifica que no se produzcan burbujas al momento de sumergirlo; se determina en estas condiciones la masa del espécimen con la canastilla o dispositivo y se designa esta masa como  $W_2$ , en g. Si la temperatura del espécimen difiere de la temperatura del baño de agua en más de  $2^\circ\text{C}$ , el espécimen se sumerge en el baño de agua de 10 a 15 min.

## K. CÁLCULOS Y RESULTADOS

### K.1. CÁLCULO DE LA DENSIDAD RELATIVA DEL ESPÉCIMEN RECUBIERTO CON PELÍCULA PLÁSTICA

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

$$d_{mc} = \frac{W_s}{W_1 - W_2 - \frac{W_1 - W_s}{d_{fap}}}$$

Donde:

- $d_{mc}$  = Densidad relativa de la mezcla asfáltica compactada, (adimensional)
- $W_s$  = Masa del espécimen seco en aire, (g)
- $W_1$  = Masa del espécimen cubierto con película plástica, (g)
- $W_2$  = Masa del espécimen cubierto con película plástica sumergido en agua, (g)
- $d_{fap}$  = Densidad relativa aparente de la película plástica a  $25^\circ\text{C}$ , (adimensional)

### K.2. CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA COMPACTADA

$$\rho_{mc} = d_{mc} \times D_w$$

Donde:

- $\rho_{mc}$  = Densidad de la mezcla asfáltica compactada, (g/m<sup>3</sup>)
- $d_{mc}$  = Densidad relativa de la mezcla asfáltica compactada, (adimensional)
- $D_w$  = Densidad del agua a  $25^\circ\text{C}$ , que se considera igual a 0,997 g/m<sup>3</sup>

### K.3. CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

Se realiza una corrección por temperatura cuando la temperatura del baño de agua es diferente de  $25^\circ\text{C}$ .

- K.3.1.** Si la diferencia en temperatura es igual que  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  o menor, la densidad relativa de la mezcla asfáltica compactada se determina de la siguiente manera:

$$d_{mc} = K \times d'_{mc}$$

Donde:

$d_{mc}$  = Densidad relativa de la mezcla asfáltica compactada, (adimensional)

$K$  = Valor de corrección indicado en la Tabla 1 de este Manual, (adimensional)

$d'_{mc}$  = Densidad relativa de la mezcla asfáltica a otra temperatura, (adimensional)

**TABLA 1.- Factor de conversión  $K$  para diferentes temperaturas**

Temperatura °C	Factor de Corrección $K$
10	1,002 661
11	1,002 567
12	1,002 458
13	1,002 338
14	1,002 204
15	1,002 060
16	1,001 903
17	1,001 734
18	1,001 555
19	1,001 364
20	1,001 162
21	1,000 950
22	1,000 728
23	1,000 495
24	1,000 253
25	1,000 000
26	0,999 738
27	0,999 467
28	0,999 187
29	0,998 898
30	0,998 599

- K.3.2.** Si la diferencia en temperatura es mayor de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ , se realiza una corrección a la masa del agua desplazada, usando la siguiente expresión:

$$\text{Corrección} = \Delta T K_s \left[ W_1 - W_2 - \frac{W_1 - W_s}{d_{fap}} \right]$$

Donde:

$\Delta T$  =  $25^{\circ}\text{C}$  menos la temperatura de prueba obtenida del baño de agua, ( $^{\circ}\text{C}$ )

$K_s$  = Coeficiente promedio de la expansión térmica cúbica del concreto asfáltico, que se considera igual a  $6 \times 10^{-5}$  ml/ml/ $^{\circ}\text{C}$

$W_s$  = Masa del espécimen seco en aire, (g)

$W_1$  = Masa del espécimen cubierto con película plástica, (g)

$W_2$  = Masa del espécimen cubierto con película plástica sumergido en agua, (g)

$d_{fap}$  = Densidad relativa aparente de la película plástica a  $25^{\circ}\text{C}$ , (adimensional)

- K.4.** Además de lo indicado en las Fracciones anteriores de este Manual, el informe de los resultados incluirá, como mínimo, los siguientes datos:

- Número de especímenes.
- Tipo de mezcla asfáltica compactada.
- Tamaño del espécimen.
- Absorción de agua respecto al volumen, en %.
- Densidad relativa de la película plástica, (adimensional).
- Densidad relativa del espécimen recubierto con la película plástica a  $25^{\circ}\text{C}$  a una aproximación de 0,001, (adimensional).
- Densidad de la mezcla asfáltica compactada a  $25^{\circ}\text{C}$  a una aproximación de  $0,001 \text{ g/cm}^3$ .

## L. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- L.1.** Realizar la prueba en un lugar cerrado, bien ventilado, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de material.
- L.2.** Cuidar 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.
- L.3.** Verificar que la balanza se encuentre debidamente calibrada y se coloque sobre una superficie perfectamente horizontal y sin vibraciones al momento de realizar la prueba.
- L.4.** Se verificará que los especímenes de mezcla asfáltica compactada no presenten distorsiones, pandeos o agrietamiento durante y después de su remoción de la carpeta o del molde.
- L.5.** En el caso de especímenes extraídos de una carpeta, se almacenarán en un cuarto húmedo.
- L.6.** En el proceso de estiramiento de la película plástica para alcanzar las medidas deseadas, se cuidará de no romperla o crear agujeros.

# 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](http://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](mailto:normas@imt.mx)