

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 053. Deformación Permanente por Rodera con Rueda Cargada de Hamburgo

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la deformación permanente por rodera de una mezcla asfáltica compactada, utilizando la máquina de rueda cargada de Hamburgo, a que se refiere la Norma N·CMT·4·05·003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite medir la deformación permanente por rodera de muestras de mezcla asfáltica en caliente compactada elaboradas en laboratorio o de aquellas que se tomen de una capa tendida y compactada, provocada por el movimiento cíclico concentrado de una rueda metálica cargada. Su aplicación principal es identificar aquellas mezclas asfálticas susceptibles al desgranamiento causado por la falta de adherencia entre el cemento asfáltico y el material pétreo, así como simular el daño por rodera provocado por el paso continuo de los vehículos cargados.

C. REFERENCIAS

Es referencia de este Manual, la norma ASTM D8079, *Standard Practice for Preparation of Compacted Slab Asphalt Mix Samples Using a Segmented Rolling Compactor* publicada por la ASTM International, en EUA, en el año 2016.

Además, este Manual se complementa con la siguiente:

NORMA Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras	N·CMT·4·05·003
Criterios Estadísticos de Muestreo	M·CAL·1·02
Muestreo de Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·05·032
Densidad Relativa y Absorción de las Mezclas Asfálticas No Absorbentes Compactadas	M·MMP·4·05·051
Compactación de Mezclas Asfálticas en Caliente Mediante el Uso del Compactador Giratorio	M·MMP·4·05·058
Densidad Teórica Máxima de Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·05·062
Densidad Relativa y Absorción de las Mezclas Asfálticas Absorbentes Compactadas	M·MMP·4·05·063

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.

D.1. MÁQUINA DE RUEDA CARGADA DE HAMBURGO

Dispositivo eléctrico capaz de mover una rueda de acero de $203,2 \pm 2$ mm de diámetro y de $47 \pm 0,5$ mm de ancho que se mueve sobre dos especímenes de prueba. La carga en la rueda es de $705 \pm 4,5$ N. La rueda realizará 52 ± 2 pasadas por min con una velocidad máxima de 30,5 cm/s aproximadamente medido en el punto central del espécimen. Que cuente con:

D.1.1. Unidad central de procesamiento

Con teclado y pantalla electrónica, equipada con un programa de cómputo que permita ingresar los datos de identificación de los especímenes, temperatura y el número de pasadas. Capaz de mostrar los valores de la deformación provocadas por el movimiento cíclico de la rueda cargada presentándolos de manera textual y gráfica en tiempo real.

D.1.2. Sistema de control de temperatura

Baño de agua, capaz de mantener la temperatura del agua en un rango de 25 a $70 \pm 1^\circ\text{C}$, con un sistema de circulación mecánica que estabilice la temperatura del espécimen dentro del tanque.

D.1.3. Sistema de medición de deformaciones permanentes por rodera

Dispositivo transductor lineal variable diferencial (LVDT por sus siglas en inglés, *Linear Variable Differential Transducer*) con un rango de medición entre 0 y 20 mm, capaz de medir la profundidad de la rodera al centro $\pm 1,27$ mm (0,5 in) a lo largo de la trayectoria de la rueda, con una aproximación de 0,15 mm. El registro de los datos se realiza al menos cada 400 pasadas, sin detener la rueda.

D.1.4. Contador de ciclos

Solenoides sin contacto, capaz de contar cada ciclo de la rueda sobre el espécimen y estará acoplado al sistema de medición de la rueda permitiendo que la deformación permanente por rodera sea expresada en función de las pasadas de la rueda.

D.1.5. Sistema de montaje del espécimen

Capaz de restringir el desplazamiento del espécimen hasta en 0,5 mm durante la prueba y mantenerlo suspendido de modo que permita un tirante mínimo de 20 mm de agua que circule libremente por toda la superficie del espécimen; consta de una charola y asas para su sujeción, además, dependiendo del tipo de especímenes, se requiere:

D.1.5.1. Para especímenes cilíndricos de 150 mm de diámetro, arreglo conformado por dos moldes de polietileno de alta densidad o un mortero de yeso-cemento, para asegurar el espécimen cuando se coloque dentro del sistema de montaje del espécimen, como se muestran en las Figuras 1 y 2 de este Manual. La mezcla de yeso que se utilice será una mezcla de yeso-cemento, 90% de yeso y 10% de cemento Pórtland, que resista al menos 890 N sin agrietarse.

D.1.5.2. Para especímenes rectangulares o diámetros de 250 mm, charola de acero inoxidable, montada rígidamente a la máquina.

D.2. SIERRA ELÉCTRICA

Provista de discos de metal endurecido con virutas de diamante incrustadas o de una hoja abrasiva como carborundo o material similar y de los accesorios para operarlo en función del tamaño máximo nominal del material pétreo y espesor de la capa de mezcla asfáltica por cortar.

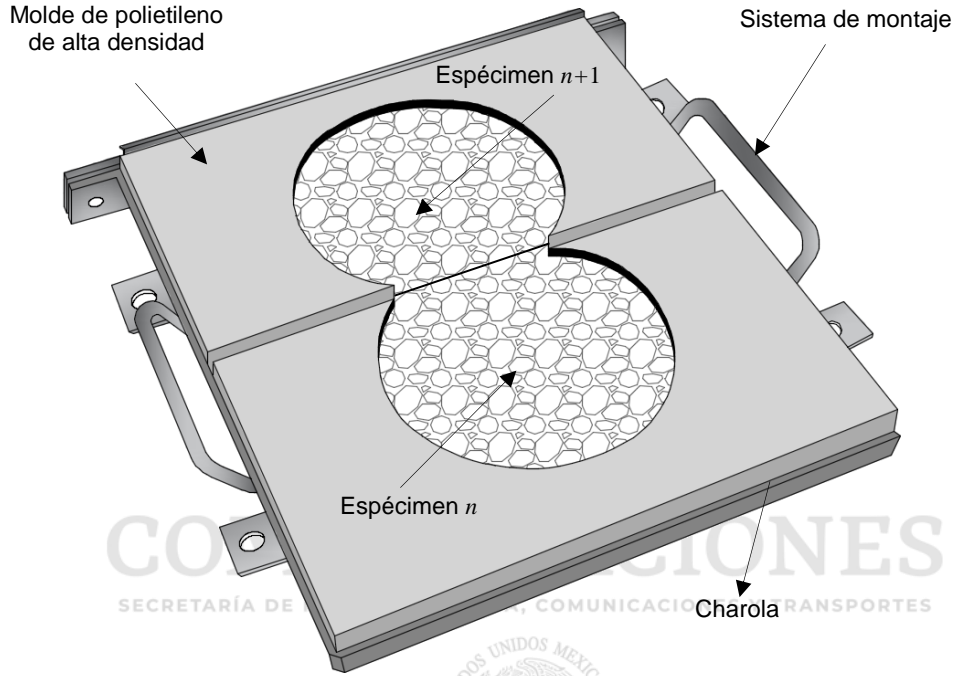


FIGURA 1.- Sistema de montaje con molde para espécimen cilíndrico de 150 mm de diámetro

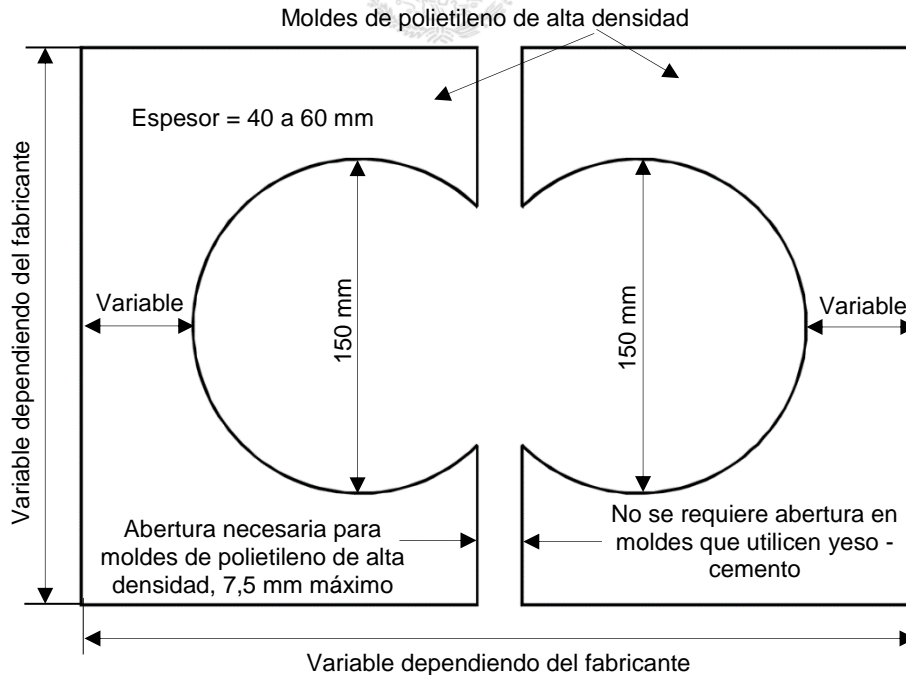


FIGURA 2.- Molde para espécimen cilíndrico de 150 mm de diámetro

D.3. BALANZA

Con capacidad de 12 000 g y aproximación de 0,1 g.

D.4. CHAROLAS

De acero inoxidable de 300 x 360 mm con altura variable de 40 a 100 mm.

D.5. HORNO

De ventilación forzada, con termostato para mantener una temperatura en un rango de 50 a 204 \pm 3°C.

D.6. CUCHARA DE ALBAÑIL O ESPÁTULA

De tamaño adecuado para manipular el material.

D.7. YESO

El necesario, de albañilería o tipo parís.

D.8. CEMENTO PÓRTLAND

El necesario, tipo CPO (cemento Pórtland ordinario).

D.9. ACEITE LUBRICANTE

El necesario, para la lubricación de los moldes de mezcla asfáltica, anticorrosivo y resistente a altas temperaturas.

E. ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES EN LABORATORIO

Los especímenes pueden ser cilíndricos o rectangulares y se preparan 2 juegos de 2 especímenes cilíndricos o 1 juego de 2 especímenes rectangulares por cada muestra de mezcla asfáltica en caliente ya sea elaborada en el laboratorio, tomada de la planta de mezclado o de una capa tendida y compactada, de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-4-05-032, *Muestreo de Mezclas Asfálticas*; solo si el diámetro del espécimen es de 150 mm, entonces se elaboran 4 de ellos y se probarán en juegos de 2.

E.1. ESPECÍMENES ELABORADOS CON MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA EN EL LABORATORIO O TOMADA DE LA PLANTA DE MEZCLADO

Cuando la mezcla sea producida y compactada en laboratorio o tomada de la planta de mezclado, el procedimiento para la preparación de cada tipo de especímenes será el siguiente:

- E.1.1.** Se prepara la mezcla asfáltica en el laboratorio de acuerdo con lo indicado en el proyecto, se acondiciona colocándola en una charola y se deja en el horno a una temperatura de compactación \pm 3°C para su acondicionamiento; si la mezcla asfáltica tiene una absorción igual a 2 o menor, se deja en el horno por un periodo de 2 h \pm 10 min; para el caso de mezcla asfáltica con absorción mayor a 2 se deja por un periodo de 4 h \pm 5 min; durante este periodo la mezcla se revuelve con la espátula o chuchara de albañil cada 60 \pm 5 min con la finalidad de tener un acondicionamiento uniforme. En caso de colocar varias charolas, se tendrá precaución de colocarlas de tal manera que tengan el suficientemente espacio que permita la libre circulación del aire.

E.1.2. En el caso de muestras de mezcla tomadas de la planta de mezclado o a la salida del tambor mezclador, se acondicionan colocándolas en el horno y calentándolas a la temperatura de compactación $\pm 3^{\circ}\text{C}$ durante 120 ± 10 min.

E.1.3. Especímenes cilíndricos

E.1.3.1. Transcurrido el periodo de acondicionamiento, la mezcla asfáltica se retira del horno y se elaboran y compactan cuatro especímenes de 150 mm de diámetro de acuerdo con el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-05-058, *Compactación de Mezclas Asfálticas en Caliente Mediante el Uso del Compactador Giratorio*, ajustando la altura del espécimen hasta alcanzar un volumen de vacíos en la mezcla asfáltica compactada (VMC) de $7,0 \pm 0,5\%$. El espesor de los especímenes será de al menos el doble del tamaño máximo nominal del material pétreo. Generalmente se obtiene un espécimen de 38 a 100 mm de espesor.

E.1.3.2. Usando la sierra, se cortan los especímenes cilíndricos de manera que puedan acoplarse al sistema de montaje, para lo cual se realiza un corte transversal a lo largo de la secante del perímetro de cada espécimen a una distancia aproximada de 16 mm del centro del espécimen al borde exterior. Los especímenes quedan unidos, sin espacios entre los cortes mayores de 7,5 mm y con su espesor ajustado para quedar al ras del sistema de montaje.

E.1.4. Especímenes rectangulares

E.1.4.1. Transcurrido el periodo de acondicionamiento se retira la mezcla asfáltica del horno y se compacta, utilizando el compactador lineal de acuerdo con lo indicado en la norma ASTM D8079, *Standard Practice for Preparation of Compacted Slab Asphalt Mix Samples Using a Segmented Rolling Compactor*, hasta alcanzar un volumen de vacíos en la mezcla asfáltica compactada (VMC) de $7,0 \pm 1 \%$. El espesor de los especímenes será de al menos el doble del tamaño máximo nominal del material pétreo con dimensiones aproximadas de 320 mm de largo y 260 mm de ancho. Generalmente se obtiene un espécimen de 38 a 100 mm de espesor.

E.1.4.2. Los moldes utilizados en la elaboración de los especímenes se colocan sobre una superficie plana y se dejan enfriar a temperatura ambiente por un periodo de 16 ± 1 h para posteriormente extraer los especímenes y cortarlos de manera que puedan colocarse en el sistema de montaje.

E.2. ESPECÍMENES OBTENIDOS DE CAPAS TENDIDAS Y COMPACTADAS

E.2.1. Los especímenes de capas tendidas y compactadas se obtienen por medio la extracción de corazones, de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-4-05-032, *Muestreo de Mezclas Asfálticas*, de los sitios más representativos del estado general del pavimento extraídos al azar mediante un procedimiento basado en tablas de números aleatorios conforme a lo indicado en el Manual M-CAL-1-02, *Criterios Estadísticos de Muestreo*.

E.2.2. Se obtienen 2 especímenes cilíndricos de 150 ± 2 mm de diámetro o 1 de 250 ± 2 mm de diámetro o 1 rectangular de aproximadamente 320 mm de largo y 260 mm de ancho, por punto de muestreo. En el caso de los corazones se requiere un espesor de aproximadamente de 38 mm y para los rectangulares aproximadamente de 38 a 100 mm.

E.2.3. Dependiendo del tipo de espécimen, se cortan de acuerdo con lo indicado en los Párrafos E.1.3.2. y E.1.4.2. de este Manual.

E.3. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE VACÍOS

- E.3.1.** Se determina y registra la densidad relativa teórica máxima de la mezcla, d_{mm} , de acuerdo con el procedimiento establecido en el Manual M-MMP-4-05-062, *Densidad Teórica Máxima de Mezclas Asfálticas*. La masa de cada espécimen puede variar dependiendo de la naturaleza del agregado, el rango de variación puede encontrarse entre 2 300 a 2 600 g.
- E.3.2.** Se determina y registra la densidad relativa de la mezcla asfáltica compactada, d_{mc} de cada espécimen considerando lo siguiente:
- E.3.2.1.** Cuando la absorción de la mezcla asfáltica sea menor al 2%, se determina de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-4-05-051, *Densidad Relativa y Absorción de las Mezclas Asfálticas No Absorbentes Compactadas*.
- E.3.2.2.** Si la absorción de la mezcla asfáltica compactada es mayor al 2% se determina de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-4-05-063, *Densidad Relativa y Absorción de las Mezclas Asfálticas Absorbentes Compactadas*.
- E.3.3.** Se calcula el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla asfáltica compactada, VMC , de acuerdo con la siguiente expresión:

$$VMC = \frac{d_{mm} - d_{mc}}{d_{mm}} \times 100$$

Donde:

- VMC = Vacíos de aire en la mezcla compactada respecto al volumen del espécimen, (%)
- d_{mm} = Densidad relativa teórica máxima de la mezcla, (adimensional)
- d_{mc} = Densidad relativa de la mezcla asfáltica compactada, (adimensional)

- E.3.4.** Para mezclas asfálticas compactadas en el laboratorio, el contenido de vacíos será de $7,0 \pm 0,5$ % para especímenes cilíndricos y de $7,0 \pm 1,0$ % para especímenes rectangulares. Las muestras obtenidas en campo serán probadas con el contenido de vacíos al momento de su obtención.

E.4. MONTAJE DE LOS ESPECÍMENES

- E.4.1.** Previo al montaje de los especímenes, se identifican con el número consecutivo de prueba que les corresponda.
- E.4.2.** Los especímenes cilíndricos o corazones de 150 mm de diámetro, se colocan dentro de los moldes del sistema de montaje o directamente en la charola del sistema de montaje asegurándolos con la mezcla de yeso simulando el arreglo y las dimensiones que se muestran en la Figura 2 de este Manual, procurando que la superficie de la mezcla de yeso-cemento Pórtland, quede al ras del espesor del espécimen para que no existan espacios vacíos ni que el yeso fluya debajo del espécimen en más de 2 mm de espesor. A continuación, se deja que fragüe el yeso al menos 60 min antes de iniciar con la prueba. En ambos casos se sujeta firmemente el sistema de montaje en la máquina de rueda cargada de Hamburgo antes de iniciar la prueba.

- E.4.3.** En el caso de especímenes extraídos en campo con diámetro mayor de 250 mm o rectangulares, estos se colocan centrados y nivelados en la charola del sistema de montaje, embebidos en la mezcla yeso-cemento Pórtland. La mezcla se deja endurecer por un periodo de 24 horas previo a la prueba. Para limpiar con facilidad la charola del sistema de montaje, se aplica aceite lubricante antes de colocar el mortero que sujetará a los especímenes.
- E.4.4.** En caso de no contar con la mezcla de yeso-cemento Pórtland, se puede utilizar otra mezcla como material de montaje, siempre que soporte una carga de al menos 890 N sin agrietarse.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- F.1.** Se colocan los sistemas de montaje con los especímenes en la máquina de rueda cargada de Hamburgo, se enciende la máquina y se ingresa la información requerida del proyecto y se configuran los requisitos de la prueba.
- F.2.** Se selecciona la temperatura de prueba, la cual generalmente es de 50°C, así como la profundidad máxima de rodera permitida y el número máximo de pasadas basados en las especificaciones de proyecto.

F.3. MÁQUINA AUTOMÁTICA

Cuando la máquina cuente con un modo automático de prueba, se realiza lo siguiente:

- F.3.1.** La altura del dispositivo LVDT del sistema de medición de deformaciones de cada rueda se ajusta de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo y se lleva en ceros antes de comenzar la prueba, lo cual se puede observar en la pantalla electrónica de la máquina.
- F.3.2.** Se acondicionan los especímenes, colocándolos en el baño de agua de la máquina, durante 30 min contados a partir de que el agua haya alcanzado la temperatura de prueba seleccionada. Los especímenes no permanecerán sumergidos más de 60 ± 5 min antes de iniciar la prueba, incluyendo el tiempo de acondicionamiento.
- F.3.3.** Cuando se prueben especímenes cilíndricos, se hace descender la rueda hasta la orilla de los especímenes de modo que la mayor parte de la superficie de la rueda esté en contacto con los moldes del sistema de montaje. En el caso de especímenes rectangulares, se hace descender la rueda hasta entrar en contacto no más de 5 min antes de arrancar la prueba.
- F.3.4.** El sistema que sujete la rueda se detiene a las 20 000 pasadas o cuando la prueba haya alcanzado la mayor deformación permanente por rodera permitida en proyecto, que generalmente es de 10 mm. Se registra y almacena la información de la prueba como se muestra en la Tabla 1 de este Manual.
- F.3.5.** Se levanta la rueda y se remueven los especímenes deformados.

F.4. MÁQUINA MANUAL

Cuando la máquina solo cuente con modo manual de prueba, se realiza lo siguiente:

- F.4.1.** Se cierra la válvula de drenaje de la máquina y se llena el baño de agua con agua fría y caliente hasta que se alcance la temperatura requerida para la prueba y que el sistema de montaje quede en posición horizontal. Los especímenes se acondicionan según lo indicado en el Inciso F.3.2. de este Manual.

- F.4.2.** Una vez pasado el tiempo de acondicionamiento, se hace descender la rueda hasta entrar en contacto con el espécimen máximo 5 min antes de arrancar la prueba.
- F.4.3.** El dispositivo LVDT del sistema de medición de deformaciones de cada rueda se ajusta de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo para que pueda medir entre 10 y 18 mm de deformación. A continuación, se inicia la prueba.
- F.4.4.** El sistema que sujete la rueda se detiene a las 20 000 pasadas o cuando la prueba haya alcanzado la mayor deformación permanente por rodadura permitida en proyecto, que es generalmente de 10 mm. El sistema se desmonta cuando el promedio de la deformación permanente, leído directamente del LVDT y no de la pantalla de la máquina, es de 20 mm aproximadamente para un espécimen individual.
- F.4.5.** Se abre la válvula de drenaje situada debajo del tanque y se desaloja el baño de agua. Se levanta la rueda y se remueven de la máquina los especímenes deformados.
- F.4.6.** Se registra la información de la prueba como se muestra en la Tabla 1 de este Manual.

TABLA 1.- Registro de resultados de la prueba

Identificación de la muestra	
Tipo de espécimen	
Dimensiones del espécimen, mm	
Fecha de la prueba	
Temperatura de prueba, °C	
Número de pasadas máximo	

RESULTADOS	Rueda 1		Rueda 2	
	No. Espécimen		No. Espécimen	
Densidad relativa de la mezcla asfáltica compactada, d_{mc} , adimensional				
Densidad relativa teórica máxima, d_{mm} , adimensional				
Vacios de aire en la mezcla asfáltica compactada, VMC , en %				
Número de pasadas máximo				
Deformación permanente, DP_R , al número de pasadas máximo, en mm				
Punto de inflexión por pérdida de adherencia, $PIPA$, en pasadas				
Deformación permanente promedio, al número de pasadas máximo, en mm				

G. CÁLCULOS Y REPORTE DE RESULTADOS

Para el cálculo y reporte de resultados de cada espécimen, se realiza lo siguiente:

- G.1.** Se gráfica en el eje de las abscisas el número de pasadas N , y en el eje de las ordenadas la deformación permanente por rodadura, en mm.
- G.2.** Se calculan las pendientes de deformación permanente y de pérdida de adherencia, y se grafican como se muestra en la Figura 3 de este Manual.

- G.3.** Se determina el punto de inflexión por pérdida de adherencia *PIPA*, como la intersección de la pendiente de deformación permanente y la pendiente de pérdida de adherencia, expresado en pasadas, como se muestra en la Figura 3 de este Manual, y los resultados se registran en el registro de resultados de la prueba mostrado en la Tabla 1 de este Manual.

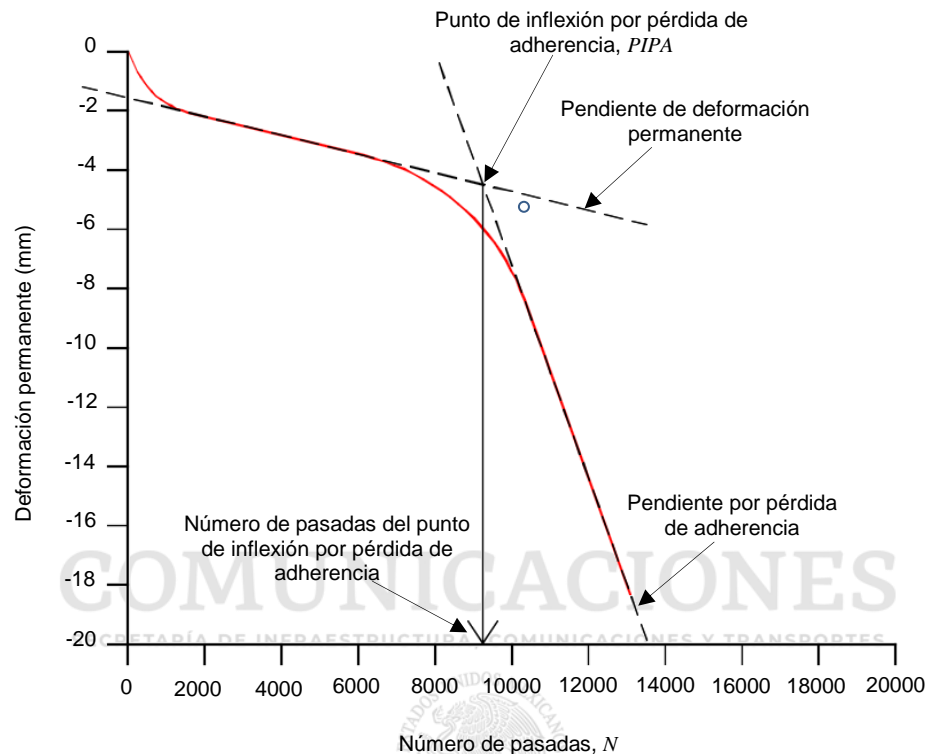


FIGURA 3.- Representación gráfica de los resultados de la prueba de deformación permanente por rodera con rueda cargada de Hamburgo

- G.4.** Se entrega un informe de resultados que incluya, como mínimo, lo siguiente:
- Fecha de la prueba.
 - Operador o laboratorista.
 - En muestras de mezclas tendidas y compactadas, fechas y localización del punto de muestreo.
 - Reporte fotográfico de los especímenes antes de la prueba sobre los moldes y después de la prueba de Hamburgo.
 - Reporte fotográfico del punto de muestreo durante la extracción de los especímenes.
 - Temperatura de prueba.
 - Contenido de cemento asfáltico.
 - Granulometría de la mezcla expresada como porcentaje que pasa la malla correspondiente.
 - Resultados de la prueba expresados de manera textual y gráfica.
 - La gráfica de los resultados de la prueba de deformación permanente por rodera con rueda cargada de Hamburgo, que muestra la pendiente de deformación permanente y la pendiente por pérdida de adherencia.

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- H.1. Que la prueba se realice 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 la muestra de material.
- 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.
- H.3. Que la balanza esté limpia en todas sus partes, bien calibrada y colocada en una superficie horizontal, sin vibraciones que alteren las lecturas.
- H.4. Que se respeten estrictamente tanto los tiempos como las temperaturas durante el acondicionamiento y preparación para ensayo de los especímenes.
- H.5. Que las muestras de mezcla asfáltica correspondan con las características indicadas en el proyecto.

COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



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