

SECCIONES 700 Y 800 – MATERIALES Y MEZCLAS ASFÁLTICAS Y PROSPECCIÓN DE PAVIMENTOS (SEGUNDA PARTE)

I.N.V. E – 754	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 755	HUMEDAD O DESTILADOS VOLÁTILES EN MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS
I.N.V. E – 756	RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA PISTA DE ENSAYO DE LABORATORIO
I.N.V. E – 757	EFEECTO DEL AGUA SOBRE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS SUELTAS
I.N.V. E – 758	EXTRACCIÓN DE TESTIGOS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS
I.N.V. E – 759	RECUPERACIÓN DEL ASFALTO DE UNA SOLUCIÓN UTILIZANDO EL EVAPORADOR ROTATORIO
I.N.V. E – 760	CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE
I.N.V. E – 761	CONTENIDO DE AGUA EN UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA
I.N.V. E – 762	DESTILACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 763	VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL DE EMULSIONES ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 764	SEDIMENTACIÓN Y ESTABILIDAD DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 765	TAMIZADO DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 766	DEMULSIBILIDAD DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 767	IDENTIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE LAS PARTÍCULAS
I.N.V. E – 768	pH DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

I.N.V. E – 769	CUBRIMIENTO Y RESISTENCIA AL DESPLAZAMIENTO POR EL AGUA DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 770	ENSAYO DE MEZCLA CON CEMENTO DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 771	RESIDUO POR EVAPORACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 772	ENSAYO DE ENVUELTA DE AGREGADOS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 773	MISCIBILIDAD CON AGUA DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 774	ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS AGREGADOS FINOS (MÉTODO RIEDEL-WEBER)
I.N.V. E – 775	DETERMINACIÓN DE LA ADHESIÓN ENTRE EL LIGANTE Y EL AGREGADO POR EL MÉTODO DE ENSAYO DE CHOQUE DE LA PLACA VIALIT
I.N.V. E – 776	REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE AL TAMAÑO DE ENSAYO
I.N.V. E – 777	CONSISTENCIA CON EL CONO Y TIEMPO DE ROTURA DE LAS LECHADAS ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 778	ABRASIÓN DE LAS LECHADAS ASFÁLTICAS POR VÍA HÚMEDA (WTAT)
I.N.V. E – 779	MEDIDA DEL EXCESO DE ASFALTO EN LECHADAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA ADHESIÓN DE ARENA EN LA MÁQUINA DE RUEDA CARGADA (LWT)
I.N.V. E – 780	MÉTODO DE ENSAYO PARA CLASIFICAR LAS LECHADAS ASFÁLTICAS POR MEDIDA DEL PAR DE TORSIÓN, EN EL COHESÍMETRO, EN FUNCIÓN DE LOS TIEMPOS DE ROTURA Y CURADO
I.N.V. E – 781	CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ASFALTO QUE ABSORBE UN AGREGADO

I.N.V. E – 782	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS EXTRAÍDOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 783	CONTENIDO DE HUMEDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO DE SECADO EN EL HORNO
I.N.V. E – 784	DETERMINACIÓN DE LAS LEYES DE FATIGA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EN CALIENTE SOMETIDAS A FLEXIÓN DINÁMICA
I.N.V. E – 785	DISEÑO DE MEZCLAS DE AGREGADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO ESPUMADO
I.N.V. E – 786	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA (RTI) DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 787	DENSIDAD EN EL SITIO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE MEZCLA EN CALIENTE UTILIZANDO EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE CONTACTO SUPERFICIAL
I.N.V. E – 788	MEDIDA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE, DE LA SUPERFICIE Y DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA
I.N.V. E – 789	MEDIDA DEL AHUELLAMIENTO EN SUPERFICIES PAVIMENTADAS
I.N.V. E – 790	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI) PARA MEDIR LA RUGOSIDAD DE PAVIMENTOS
I.N.V. E – 791	MEDIDA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO EMPLEANDO LA TÉCNICA VOLUMÉTRICA
I.N.V. E – 792	MEDIDA DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO USANDO EL PÉNDULO BRITÁNICO
I.N.V. E – 793	MEDIDA DE LA IRREGULARIDAD SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO MEDIANTE LA REGLA DE TRES METROS, ESTÁTICA O RODANTE
I.N.V. E – 794	CÁLCULO DEL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI) DE PAVIMENTOS DE CARRETERAS

I.N.V. E – 795	MEDIDA DE LAS DEFLEXIONES DE UN PAVIMENTO EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN
I.N.V. E – 796	PERMEABILIDAD IN SITU DE CAPAS ASFÁLTICAS DRENANTES CON EL PERMEÁMETRO LCS (LABORATORIO DE LA ESCUELA DE CAMINOS DE SANTANDER, ESPAÑA)
I.N.V. E – 797	MEDIDAS DE DEFLEXIÓN EN PAVIMENTOS
I.N.V. E – 798	MÉTODO PARA MEDIR DEFLEXIONES MEDIANTE DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FWD)
I.N.V. E – 799	ANÁLISIS VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EN CALIENTE
I.N.V. E – 800	RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL SOBRE PROBETAS DE 152.4 MILÍMETROS (6 PULGADAS) DE DIÁMETRO
I.N.V. E – 801	CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA DE CEMENTOS ASFÁLTICOS A PARTIR DE LA PENETRACIÓN
I.N.V. E – 802	DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DE LA DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS MEDIANTE EL MÉTODO DE SELLADO AUTOMÁTICO POR VACÍO
I.N.V. E – 803	DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA Y DE LA DENSIDAD MÁXIMA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE SELLADO AUTOMÁTICO POR VACÍO
I.N.V. E – 804	DETERMINACIÓN DE LOS VACÍOS CON AIRE EFECTIVOS DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS
I.N.V. E – 805	MEDIDA DE LA PERMEABILIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTACIÓN EMPLEANDO UN PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE
I.N.V. E – 806	CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD IN-SITU DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO

- I.N.V. E – 807 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COMPACTABILIDAD DE UNA MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO
- I.N.V. E – 808 RESISTENCIA A LA FATIGA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE FLEXIÓN EN DOS PUNTOS SOBRE PROBETAS TRAPEZOIDALES
- I.N.V. E – 809 DENSIDAD DE RECHAZO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL MÉTODO MARSHALL
- I.N.V. E – 810 SECADO RÁPIDO DE PROBETAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO UN APARATO DE SECADO AL VACÍO
- I.N.V. E – 811 EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA ENTRE CAPAS DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE UN ENSAYO DE CORTE
- I.N.V. E – 812 DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN Y DEL GRADO DEL AGENTE DE RECICLADO EN MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO ELABORADAS EN CALIENTE CON MATERIAL RECICLADO
- I.N.V. E – 813 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL MÉTODO VIZIR
- I.N.V. E – 814 MEDIDA DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO EMPLEANDO UN PERFILÓMETRO PIVOTANTE DE ALTA PRECISIÓN
- I.N.V. E – 815 MEDIDA DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO DE PAVIMENTOS Y OTRAS SUPERFICIES SOMETIDAS A TRÁNSITO, EMPLEANDO UN DISPOSITIVO DE RUEDA PARCIALMENTE BLOQUEADA CON GRADO DE DESLIZAMIENTO FIJO
- I.N.V. E – 816 CUANTIFICACIÓN DE LAS GRIETAS EN LA SUPERFICIE DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO
- I.N.V. E – 817 DETERMINACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS A LA SEGREGACIÓN
- I.N.V. E – 818 DETERMINACIÓN DE LA TASA DE APLICACIÓN DE ASFALTO POR MEDIO DE UN CARROTANQUE DISTRIBUIDOR

- I.N.V. E – 819 DETERMINACIÓN DE LA TASA DE APLICACIÓN DE AGREGADOS EN LOS TRATAMIENTO SUPERFICIALES
- I.N.V. E – 820 MEDIDA DE LA PROFUNDIDAD DE LAS ESTRÍAS DE TEXTURIZADO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS Y TABLEROS DE PUENTES
- I.N.V. E – 821 MÉTODO DE LAS DIFERENCIAS ACUMULADAS PARA LA DELIMITACIÓN DE UNIDADES HOMOGÉNEAS
- I.N.V. E – 822 COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE DOS JUEGOS DE DATOS
- I.N.V. E – 823 GUÍA PARA EL USO DE CIFRAS SIGNIFICATIVAS Y EL REDONDEO EN LA VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN
- I.N.V. E – 824 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO ELABORADAS CON ASFALTO–CAUCHO
- I.N.V. E – 825 ESCURRIMIENTO DE LIGANTE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

INV E – 754 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo se refiere a la determinación de la densidad de las emulsiones asfálticas empleadas en la construcción vial. Su valor se emplea para determinar la masa de una emulsión asfáltica cuando se conoce su volumen.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Esta norma describe un ensayo controlado de laboratorio cuyo resultado sirve para determinar cuantitativamente los volúmenes de emulsión asfáltica a emplear en los conocimientos de embarque, en la facturación y en las tasas de aplicación.

3 ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

- 3.1** Todas las muestras de emulsión se deben agitar antes del ensayo, para obtener homogeneidad.
- 3.2** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 50° C, se deberán calentar dentro de un horno o un baño de agua a $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), manteniéndolas en sus recipientes originales, los cuales deberán ser ventilados para aliviar la presión. Luego de que las muestras alcancen $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), se deberán agitar para mantener la homogeneidad.
- 3.3** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 25° C, se deberán mezclar o agitar a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$) en sus recipientes originales hasta obtener homogeneidad.

Nota 1: Si es necesario, las emulsiones que se deban ensayar a 25° C se pueden calentar como se indica en el numeral 3.2. Si se usa este procedimiento, la muestra se deberá enfriar posteriormente a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$), antes de proceder a su ensayo.

4 EQUIPO

- 4.1 *Recipiente para medir la densidad* – Recipiente de acero inoxidable, con un volumen de 83.205 ml (Figura 754 - 1).
- 4.2 *Balanza* – Capaz de leer con aproximación a 0.01 g.
- 4.3 *Baño de agua* – Que pueda mantener una temperatura constante de $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ($77 \pm 1^\circ\text{F}$).
- 4.4 *Termómetro* – De los tipos ASTM 17C o 17F, con las siguientes características:

REFERENCIA	ASTM 17C	ASTM 17F
RANGO	19° C a 27° C	66° F a 80° F
GRADUACIONES	0.1° C	0.2° F
LONGITUD TOTAL	275 mm	10 7/8"
INMERSIÓN	Total	Total



Figura 754 - 1. Recipiente para medir la densidad

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Se agita la muestra de emulsión asfáltica y se coloca durante 1 hora en un baño de agua a $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ($77 \pm 1^\circ\text{F}$).
- 5.2 Se colocan el recipiente para medir la densidad y su tapa sobre la balanza, se tara y se pone la balanza en cero.

- 5.3** Se retira la muestra de emulsión asfáltica del baño de agua y se agita cuidadosamente, evitando que se formen burbujas. De ser necesario, la emulsión se tamiza a través de la malla de 850 μm (No. 20) para remover cualquier nata presente en ella.
- 5.4** Se lleva el recipiente para medir la densidad a una temperatura aproximada de 25° C (77° F) y se vierte la emulsión dentro de él, llenándolo completamente (o al menos dentro de los 2 mm próximos al borde superior).
- 5.5** Se coloca la tapa sobre el recipiente y se remueve el exceso de emulsión que rebose a través del orificio de la tapa, empleando para ello un trapo seco o una toalla de papel.
- 5.6** Una vez ajustada la tapa en posición, se limpia cuidadosamente el recipiente, se pesa sobre la balanza tarada con una precisión de 0.01 g y se anota el valor obtenido.

6 CÁLCULOS

- 6.1** Se calcula la densidad de la emulsión asfáltica con la siguiente expresión:

$$W = G \times 11.98 \quad [754.1]$$

Donde: W: Densidad de la emulsión asfáltica, g/L;

G: Masa de la emulsión asfáltica dentro del recipiente, g.

Nota 2: Si se desea expresar la densidad en libras por galón a 25° C (77° F) la fórmula se convierte en $W = G/10$. Las libras por galón a 25° C se pueden convertir a libras por galón a 15.6° C (60° F) multiplicando por 1.00475.

7 INFORME

- 7.1** Se informa la densidad de la emulsión asfáltica en g/L a 25° C (77° F), redondeada a la unidad.

8 PRECISIÓN Y SESGO

8.1 *Precisión* – Se deben aplicar los siguientes criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados con 95 % de probabilidad:

8.1.1 *Repetibilidad* – Resultados duplicados del mismo operador se considerarán aceptables si no difieren en más de:

DENSIDAD	REPETIBILIDAD
g/L a 25° C (77° F)	0.019

8.1.2 *Reproducibilidad* – Los resultados obtenidos en dos laboratorios sobre la misma muestra se considerarán aceptables si no difieren en más de:

DENSIDAD	REPRODUCIBILIDAD
g/L a 25° C (77° F)	0.034

8.2 *Sesgo* – El sesgo de este método de ensayo no se puede determinar, por cuanto no hay un material disponible con un valor de referencia aceptado.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6937 – 08

ANEXO A (Informativo)

PROCEDIMIENTO RECOMENDADO PARA LA NORMALIZACIÓN DEL RECIPIENTE PARA MEDIR LA DENSIDAD

A.1 La masa por galón ha sido utilizada durante años para el ensayo de muchos materiales (emulsiones asfálticas, pinturas, lacas y otros líquidos). En este anexo se recomienda una base para verificar la capacidad del recipiente, o establecer un factor de recipiente para hacer más exactas las determinaciones.

A.2 *Procedimiento recomendado* – Se pesa el recipiente vacío con su tapa y se anota el valor obtenido. Se designa esta masa como A. Se acondicionan el

recipiente y el agua destilada a $25 \pm 0.5^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1^\circ \text{F}$). Se vierte agua destilada dentro del recipiente hasta llenarlo o, al menos, hasta dentro de los 2 mm más próximos al borde superior del recipiente, evitando la inclusión de burbujas de aire. Se coloca con cuidado la tapa sobre el recipiente y se ajusta con un movimiento de rotación. Se limpia cualquier exceso de agua que rebose por el orificio de la tapa o salga alrededor del borde del recipiente. Se pesa el recipiente con su tapa y lleno de agua. Se designa esta masa como B. Se calcula la masa de agua que llena el recipiente:

$$\text{Masa neta del agua} = B - A$$

[754.2]

A.2.1 Se recomienda que esta operación se repita 3 veces con cada recipiente y se determine el valor promedio.

A.3 *Cálculos recomendados* – El factor de conversión se calcula dividiendo 83.205 por la masa neta de agua.

A.3.1 Ejemplo 1: Si el recipiente contiene realmente 83.000 g:

$83.205/83.000 = 1.0025$. Todas las lecturas del recipiente se deben multiplicar por 1.0025.

A.3.2 Ejemplo 2: Si el recipiente contiene realmente 83.400 g:

$83.205/83.400 = 0.9977$. Todas las lecturas del recipiente se deben multiplicar por 0.9977.

A.4 *Conversiones útiles* – Las siguientes conversiones son para libras por galón U.S. y gravedad específica a 25°C :

Libras por galón U.S. = (masa en gramos del contenido del recipiente) \times 0.1000 \times
factor de conversión del recipiente

Gravedad específica = (masa en gramos del contenido del recipiente) \times 0.01202 \times
factor de conversión del recipiente

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

HUMEDAD O DESTILADOS VOLÁTILES EN MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

INV E – 755 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo está destinado a la determinación, por medición directa, de la humedad de las mezclas asfálticas para pavimentos o de las fracciones volátiles del asfalto utilizado en ellas.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-755-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Este método se usa para determinar la cantidad de agua o de destilados volátiles del petróleo en mezclas asfálticas.

3 EQUIPO Y MATERIALES

- 3.1** *Alambique metálico* – Debe ser vertical y cilíndrico, similar al usado en la norma INV E-762, con reborde superior plano para ajustar herméticamente la tapa por medio de una abrazadera. La tapa debe ser metálica, preferiblemente de cobre o latón, provista con un tubo de 25.4 mm (1") de diámetro interior, para facilitar el ajuste del condensador.
- 3.2** *Condensador (refrigerante)* – De tubo de vidrio para enfriamiento con agua, con una camisa de no menos de 400 mm (15 ¾") de longitud y un tubo interno de 9.5 a 12.7 mm (3/8" a ½") de diámetro exterior. El extremo del condensador que se introduce en la trampa debe estar inclinado a un ángulo de 30° con respecto al eje vertical del condensador. Para mezclas con solventes muy volátiles, puede ser necesario utilizar un condensador adicional, de características similares al primero.
- 3.3** *Trampa (colector)* – Debe ser de vidrio bien templado y, dependiendo del propósito del ensayo, puede ser de alguno de los siguientes tipos:
- 3.3.1** Para la determinación del agua en mezclas asfálticas para pavimentos, deberá tener una capacidad de 10 a 25 ml. La trampa deberá estar

graduada con divisiones de 0.1 ml con un error máximo de ± 0.05 ml por debajo de 1 ml, y con divisiones de 0.2 ml con un error máximo de ± 0.1 ml sobre la medida de 1 ml, tal como se especifica en la Tabla 755 - 1 y en las Figuras 755 - 1 a 755 - 4. Las trampas ahusadas esféricas requieren adaptadores para su conexión al alambique metálico.

3.3.2 Para la determinación de las fracciones volátiles del asfalto, la trampa debe tener las dimensiones que se muestran en la Figura 755 - 5.

3.4 *Solvente* – Se prefiere un solvente aromático, para uso general, ya que tiene gran poder dispersante y de disolución para la mayoría de asfaltos. Se recomienda xileno, o una combinación de 20 % de tolueno y 80 % de xileno. Para asfaltos y productos similares del petróleo, se puede usar como solvente un destilado del petróleo, con 5 % de ebullición entre 90 y 100° C (194 – 212° F) y 90% de destilado por debajo de 210° C (410° F).

3.5 *Aparato calentador* – Puede ser cualquier fuente satisfactoria de calor que mantenga una velocidad de destilación de 85 a 95 gotas por minuto.

Tabla 755 - 1. Dimensiones y tamaños de las trampas

TIPO	DESCRIPCIÓN			FIGURA No.	TAMAÑO DE LA TRAMPA, ml	RANGO, ml	DIVISIÓN DE LA ESCALA MÁS PEQUEÑA, ml	ERROR MÁXIMO DE ESCALA, ml
	CABEZA DEL TUBO GRADUADO	FONDO DEL TUBO GRADUADO	FONDO DEL TUBO DE VAPOR					
A	Junta TS	Cónico	Junta TS	755-1	10	0 a 1.0 más de 1 hasta 10	0.1 0.2	0.05 0.1
B	Junta SS	Cónico	Junta SS	755-2	25	0 a 1.0 más de 1 hasta 25	0.1 0.2	0.05 0.1
C	Junta TS	Cónico	Liso	755-3	25	0 a 1.0 más de 1 hasta 25	0.1 0.2	0.05 0.1
D	Liso	Cónico	Liso	755-4	25	0 a 1.0 más de 1 hasta 25	0.1 0.2	0.05 0.1
E	Junta TS	Redondo	Junta TS	755-5	5 10	0 a 5.0 0 a 10.0	0.1 0.1	0.05 0.1

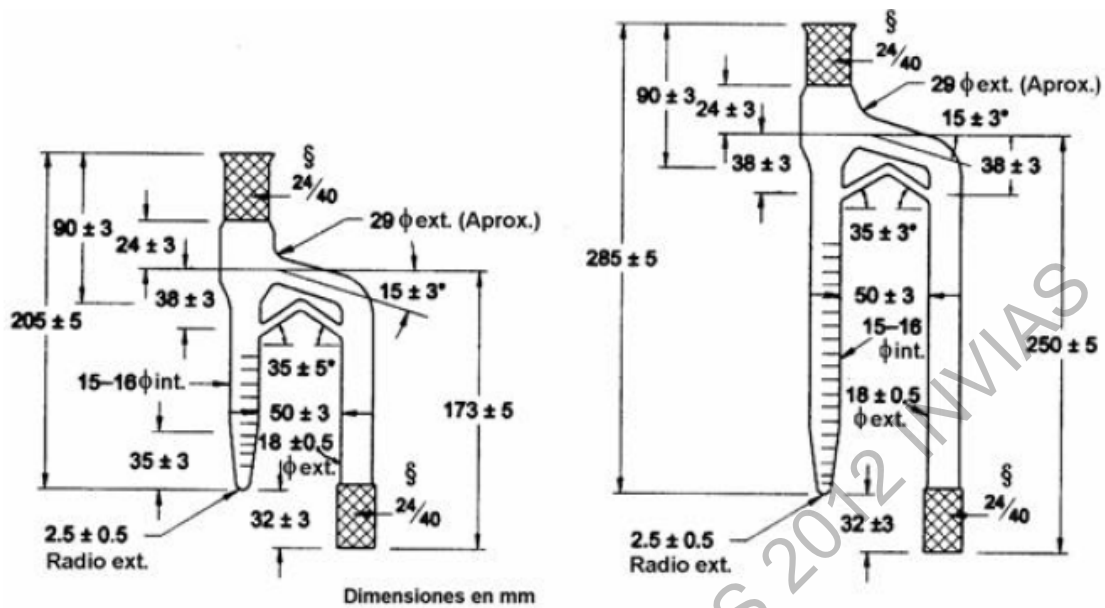


Figura 755 - 1. Trampa tipo A

4 MUESTREO

- 4.1 El muestreo se debe llevar a cabo con los procedimientos indicados en la norma INV E-731.
- 4.2 La muestra deberá ser representativa de la mezcla y su tamaño deberá ser tal, que prácticamente llene el recipiente en el cual se transporta al laboratorio. Para ensayos por duplicado, resulta adecuado un recipiente de 2 litros (½ galón).

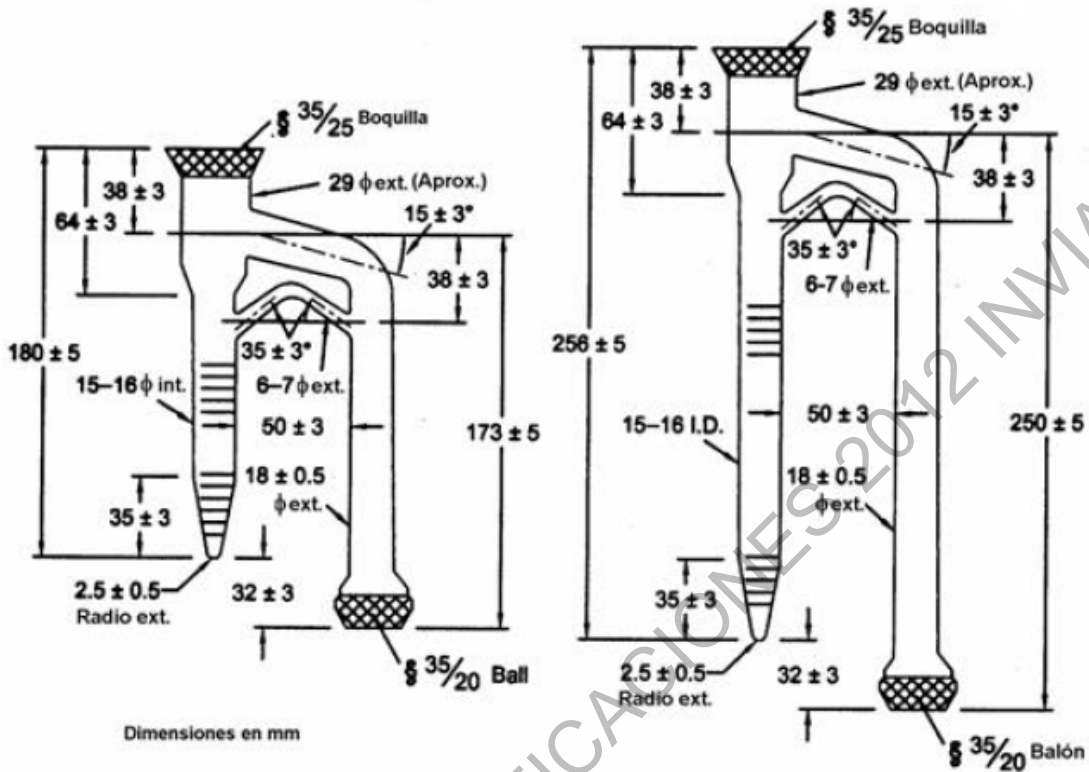


Figura 755 - 2. Trampa tipo B

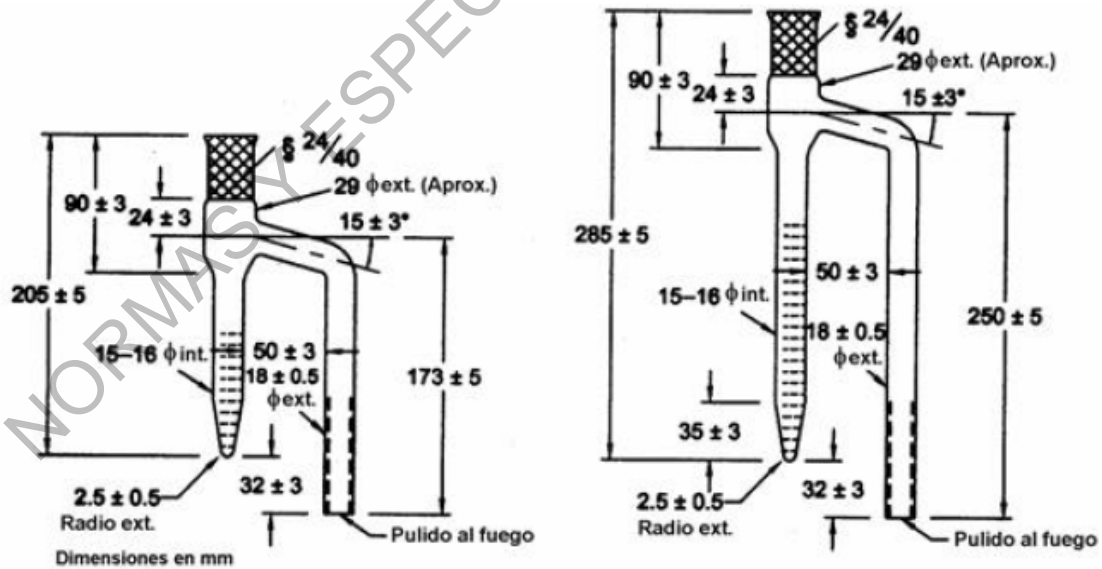


Figura 755 - 3. Trampa tipo C

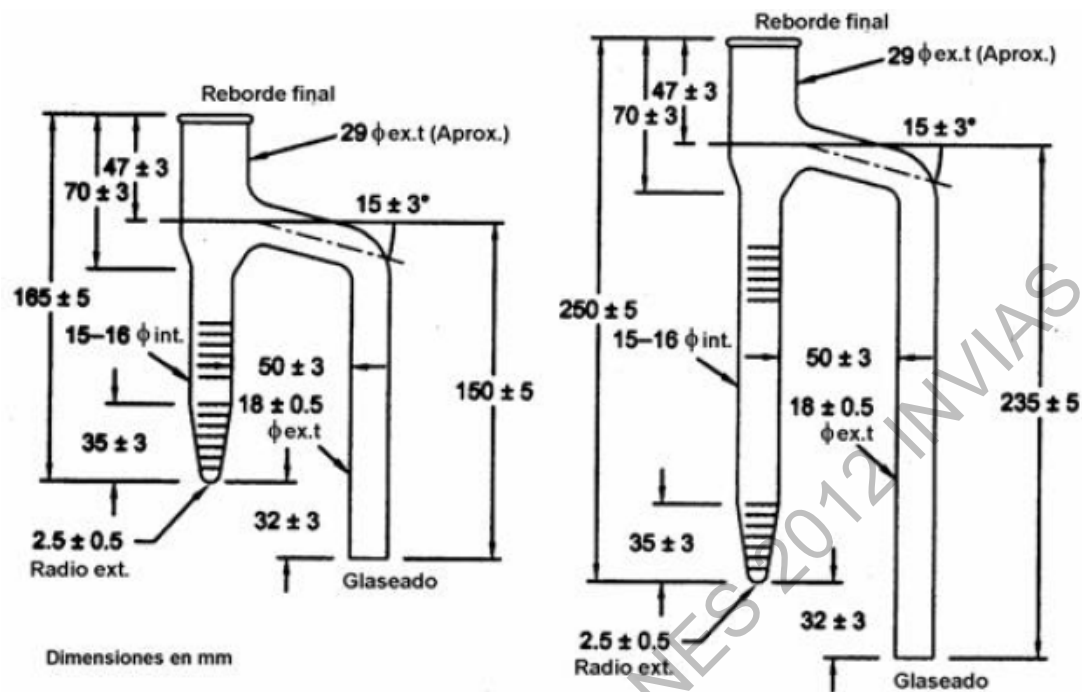


Figura 755 - 4. Trampa tipo D

5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 5.1 Se mezcla cuidadosamente la muestra y se pesa una cantidad que se estime proporcionará un porcentaje de humedad o de diluyente que se encuentre dentro de la capacidad de la trampa. Se guarda el resto de la mezcla en su recipiente hermético. Una muestra normal no deberá pesar menos de 500 g. Se disgrega cuidadosamente la muestra para evitar la presencia de grumos y se coloca dentro del alambique.

6 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD

- 6.1 Después de colocar la muestra en el alambique, se añaden 200 ml de solvente y se agita rápidamente.
- 6.2 Se ensamblan todos los componentes del equipo como se muestra en la Figura 755 - 6. Se selecciona la trampa de acuerdo al contenido de agua esperado de la muestra y se ajustan perfectamente todas las conexiones para evitar pérdidas de vapor y de líquido. Se coloca un empaque de papel grueso, humedecido con agua, entre el cuerpo del alambique y la tapa. El tubo condensador y la trampa deben haber sido lavados con un limpiador químico

para asegurar el drenaje libre del agua hacia el fondo de la trampa. Se inserta un tapón de algodón en la cabeza del condensador para prevenir la condensación de humedad atmosférica en su interior. Se hace circular agua fría a través de la camisa del condensador.

- 6.3 Se aplica calor con una intensidad tal, que el reflujó comience a aparecer de 5 a 10 minutos después de comenzar a aplicar el calor, y que el solvente condensado gotee dentro de la trampa a una rata de 85 a 95 gotas por minuto. Se continúa la destilación hasta que tres lecturas sucesivas de la trampa, a intervalos de 15 min, no muestren incremento del agua condensada pero, en ningún caso, el tiempo de destilación excederá de 1 ½ horas.
- 6.4 Se permite que el contenido de la trampa alcance la temperatura ambiente y se lee el volumen de agua con aproximación a la escala de división más cercana. Se anota el volumen de agua y se calcula como porcentaje en masa de la muestra, como se describe en el numeral 8.1.

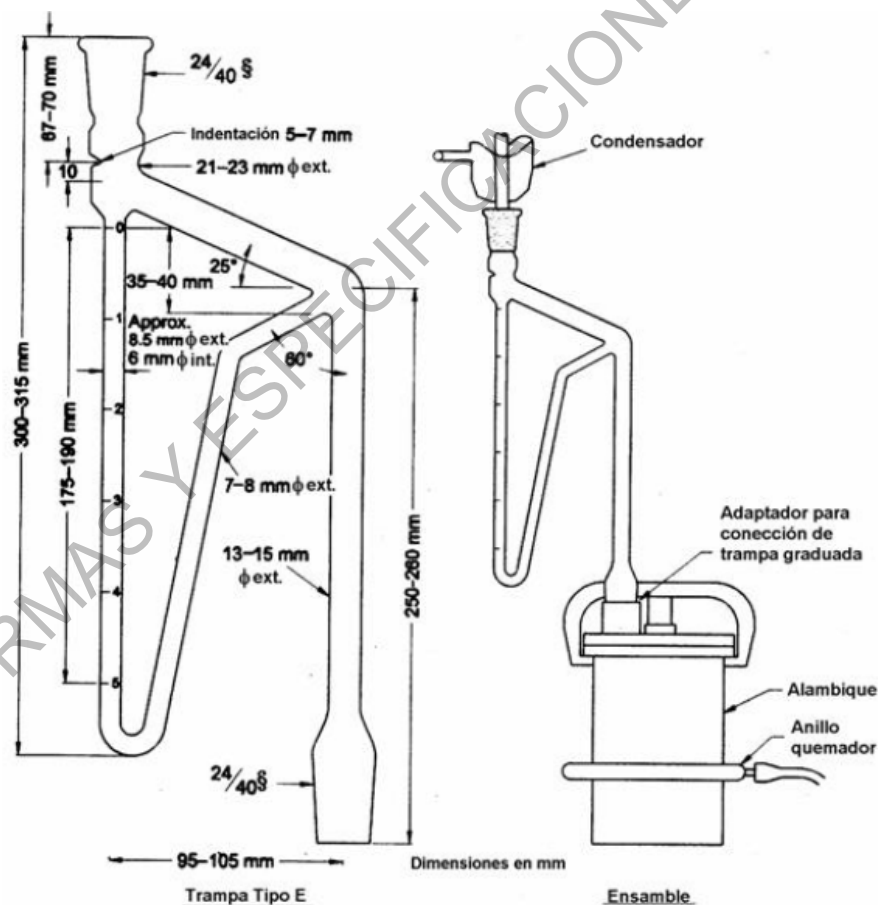


Figura 755 - 5. Equipo para la determinación de humedad o de destilados volátiles en mezclas asfálticas para pavimentos

7 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LOS DESTILADOS VOLÁTILES

- 7.1** Después de colocar la muestra en el alambique, se añaden 350 ml de agua y aproximadamente 3 g de carbonato de sodio (Na_2CO_3) y se agita el conjunto rápidamente. Se ajusta firmemente la tapa y se ensamblan la trampa y el condensador como se describe en el numeral 6.2, exceptuando que el empaque se humedece con solvente y la trampa a utilizar deberá ser la descrita en el numeral 3.3.2.
- 7.2** Se aplica calor con una intensidad tal, que el agua y el solvente comiencen a condensarse entre los 5 y 10 minutos siguientes al comienzo de la aplicación del calor y que el goteo se produzca a una rata de 85 a 95 gotas por minuto. En caso de que la muestra contenga una gran cantidad de un solvente muy volátil, puede ser necesario colocar un segundo condensador encima del primero, o reducir un poco la rata de destilación para prevenir el escape del solvente.
- 7.3** Se continúa la destilación hasta que tres lecturas sucesivas de los niveles superior e inferior del diluyente, a intervalos de 15 minutos, no muestren incremento en la cantidad condensada. Se remueve la fuente de calor y se deja reposar el aparato por un mínimo de $\frac{1}{2}$ hora, para permitir la separación del solvente.
- 7.4** Se registra el volumen del diluyente en la trampa, con aproximación a la escala de división más próxima y se calcula y se reporta como porcentaje en masa de la muestra tomada, como se describe en el numeral 8.2, usando la gravedad específica del diluyente a 25° C (77° F).

Nota 1: Se asume la gravedad específica del diluyente con base en el conocimiento del tipo de diluyente o de valores en el rango de 0.85 a 0.90. Este valor solamente define los volátiles que se obtienen a la máxima temperatura de ensayo.

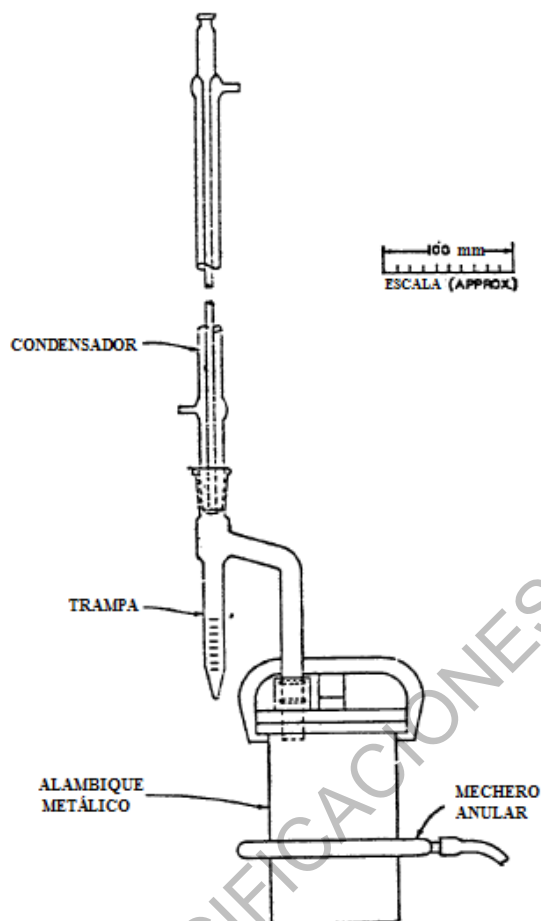


Figura 755 - 6. Ensamble típico con alambique metálico

8 CÁLCULOS

8.1 Se calcula el contenido de agua, como sigue:

$$\text{Agua, \% en masa} = \frac{A}{B} \times 100 \quad [755.1]$$

Donde: A: Volumen de agua en la trampa;

B: Masa de la muestra.

8.2 Se calcula el destilado volátil, como sigue:

$$\text{Destilado volátil, \% en masa} = \frac{C \times D}{E} \times 100 \quad [755.2]$$

- Donde: C: Volumen de diluyente en la trampa;
 D: Gravedad específica del diluyente a 25° C (77° F);
 E: Masa de la muestra.

9 INFORME

- 9.1 Se reporta el contenido de agua como porcentaje en masa de la muestra, de acuerdo con el numeral 8.1.
- 9.2 Se reporta el destilado volátil como porcentaje en masa de la muestra, de acuerdo con el numeral 8.2.

10 PRECISIÓN

10.1 *Precisión para la determinación de la humedad* – Los siguientes criterios se pueden emplear para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95 % de probabilidad), cuando se usen trampas de 10 o 25 ml de capacidad.

10.1.1 *Repetibilidad* – Las determinaciones por duplicado del contenido de agua, efectuadas por un mismo operador, se consideran dudosas si ellas difieren en más de las siguientes cantidades:

AGUA COLECTADA, ml	DIFERENCIA MÁXIMA
0 – 1.0	0.1 ml
1.1 – 25	0.1 ml o 2 % de la media, el que sea mayor

10.1.2 *Reproducibilidad* – Los resultados presentados por cada uno de dos laboratorios se consideran dudosos, si ellos difieren en más de las siguientes cantidades:

AGUA COLECTADA, ml	DIFERENCIA MÁXIMA
0 – 1.0	0.2 ml
1.1 – 25	0.2 ml o 10% de la media, el que sea mayor

10.2 *Precisión para la determinación de destilados volátiles* – La precisión de este método se obtiene por evaluación estadística de resultados de ensayos entre laboratorios, tal como se indica a continuación:

10.2.1 *Repetibilidad* – Las determinaciones por duplicado de destilados volátiles, realizadas por un mismo operador, se consideran dudosas si ellas difieren en más de 0.6 % del volumen.

10.2.2 *Reproducibilidad* – Los resultados presentados por cada uno de dos laboratorios se consideran dudosos, si ellos difieren en más de 1.4 % del volumen.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 1461 – 11

RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA PISTA DE ENSAYO DE LABORATORIO

INV E – 756 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la resistencia a la deformación plástica de una mezcla asfáltica, trátase de mezclas preparadas en el laboratorio o de testigos procedentes de pavimentos.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-756-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 El ensayo de pista de laboratorio consiste en someter una probeta prismática de mezcla asfáltica (nota 1), al paso alternativo de una rueda, en condiciones determinadas de presión y temperatura, midiéndose periódicamente la profundidad de la deformación producida. Las probetas, de 30 × 30 × 5 cm, se compactan por vibración. El ensayo se realiza a una temperatura constante de 60° C, haciendo pasar una rueda metálica, de 20 cm de diámetro, dotada de una banda de rodadura de caucho macizo de 5 cm de ancho y 2 cm de espesor, que ejerce una presión de contacto sobre la superficie de la probeta de 900 kN/m². La frecuencia del movimiento de vaivén es de 42 pasadas por minuto, con un recorrido en cada sentido de 23 cm. Durante el ensayo, se determinan las deformaciones totales de la probeta en los minutos 1, 3 y 5 y a continuación cada 5 minutos hasta completar los primeros 45 minutos y cada 15 minutos hasta finalizar los 120 minutos de duración del ensayo.

Nota 1: Los moldes y las probetas que se detallan en esta norma son de forma prismática, aunque el procedimiento general del ensayo se puede aplicar a probetas de otras formas, siempre que se satisfagan convenientemente algunos requisitos como el tamaño mínimo, la fijación, etc.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Los tipos más frecuentes de falla de un pavimento asfáltico, asociados a la aplicación repetida de las cargas del tránsito, son el agrietamiento de las capas

asfálticas y la acumulación de deformaciones permanentes en todas las capas del pavimento y la subrasante. Estas deformaciones permanentes se van traduciendo en ahuellamientos que afectan la comodidad y la seguridad de los usuarios de la vía.

- 3.2** Mediante este ensayo de pista de laboratorio se evalúa la resistencia a la deformación permanente de las mezclas asfálticas para pavimentación.
- 3.3** El procedimiento es aplicable, principalmente, a las mezclas asfálticas producidas en caliente y destinadas a trabajar en condiciones severas de tránsito y clima; aunque, variando las condiciones del ensayo también puede ser de utilidad en otros tipos de mezclas.

4 EQUIPO

- 4.1** *Conjunto de compactación* – Está conformado por el molde, el collar y los cuatro angulares de acero, con la forma y dimensiones que se muestran en las Figuras 756 - 1 y 756 - 2.

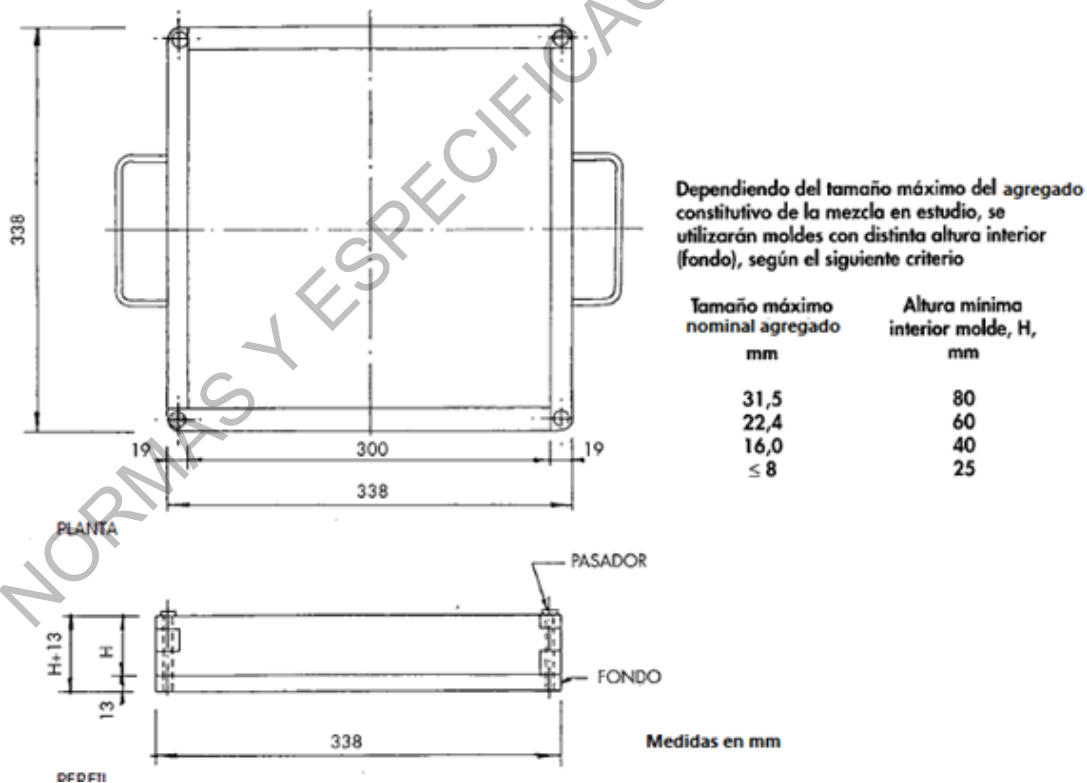


Figura 756 - 1. Molde

- 4.2** *Base de compactación* – Está conformada por una pieza prismática de concreto hidráulico de $60 \times 60 \times 20$ cm como mínimo, apoyada en una de sus caras mayores sobre un dispositivo de anclaje con amortiguación (Ver Figura 756 - 3).
- 4.3** *Elemento compactador* – La compactación de la mezcla dentro de los moldes se realiza mediante una placa de acero sobre la cual van montados dos vibradores iguales, cuyas excéntricas de 9.5 kg de masa y girando a una velocidad de 314 rad/s (3000 rpm), puedan proporcionar en cada uno una fuerza centrífuga de 3 kN (300 kgf). Ambos vibradores deben estar dispuestos de modo que sus excéntricas giren hacia el centro de la placa. Su forma y dimensiones se indican en la Figura 756 - 4.
- 4.4** *Elementos de extensión y enrase* – Con el fin de lograr una distribución uniforme y homogénea de la mezcla en el molde, así como el correcto enrase de ésta, se deberá disponer de los elementos adecuados con la forma y dimensiones que se detallan en la Figura 756 - 5.
- 4.5** *Máquina de ensayo* – La máquina para el ensayo en pista de laboratorio, cuya forma y dimensiones se muestran en la Figura 756 - 6, consiste en un carretón móvil de forma rectangular, soportado en cuatro puntos por un sistema de ruedas metálicas provistas de cojinetes de bolas, que se pueden deslizar sobre unos perfiles de apoyo en forma de L. El carretón va unido, mediante una excéntrica, a un motorreductor que produce, al hallarse en funcionamiento, un movimiento alternativo horizontal de vaivén. Por encima del carretón está situada la rueda de ensayo, montada en un brazo formado por una pareja de perfiles en L, brazo que en uno de sus extremos va unido mediante un cojinete horizontal a un soporte rígido de la máquina y con su otro extremo libre y provisto de un dispositivo para colocar las pesas que producen las diferentes cargas sobre la rueda. El carretón móvil debe disponer de los elementos necesarios para sujetar la probeta de ensayo, llevando igualmente en uno de sus lados una superficie de medida que permita, mediante un micrómetro de esfera solidario con la rueda de ensayo, u otro sistema de medida transductor de desplazamiento, tomar las lecturas de las deformaciones verticales que se produzcan en la probeta durante el ensayo. El micrómetro deberá tener un recorrido mínimo de 20 mm y con graduaciones cada 0.1 mm. Además, deberá estar provisto del dispositivo de frenado del desplazamiento máximo del vástago. La rueda de ensayo será metálica y estará dotada de una banda de rodadura de caucho macizo de 5 cm de ancho y 2 cm de espesor, con una dureza de 80 en la escala Dunlop. El mecanismo de arrastre del carretón móvil deberá estar diseñado para permitir una frecuencia del movimiento de vaivén de 42 ± 1 pasadas por minuto y un recorrido en cada sentido de 23 ± 0.5 cm.

- 4.6** *Cámara con temperatura controlada* – Para lograr que la temperatura sea constante durante el ensayo, se deberá disponer de una cámara que permita alojar la máquina y mantener la temperatura durante todo el ensayo con una variación máxima de $\pm 1^\circ \text{C}$. Un modelo apropiado puede ser el fabricado con perfiles metálicos y paneles aislantes, con la forma y dimensiones señaladas en la Figura 756 - 7. En uno de sus frentes llevará una ventana abatible transparente para permitir la lectura del micrómetro y de la temperatura durante el ensayo (Figura 756 - 8). En uno de sus lados estará situada la puerta de acceso de la máquina, para la colocación y el retiro de la probeta. En el interior, irá colocado el elemento de calefacción con termostato regulable desde el exterior y dos ventiladores, uno situado detrás de dicho elemento y el otro en posición lateral, con su eje perpendicular al del primero para una mejor homogeneización de la temperatura en el interior de la cámara.
- 4.7** *Horno* – Para el calentamiento de los agregados, del material asfáltico y los moldes, se deberá disponer de uno o más hornos provistos de termostato y que puedan mantener las temperaturas especificadas, con una variación máxima de $\pm 3^\circ \text{C}$.
- 4.8** *Mezcladora* – Es recomendable que la operación de mezclado de los materiales se realice en una mezcladora mecánica, pudiendo emplearse cualquier tipo, siempre que tenga la capacidad suficiente y permita mantener la temperatura de la mezcla dentro de los rangos exigidos. Deberá ser capaz, además, de producir una mezcla uniformemente cubierta y homogénea en el tiempo prescrito, sin producir alteraciones en la granulometría y permitiendo el vertimiento de la mezcla producida. Si el mezclado se realiza manualmente, se deberá emplear un recipiente de tamaño adecuado, tomando las precauciones necesarias para evitar los sobrecalentamientos locales.
- 4.9** *Termómetros* – Para las medidas de las temperaturas de los agregados, el asfalto y las mezclas asfálticas, se recomienda el empleo de termómetros con escala de 0 a 200°C y sensibilidad mínima de 3°C .
- 4.10** *Balanzas* – Para pesar los agregados se deberán emplear balanzas con capacidad suficiente y una sensibilidad mínima de 5 g. Para pesar el llenante mineral y el asfalto, se requiere una balanza con sensibilidad igual o menor de 1 g.
- 4.11** *Elementos misceláneos* – Bandejas, tazas, espátulas, pinzas, guantes, etc.

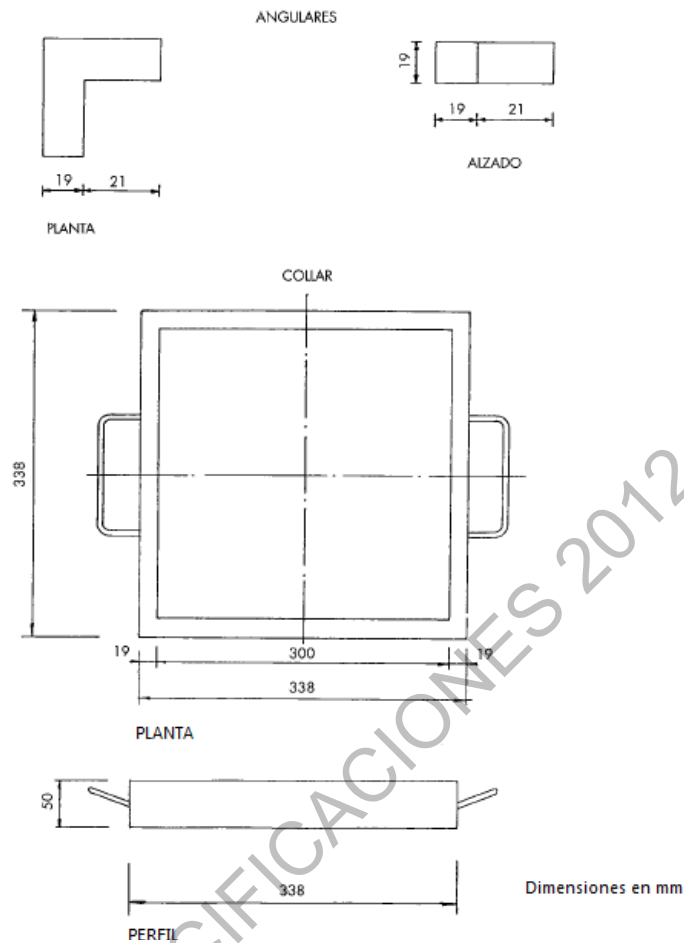


Figura 756 - 2. Ángulos y collar

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Fabricación de las probetas

5.1.1 *Número de probetas* – Para cada ensayo se deberá elaborar un mínimo de 3 probetas por cada variable (contenido de asfalto, temperatura, presión de contacto, etc.), que se desee estudiar.

5.1.2 *Masa de las probetas* – La cantidad de mezcla necesaria para cada probeta se deberá calcular a partir de los valores correspondientes al volumen del molde y de la densidad Marshall de la mezcla, para cuya aplicación se seguirán los siguientes criterios:

5.1.2.1 En mezclas densas y semidensas, se tomará para la densidad de la probeta el 97 %, como mínimo, de la máxima densidad Marshall correspondiente.

5.1.2.2 En las mezclas restantes, el cálculo se basará en el 95 % de la densidad Marshall máxima correspondiente.

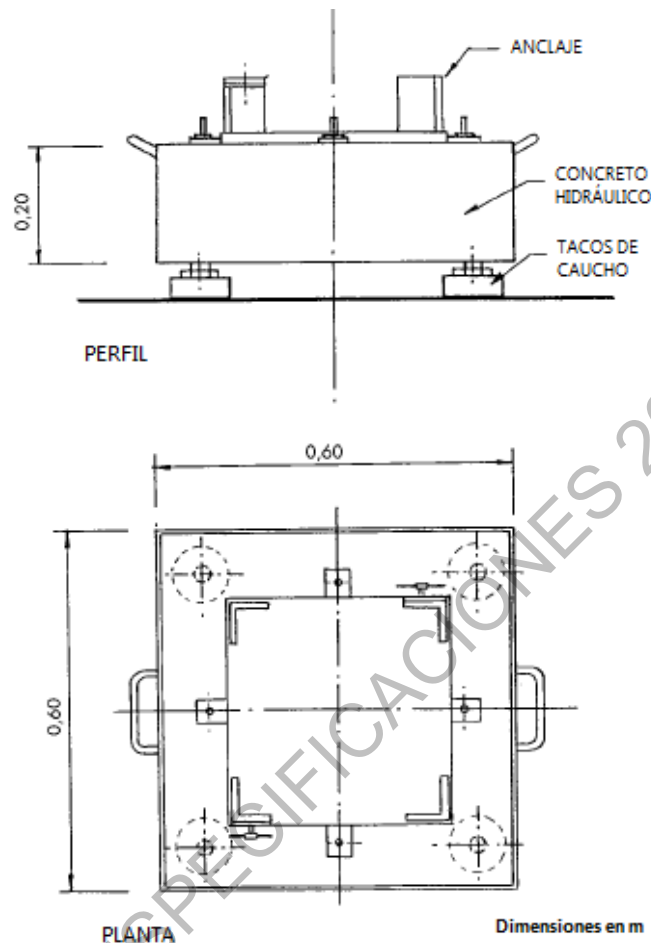


Figura 756 - 3. Base de compactación

5.1.3 *Preparación de los agregados* – Las distintas fracciones que compongan la mezcla de agregados se secan completamente en un horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

5.1.4 *Temperaturas de mezcla y compactación* – Para la mezcla y la compactación de las probetas, las temperaturas elegidas dependerán de la viscosidad del asfalto. En el caso de los cementos asfálticos, estas viscosidades serán de $170 \pm 20 \text{ cSt}$ ($85 \pm 10 \text{ sSF}$) en el proceso de mezcla y de $280 \pm 30 \text{ cSt}$ ($140 \pm 15 \text{ sSF}$) en el de compactación.

5.1.5 *Preparación de la mezcla* – Se pesan sucesivamente en un recipiente tarado las cantidades de cada fracción de agregado necesarias para la fabricación de una probeta. La masa total de agregados se calienta a

continuación en el horno a una temperatura unos 30° C mayor que la determinada para el mezclado, calentando simultáneamente el asfalto a la temperatura necesaria, según lo definido en el numeral 5.1.4. Cuando ambos materiales estén a sus respectivas temperaturas, se vierten los agregados en el recipiente de mezcla y se realiza un primer mezclado en seco con fines de homogeneización. Cuando los agregados hayan alcanzado la temperatura de mezclado, se añade rápidamente la cantidad necesaria de asfalto (nota 2), realizando en seguida la mezcla hasta obtener un mezclado completo y homogéneo dentro de un tiempo no mayor de dos minutos.

Nota 2: El asfalto no se deberá mantener a su temperatura de mezcla por más de 1 hora.

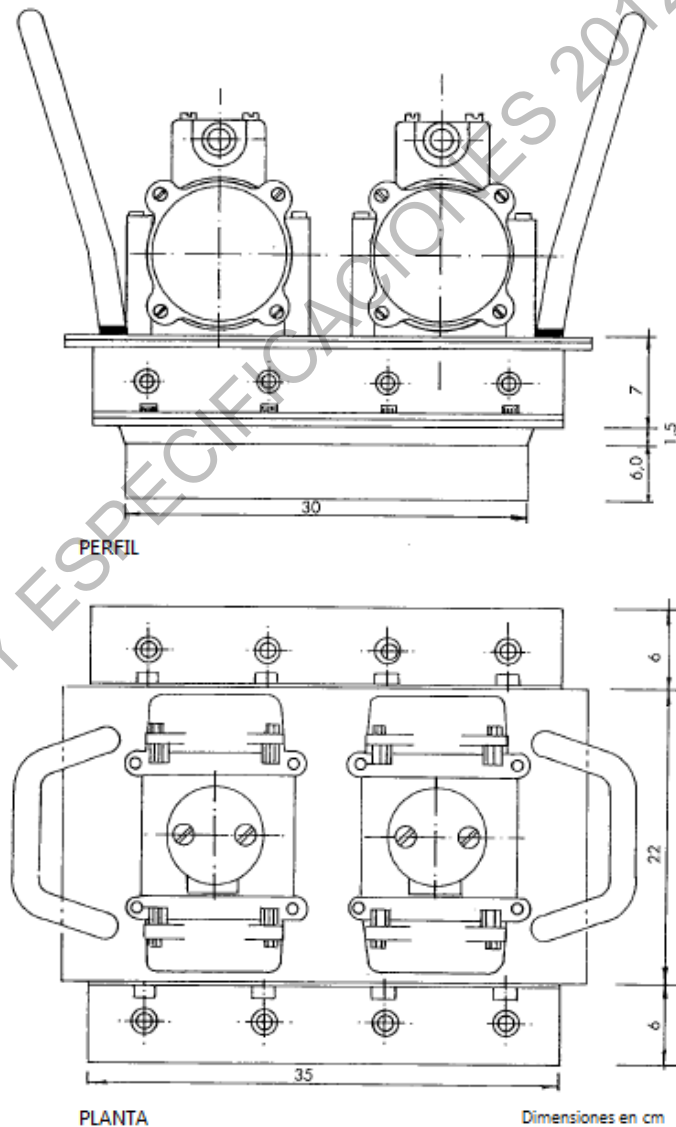


Figura 756 - 4. Compactador

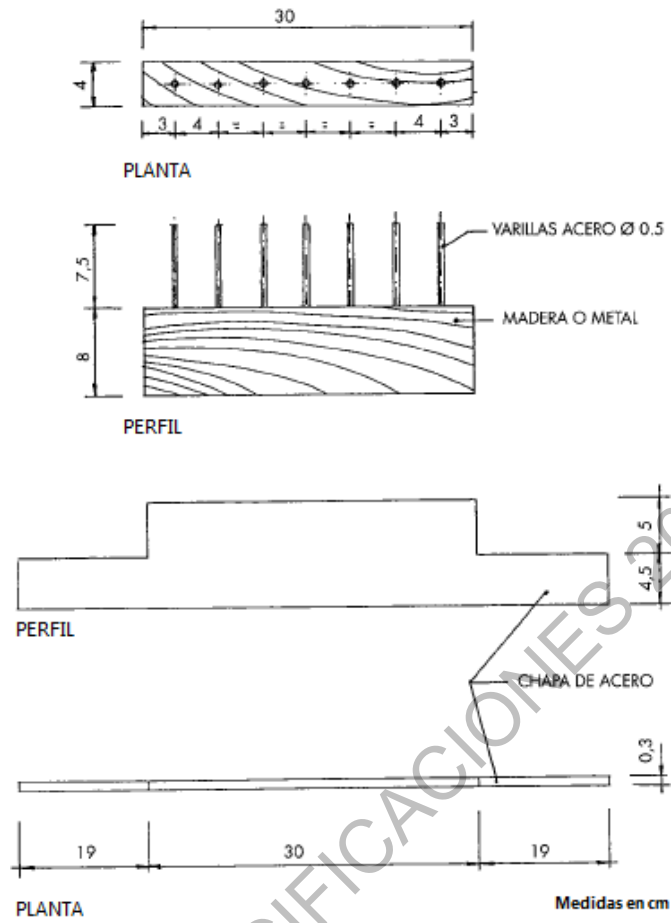


Figura 756 - 5. Elementos de extensión y enrase

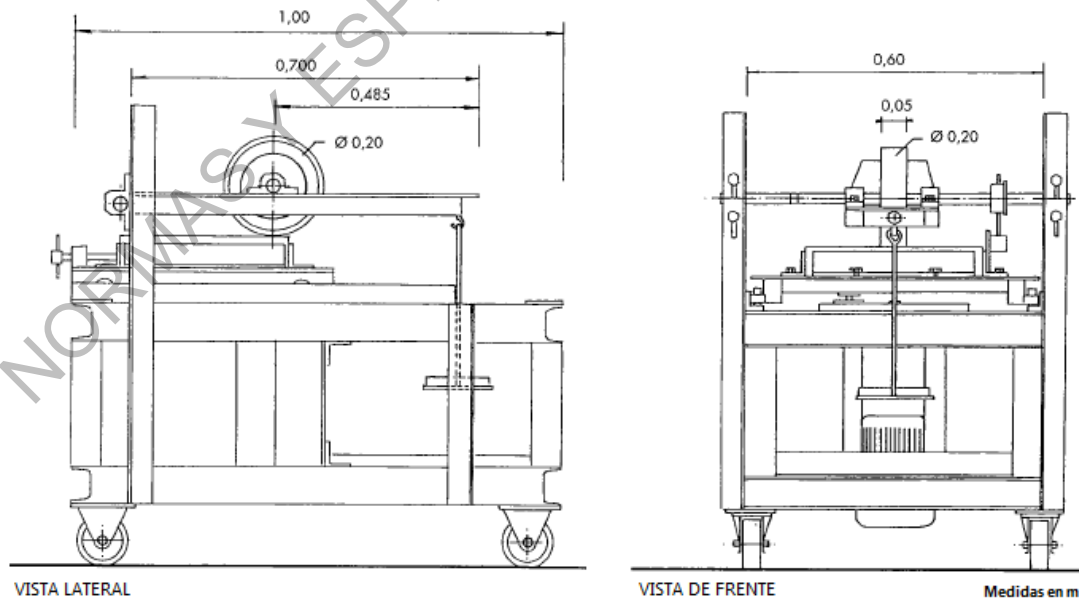


Figura 756 - 6. Máquina de ensayo

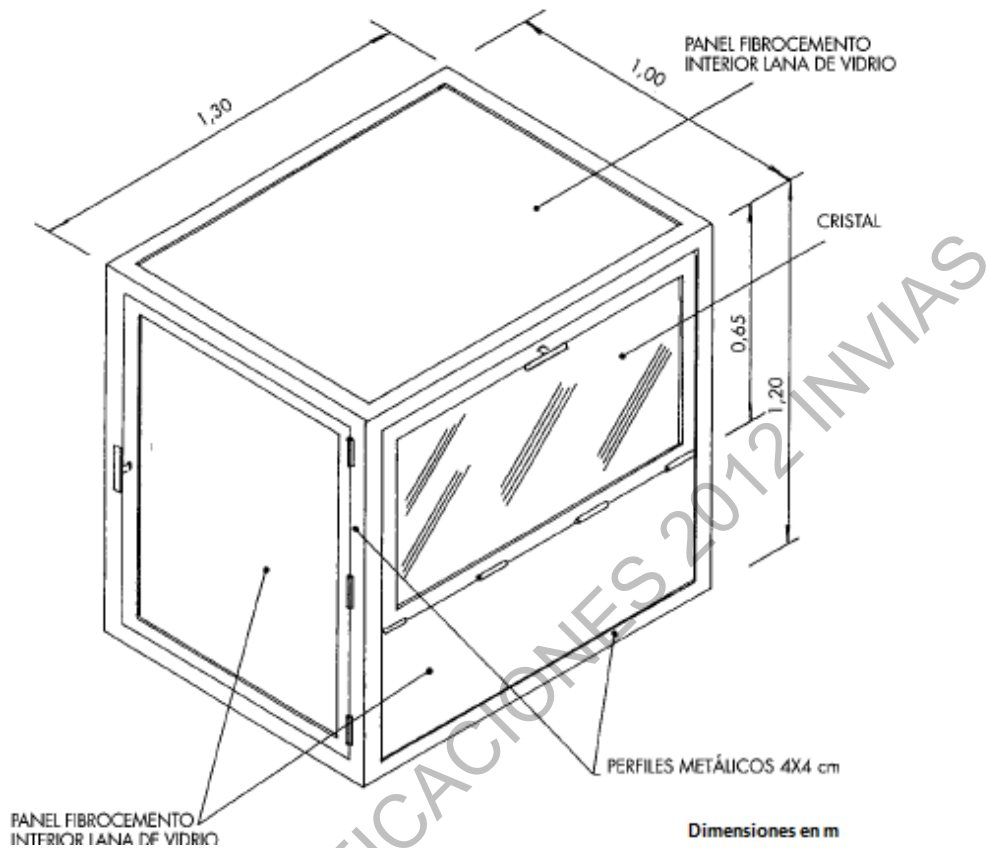


Figura 756 - 7. Cámara de temperatura controlada



Figura 756 - 8. Vista de la cámara a través de la ventana

5.1.6 Compactación de las mezclas – El molde y el collar se calentarán en el horno a una temperatura superior a la de compactación en unos 15° C.

Una vez calientes, se coloca el molde sobre la base de compactación en su anclaje y se monta el collar. Se vierte en el molde la mezcla ya preparada a una temperatura como mínimo 10° C superior a la de compactación, evitando las segregaciones del material, se distribuye uniformemente y se enrasa. Sobre la mezcla ya nivelada se coloca el elemento compactador y se realiza una compactación inicial durante 75 segundos, al cabo de la cual se desmonta el collar, el cual se sustituye por los cuatro dispositivos angulares colocados en los vértices del molde. A continuación, se completa el proceso de compactación mediante otros 3 períodos de 75 segundos cada uno, realizados girando el elemento compactador en el mismo sentido y sucesivamente en 90° con respecto a la posición inicial. La compactación se puede aceptar como correcta siempre que la altura de la probeta esté dentro de ± 2 mm con respecto a los bordes del molde para probetas con espesor menor o igual a 50 mm y de 5 % para probetas de mayor espesor. Una vez finalizada la compactación, se deja enfriar la mezcla a temperatura ambiente durante un período entre 12 y 24 horas, antes de someterla al ensayo.

- 5.1.7** *Determinación de la densidad aproximada* – Si se desea comprobar la densidad aproximada alcanzada por la probeta, se procede a sacarla del molde una vez se encuentre fría (nota 3), y se determina su masa mediante la balanza y se halla su volumen aproximado por la medida geométrica de sus dimensiones. Se deberán tomar las precauciones necesarias para no alterar la forma y la masa de la probeta durante la manipulación, debido a su forma, su tamaño y su masa, volviéndola a colocar dentro del molde y en la misma posición relativa que tenía, lo más rápidamente posible.

Nota 3: Si se dispone de una balanza de suficiente capacidad para determinar la masa total de la probeta y del molde, se puede realizar ésta determinación sin necesidad de sacar la probeta del molde, conociendo previamente la masa del molde vacío y sus dimensiones interiores.

- 5.1.8** *Testigos de pavimento* – Cuando se ensayen testigos procedentes de un pavimento ya construido, si éstos son de gran tamaño se pondrá especial cuidado en su almacenamiento y manejo, evitándose las deformaciones de ellos que puedan alterar su geometría inicial. Sus dimensiones para el ensayo deben ser algo inferiores a las del molde, fijándolos al mismo con yeso u otro material adecuado y procurando un asentamiento firme y duradero sobre la base, para evitar cualquier movimiento o rotura durante el ensayo y manteniendo la superficie en el mismo plano horizontal del molde.

5.2 Ejecución del ensayo

- 5.2.1** *Temperatura de ensayo* – La temperatura normalizada para el ensayo será $60 \pm 1^\circ \text{C}$ para todo tipo de mezclas y de zonas climáticas. No obstante, se pueden utilizar otras temperaturas en estudios o ensayos especiales que así lo requieran.
- 5.2.2** *Presión de contacto de la rueda* – La presión de contacto normalizada, ejercida por la rueda cargada sobre la superficie de la probeta durante todo el ensayo, será de $900 \pm 25 \text{ kN/m}^2$ ($9 \pm 0.25 \text{ kgf/cm}^2$), para todo tipo de mezclas y de zonas climáticas. Sin embargo, en casos especiales o cuando así se requiera, se pueden emplear otras presiones de contacto.
- 5.2.3** *Ejecución del ensayo* – Después del período de enfriamiento de la mezcla, mencionado en el numeral 5.1.6, las probetas se introducen en un horno a $60 \pm 2^\circ \text{C}$ durante cuatro horas como mínimo, antes de la ejecución del ensayo. Dos horas antes del comienzo del mismo, se conecta el sistema de calefacción de la cámara termostáticamente controlada, regulándolo a la temperatura especificada para el ensayo. Transcurrido este tiempo, se saca la primera probeta del horno, se levanta la rueda (nota 4), y se fija el molde con la probeta en los anclajes que lleva el carretón móvil para este fin, sin que la rueda toque en ningún momento la superficie de la probeta. En estas condiciones se carga el brazo de soporte con las pesas necesarias para conseguir la presión especificada, se cierra la cámara y se espera unos 30 minutos con el objeto de homogeneizar la temperatura del ensayo. Seguidamente, se apoya la rueda cargada sobre la superficie de la probeta y se pone en marcha el carretón durante tres pasadas completas, para conseguir un asentamiento de la rueda sobre la probeta. A continuación se para el carretón y, situándolo en el punto de medida del micrómetro, se pone éste en cero. Se cierra entonces la ventana lateral y transcurridos unos cinco minutos se comienza el ensayo, poniendo en movimiento el carretón durante un período de 120 minutos sin interrupciones o hasta que la deformación alcance 15 mm, lo que ocurra primero, haciendo periódicamente las lecturas correspondientes de la deformación de acuerdo con el numeral 6.1. Una vez finalizado el ensayo, se detiene la máquina, se levanta la rueda (nota 4), y se extrae la probeta ensayada, colocando inmediatamente la siguiente y repitiendo el mismo procedimiento de ensayo.

Nota 4: Para que no estorbe durante la operación de montar o desmontar la probeta, es conveniente disponer de algún artificio que permita mantener levantada la rueda.

6 CÁLCULOS

- 6.1** Se determinan y anotan las deformaciones totales leídas en el micrómetro en los minutos 1, 3 y 5 contados a partir del comienzo del ensayo. A continuación, cada 5 minutos hasta completar 45 minutos y, a partir de allí, cada 15 minutos hasta finalizar los 120 minutos de duración del ensayo.
- 6.2** Una vez ensayadas todas las probetas, se calculan los valores medios de todas las deformaciones de la mezcla y se llevan a un gráfico en donde se dibuja la curva de deformación de la mezcla.
- 6.3** A partir de las deformaciones, d_t , determinadas en el gráfico, correspondientes a los diferentes tiempos "t" del ensayo, se calcula la velocidad de deformación media, correspondiente al intervalo de tiempo t_2/t_1 mediante la expresión:

$$V_{t_2}/V_{t_1} = \frac{d_{t_2} - d_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad [756.1]$$

- Donde: V_{t_2}/V_{t_1} : Velocidad media de deformación, correspondiente al intervalo de tiempo entre t_1 y t_2 , $\mu\text{m}/\text{min}$;
- d_{t_1} y d_{t_2} : Deformaciones correspondientes a t_1 y t_2 , respectivamente, μm ;
- t_1 y t_2 : Tiempos que dependen del lapso establecido en las especificaciones.

7 INFORME

- 7.1** El documento con los resultados del ensayo debe incluir la siguiente información:
- 7.1.1** El tipo y las características de la mezcla que se está ensayando.
 - 7.1.2** Procedencia de la mezcla (laboratorio, obra, testigo, etc.).
 - 7.1.3** Temperatura de ensayo.
 - 7.1.4** Presión de contacto.

- 7.1.5** Deformación total al final del ensayo, en μm .
- 7.1.6** Curva deformación (μm) – tiempo (min).
- 7.1.7** Velocidades de deformación en los intervalos en los cuales se manifieste claramente el comportamiento de la mezcla en el ensayo, como pueden ser:
- 7.1.7.1** Velocidad en el intervalo de 30 a 45 minutos, V30/45.
- 7.1.7.2** Velocidad en el intervalo de 75 a 90 minutos, V75/90.
- 7.1.7.3** Velocidad en el intervalo de 105 a 120 minutos, V105/120.

8 PRECISIÓN Y SESGO

- 8.1** *Precisión* – Los valores de precisión que se muestran a continuación se obtuvieron experimentalmente en el Reino Unido siguiendo la norma ISO 5725. Las muestras extraídas de pavimentos en servicio se estudiaron en 1992 en 11 laboratorios, de los que se descartaron los datos de uno por erráticos. Las muestras preparadas en el laboratorio se estudiaron en 7 laboratorios en 1994. Para ambos experimentos la temperatura de ensayo fue 45°C , la carga de 700 N y los resultados son el promedio de la velocidad de deformación de 6 porciones de la muestra para ensayo.

MUESTRAS	NIVEL DEL RESULTADO DEL ENSAYO (mm/h)	REPETIBILIDAD (mm/h)	REPRODUCIBILIDAD (mm/h)
Laboratorio	2.6	0.6	1.2
Testigos de pavimento	2.2	0.8	1.4
	8.1	3.1	5.9
	13.5	4.0	5.7

- 8.2** *Sesgo* – El sesgo de este método de ensayo no se puede determinar, por cuanto no hay un material disponible con un valor de referencia aceptado.

9 NORMAS DE REFERENCIA

NLT 173/00

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

EFFECTO DEL AGUA SOBRE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS SUELTAS

INV E – 757 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un procedimiento de ensayo rápido para determinar visualmente la pérdida de adherencia en mezclas sueltas de agregados cubiertos con asfalto, al ser sometidas a la acción de agua hirviendo.
- 1.2 Este ensayo no se debe emplear con fines de aceptación o rechazo de un agregado.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-757-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Se coloca durante 10 minutos una muestra de mezcla asfáltica en un recipiente con agua destilada hirviendo. Tras permitir el enfriamiento de la mezcla, se determina visualmente la retención de la cobertura asfáltica por parte del agregado.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Este método de ensayo es útil como un indicador de la susceptibilidad relativa del agregado cubierto de asfalto a la acción del agua, pero no se debe usar como un indicador de su comportamiento en el campo, porque aún no se han establecido correlaciones para tal fin. Si el ensayo indica una pérdida importante de adherencia debido a la acción del agua, será necesario emplear otros métodos de ensayo más detallados, para evaluar mejor la mezcla en relación con las características de adherencia del par ligante-agregado.

4 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1 *Cucharón o pala* – O cualquier otro implemento que permita la extracción de una muestra representativa de una masa mayor de agregado mezclado con asfalto.

4.2 Vasos de precipitados – Resistentes al calor, de 1000 a 2000 ml de capacidad. Pueden ser también metálicos, con dimensiones y capacidades similares.

4.3 Fuente de agua destilada – Que provea, por lo menos, 500 ml para cada ensayo.

Nota 1: Se ha determinado que el uso de agua no destilada afecta significativamente los resultados y, por lo tanto, no se debe utilizar.

4.4 Dispositivo para calentar el agua – Como una placa de calentamiento, una estufa de campo, un mechero, etc., que distribuya el calor de manera uniforme.

4.5 Termómetros – De baja destilación, con las siguientes características principales:

REFERENCIA	ASTM 7C	ASTM 7F
RANGO	-2° C a 300° C	30° F a 580° F
GRADUACIONES	1° C	2° F
LONGITUD TOTAL	386 mm	15 ¼"
INMERSIÓN	Total	Total

5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

5.1 Se prepara una mezcla suelta de agregado y ligante asfáltico siguiendo los procedimientos establecidos para la elaboración de mezclas asfálticas en el laboratorio, o se obtiene una muestra producida en una planta asfáltica, de acuerdo con el método de muestreo descrito en la norma INV E-731. La temperatura de la mezcla en caliente debe estar por debajo del punto de ebullición del agua, pero no debe ser menor de 85° C (180° F) antes de colocarla en el agua hirviendo. La temperatura de las mezclas en frío debe estar por encima de la temperatura ambiente antes de colocarlas en el recipiente con agua hirviendo.

6 PROCEDIMIENTO

6.1 Se vierte agua dentro de un recipiente apropiado a medio llenar (como los descritos en el numeral 4.2) y se calienta hasta la ebullición.

6.2 Con un implemento adecuado (ver numeral 4.1) se introducen aproximadamente 250 g (½ lb) de la mezcla de agregado cubierto de asfalto en el agua hirviendo, sin retirar el recipiente de la fuente de calor. Se continúa el calentamiento hasta que el agua vuelva a alcanzar la ebullición y se mantiene esta condición por un lapso de 10 minutos \pm 15 segundos. Se debe evitar la manipulación excesiva del agregado cubierto con asfalto.

6.3 Al final de los 10 minutos, se retira de la fuente de calor el recipiente con su contenido. Se elimina cualquier película de asfalto libre en el agua para evitar que ella cubra nuevamente el agregado. Se permite el enfriamiento hasta alcanzar la temperatura ambiente; en seguida, se decanta el agua y se vacía la mezcla húmeda sobre una toalla de papel blanco.

Nota 2: Con fines comparativos, se coloca una cantidad similar de mezcla asfáltica fresca en un segundo recipiente y se cubre por 10 minutos con agua destilada sin calentar; luego, el agua se decanta y la mezcla se vacía sobre una toalla de papel blanco.

6.4 Mediante observación del agregado (grueso y fino), se estima el área visible del agregado que retiene su cubrimiento original. Cualquier área con cubrimiento tenue, ennegrecida o translúcida será considerada como plenamente cubierta. La observación visual se debe hacer inmediatamente después de que la muestra se haya colocado sobre la toalla de papel blanco (nota 3). La evaluación de la muestra se puede mejorar con ayuda de una luz de baja intensidad colocada encima de ella.

Nota 3: Se puede obtener información adicional, repitiendo la observación visual después de 24 horas de la ebullición, una vez la muestra se ha secado y se han eliminado los efectos de la humedad sobre la apariencia del cubrimiento.

7 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 3625 – 96 (Reaprobada 2005)

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

EXTRACCIÓN DE TESTIGOS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

INV E – 758 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe un procedimiento para extraer muestras de capas asfálticas (de base, intermedia y rodadura), destinadas a medir espesores y a la realización de ensayos de laboratorio.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-758-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Las muestras obtenidas mediante el procedimiento descrito en esta norma se pueden emplear en la determinación del espesor, la densidad, el módulo dinámico o resiliente, la resistencia a la tensión y la estabilidad, así como para determinar el contenido de asfalto, las propiedades de éste y la granulometría del agregado.

3 EQUIPO

- 3.1** Para minimizar la distorsión de las capas asfálticas compactadas, se deben emplear equipos motorizados para garantizar las muestras. El equipo puede ser un taladro saca-núcleos (Figura 758 - 1) o un dispositivo de aserrado (Figura 758 - 2).



Figura 758 - 1. Taladro saca-núcleos

- 3.2** El borde cortante de la broca del taladro debe ser de acero templado u otro material apropiado con pequeñas piezas de diamante embebidas en él.
- 3.3** Las hojas del equipo de aserrado deben ser de un metal endurecido, con pequeñas piezas de diamante embebidas, o de un material abrasivo como carborundo u otro similar.
- 3.4** Normalmente, se requiere una fuente para la refrigeración del equipo (agua, hielo seco, nitrógeno líquido, etc.), salvo que solo se vaya a tomar una muestra. Si en algún momento se advierten evidencias de distorsión u otro daño en el borde de la muestra a causa de la fricción, se deberá aplicar el refrigerante a la herramienta de corte o a la superficie del pavimento.



Figura 758 - 2. Aserrado para la toma de un testigo del pavimento

- 3.5** No es indispensable el empleo de un dispositivo para separar los núcleos de las capas subyacentes. Sin embargo, si se emplea, deberá estar constituido por un semicírculo metálico de radio interno igual al del núcleo y con un mango sujeto firmemente a él. La herramienta de separación puede ser un tubo partido del diámetro requerido y cortado verticalmente por la mitad (Figura 758 - 3).
- 3.6** Para la extracción de los núcleos de los orificios se requiere un dispositivo elevador que preserve la integridad del testigo. El procedimiento común es que éste sea recuperado por el mismo taladro. Si no lo hace, se podrá emplear un elemento como el mostrado en la Figura 758 - 4 o cualquier otro que permita la adecuada recuperación del testigo.
- 3.7** Como materiales auxiliares, se requieren lápices grasos para la identificación de muestras (Figura 758 - 5), guantes, cinceles, cepillos, cinta métrica, caja para guardar las muestras en condiciones de seguridad, etc.

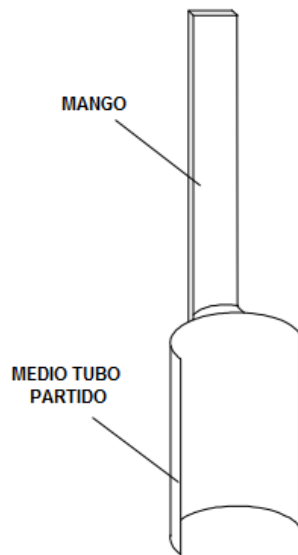


Figura 758 - 3. Herramienta para separar el testigo de la capa subyacente



Figura 758 - 4. Ejemplo de dispositivo para extraer un núcleo de pavimento



Figura 758 - 5. Identificación un núcleo de pavimento

4 MUESTREO

4.1 Los sitios para la toma de testigos se deben escoger de manera aleatoria, conforme se indica en la norma INV E-730. Se recomienda tomar un mínimo de tres testigos por lote, cada uno de los cuales se someterá a los ensayos previstos, promediando sus valores para determinar la aceptabilidad. Los testigos deberán abarcar todo el espesor de la capa que se va a verificar, con el cuidado necesario para excluir el material subyacente y para que la alteración de la muestra sea mínima. Si se toman muestras por procedimientos que no sean aleatorios, los resultados de sus ensayos tendrán únicamente carácter informativo y no se podrán incluir en los programas estadísticos de control y aseguramiento de calidad.

4.2 El plan de muestreo debe definir claramente si se van a tomar muestras al borde del pavimento o de las juntas de construcción, donde la densidad puede ser menor que en la mayoría del carril bajo verificación.

Nota 1: Las variaciones en el pavimento que sean detectables visualmente, pueden conducir a la toma de muestras en las áreas que las presenten, haciendo que el plan de muestreo deje de ser aleatorio. Las muestras no aleatorias violan los principios en los cuales se soportan los programas de ensayo de control y aseguramiento de calidad.

4.3 El número de muestras por tomar debe estar de acuerdo con las especificaciones de la entidad o con el plan de muestreo del lote bajo análisis. Si no hay guías precisas sobre el particular, se deberá tomar un número de muestras tal, que permita lograr el nivel de confianza deseado, pero nunca menos de tres.

5 TOMA DE MUESTRAS DE CAPAS COMPACTADAS

5.1 Las muestras que se tomen con un equipo saca-núcleos deberán tener un diámetro nominal mínimo de 100 mm (4") y abarcar todo el espesor de la capa que se muestrea. Si se considera que los resultados de los ensayos son erráticos o presentan algún sesgo atribuible al tamaño de la muestra, será necesario tomar muestras de mayor diámetro. Con el fin de disminuir el deterioro del testigo, se deberá emplear algún dispositivo apropiado para su extracción, como se indica en los numerales 3.5 y 3.6.

5.1.1 Cuando los testigos cilíndricos se van a emplear en la determinación de los módulos dinámicos o resilientes, las muestras deberán conformar cilindros perfectos con sus bases perpendiculares al eje. Todas las muestras deberán satisfacer los requisitos exigidos por el respectivo método de ensayo.

- 5.1.2** Para separar la muestra de la capa subyacente, el dispositivo mencionado en el numeral 3.5 se deberá insertar en el corte ejerciendo una presión suave hacia la muestra, sin intentar hacer palanca hacia arriba. Si la liga con la capa inferior no se rompe, será necesario extraer el núcleo en el espesor total de las capas que estén ligadas.
- 5.1.3** Para remover la muestra del orificio, se inserta cuidadosamente en el corte el dispositivo mencionado en el numeral 3.6, se gira unos 90° y se levanta suavemente hasta que el testigo pueda ser sujetado con la mano.
- 5.2** Las muestras tomadas mediante el proceso de aserrado deben tener un área mínima de 10 000 mm² (16 pg²) y se deberán cortar de manera que no alteren la densidad de la muestra. Cortar y remover un ancho adicional de 50 mm (2") ayuda a la remoción correcta de las porciones a ser ensayadas. El uso de destornilladores, cinceles u otra herramientas con filo para romper la liga entre la capa compactada que se está muestreando y el pavimento subyacente puede producir distorsiones en la muestra, las cuales dan lugar a una determinación errónea de la densidad. Si se considera que los resultados de los ensayos son erráticos o presentan algún sesgo atribuible al tamaño de la muestra, será necesario tomar muestras de mayor tamaño.
- 5.3** Las muestras obtenidas mediante los procedimientos descritos en los numerales 5.1 y 5.2 se deben transportar sobre un cartón duro y liso, y en posición invertida, para retener la forma original de la superficie. La falta de cuidado en el manejo puede anular cualquier resultado de ensayo que se realice.
- Nota 2: Cuando el clima es muy cálido, se debe considerar el uso de una capa protectora de hielo o un dispositivo similar mientras se traslada la muestra al laboratorio.*
- 5.4** Cuando el único propósito del muestreo es la medida del espesor de la (s) capa(s) del pavimento, se permite tomar muestras de tamaño menor que el indicado en los numerales 5.1 y 5.2.

6 SEPARACIÓN DE LAS CAPAS DE PAVIMENTO

- 6.1** La separación de dos capas de pavimento se puede lograr a veces dando un golpe rápido y seco con un cincel en el punto de unión de las dos capas. La separación mediante este procedimiento es más efectiva si la muestra se enfría por debajo de 0° C (32° F).

- 6.2** Como alternativa, dos capas de pavimento se pueden separar congelando la muestra y cortándola después mediante aserrado. En lugar del congelamiento, se puede rociar agua fría sobre la sierra para minimizar la generación de calor.

7 INFORME

- 7.1** El informe de la toma de testigos debe incluir el procedimiento aplicado para escoger los sitios de muestreo y una declaración sobre los métodos de corte y extracción utilizados.

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D5361/5361D – 11a

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

RECUPERACIÓN DEL ASFALTO DE UNA SOLUCIÓN UTILIZANDO EL EVAPORADOR ROTATORIO

INV E – 759 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma de ensayo se refiere a la recuperación del asfalto de un solvente usando un evaporador rotatorio (rotavapor), que garantiza que los cambios en las propiedades del asfalto durante el proceso de recuperación son mínimos.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-759-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** La solución de solvente y asfalto proveniente de una extracción previa, se destila parcialmente sumergiendo el matraz rotatorio de destilación del rotavapor en un baño de aceite caliente, mientras la solución se somete a vacío parcial y a un flujo de gas nitrógeno o de dióxido de carbono. El asfalto recuperado se podrá someter a los ensayos posteriores que se requieran.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Con el propósito de determinar las características del asfalto en una mezcla asfáltica de pavimentación, es necesario extraer el asfalto del agregado mediante un solvente apropiado y recuperarlo posteriormente del solvente, sin que sus propiedades se afecten significativamente. El asfalto recuperado del solvente mediante el ensayo descrito por la presente norma se puede ensayar empleando los mismos métodos que para el cemento asfáltico original, lo que permite comparar sus propiedades antes y después del proceso de mezcla.

4 EQUIPO

- 4.1** *Evaporador rotatorio (Figura 759 - 1)* – Equipado con un matraz de destilación, un motor de velocidad variable capaz de rotar el matraz a una velocidad de, por lo menos, 50 revoluciones por minuto, un condensador, un matraz de recuperación de solvente y un baño de aceite caliente. El ángulo que debe

hacer el matraz de destilación con la horizontal es de aproximadamente 15°. El matraz de destilación (nota 1) se deberá encontrar a una profundidad aproximada de 40 mm (1.5"), cuanto esté totalmente sumergido en el baño de aceite.

Nota 1: Se recomienda usar un matraz de 2000 ml de capacidad.

- 4.2 *Manómetro o vacuómetro* – Apropriado para medir el vacío especificado.
- 4.3 *Caudalímetro de gas* – Capaz de marcar un flujo de gas hasta de 1000 ml/minuto.
- 4.4 *Recipiente* – Con capacidad suficiente para contener la muestra y el solvente añadido.
- 4.5 *Sistema de vacío* – Que permita mantener el vacío en un rango de ± 0.7 kPa (± 5 mm Hg) respecto del nivel deseado, hasta 80 kPa (600 mm Hg).

5 REACTIVOS Y MATERIALES

- 5.1 *Gas nitrógeno o dióxido de carbono* – Un tanque presurizado con válvula reductora de presión, u otra fuente apropiada.

Nota 2: Se pueden requerir diferentes ratas de flujo, dependiendo del gas que se emplee.

- 5.2 *Aceite para el baño* – Será del tipo aceite blanco USP o silicona fluida SWS-101, con punto de inflamación mayor a 215° C (420° F), u otro aceite equivalente. El punto de inflamación se determina con la norma INV E-709.
- 5.3 *Solvente* – El solvente para extraer el asfalto de las mezclas asfálticas será tricloroetileno, grado técnico, cloruro de metileno o N-propil bromuro. Se recomienda que para cada nuevo suministro de solvente se realice una prueba en blanco con un asfalto de propiedades conocidas.

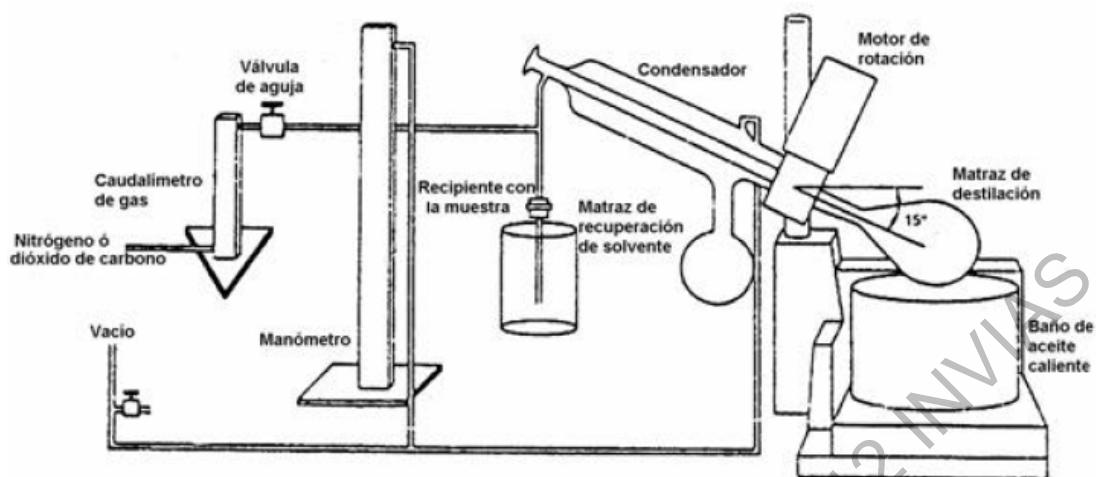


Figura 759 - 1. Evaporador rotatorio y sistema de recuperación

6 PRECAUCIONES

- 6.1** *Advertencia* – Los solventes mencionados en el numeral 5.3 sólo se deberán emplear bajo una campana extractora o con un sistema de escape superficial efectivo en un área bien ventilada, puesto que son tóxicos en varios grados. Será de responsabilidad del usuario consultar los límites vigentes (*Threshold Limits Values*) establecidos por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (www.acgi.org) y tomar las medidas apropiadas para proteger a los operadores del equipo.
- 6.2** En presencia de calor y humedad, estos solventes se pueden hidrolizar formando ácidos que corroen severamente ciertos metales, en especial si están en contacto durante largos períodos. Se deberán tomar precauciones extremas para evitar que estos solventes permanezcan, aún en pequeñas cantidades, en los tanques efluentes de los extractores de vacío de aluminio.
- 6.3** La exposición de estos solventes o de sus vapores a elevadas temperaturas, tales como el contacto con llamas, superficies al rojo vivo o arcos eléctricos, da lugar a productos de descomposición como el ácido clorhídrico. Los tambores metálicos que contengan estos solventes se deberán almacenar en ambientes frescos y secos, se deberán mantener sellados con firmeza y abrirse con la menor frecuencia posible. El ácido clorhídrico en el solvente descompuesto puede endurecer el asfalto durante la extracción y el ensayo de recuperación.

7 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 7.1** La muestra consiste en una solución de asfalto con solvente, obtenida de una extracción previa por el método A o B dado en la norma INV E-732, de una muestra de mezcla asfáltica de masa suficiente para que resulten aproximadamente 75 a 100 g de asfalto recuperado. Se pueden recuperar mayores o menores cantidades de asfalto; sin embargo, las propiedades del asfalto recuperado pueden no estar en concordancia con aquellas que se recuperan de una cantidad de 75 a 100 g. Durante el proceso de extracción, es importante que todo el asfalto de la mezcla sea extraído, ya que puede haber alguna solvencia selectiva del asfalto, y los componentes duros más viscosos del asfalto pueden quedar en la mezcla, si la extracción no se desarrolla completamente

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Se calienta el baño de aceite a una temperatura de $140 \pm 3^\circ \text{C}$ ($285 \pm 5^\circ \text{F}$). Se hace circular agua fría a través del condensador.
- 8.2** Se aplica un vacío de $5.3 \pm 0.7 \text{ kPa}$ ($40 \pm 0.5 \text{ mm Hg}$) bajo la presión atmosférica y se trasvasan aproximadamente 600 ml de la solución con asfalto del recipiente que contiene la muestra, al matraz de destilación. Se comienza un flujo de nitrógeno o dióxido de carbono de unos 500 ml/minuto a través del sistema (nota 3). Se inicia la rotación del matraz de destilación (a unas 40 rpm) y se introduce el matraz dentro del baño de aceite. La profundidad inicial de inmersión quedará determinada por la necesidad de alcanzar una rata controlada de evaporación del solvente. La rata correcta de evaporación puede ser advertida como una corriente continua de solvente condensado que se recoge en el matraz de recuperación.

Nota 3: Los valores de vacío y de flujo de nitrógeno o dióxido de carbono pueden requerir ajustes de acuerdo con el lugar donde se efectúa el ensayo. También, se recomiendan bajos valores de flujo al comienzo del proceso de rotación cuando el volumen de la muestra es grande, debido a la posibilidad de reflujo en el sistema de vacío. La posibilidad de reflujo se puede minimizar, también, regulando la profundidad de inmersión del matraz en el baño.

- 8.3** Cuando la cantidad de solución de asfalto dentro del matraz de destilación es lo suficientemente baja como para requerir la adición de más solución, se descontinúa el flujo de nitrógeno o dióxido de carbono. Se trasvasa al matraz de destilación la cantidad restante de solución de asfalto y se reajusta el flujo de nitrógeno o dióxido de carbono (nota 4).

Nota 4: El equipo puede ser modificado para permitir un flujo continuo de solución del recipiente que contiene la muestra al matraz de destilación, en condiciones que el volumen en el matraz de destilación se mantenga en, aproximadamente, 600 ml. El flujo de nitrógeno o dióxido de carbono no se comienza hasta que toda la solución se encuentre dentro del matraz.

- 8.4** Cuando todo el solvente ha sido destilado del asfalto y no se observe una condensación obvia en el condensador, se sumerge el matraz a la máxima profundidad recomendada de inmersión de, aproximadamente, 40 mm (1 ½"). Se aplica lentamente un vacío de 80 ± 0.7 kPa (600 ± 0.5 mm Hg) bajo la presión atmosférica. Se aumenta el flujo de nitrógeno o dióxido de carbono a 600 ml/minuto, aproximadamente, y la velocidad de giro a unas 45 rpm (nota 5). Se recomienda una espera de 2 minutos, antes de comenzar la aplicación lenta del vacío. El vacío se sostiene o se reduce si se produce espuma o burbujas. Cuando la espuma se calme, se aplica el máximo vacío. Esta condición se debe mantener por 15 ± 1 min.

Nota 5: Una mayor velocidad de giro del matraz expone una mayor superficie del asfalto y, por lo tanto, desaloja más trazas de solvente del asfalto. La velocidad de rotación del matraz puede ser también variada, o la rotación puede ser suspendida, para permitir la remoción de solvente.

Nota 6: Debido al efecto enfriador del aumento del flujo de nitrógeno o dióxido de carbono, generalmente es necesario un incremento de la temperatura del baño de aceite para mantener constante la temperatura de la muestra. La experiencia ha demostrado que un rango satisfactorio de temperatura es de 150 a 155° C (300 a 310° F).

- 8.5** Al final del período de 15 minutos, se remueve el matraz de destilación del aparato y se limpia el aceite que tenga adherido. Se vierte el asfalto en un recipiente apropiado. Si es necesario, se invierte el matraz y se coloca en un horno a $165 \pm 1^\circ$ C ($329 \pm 2^\circ$ F) durante 10 a 15 minutos, para que el asfalto fluya en el recipiente. No se debe permitir que el asfalto se distribuya dentro del interior del matraz.
- 8.6** Mientras el asfalto recuperado se encuentre en estado líquido, se tomarán muestras de él para someterlas a los ensayos requeridos de penetración, punto de ablandamiento, ductilidad y viscosidades cinemática y absoluta, según se requiera.

Nota 7: Contenidos de cenizas mayores de 1 % en asfaltos recuperados, afectan la exactitud de los ensayos de penetración, ductilidad, punto de ablandamiento y viscosidad.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1** *Precisión* – Resultados reportados por el laboratorio de referencia de materiales de la AASHTO sobre muestras ensayadas entre 1992 y 1996, indican que la precisión entre laboratorios (1s%) varía entre 16 y 30 % para la

penetración del asfalto recuperado, entre 10 y 22 % para la viscosidad cinemática a 135° C y entre 16 y 45 % para la viscosidad a 60° C. Estos rangos son significativamente mayores que los reportados para el ensayo de asfaltos originales.

- 9.2 *Sesgo* – Puesto que no hay un material de referencia aceptado para determinar el sesgo en este método de ensayo, no se presenta una declaración al respecto.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 5404/D5404 M – 11

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE

INV E – 760 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar el valor de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas empleando la máquina de Los Ángeles. El procedimiento se puede emplear tanto para el diseño de mezclas en el laboratorio, como para su control en obra.
- 1.2 El procedimiento se aplica a mezclas asfálticas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo de partícula sea igual o inferior a 25 mm.
- 1.3 El ensayo permite valorar empíricamente la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito automotor.
- 1.4 Esta norma reemplaza la norma INV E-760-07.

2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

- 2.1 El ensayo consiste en fabricar, con la mezcla que se quiere estudiar, una probeta tipo Marshall (compactada con 50 golpes por cara) e introducirla en la máquina de ensayo de Los Ángeles (sin la carga abrasiva) a una temperatura dada. Después de un número determinado de vueltas se saca la probeta, que durante el ensayo ha ido perdiendo por desgaste parte de los agregados situados en la superficie, y se pesa. Como resultado del ensayo se obtiene el valor de la pérdida por desgaste, expresada en tanto por ciento de la masa inicial.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Las mezclas porosas o drenantes, usadas como capas de rodadura, son mezclas que se caracterizan por tener un contenido elevado de vacíos con

aire, interconectados entre sí, que permiten la filtración del agua lluvia con rapidez hacia las zonas laterales fuera de la calzada. La observación del comportamiento de las obras en servicio ha puesto de manifiesto que la falla de estas capas se produce por disgregación, como consecuencia de una falta de cohesión de la mezcla para poder resistir apropiadamente la acción abrasiva del tránsito. Esta propiedad no puede ser evaluada mediante el empleo de los ensayos mecánicos convencionales, por lo que se ha desarrollado el ensayo descrito en la presente norma para medir la resistencia de la mezcla ante este tipo de deterioro.

4 EQUIPO

- 4.1** *Equipo de compactación* – Formado por el molde, collar, placa de base y martillo de compactación Marshall, empleados en la norma de ensayo INV E-748.
- 4.2** *Máquina de Los Ángeles* – Deberá tener las características indicadas en las normas INV E-218 e INV E-219.
- 4.3** *Termómetros* – Para medir las temperaturas de los agregados, el ligante y la mezcla asfáltica, se emplearán termómetros metálicos, con escala hasta 200° C y sensibilidad de 3° C. Para la medida de la temperatura a la que se realiza el ensayo, se deberá utilizar un termómetro con escala 0 a 40° C o más, y sensibilidad de 0.5° C.
- 4.4** *Balanzas* – Una balanza de 2 kg de capacidad y 0.1 g de sensibilidad para pesar las probetas, y otra de 5 kg de capacidad y 1 g de sensibilidad para la preparación de las mezclas.
- 4.5** *Horno* – Para el calentamiento de los agregados, del material asfáltico y los moldes, se deberá disponer de un horno pueda mantener las temperaturas especificadas, con una variación máxima de $\pm 3^\circ$ C.
- 4.6** *Cámara de temperatura controlada* – Para mantener constante la temperatura durante el ensayo, se deberá disponer de una cámara o recinto capaz de alojar la máquina de Los Ángeles, en la que la temperatura de ensayo se pueda regular con una variación máxima de $\pm 1^\circ$ C.
- 4.7** *Elementos misceláneos* – Bandejas, tazas, espátulas, guantes termoaislantes, lápices grasos, pinzas, discos de papel de filtro, etc.

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Preparación de las probetas

- 5.1.1** *Número de probetas* – Se deberá preparar un mínimo de cuatro probetas con cada contenido de ligante ensayado.
- 5.1.2** *Preparación de los agregados* – Las distintas fracciones de agregados que componen la mezcla se secan en el horno hasta masa constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- 5.1.3** *Temperaturas de mezcla y compactación* – Las temperaturas del ligante en la mezcla y de la compactación de las probetas, serán las adecuadas para hacer compatible una buena envuelta sin que se produzca escurrimiento. Como criterio orientador, se pueden elegir las temperaturas que se prescriben, según viscosidad, en la norma INV E-748, modificándolas si fuera preciso para cumplir los requisitos de envuelta y escurrimiento recién indicados.
- 5.1.4** *Preparación de mezclas* – En un recipiente tarado, se pesan sucesivamente las cantidades necesarias de cada fracción de los agregados para la elaboración de una probeta, de modo que la cantidad total de agregados sea de unos 1000 g. El resto del proceso de preparación coincide con el indicado en la norma INV E-748 para la fabricación de las probetas Marshall.
- 5.1.5** *Compactación de las mezclas* – La energía de compactación será de 50 golpes por cara, empleando el equipo y el procedimiento de compactación descritos en la norma INV E-748.
- 5.1.6** *Densidad y análisis de vacíos* – Una vez desmoldadas las probetas, se determinan su densidad y su contenido de vacíos con aire, a partir de la medida geométrica de su volumen y de la densidad relativa de los materiales.

5.2 Ejecución del ensayo

- 5.2.1** En general, la temperatura de ensayo estará comprendida entre 15 y 30°C , con una tolerancia máxima de $\pm 1^\circ \text{C}$.

- 5.2.2** Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0.1 g, y se anota este valor como P_1 . Antes de ensayarlas, las probetas se mantienen a la temperatura de ensayo durante un mínimo de 6 horas.
- 5.2.3** A continuación, se introduce una probeta en el tambor de la máquina de Los Ángeles sin la carga abrasiva de las esferas, y se hace girar el tambor a la misma velocidad indicada en las normas INV E-218 e INV E-219 de 188 a 208 rad/min (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.
- 5.2.4** Al final del ensayo, se saca la probeta del tambor (Figura 760 - 1) y se determina de nuevo su masa con la misma aproximación de 0.1 g, anotando este valor como P_2 .

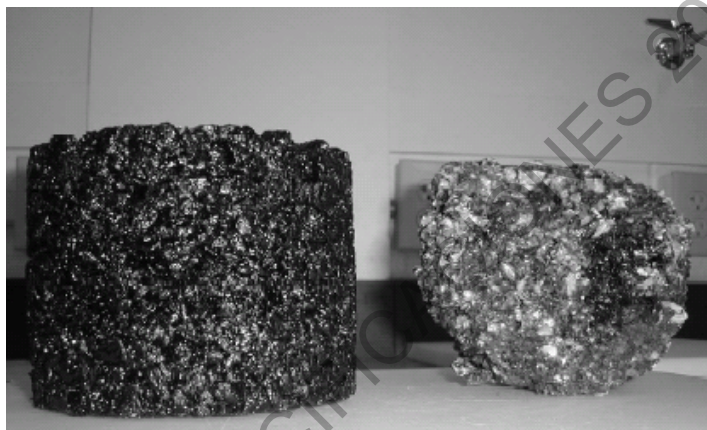


Figura 760 - 1. Probetas de mezcla asfáltica antes y después del ensayo cántabro

- 5.2.5** El ensayo se repite de forma idéntica con cada una de las probetas análogas preparadas según el numeral 5.1.

6 CÁLCULOS

- 6.1** Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la expresión:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad [760.1]$$

- 6.2** Donde: P : Valor de la pérdida por desgaste de la probeta, %;
- P_1 : Masa inicial de la probeta, g;

P₂: Masa final de la probeta, g.

- 6.3** Se calcula el valor medio de todas las probetas análogas ensayadas según el numeral 5.2.

7 INFORME

- 7.1** Se deberá informar la pérdida media por desgaste para cada contenido de ligante utilizado, así como la temperatura de ensayo.

8 PRECISIÓN Y SESGO

- 8.1** *Precisión* – Se han establecido los siguientes datos sobre precisión para ensayos efectuados a 25° C:

% DE PÉRDIDAS EN EL ENSAYO	REPETIBILIDAD, %	REPRODUCIBILIDAD %
< 40	2	4
≥ 40	5	8

- 8.2** *Sesgo* – El sesgo de este método de ensayo no se puede determinar, por cuanto no hay un material disponible con un valor de referencia aceptado.

9 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

NLT 352/00

BITVAL, “Analysis of Available Data for Validation of Bitumen Tests”, Report on Phase 1 of the BITVAL project

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

CONTENIDO DE AGUA EN UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA

INV E – 761 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento para determinar el contenido de agua en una emulsión asfáltica por destilación a reflujo usando una trampa de agua.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-761-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 El ensayo mide la cantidad de agua presente en una emulsión asfáltica, distinguiéndola tanto del asfalto como del solvente que pueda contener.
- 2.2 El conocimiento del contenido de agua de una emulsión es esencial para determinar con precisión la cantidad de ligante asfáltico realmente utilizada en el pavimento.

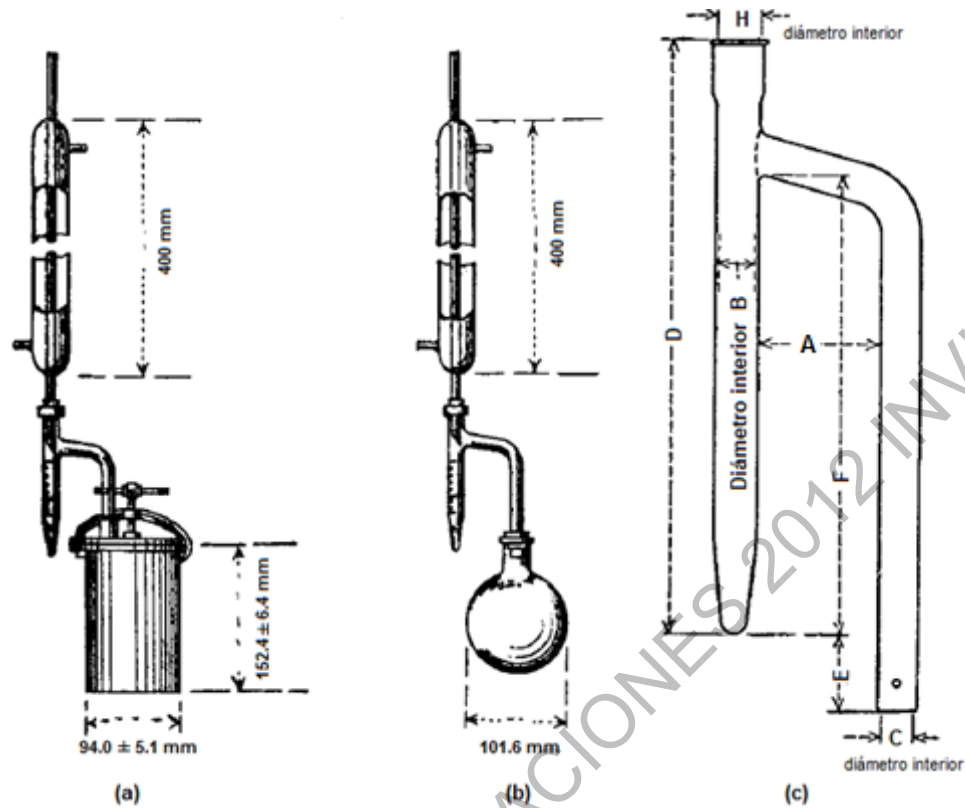
3 EQUIPO

- 3.1 *Aparato para destilación* – Consiste básicamente en una retorta metálica o un matraz de vidrio, calentado por un medio apropiado y provisto de un refrigerante de reflujo que descargue en un colector graduado, el cual sirve para recoger y medir el agua condensada y devolver el disolvente al matraz. El tipo de aparato empleado no es un punto fundamental en este método de ensayo.
 - 3.1.1 *Retorta metálica* – La retorta (Figura 761 - 1a) debe ser fabricada preferiblemente en cobre, tener forma cilíndrica, y estar provista de una pestaña en el borde, a la cual se sujeta la tapa por medio de una abrazadera, produciendo un cierre lo más hermético posible. La tapa debe ser también metálica, preferiblemente de cobre o latón y estar provista de un orificio de 25.4 mm (1") de diámetro interior.
 - 3.1.2 *Matraz de vidrio* – El matraz de vidrio (Figura 761 - 1.b) debe ser de cuello corto y fondo redondo, de vidrio resistente al calor y de una capacidad aproximada de 500 ml.

- 3.2** *Fuente de calor* – Con la retorta metálica se emplea un mechero anular de gas de unos 100 mm (4") de diámetro interno, provisto de agujeros para la salida del gas en la parte interior, o un calentador eléctrico de manto (Figura 761 - 2). Con el matraz de vidrio se emplea un mechero de gas corriente o un calentador eléctrico.
- 3.3** *Condensador (refrigerante)* – El refrigerante de reflujo debe ser enfriado por agua y ser del tipo recto, con un diámetro interior del tubo comprendido entre 9.5 y 12.7 mm (3/8 y 1/2") y provisto de una camisa de refrigeración no menor de 400 mm (15 3/4") de longitud. El extremo del refrigerante que queda dentro del colector debe tener forma de pico de flauta con un ángulo de $30 \pm 5^\circ$ respecto a su eje vertical. El condensador se debe montar sobre el colector de la forma que indican las Figuras 761 - 1a y 761 - 1b.
- 3.4** *Colector (trampa)* – El colector debe ser de vidrio recocido, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 761 - 1c, y debe estar graduado en divisiones de 0.10 ml desde 0 a 2 ml y en divisiones de 0.2 ml, de 2 a 25 ml.

4 SOLVENTE

- 4.1** Xileno u otro producto de la destilación del petróleo, con un 98% de destilado entre 120 y 250° C (248 y 482° F).



A = 45 to 55 mm E = 25 to 38 mm
 B = 14 to 16 mm F = 186 to 194 mm
 C = 12 to 16 mm H = 18 to 19 mm
 D = 235 to 255 mm

Figura 761 - 1. Equipo para determinar el contenido de agua

5 MUESTRA

5.1 La muestra de laboratorio deberá ser representativa del material que se vaya a ensayar y se deberá obtener como se indica en la norma INV E-701. La porción de muestra para el ensayo será, a su vez, representativa de la muestra del laboratorio.

Nota 1: Normalmente no deben existir dificultades en conseguir una muestra verdaderamente representativa para este ensayo, por lo que la toma de muestras en este caso tiene una importancia relativa.



Figura 761 - 2. Calentador eléctrico de manto

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** De acuerdo con la información del fabricante de la emulsión, cuando el material que se va a ensayar contiene menos de 25 % de agua, se vierten dentro de la retorta o matraz 100 ± 0.1 g de la muestra; si el material contiene más de 25 % de agua, la muestra deberá ser de 50 ± 0.1 g. Una vez determinada la masa de la muestra, se mezcla bien con 200 ml de disolvente, agitando el recipiente y teniendo cuidado para evitar pérdidas de material.
- 6.2** Las conexiones entre la retorta o matraz, el colector y el refrigerante, se hacen como se indica en las Figuras 761 – 1a y 761 – 1b. El extremo del condensador que entra en el colector debe tener una posición tal, que quede sumergido a una profundidad menor de 1 mm (0.04") por debajo del nivel del líquido en el colector después de que se han establecido las condiciones de destilación. Cuando se emplee la retorta metálica, se coloca, entre el reborde de la misma y la tapa, un empaque de papel grueso, humedecido con el disolvente. En el extremo superior del condensador se coloca un poco de algodón sin apelmazar, para evitar que la humedad atmosférica se condense dentro del tubo.
- 6.3** Cuando se emplee el mechero anular con la retorta metálica, se coloca a unos 76.2 mm (3") por encima del fondo de la retorta al comienzo de la destilación, y va bajando gradualmente durante el transcurso de ésta. El calor se aplica regulando su intensidad de forma que el reflujo del solvente condensado caiga a una velocidad de 2 a 5 gotas por segundo.
- 6.4** Se continúa la destilación a la velocidad especificada hasta que no se vea agua en ninguna parte del aparato, excepto en el colector, y el volumen de agua en

éste se mantenga constante durante 5 minutos. Si se observa en el tubo del condensador un anillo de agua condensada, se puede eliminar aumentando la velocidad de destilación durante algunos minutos.

7 CÁLCULOS E INFORME

7.1 Se calcula el contenido de agua como porcentaje, así:

$$\text{Contenido de agua, \%} = \frac{A}{B} \times 100 \quad [761.1]$$

Donde: A: Volumen de agua en el colector (trampa), ml;

B: Masa original de la muestra de ensayo, g.

7.2 El resultado se informa como “... % de agua, según la norma de ensayo INV E-761”.

8 PRECISIÓN

8.1 El siguiente criterio se puede seguir para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con 95 % de probabilidad:

8.1.1 Los resultados obtenidos por duplicado por el mismo operador se considerarán satisfactorios para contenidos de agua entre 30 y 50 %, si no difieren en más de 0.8 %.

8.1.2 Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán satisfactorios para contenidos de agua entre 30 y 50 %, si no difieren en más de 2.0 %.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 244 – 09

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DESTILACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

INV E – 762 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma de ensayo se refiere a la determinación cuantitativa del residuo asfáltico y del aceite destilado de emulsiones asfálticas compuestas principalmente por una base de asfalto semisólido o líquido, agua y un agente emulsificante.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-762-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Se calienta una muestra de la emulsión asfáltica en un matraz de destilación de aleación de aluminio a $260 \pm 5^\circ \text{C}$, y se miden los volúmenes obtenidos de agua y de destilado. De ser necesario, el residuo de la destilación, así como cualquier porción aceitosa del destilado, se pueden someter a ensayos posteriores.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este ensayo se usa para determinar cuantitativamente el residuo y los destilados aceitosos de las emulsiones asfálticas, tanto para verificar el cumplimiento de la especificación aplicable, como para evaluar la emulsión en servicio, para el control de calidad y para la investigación. También, para obtener el residuo y el destilado aceitoso para la ejecución de ensayos posteriores. El método no es apropiado sobre emulsiones que contengan látex o polímeros, aunque algunas agencias lo utilizan, estipulando temperaturas de destilación más bajas. Si esto último ocurre, las declaraciones sobre precisión y sesgo incluidas en esta norma no son aplicables.

4 APARATOS

- 4.1** *Matraz de una aleación de aluminio (alambique)* – Con tapa y abrazaderas como se detalla en la Figura 762 - 1, de aproximadamente 241.3 mm (9 ½") de

altura y 95.3 mm (3 ¾") de diámetro interior. Las dimensiones del aparato no son críticas para el ensayo y las mostradas en la Figura 762 - 1 tienen únicamente carácter referencial.

Nota 1: Se puede aceptar el uso de un alambique de hierro.

- 4.2** *Empaque* – Para sellar el alambique, se puede emplear cualquier empaque que resista la máxima temperatura alcanzada durante el proceso de destilación.

Nota 2: El uso del empaque se vuelve opcional si la junta se puede ajustar herméticamente o si solamente se requiere recuperar el residuo, sin ser necesario el ensayo posterior del agua o del aceite destilado.

- 4.3** *Fuentes de calor* – Mechero anular de diámetro interno 121 mm (4 ¾") con orificios en su periferia interior y tres pines espaciadores para fijarlo alrededor de la parte exterior del matraz, como se muestra en la Figura 762 - 2. Las dimensiones del aparato no son críticas para el ensayo y las mostradas en la Figura 762 - 2 tienen únicamente carácter referencial.

Nota 3: El empleo de un mechero Bunsen con extremo alado, como se muestra en la Figura 762 - 3, es optativo

- 4.4** *Elementos de conexión* – Un tubo de desprendimiento de vidrio o metal de diámetro aproximado de 12 mm, con una protección metálica (Ver Figura 762 - 3), y un condensador de vidrio, de enfriamiento con agua, con una camisa metálica o de vidrio de borosilicato. Si el tubo de desprendimiento es metálico, se puede asegurar a la tapa del matraz de destilación por medio de un ajuste de compresión. Si es de vidrio, se puede asegurar por medio de un tapón de corcho o de silicona. Se pueden emplear otros condensadores de 12 mm de vidrio o metal, siempre que su longitud húmeda tenga entre 400 y 500 mm. Las dimensiones mostradas en la Figura 762 - 3 tienen únicamente carácter referencial.

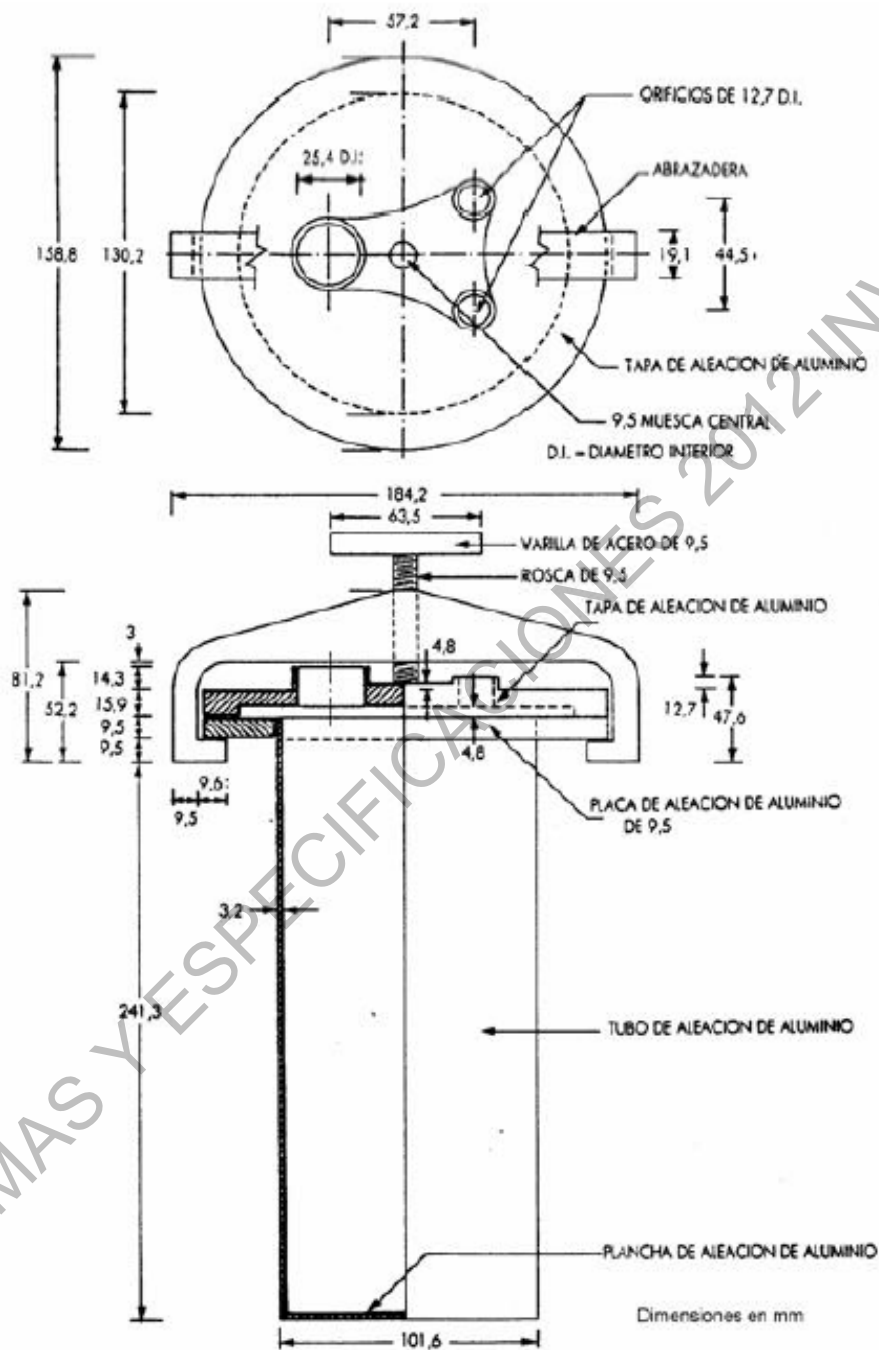
- 4.5** *Probeta* – Una probeta de 100 ml de capacidad, con graduaciones cada 1 ml.

- 4.6** *Termómetro* – De baja destilación, con las siguientes características principales:

REFERENCIA	ASTM 7C	ASTM 7F
RANGO	-2°C a 300° C	30°F a 580° F
GRADUACIONES	1° C	2° F
LONGITUD TOTAL	386 mm	15 ¼"
INMERSIÓN	Total	Total

- 4.7** *Tamiz* – Con aberturas de 300 µm (No. 50).

4.8 *Balanza* – Capaz de pesar 3500 g con una precisión de ± 0.1 g.



4.9 *Tapones* – De corcho o silicona, para sellar los orificios de la tapa del matraz, mantener el termómetro en posición y asegurar el tubo de desprendimiento a la tapa.

- 4.10 *Tubos de caucho* – Resistentes al calor y de tamaño adecuado para asegurar la junta de vidrio del tubo de desprendimiento con el condensador.

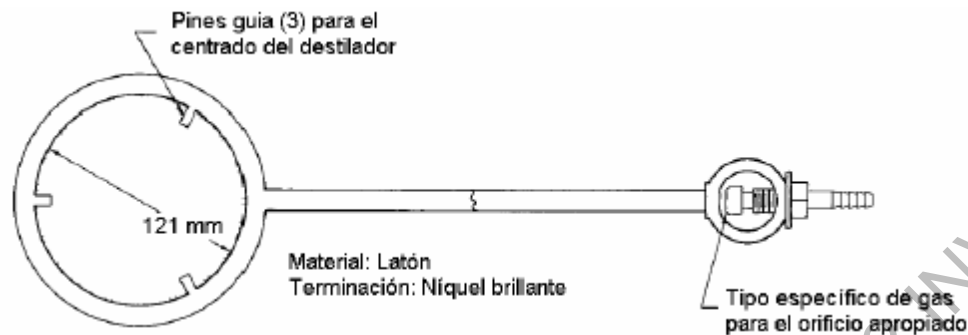


Figura 762 - 2. Mechero anular de 121 mm (4 ¾") de diámetro interior

5 ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA PARA ENSAYO

- 5.1 Antes del ensayo, todas las muestras de emulsión asfáltica se deben agitar para lograr su homogeneidad.
- 5.2 Las emulsiones cuya viscosidad se deba verificar a 50° C se deberán calentar a $50 \pm 3^\circ \text{C}$ en su recipiente original, dentro de un baño de agua o un horno. El recipiente deberá estar ventilado para aliviar la presión. Luego de alcanzar los $50 \pm 3^\circ \text{C}$, la muestra se agita para homogeneizarla.
- 5.3 Las emulsiones cuya viscosidad se deba verificar a 25° C se deberán acondicionar a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ en su recipiente original. Luego de alcanzar esta temperatura, la muestra se agita para homogeneizarla.
- 5.4 Cuando la muestra de emulsión a ensayar provenga de un tanque de almacenamiento, se deberá ensayar a la temperatura usada para el almacenamiento, no requiriéndose el acondicionamiento descrito en los numerales 5.2 y 5.3.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se monta el aparato conforme se indica en la Figura 762 - 3, cuidando que todas las conexiones queden bien ajustadas.

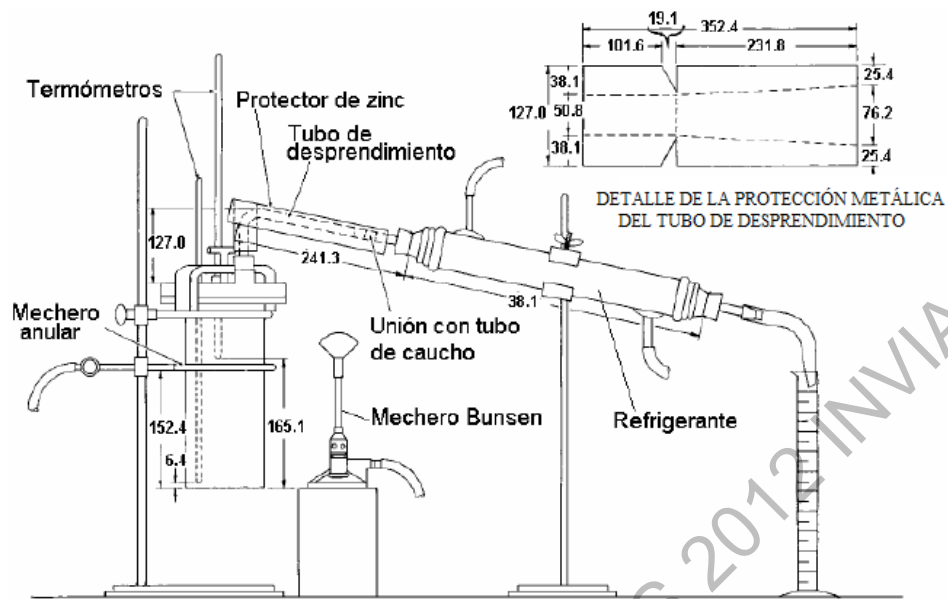


Figura 762 - 3. Esquema del equipo para el ensayo de destilación de emulsiones asfálticas



Figura 762 - 4. Equipo para el ensayo de destilación de emulsiones asfálticas

- 6.2** Se pesan 200 ± 0.1 g de la emulsión en el matraz de destilación previamente tarado. En el tarado se deben incluir el matraz, la tapa, la abrazadera, los termómetros, los tapones y el empaque (si se usa).

Nota 4: Si se necesita una cantidad adicional de residuo para ensayos posteriores, se debe usar una muestra mayor, generalmente entre 200 y 300 g. Esta masa se deberá anotar y usar en los cálculos que se describen en los numerales 7.1 y 7.2. Se debe tener en cuenta que los datos de precisión de este método de ensayo (numeral 8.1) se determinaron usando muestras de 200 g, razón por la cual pueden resultar inaplicables para otros tamaños de muestras.

- 6.3** Se aprieta firmemente la tapa sobre el matraz. Si se usa el empaque, éste se debe colocar entre el matraz y la tapa antes de apretarla.

- 6.4** Se inserta el termómetro, primero a través del tapón y luego en uno de los pequeños orificios de la tapa. El otro orificio se deberá sellar con un tapón. Se ajusta el termómetro de manera que la parte inferior de su bulbo quede a una distancia aproximada de 6 mm del fondo del matraz.

Nota 5: Se puede usar otro termómetro en el segundo agujero de la tapa, con el bulbo colocado a una distancia aproximada de 165 mm (6 ½") del fondo del matraz de destilación. Un cambio súbito en el registro de este termómetro indica la formación de espuma. Si esto sucede, se remueve la fuente de calor hasta que cese la espuma.

- 6.5** Se coloca el mechero anular alrededor del alambique, aproximadamente a 150 mm (6") de su fondo. Se enciende el mechero y se ajusta de manera de obtener una llama pequeña. También, se calienta el tubo de desprendimiento con el mechero Bunsen, para evitar que el agua se condense en el tubo.

Nota 6: El uso del mechero Bunsen es opcional.

- 6.6** Cuando la temperatura alcance aproximadamente 215° C (420° F), se descende el mechero anular hasta una posición a nivel del fondo del alambique. Se eleva la temperatura hasta $260 \pm 5^\circ \text{C}$ ($500 \pm 10^\circ \text{F}$) y se mantiene durante 15 minutos. La destilación se debe completar en un lapso de 60 ± 15 minutos a partir del inicio de la aplicación de calor.

Nota 7: Se puede elevar la posición del mechero anular para reducir el riesgo de formación de espuma, o descenderla hasta la parte media del matraz, cuando se ensayen emulsiones que no contengan solventes. El mechero se puede descender gradualmente a medida que avanza la destilación, para asegurar el cumplimiento de las exigencias sobre tiempo de esta norma. También, resulta aceptable el uso de dos mecheros anulares fijos en lugar de uno solo móvil. Si se usa el segundo mechero, solamente uno estará en operación en cada instante de la destilación.

- 6.7** Inmediatamente después de terminado el período de calentamiento, se apaga la llama y se mide la masa del matraz de destilación con sus accesorios, tal como se describe en el numeral 6.2. Debido al empuje del aire a 260° C, el matraz de aleación de aluminio pesa a dicha temperatura 1.5 g menos que a temperatura ambiente. Para corregir este error, se añaden 1.5 g a la masa obtenida al final del ensayo, antes de calcular el porcentaje de residuo por destilación. El porcentaje de residuo por destilación se calcula como se indica en el numeral 7.1. El volumen de aceite destilado se debe anotar con aproximación a 0.5 ml. El volumen de aceite destilado se calcula como porcentaje de la masa de la muestra de emulsión utilizada, como se indica en el numeral 7.2.

- 6.8** Se mueve el matraz agitando el residuo con suavidad. Esto se puede hacer con un movimiento en forma de remolino o simplemente revolviendo con una varilla larga de vidrio o metálica, para obtener una consistencia uniforme del material antes de verterlo en otro recipiente. Se quita la tapa del matraz e

inmediatamente se pasa el residuo a los recipientes o moldes requeridos para realizar los ensayos pertinentes. Si se advierte o sospecha la existencia de material extraño dentro del residuo, éste se deberá pasar a través del tamiz de 300 µm (No. 50) antes verterlo en los recipientes o moldes.

7 CÁLCULOS

7.1 El porcentaje de residuo por destilación se calcula con la fórmula:

$$\text{Residuo, \%} = \frac{B - A}{C} \times 100 \quad [762.1]$$

Donde: A: Masa del matraz de destilación (alambique) y accesorios, antes del ensayo (numeral 6.2);

B: Masa del matraz de destilación (alambique) y accesorios, después del ensayo y agregándole 1.5 g (numeral 6.7);

C: Masa de la emulsión añadida al matraz de destilación.

7.2 El porcentaje de aceite destilado, se calcula redondeado a 0.1 %, empleando la siguiente expresión:

$$\text{Aceite destilado, \%} = \frac{V}{C} \times 100 \quad [762.2]$$

Donde: V: Volumen de aceite destilado (aproximado a 0.5 ml).

8 PRECISIÓN Y SESGO

8.1 *Precisión* – Se pueden emplear los siguientes criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con el 95 % de probabilidad.

8.1.1 Los resultados obtenidos por duplicado por el mismo operador se considerarán satisfactorios si no difieren en más de las siguientes cantidades:

RESIDUO POR DESTILACIÓN, % DE LA MASA	REPETIBILIDAD, % DE LA MASA
50 – 70	1.0

8.1.2 Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán satisfactorios si no difieren en más de las siguientes cantidades:

RESIDUO POR DESTILACIÓN, % DE LA MASA	REPETIBILIDAD, % DE LA MASA
50 – 70	2.0

8.2 *Sesgo* – El sesgo de este método de ensayo no se puede determinar, por cuanto no hay ningún material disponible con un valor de referencia aceptado.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6997 –12

VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

INV E – 763 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo utiliza el viscosímetro Saybolt Furol para medir la consistencia de las emulsiones asfálticas. Las determinaciones de viscosidad se realizan a 25 o 50° C (77 o 122° F).
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-763-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Viscosidad Saybolt Furol* – Es el tiempo corregido, en segundos, durante el cual fluyen 60 ml de muestra a través de un orificio Furol, calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en segundos Saybolt Furol (SSF) a una temperatura especificada.
- 2.1.1** La palabra Furol es una contracción de las palabras "Fuel and road oils" (aceites y combustibles para carreteras).

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se determina el tiempo, en segundos, que tardan en fluir 60 ml de una muestra de emulsión asfáltica a través de un orificio calibrado, bajo condiciones cuidadosamente controladas. El tiempo obtenido, corregido cuando corresponda, se informa como la viscosidad de la muestra a la temperatura de ensayo.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La viscosidad es muy importante en el empleo de las emulsiones asfálticas, puesto que es una propiedad que afecta su manejo. Cuando se usa en distintos campos de la construcción de vías, el material debe tener la fluidez suficiente para ser aplicado uniformemente mediante una barra o flauta de distribución en forma de rocío, pero en seguida deberá ser lo suficientemente consistente

para que no fluya por las pendientes transversal y longitudinal de la vía. Para emulsiones destinadas a la elaboración de mezclas, su viscosidad puede afectar la operación de mezclado y el espesor de la película de ligante residual sobre el agregado. La viscosidad de muchas emulsiones se ve afectada por el esfuerzo cortante; por consiguiente, se debe garantizar un apego estricto a este procedimiento de ensayo, con el fin de lograr una precisión adecuada.

5 EQUIPO

- 5.1 Viscosímetro** – Un viscosímetro del tipo Saybolt Furol, igual al descrito en la norma INV E-714.
- 5.2 Tamiz** – Un tamiz con aberturas de 850 μm (No. 20) o un cedazo de alambre con aberturas del mismo tamaño, con o sin marco.
- 5.3 Baño de agua u horno** – Que permita mantener la temperatura de ensayo dentro de los límites especificados en la Tabla 714 - 2 de la norma INV E-714.
- 5.4 Termómetros** – Un termómetro del tipo ASTM 17C o 17F para ensayos a 25° C (77° F) y otro del tipo ASTM 19C o 19F para ensayos a 50° C (122° F), con las siguientes características básicas:

REFERENCIA	ASTM 17C	ASTM 17F	ASTM 19C	ASTM 19F
RANGO	19°C a 27° C	66°F a 80° F	49°C a 57° C	120°F a 134° F
GRADUACIONES	0.1° C	0.2° F	0.1° C	0.2° F
LONGITUD TOTAL	275 mm	10 7/8"	275 mm	10 7/8"
INMERSIÓN	Total	Total	Total	Total

- 5.5 Matraz receptor** – De 60 ml de capacidad, de las características indicadas en la norma INV E-714.
- 5.6 Pipeta de extracción** – Para vaciar y enrasar la muestra en la galería del viscosímetro.
- 5.7 Cronómetro.**

6 ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

- 6.1** Todas las muestras de emulsión se deben agitar antes del ensayo, para obtener homogeneidad.

- 6.2** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 50° C, se deberán calentar dentro de un horno o un baño de agua a $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), manteniéndolas en sus recipientes originales, los cuales deberán ser ventilados para aliviar la presión. Luego de que las muestras alcancen $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), se deberán agitar para mantener la homogeneidad.
- 6.3** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 25° C, se deberán mezclar o agitar a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$) en sus recipientes originales hasta obtener homogeneidad.

Nota 1: Si es necesario, las emulsiones que se deban ensayar a 25° C se pueden calentar como se indica en el numeral 6.2. Si se usa este procedimiento, la muestra se deberá enfriar posteriormente a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$), antes de proceder a su ensayo.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** *Ensayos a 25° C (77° F)* – Se limpia y seca el viscosímetro y se inserta el tapón o corcho en su parte inferior. A continuación, se siguen los procedimientos A o B, que se describen a continuación:

7.1.1 *Procedimiento A* – Se vierte la muestra de emulsión en un vaso de precipitados de vidrio de 400 ml. Se sumerge el fondo del vaso unos 500 mm (2") bajo el nivel de un baño de agua a 25° C (77° F). Se sostiene el vaso verticalmente y se agita la emulsión con un movimiento rotatorio del termómetro a razón de 60 rpm, para obtener una distribución uniforme de la temperatura. Se debe evitar la formación de burbujas durante la agitación. Se vierte la muestra a través del tamiz de 850 μm (No. 20) o del cedazo de malla metálica directamente en el tubo del viscosímetro, hasta que sobrepase el borde de rebose de la galería. Se agita la muestra con el termómetro, evitando la formación de burbujas. Se ajusta la temperatura del baño del viscosímetro hasta que la temperatura de la muestra de emulsión permanezca constante durante un minuto dentro del rango $25 \pm 0.1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 0.2^\circ \text{F}$). Se retira el termómetro. Se extrae rápidamente el exceso de emulsión de la galería, utilizando una pipeta de succión o una manguera de vacío. Se retira el tapón del fondo del viscosímetro y, en el mismo instante, se pone en funcionamiento el cronómetro (Figura 763 - 1), el cual se detiene en el momento en que el fondo del menisco alcance la marca de graduación del matraz receptor. Se anota el tiempo de flujo, en segundos, con aproximación a 1 s. De ser necesario,

se multiplica el tiempo de flujo por el factor de corrección para el viscosímetro, como se indica en la Sección 8 de la norma INV E-714.

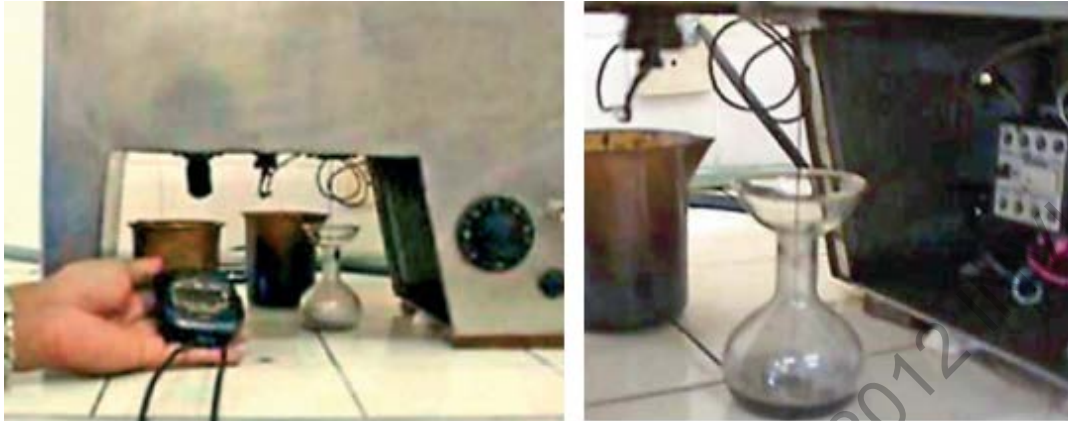


Figura 763 - 1. Control del tiempo de escurrimiento de la emulsión

7.1.2 Procedimiento B – Se vierte la muestra de emulsión en un frasco o botella de unos 120 ml. El frasco tapado se sumerge en un baño de agua a $25 \pm 0.1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 0.2^\circ \text{F}$) durante treinta (30) minutos. Se retira el frasco del baño y se mezcla la muestra invirtiendo el frasco varias veces de manera lenta, para evitar que se formen burbujas. Se vierte la muestra a través del tamiz de $850 \mu\text{m}$ (No. 20) o del cedazo de malla metálica directamente en el tubo del viscosímetro hasta que sobrepase el borde de rebose de la galería. Se agita la muestra empleando el termómetro, evitando la formación de burbujas. Se ajusta la temperatura del baño del viscosímetro hasta que la temperatura de la muestra de emulsión permanezca constante durante un minuto dentro del rango $25 \pm 0.1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 0.2^\circ \text{F}$). Se retira el termómetro. Se extrae rápidamente el exceso de emulsión de la galería, utilizando una pipeta de succión o una manguera de vacío. Se retira el tapón del fondo del viscosímetro y, en el mismo instante, se pone en funcionamiento el cronómetro, el cual se detiene en el momento en que el fondo del menisco alcance la marca de graduación del matraz receptor. Se anota el tiempo de flujo, en segundos, con aproximación a 1 s. De ser necesario, se multiplica el tiempo de flujo por el factor de corrección para el viscosímetro, como se indica en la Sección 8 de la norma INV E-714.

7.2 Ensayos a 50°C (122°F) – Se limpia y seca el viscosímetro y se inserta el tapón o corcho en su parte inferior. A continuación, se siguen los procedimientos A o B, que se describen a continuación:

7.2.1 Procedimiento A – Si la muestra de emulsión se encuentra a una temperatura inferior a 50°C (122°F), se calienta hasta $50 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($122 \pm 5^{\circ}\text{F}$) en un baño de agua u horno a $71 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($160 \pm 5^{\circ}\text{F}$). Se agita completamente la muestra sin incorporar burbujas y se vierten unos 100 ml en un vaso de precipitados de 400 ml. Se sumerge el fondo del vaso unos 500 mm (2") bajo el nivel de un baño de agua a $71 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($160 \pm 5^{\circ}\text{F}$). Se sostiene el vaso verticalmente y se agita la emulsión con un movimiento rotatorio del termómetro a razón de 60 rpm, para obtener una distribución uniforme de la temperatura. Se debe evitar la formación de burbujas durante la agitación. Se calienta la emulsión en el baño hasta alcanzar una temperatura de $51.4 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ($124.5 \pm 0.5^{\circ}\text{F}$). En seguida, se vierte la muestra a través del tamiz de $850\ \mu\text{m}$ (No. 20) o del cedazo de malla metálica directamente en el tubo del viscosímetro hasta que sobrepase el borde de rebose de la galería. Se agita la muestra con el termómetro a razón de 60 rpm, evitando la formación de burbujas. Se ajusta la temperatura del baño del viscosímetro hasta que la temperatura de la muestra de emulsión permanezca constante durante un minuto dentro del rango $50 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ($122 \pm 0.2^{\circ}\text{F}$). Se retira el termómetro. Se extrae rápidamente el exceso de emulsión de la galería, utilizando una pipeta de succión o una manguera de vacío. Se retira el tapón del fondo del viscosímetro y, en el mismo instante, se pone en funcionamiento el cronómetro, el cual se detiene en el momento en que el fondo del menisco alcance la marca de graduación del matraz receptor. Se anota el tiempo de flujo, en segundos, con aproximación a 1 s. De ser necesario, se multiplica el tiempo de flujo por el factor de corrección para el viscosímetro, como se indica en la Sección 8 de la norma INV E-714.

7.2.2 Procedimiento B – Se vierte la muestra de emulsión en un frasco o botella de unos 120 ml. El frasco tapado se sumerge en un baño de agua u horno mantenido a $51.4 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ($124.5 \pm 0.5^{\circ}\text{F}$), durante treinta (30) minutos. Se retira el frasco del baño y se mezcla la muestra invirtiendo el frasco varias veces de manera lenta, para evitar que se formen burbujas. Se vierte la muestra a través del tamiz de $850\ \mu\text{m}$ (No. 20) o del cedazo de malla metálica directamente en el tubo del viscosímetro hasta que sobrepase el borde de rebose de la galería. Se agita la muestra con el termómetro a razón de 60 rpm, evitando la formación de burbujas. Se ajusta la temperatura del baño del viscosímetro hasta que la temperatura de la muestra de emulsión permanezca constante durante un minuto dentro del rango $50 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ($122 \pm 0.2^{\circ}\text{F}$). Se retira el termómetro. Se extrae rápidamente el exceso de emulsión de la galería, utilizando una pipeta de succión o

una manguera de vacío. Se retira el tapón del fondo del viscosímetro y, en el mismo instante, se pone en funcionamiento el cronómetro, el cual se detiene en el momento en que el fondo del menisco alcance la marca de graduación del matraz receptor. Se anota el tiempo de flujo, en segundos, con aproximación a 1 s. De ser necesario, se multiplica el tiempo de flujo por el factor de corrección para el viscosímetro, como se indica en la Sección 8 de la norma INV E-714.

Nota 2: Mientras el viscosímetro Saybolt Furol no se emplea con productos y lubricantes derivados del petróleo cuando el tiempo de flujo es inferior a 25 s, el aparato resulta apropiado para el ensayo de emulsiones asfálticas cuyo tiempo de flujo no sea menor de 20 s.

8 PRECISIÓN Y SESGO

8.1 Los siguientes criterios se pueden emplear para juzgar la validez de los resultados, con el 95 % de probabilidad.

8.1.1 Dos ensayos hechos por el mismo operador se consideran correctos, si no difieren en más de las siguientes cantidades:

TEMPERATURA DE ENSAYO ° C (° F)	VISCOSIDAD s	REPETIBILIDAD % DE LA MEDIA
25 (77)	25 a 200	6.7
50 (122)	75 a 400	10.8

8.1.2 Los resultados reportados por dos laboratorios al ensayar muestras iguales de una emulsión asfáltica se consideran correctos, si no difieren en más de las siguientes cantidades:

TEMPERATURA DE ENSAYO ° C (° F)	VISCOSIDAD s	REPETIBILIDAD % DE LA MEDIA
25 (77)	25 a 200	22
50 (122)	75 a 400	88

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 7496 – 11

SEDIMENTACIÓN Y ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS DURANTE EL ALMACENAMIENTO

INV E – 764 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la capacidad de una emulsión asfáltica para permanecer como una dispersión uniforme durante el almacenamiento. Se aplica a emulsiones asfálticas compuestas principalmente por una base de asfalto semisólido o líquido, agua y un agente emulsificante.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-764-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Mediante este método de ensayo se determinan las diferencias en el porcentaje de residuo de muestras de emulsión tomadas de las partes superior e inferior de un cilindro en el que se simula el almacenamiento de la emulsión durante un lapso especificado. El resultado se expresa mediante la diferencia en los porcentajes de residuo de las muestras tomadas de las partes superior e inferior del cilindro.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este método de ensayo es útil para determinar, en un plazo relativamente breve, la estabilidad durante el almacenamiento o la sedimentación de una emulsión asfáltica. El ensayo mide la permanencia de la emulsión como dispersión, pero no pretende medir otros aspectos de la estabilidad del producto, relacionados con sus aplicaciones.

4 EQUIPO

- 4.1** *Probetas* – De 500 ml de capacidad, con base de vidrio comprimido o moldeado y tapón de corcho, caucho o vidrio, con diámetro exterior de 50 ± 5 mm.

Nota 1: Una alternativa, es un cilindro de vidrio con dos tubos cortos laterales de salida de pequeño diámetro, situados a los niveles adecuados para la toma de las muestras superior e inferior de la emulsión (Figura 764 - 1). El cierre de los tubos durante el ensayo se puede realizar simplemente mediante tubos de caucho y pinzas.

- 4.2 *Pipeta* – Una pipeta de vidrio, de 50 ml de capacidad, o un sifón de tamaño y forma adecuados.
- 4.3 *Vasos de precipitados* – Dos vasos de precipitados metálicos o de vidrio, de 1000 ml de capacidad.
- 4.4 *Horno* – Capaz de mantener una temperatura de $163 \pm 3^\circ \text{F}$.
- 4.5 *Balanza* – Una balanza con capacidad de 1000 g y posibilidad de lectura de 0.1 g.
- 4.6 *Varillas para agitar* – De vidrio o metal, con extremos redondeados.



Figura 764 - 1. Cilindros con tubos laterales de salida

5 ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

- 5.1 Todas las muestras de emulsión se deben agitar antes del ensayo, para obtener homogeneidad.
- 5.2 Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 50°C , se deberán calentar dentro de un horno o un baño de agua a $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), manteniéndolas en sus recipientes originales, los cuales deberán estar

ventilados para aliviar la presión. Luego de que las muestras alcancen $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), se deberán agitar para mantener la homogeneidad.

- 5.3** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 25°C , se deberán mezclar o agitar a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$) en sus recipientes originales hasta obtener homogeneidad.

Nota 2: Si es necesario, las emulsiones que se deban ensayar a 25°C se pueden calentar como se indica en el numeral 5.2. Si se usa este procedimiento, la muestra se deberá enfriar posteriormente a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$), antes de proceder a su ensayo.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Se lleva la muestra representativa de la emulsión a la temperatura del laboratorio, usualmente entre 22 y 28°C . Se vierten dentro de la probeta 500 ml de muestra (Figura 764 - 2), se tapa herméticamente y se deja en completo reposo por 24 horas si se va a determinar la estabilidad en el almacenamiento o por 5 días si se va a realizar el ensayo de sedimentación. Al final del tiempo especificado, se sacan, por medio de la pipeta o el sifón, aproximadamente 55 ml de la parte superior de la probeta, procurando no alterar el resto de la muestra (nota 3). Se agita completamente la porción extraída para homogeneizarla.

Nota 3: Si se emplea la probeta con salidas laterales, el sifonamiento no es necesario. En este caso, la toma de la muestra se realiza simplemente dejando fluir los 55 ml de emulsión a través del tubo de salida superior. Para obtener la muestra inferior, basta con vaciar el resto de la probeta hasta el nivel del segundo tubo (aproximadamente 390 ml).



Figura 764 - 2. Vertimiento de la emulsión dentro de la probeta

- 6.2** Se pesan 50 ± 0.1 g de la muestra superior en un vaso de precipitados de 1000 ml previamente tarado, incluyendo una varilla de vidrio.
- 6.3** Después de extraer la muestra de la parte superior, se extraen cuidadosamente, con sifón o pipeta los siguientes 390 ml de la probeta (nota 3). Se agita el resto de emulsión que queda en la parte inferior del cilindro. Se pesan 50 ± 0.1 g de esta porción remanente en un vaso de precipitados de 1000 ml previamente tarado, incluyendo una varilla de vidrio.
- 6.4** Se ajusta la temperatura del horno a $163 \pm 3^\circ$ C y se colocan los dos vasos de precipitados con las varillas y las muestras dentro de él, durante 2 horas. Al final de este período se retiran los vasos del horno y se agita completamente cada residuo con la varilla respectiva. Se llevan de nuevo los dos vasos al horno durante 1 hora. Finalmente, se dejan enfriar a temperatura ambiente y se pesan con las varillas (Ver norma de ensayo INV E-771).

Nota 4: Se debe tener cuidado para evitar la pérdida de asfalto del vaso de precipitados por formación de espuma y/o salpicaduras. Un procedimiento puede consistir en colocar los vasos de precipitados en un horno frío o tibio, llevando posteriormente la temperatura de manera gradual hasta 163° C. Si se prefiere, se puede realizar una evaporación preliminar del agua sobre una placa de calentamiento, llevando luego las muestras a 163° C durante 1 hora.

7 CÁLCULOS

- 7.1** Se calcula el porcentaje de residuo de la muestra superior (R_s), con la expresión:

$$R_s = 2 (A - A) \quad [764.1]$$

Donde: A': Masa del conjunto vaso + varilla + residuo de la muestra de la parte superior (Ver numeral 6.4), g;

A: Masa del conjunto vaso + varilla usados para colocar los 50 g de emulsión de la parte superior (Ver numeral 6.2), g;

- 7.2** Se calcula el porcentaje de residuo de la muestra inferior (R_i), con la expresión:

$$R_s = 2(B - B) \quad [764.2]$$

Donde: B': Masa del conjunto vaso + varilla + residuo de la muestra de la parte inferior (Ver numeral 6.4), g;

B: Masa del conjunto vaso + varilla usados para colocar los 50 g de emulsión de la parte inferior (Ver numeral 6.3), g.

7.3 Se calculan la estabilidad durante el asentamiento o la sedimentación de la emulsión, con las expresiones:

$$\text{Estabilidad durante el almacenamiento, \% (24 h)} = R_i - R_s \quad [764.3]$$

$$\text{Sedimentación, \% (5 días)} = R_i - R_s \quad [764.4]$$

Donde: R_s : Porcentaje de residuo de la muestra superior;

R_i : Porcentaje de residuo de la muestra inferior.

Nota 5: Si en un ensayo, tanto el porcentaje de residuo superior como el inferior son mayores que la concentración de la emulsión, el resultado se considera sospechoso, debiéndose repetir el ensayo. Lo mismo acontece si ambos son menores que la concentración de la emulsión.

7.4 Se reporta como resultado del ensayo el valor de estabilidad o de sedimentación, el que se haya determinado.

8 PRECISIÓN Y SESGO

8.1 *Precisión* – Se deberá emplear el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con probabilidad del 95 %:

8.1.1 *Repetibilidad* – Ensayos duplicados realizados por el mismo operador se considerarán aceptables, si no difieren en más de las siguientes cantidades:

Estabilidad en el almacenamiento: 0.5 % en masa.

SEDIMENTACIÓN 5 DÍAS % EN MASA	REPETIBILIDAD
0 a 1.0	0.4 % en masa
> 1.0	5 % del promedio

8.1.2 *Reproducibilidad* – Ensayos realizados sobre una muestra igual en dos laboratorios diferentes se considerarán aceptables, si no difieren en más de las siguientes cantidades:

Estabilidad en el almacenamiento: 0.6 % en masa

SEDIMENTACIÓN 5 DÍAS % EN MASA	REPRODUCIBILIDAD
0 a 1.0	0.8 % en masa
> 1.0	10 % del promedio

- 8.2** *Sesgo* – El sesgo de este método de ensayo no se puede determinar, por cuanto no se dispone de un material que presente un valor de referencia aceptable.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6930 – 10

NLT – 140/99

TAMIZADO DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

INV E – 765 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Mediante esta norma de ensayo se determina la proporción de partículas de asfalto o de otro tipo, retenidas en el tamiz de 850 μm (No. 20), que contiene una muestra de emulsión asfáltica.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-765-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Se pasa una muestra de la emulsión asfáltica a través de un tamiz de 850 μm de abertura (No. 20) y se determina la cantidad de material retenida en él, como porcentaje de la masa de la muestra.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** La retención de una excesiva cantidad de partículas de emulsión en el tamiz de ensayo, indica que se pueden presentar problemas para el manejo de la emulsión y durante aplicación de la misma, especialmente la obstrucción de las boquillas de los equipos de riego. A menudo, las partículas de asfalto retenidas en el tamiz de ensayo se deben a la aglomeración de la fase dispersa de la emulsión (rotura). A ello contribuyen deficiencias en el almacenamiento, en el bombeo, en el manejo y en la temperatura de la emulsión. Las contaminaciones provenientes de los tanques de almacenamiento, de los vehículos de transporte o de las mangueras, también inciden en la formación de partículas.

4 EQUIPO Y REACTIVOS

- 4.1** *Tamiz* – Un tamiz de abertura 850 μm (No. 20), montado sobre un bastidor de unos 76 mm (3") de diámetro (Figura 765 - 1).
- 4.2** *Fondo* – De tamaño apropiado para acoplarse a la parte inferior del tamiz (Figura 765 - 1).

Figura 765 - 1. Tamiz de 850 μm y fondo

- 4.3** *Termómetros* – Un termómetro del tipo ASTM 17C o 17F para ensayos a 25° C (77° F) y otro del tipo ASTM 19C o 19F para ensayos a 50° C (122° F), con las siguientes características básicas:

REFERENCIA	ASTM 17C	ASTM 17F	ASTM 19C	ASTM 19F
RANGO	19° C a 27° C	66° F a 80° F	49° C a 57° C	120° F a 134° F
GRADUACIONES	0.1° C	0.2° F	0.1° C	0.2° F
LONGITUD TOTAL	275 mm	10 7/8"	275 mm	10 7/8"
INMERSIÓN	Total	Total	Total	Total

- 4.3.1** Se admite el empleo de otro tipo de termómetro de igual exactitud.

- 4.4** *Balanza* – Una con capacidad de 2000 g y exactitud de 1 g, y otra con capacidad de 500 g y exactitud de 0.1 g.
- 4.5** *Horno* – Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 4.6** *Desecador*.
- 4.7** *Agua destilada o desionizada*.
- 4.8** *Solución tensoactiva no iónica (1 %)* – 1 g de un tensoactivo no iónico (se recomienda etoxilato de nonilfenol) diluido en agua hasta completar 100 ml.

5 ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

- 5.1** Todas las muestras de emulsión se deben agitar antes del ensayo, para obtener homogeneidad.

- 5.2** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 50° C, se deberán calentar dentro de un horno o un baño de agua a $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), manteniéndolas en sus recipientes originales, los cuales deberán ser ventilados para aliviar la presión. Luego de que las muestras alcancen $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), se deberán agitar para mantener la homogeneidad.
- 5.3** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 25° C, se deberán mezclar o agitar a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$) en sus recipientes originales hasta obtener homogeneidad.

Nota 1: Si es necesario, las emulsiones que se deban ensayar a 25° C se pueden calentar como se indica en el numeral 5.2. Si se usa este procedimiento, la muestra se deberá enfriar posteriormente a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$), antes de proceder a su ensayo.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** La temperatura a la cual se debe realizar el ensayo de tamizado está relacionada con la viscosidad de la emulsión. Para emulsiones cuya viscosidad Saybolt Furol a 25° C sea 100 segundos o menos, el ensayo se debe realizar a temperatura ambiente. Para emulsiones cuya viscosidad Saybolt Furol a 25° C sea superior a 100 segundos, así como para aquellas a las cuales se especifique la viscosidad a 50° C, el ensayo se deberá realizar a una temperatura de $50 \pm 3^\circ \text{C}$.
- 6.2** Se determina la masa del tamiz más el fondo, con aproximación a 0.1 g. El valor obtenido se registra como A. Se humedece la malla del tamiz con la solución tensoactiva (Figura 765 - 2).



Figura 765 - 2. Humedecimiento de la malla del tamiz

- 6.3** Se determina la masa del recipiente que contiene la emulsión, con aproximación a 0.1 g y se registra el valor medido como C. Se vierten entre 800

y 1.000 g de la emulsión a través del tamiz de ensayo (Figura 765 - 3) (si el recipiente contiene entre 800 y 1000 g de muestra, se vierte ésta en su totalidad). Se determina la masa del recipiente luego de verter la cantidad mencionada de emulsión y se registra esta masa como D (aproximada a 0.1 g). Se lava con agua destilada o desionizada el residuo retenido en el tamiz, hasta que el líquido de lavado sea claro.



Figura 765 - 3. Se pasa la emulsión a través del tamiz

- 6.4** Se coloca el fondo debajo del tamiz y se calienta el conjunto durante 2 horas en un horno regulado a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Se deja enfriar el conjunto en un desecador y se determina la masa del tamiz con el fondo y el residuo, con aproximación a 0.1 g. Se anota esta masa como B.

7 CÁLCULOS

- 7.1** Se calcula el porcentaje de muestra retenido en el tamiz de ensayo, de la siguiente manera:

$$\% \text{ retenido} = \frac{(B - A)}{(C - D)} \times 100 \quad [765.1]$$

- Donde: A: Masa del tamiz y el fondo, g;
B: Masa del tamiz, el fondo y el residuo, g;
C: Masa del recipiente lleno de emulsión, g;
D: Masa del recipiente luego de verter la emulsión sobre el tamiz, g.

- 7.2** *Expresión de los resultados* – Los resultados se expresarán en porcentaje en masa de material retenido en el tamiz, respecto a la de la muestra total, redondeado a 0.1 %. Si el material retenido es menor de 0.1 %, se informará el resultado como "menor de 0.1 %".

8 PRECISIÓN Y SESGO

- 8.1** *Precisión* – Se deberá emplear el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con probabilidad del 95 %:

- 8.1.1** *Repetibilidad* – Ensayos duplicados realizados por el mismo operador se considerarán aceptables, si no difieren en más de las siguientes cantidades:

ENSAYO DE TAMIZADO % EN MASA	REPETIBILIDAD % EN MASA
0 a 0.1	0.03

- 8.1.2** *Reproducibilidad* – Ensayos realizados sobre una muestra igual en dos laboratorios diferentes se considerarán aceptables, si no difieren en más de las siguientes cantidades:

ENSAYO DE TAMIZADO % EN MASA	REPRODUCIBILIDAD % EN MASA
0 a 0.1	0.08

- 8.2** *Sesgo* – El sesgo de este método de ensayo no se puede determinar, por cuanto no se dispone de un material que presente un valor de referencia aceptable.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6933 – 08

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DEMULSIBILIDAD DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

INV E – 766 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para medir la estabilidad de las emulsiones asfálticas aniónicas y catiónicas, mediante un ensayo de demulsibilidad.
- 1.2 La norma aplica a las emulsiones de rotura rápida y media, valorando la cantidad de material asfáltico que se separa de ellas en las condiciones de ensayo, lo que representa una medida comparativa de su estabilidad.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-766-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 Este ensayo se usa para clasificar o identificar las emulsiones como de rotura rápida o media, midiendo la cantidad de material bituminoso que se separa de la emulsión al emplear cantidades y concentraciones especificadas de una solución de cloruro de calcio para las emulsiones aniónicas y dioctilsulfosuccinato sódico para las catiónicas.

3 EQUIPO Y REACTIVOS

- 3.1 *Tamices* – Tres mallas de tamiz de abertura 1.40 mm (No. 14), sin marco.
- 3.2 *Vasos de precipitados* – Tres vasos metálicos con una capacidad mínima de 300 ml cada uno.
- 3.3 *Varillas* – Tres varillas de metal, con las puntas redondeadas y un diámetro aproximado de 10 mm.
- 3.4 *Bureta* – Una bureta de vidrio de 50 ml de capacidad, graduada en intervalos 0.1 ml.
- 3.5 *Horno* – Un horno provisto de control termostático, capaz de mantener una temperatura de $163 \pm 3^\circ \text{C}$ ($325 \pm 5^\circ \text{F}$).

- 3.6** *Balanza* – Con capacidad de 500 g y exactitud de 0.1 g.
- 3.7** *Solución de cloruro cálcico (0.02 ± 0.001N)* – Formada disolviendo 1.11 g de CaCl₂ en agua destilada o desionizada hasta completar 1 litro. Aunque la solución es estable, se recomienda conservarla en un recipiente hermético cuando no esté en uso.
- 3.8** *Solución de cloruro de calcio (0.1 ± 0.001N)* – Formada disolviendo 5.55 g de CaCl₂ en agua destilada o desionizada hasta completar 1 litro. Aunque la solución es estable, se recomienda conservarla en un recipiente hermético cuando no esté en uso.
- 3.9** *Solución de dioctilsulfosuccinato sódico al 0.8%* – Formada disolviendo 8 g de esta sustancia en 992 g de agua destilada o desionizada. Esta solución es degradable y se debe almacenar dentro de un recipiente oscuro y hermético de plástico o de vidrio, y protegida de la luz cuando no esté en uso.

4 ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

- 4.1** Todas las muestras de emulsión se deben agitar antes del ensayo, para obtener homogeneidad.
- 4.2** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 50° C, se deberán calentar dentro de un horno o un baño de agua a 50 ± 3° C (122 ± 5° F), manteniéndolas en sus recipientes originales, los cuales deberán ser ventilados para aliviar la presión. Luego de que las muestras alcancen 50 ± 3° C (122 ± 5° F), se deberán agitar para mantener la homogeneidad.
- 4.3** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 25° C, se deberán mezclar o agitar a 25 ± 3° C (77 ± 5° F) en sus recipientes originales hasta obtener homogeneidad.

Nota 1: Si es necesario, las emulsiones que se deban ensayar a 25° C se pueden calentar como se indica en el numeral 4.2. Si se usa este procedimiento, la muestra se deberá enfriar posteriormente a 25 ± 3° C (77 ± 5° F), antes de proceder a su ensayo.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Previamente a la ejecución del ensayo, se debe determinar el porcentaje de residuo de la emulsión, por medio de los ensayos de destilación o de residuo

por evaporación descritos en las normas INV E-762 o INV E-771, respectivamente.

- 5.2** Se tara cada uno de los conjuntos de vaso de precipitados, varilla y tamiz.
- 5.3** Se pesan 100 ± 0.1 g de la emulsión dentro de cada uno de los tres vasos previamente tarados. La temperatura de la emulsión y del reactivo apropiado, se debe ajustar a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).

Nota 2: La emulsión se debe mantener cubierta durante el período de acondicionamiento, para evitar la evaporación del agua que contiene, afectando el residuo de la muestra y, por lo tanto, los resultados del ensayo.

- 5.4** Empleando la bureta, se añade el reactivo al vaso de precipitados durante un período aproximado de 2 minutos, en las siguientes cantidades:
- 5.4.1** 35 ml de solución de cloruro de calcio 0.02 N (1.11 g/l), si la emulsión es aniónica de rotura rápida.
- 5.4.2** 50 ml de cloruro de calcio 0.1 N (5.55 g/l), si la emulsión es aniónica o catiónica de rotura media.
- 5.4.3** 35 ml de dioctilsulfosuccinato sódico al 0.8 %, para emulsiones catiónicas de rotura rápida.
- 5.5** Mientras se está añadiendo la solución, se agita constante y vigorosamente el contenido del vaso, deshaciendo los grumos contra las paredes y procurando que el reactivo y la emulsión se mezclen completamente.
- 5.6** Después de añadida la solución, se continúa agitando y deshaciendo los grumos durante un período adicional de 2 minutos.
- 5.7** Se coloca cada uno de los tamices sobre un recipiente apropiado y se pasa la mezcla de reactivo y emulsión sin romper a través de cada tamiz. Se añade agua destilada a los vasos que contienen las muestras y se vuelve a remover el contenido de cada uno con su varilla, deshaciendo los grumos de nuevo y filtrando a través de cada tamiz los líquidos de lavado, repitiendo la operación hasta que el agua de lavado pase incolora.
- 5.8** Después de la operación de lavado, se colocan dentro de los vasos con sus varillas, los tamices con el residuo atrapado en ellos, llevando cada conjunto al horno a $163 \pm 3^\circ \text{C}$ ($325 \pm 5^\circ \text{F}$) durante 1 hora. Se sacan los conjuntos del horno, se permite su enfriamiento a temperatura ambiente y se pesan. Las

operaciones de calentamiento y pesado se repiten hasta que la variación de masa en pesadas sucesivas no excede de 0.1 g.

6 CÁLCULOS

- 6.1** La diferencia entre la masa final de cada conjunto de vaso, varilla, tamiz y residuo (numeral 5.8), y el de su tara correspondiente (numeral 5.2), es la masa del residuo de demulsibilidad. Se calcula el promedio de los tres ensayos realizados.
- 6.2** El resultado del ensayo se denomina demulsibilidad y se expresa como porcentaje sobre el residuo total de la emulsión, como sigue:

$$\text{Demulsibilidad, \%} = \frac{A}{B} \times 100 \quad [736.1]$$

Donde: A: Masa promedio del residuo de demulsibilidad, g;

B: Masa de residuo en 100 g de la emulsión asfáltica ensayada, g.

7 PRECISIÓN Y SESGO

7.1 *Precisión* – Se deberá emplear el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados para emulsiones de rotura rápida, con probabilidad del 95 %:

7.1.1 *Repetibilidad* – Ensayos duplicados realizados por el mismo operador se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

DEMULSIBILIDAD % EN MASA	REPETIBILIDAD % DE LA MEDIA
30 a 100	5

7.1.2 *Reproducibilidad* – Ensayos realizados sobre una muestra igual en dos laboratorios diferentes se considerarán aceptables, si no difieren en más de las siguientes cantidades:

DEMULSIBILIDAD % EN MASA	REPRODUCIBILIDAD % DE LA MEDIA
30 a 100	30

Nota 3: Esta información sobre precisión no aplica cuando se use la solución de dioctilsulfosuccinato sódico para ensayar emulsiones catiónicas de rotura rápida.

- 7.2 Sesgo** – El sesgo de este método de ensayo no se puede determinar, por cuanto no se dispone de un material que presente un valor de referencia aceptable.

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6936 – 09

NLT 141/99

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

IDENTIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE LAS PARTÍCULAS

INV E – 767 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se emplea para identificar las emulsiones asfálticas cationicas. Las partículas cargadas positivamente son clasificadas como cationicas. Las emulsiones asfálticas que no registren una carga positiva en el ensayo se pueden clasificar también como cationicas de rotura lenta, si cubren adecuadamente un tipo específico de arena silícea de carga negativa.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-767-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Las emulsiones asfálticas cationicas se identifican por la migración de sus partículas bituminosas al electrodo cargado negativamente (cátodo) por medio de una corriente directa. Los agregados gruesos y finos utilizados con las emulsiones asfálticas, tienen carga positiva o negativa. En consecuencia, la emulsión se debe elegir de manera que sea compatible con el agregado.

3 ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

- 3.1** Todas las muestras de emulsión se deben agitar antes del ensayo, para obtener homogeneidad.
- 3.2** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 50° C, se deberán calentar dentro de un horno o un baño de agua a $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), manteniéndolas en sus recipientes originales, los cuales deberán ser ventilados para aliviar la presión. Luego de que las muestras alcancen $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), se deberán agitar para mantener la homogeneidad.
- 3.3** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 25° C, se deberán mezclar o agitar a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$) en sus recipientes originales hasta obtener homogeneidad.

Nota 1: Si es necesario, las emulsiones que se deban ensayar a 25° C se pueden calentar como se indica en el numeral 3.2. Si se usa este procedimiento, la muestra se deberá enfriar posteriormente a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$), antes de proceder a su ensayo.

MÉTODO A

4 EQUIPO

- 4.1 Fuente de corriente continua** – Dispositivo de alimentación eléctrica de corriente continua de 12 V, provisto de un miliamperímetro y de una resistencia variable (Figuras 767 - 1 y 767 - 2).
- 4.2 Electrodo**s – Dos placas de acero inoxidable, de 25.4 mm (1") de ancho y 101.6 mm (4") de largo, aisladas entre sí, y sostenidas de manera rígida en posición paralela, a una distancia de 12.7 mm, como se muestra en la Figura 767 - 1.
- 4.3 Aislante** – Varilla cuadrada de resina de politetrafluoroetileno, de grado eléctrico virgen, de 12.7 mm (½") de espesor.
- 4.4 Vaso de precipitados** – De 250 ml de capacidad.
- 4.5 Varilla de vidrio** – Con una longitud aproximada de 100 mm y 6 mm de espesor, u otro dispositivo apropiado, capaz de aislar y mantener suspendidos los electrodos dentro de la emulsión.
- 4.6 Baño de agua** – Capaz de mantener la temperatura requerida de ensayo dentro de los límites especificados en esta práctica.
- 4.7 Termómetro** – Un termómetro de referencia 19C o 19F, con las siguientes características:

REFERENCIA	ASTM 19C	ASTM 19F
RANGO	49° C a 57° C	120° F a 134° F
GRADUACIONES	0.1° C	0.2° F
LONGITUD TOTAL	275 mm	10 7/8"
INMERSIÓN	Total	Total



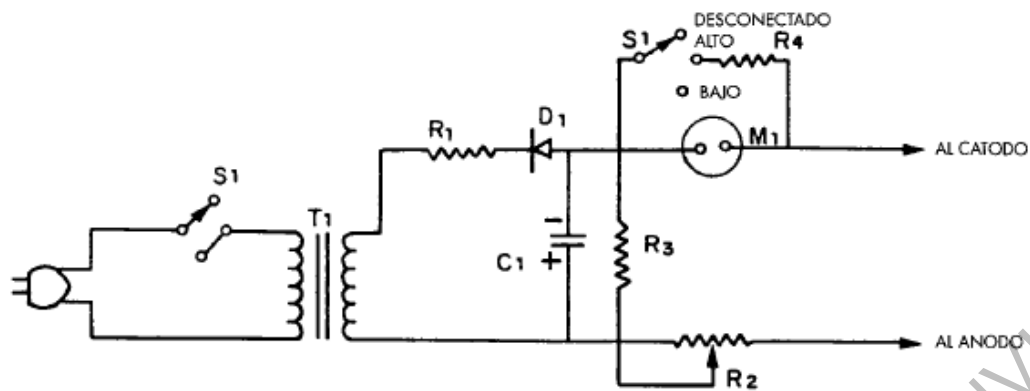
Figura 767 - 1. Equipo para determinar la carga de partículas

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Se prepara la emulsión para el ensayo, conforme se describe en la Sección 3.
- 5.2 Se vierte la muestra de emulsión en un vaso de precipitados de 250 ml en una cantidad tal, que permita sumergir los electrodos dentro de ella una profundidad de 25.4 mm. Para facilitar la suspensión de los electrodos, se inserta la varilla de vidrio o equivalente entre los dos electrodos bajo el aislante. Se apoyan los extremos de la varilla en dos lados opuestos del vaso de precipitados (Ver Figura 767 - 1). Si se desea, se puede utilizar un dispositivo de ajuste manual para aislar y suspender el ensamble de los electrodos en la emulsión.
- 5.3 Se conectan los electrodos, previamente limpiados (nota 2), a la fuente de corriente directa. El cátodo (electrodo negativo) se debe conectar a la terminal negativa de la fuente de corriente. Si los electrodos están conectados internamente a la fuente de corriente, el negativo se debe identificar con el color negro.

Nota 2: Los electrodos nuevos o los que se vayan a reutilizar, se deben limpiar siguiendo la siguiente secuencia: 1) Lavar con agua destilada, 2) Lavar con un solvente asfáltico apropiado 3) Lavar con isopropil o alcohol etílico, y 4) Lavar con agua destilada.

- 5.4 Se ajusta la intensidad de la corriente mediante la resistencia variable, hasta unos 8 mA, poniendo en marcha un cronómetro al mismo tiempo. Los 8 mA constituyen un valor mínimo, pudiendo establecerse niveles de mayor intensidad. Se debe anotar la intensidad de la corriente empleada.



C₁ -CONDENSADOR DE 500 μF, 25-V
 D₁ -DIODO DE SILICIO
 R₁ -RESISTENCIA DE 47 Ω, 1 W
 R₂ -POTENCIOMETRO DE 5.000 Ω
 R₃ -RESISTENCIA DE 6.800 Ω, 1/4 W
 R₄ -SHUNT DE MEDIDA (DETERMINADO POR EL TIPO DE MEDIDOR EMPLEADO)

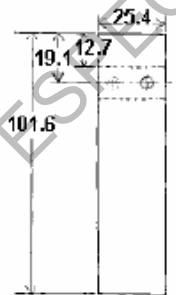
S₁ -CONMUTADOR GIRATORIO DE 2 POLOS, 3 POSICIONES
 T₁ -TRANSFORMADOR DE FILAMENTO DE 12,6 V
 M₁ -MILIAMPERIMETRO DE 0 A 10 mA

Figura 767 - 2. Esquema del circuito para el medidor de carga de las partículas

VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

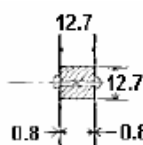


Figura 767 - 3. Aislante

- 5.5 Cuando la intensidad de la corriente baje a 2 mA o hayan transcurrido 30 minutos, lo primero que suceda, se desconecta la corriente, se desmontan los electrodos y se lavan suavemente con un chorro fino de agua destilada.
- 5.6 Finalmente, se observa el depósito que queda en los electrodos. Una emulsión catiónica producirá un depósito apreciable de ligante en el cátodo (electrodo negativo), mientras que el ánodo (electrodo positivo) permanecerá relativamente limpio (Figura 767 - 4).

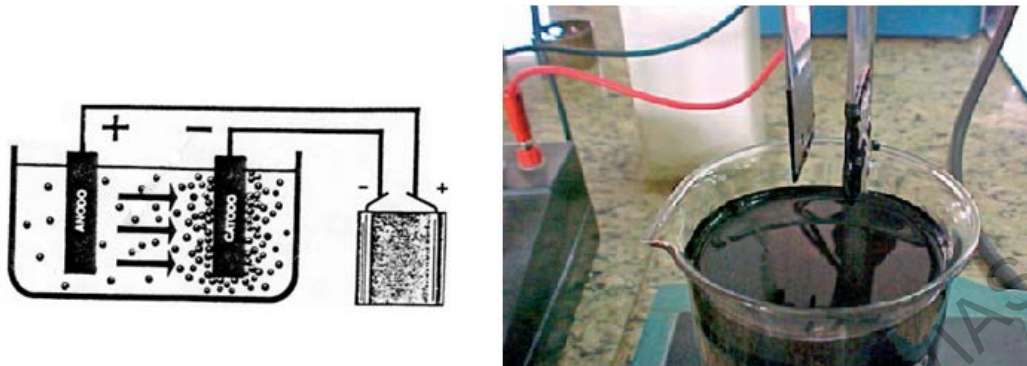


Figura 767 - 4. Ligante depositado en el cátodo

6 INFORME

6.1 Se deberá presentar la siguiente información:

6.1.1 Nivel de corriente utilizado.

6.1.2 Si el resultado del ensayo indica concluyentemente que la emulsión es catiónica.

6.2 Si no se obtiene un resultado concluyente mediante el Método A de ensayo, y se considera que la emulsión es catiónica de rotura lenta, entonces se deberá proceder de acuerdo con el Método B.

MÉTODO B

7 RESUMEN DEL MÉTODO

7.1 Se mezcla con la emulsión asfáltica una cantidad lavada, secada y pesada de arena silícea normalizada. La operación de mezclado se deberá prolongar el tiempo necesario para que la arena quede totalmente cubierta. La cantidad de emulsión debe ser tal, que dé lugar a un residuo aproximado de 5.0 % de asfalto en relación con la masa de la mezcla. La mezcla se extiende y se deja curar al aire por 24 h. Luego, se determina la cantidad de ligante retenido tras hervir la mezcla en agua.

8 IMPORTANCIA Y USO

- 8.1** Las condiciones del ensayo están diseñadas para identificar la aptitud de una emulsión catiónica de rotura lenta para ser mezclada apropiadamente, cubrir y adherir a una arena silícea especificada.
- 8.2** Este ensayo intenta confirmar las propiedades adhesivas que existen entre una emulsión catiónica y la arena silícea, y la aptitud de la mezcla para permanecer cubierta tras ser sumergida en agua hirviendo.

Nota 3: La obtención de un resultado aceptable empleando el Método B, no garantiza al usuario que la emulsión es compatible con otras emulsiones catiónicas. El usuario deberá verificar la compatibilidad entre emulsiones de otra manera, antes de mezclarlas o revolverlas en un tanque de almacenamiento.

9 EQUIPOS Y MATERIALES

- 9.1** *Fuente de calor* – Una placa de calefacción o un mechero Bunsen. Si se usa el mechero, se requiere un material de separación entre la llama y el vaso de precipitados.
- 9.2** *Malla* – Una malla con aberturas de 850 μm , configurada en forma de círculo con sus lados doblados hacia abajo. Alternativamente, una tira de malla de 25 \times 355 mm y otra en forma de círculo, con diámetro prácticamente igual al diámetro interno del vaso de precipitados. La tira de malla se moldea en forma de circunferencia y se inserta en el fondo del vaso de precipitados, asentando sobre ella la malla circular.
- 9.3** *Vaso de precipitados* – De 1000 ml.
- 9.4** *Servilleta de papel.*
- 9.5** *Arena de Ottawa* – De las características descritas en la especificación ASTM C 778. Deberá lavarse antes del ensayo, para remover cualquier impureza.
- 9.6** *Espátula* – Metálica, con una cuchilla de unos 200 mm (8") de longitud.
- 9.7** *Recipiente para mezclar* – Vaso de precipitados de vidrio o metal, o tazón, de 400 ml de capacidad.
- 9.8** *Pinzas para el vaso de precipitados.*

10 PROCEDIMIENTO

- 10.1** Se añaden 150 g de la arena seca dentro del recipiente para mezclar.
- 10.2** Se añaden 12 g de la emulsión asfáltica y se realiza una mezcla vigorosa durante un período de 20 a 60 segundos, o hasta que la arena esté totalmente cubierta (puede ser necesaria la adición de agua para facilitar la mezcla. Generalmente, 1.0 % es suficiente).
- 10.3** Se extiende la mezcla sobre una servilleta de papel. Se permite su curado al aire durante 24 horas. Se retira la muestra de la servilleta, se divide en porciones y se observa si curó completamente. Si se considera que el curado no es completo, se extiende el período para ello durante el tiempo que sea necesario.
- 10.4** Se ponen a hervir unos 500 ml de agua en el vaso de precipitados que contiene la malla. Una vez que el agua esté hirviendo, se coloca la mezcla sobre la malla.
- 10.5** Una vez colocada la mezcla sobre la malla, se deja hervir por 10 minutos y, luego, se decanta el agua.
- 10.6** Se extiende la muestra sobre una superficie a nivel y se observa el grado de cubrimiento.

11 INFORME

- 11.1** A partir del examen visual, se anota el porcentaje de área de la muestra de arena que permanece cubierto luego de la inmersión en agua hervida. Si el porcentaje es mayor de 50 %, se considera que la emulsión clasifica como catiónica de rotura lenta y se hace la anotación correspondiente en el informe.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 7402 – 09

NLT 194/99

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

pH DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

INV E – 768 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento a seguir para determinar el valor del pH de la fase acuosa de las emulsiones asfálticas directas.
- 1.2 En el ensayo se mide el pH de la fase acuosa de las emulsiones fabricadas con cementos asfálticos, modificados o sin modificar, utilizadas en la construcción de carreteras.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-768-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 El método se basa en la medida de la diferencia de potencial, expresada directamente en unidades de pH, entre un electrodo de referencia y un electrodo de medida sumergidos en la emulsión. Los medidores modernos de pH tienen aparentemente un solo electrodo pero, de hecho, este agrupa las dos funciones.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 La prueba sirve para identificar el tipo de emulsión como aniónica o catiónica, teniendo en cuenta que la primera es básica y la segunda es ácida. Así mismo, el resultado del ensayo brinda indicaciones en relación con el probable comportamiento de las emulsiones frente a los agregados pétreos.

4 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1 *Medidor de pH (potenciómetro)* – Se utilizará preferentemente un medidor con doble escala (una para el campo ácido de la medida y otra para el alcalino), con precisión de lectura de 0.1 unidades de pH. Dispondrá de un sistema manual o automático para ajustar la temperatura del sistema.

- 4.2** *Electrodo de referencia* – De calomelanos, solución saturada de cloruro potásico.
- 4.3** *Electrodo de medida* – De vidrio especial, con respuesta lineal desde pH = 0 hasta pH = 12.
- 4.4** *Soluciones estándar:*
- 4.4.1** *Tartrato ácido potásico* – Saturada, con pH = 3.57 ± 0.02 , entre 20° y 30° C.
- 4.4.2** *Bórax ($Na_2 O_7 B_4 \cdot 10H_2O$), 0.01M (3.80 g en litro de disolución)* – Con los siguientes valores de pH:
- 4.4.2.1** pH = 9.22 ± 0.01 a 20° C
- 4.4.2.2** pH = 9.18 ± 0.01 a 25° C
- 4.4.2.3** pH = 9.14 ± 0.01 a 30° C
- Nota 1: Estas soluciones se deben conservar en frascos de polietileno. Se preparan a partir de las sustancias muy puras comercializadas para este fin y se desecharán a los seis meses de preparadas o antes si se observa algún cambio en la solución.*
- 4.5** *Solución acuosa saturada de cloruro potásico* – Para el llenado del electrodo de referencia. Esta solución se conserva en frasco de polietileno.
- 4.6** *Solución acuosa al 1% de clorhidrato de alquilpropilen-diamina* – Comercial, con pH comprendido entre 3 y 5 unidades.
- 4.7** *Vasos* – De polietileno, con capacidad de 100 y 250 ml.
- 4.8** *Agua destilada.*
- 4.9** *Acetona.*
- 4.10** *Tricloroetileno.*

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** La muestra para ensayo se conserva en un recipiente de vidrio limpio, con tapa roscada y unos 250 ml de capacidad. Para cada determinación del pH se utilizan unos 200 g de muestra.

- 5.2** Se agita la muestra de laboratorio y se toma la cantidad para ensayo. Las mediciones se realizan a temperaturas comprendidas entre 20 y 30° C.
- 5.3** Si la emulsión es catiónica, los electrodos se humedecen previamente con la solución de clorhidrato de alquilpropilen-diamina.
- 5.4** *Calibración inicial* – Se lavan los electrodos con agua destilada y se calibran a continuación, sumergiéndolos en la solución estándar de tartrato ácido potásico si la emulsión es catiónica, o en la de bórax, si es aniónica. Se utiliza un vaso de 100 ml de capacidad. Se anota el valor de pH obtenido como pH1.
- 5.5** *Medida del pH de la muestra* – Se lavan de nuevo los electrodos con agua destilada y, a continuación, se sumergen en un vaso de 100 ml que contiene 50 ml de la emulsión (Figura 768 - 1). Se agita ligeramente el vaso con la muestra y tras unos segundos, para establecer el equilibrio, se efectúa la lectura del pH, anotándolo como pH2.
- 5.6** *Calibración final* – Se lavan una vez más los electrodos con agua destilada y se realiza una segunda calibración de los mismos, de la misma manera indicada en el numeral 5.4, sumergiéndolos en la solución estándar anteriormente utilizada. Se anota el valor del pH obtenido como pH3.

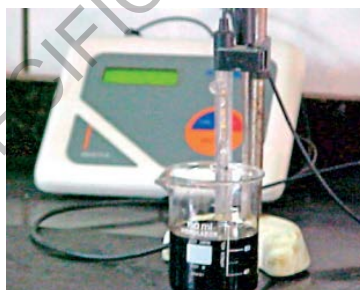


Figura 768 - 1. Medida del pH de la emulsión

Nota 2: En ningún caso se sumergirán los electrodos hasta un nivel superior al que tiene la solución saturada de cloruro potásico en el electrodo de calomelanos, con el fin de evitar la posible penetración de líquidos extraños por el orificio capilar, que debe estar siempre abierto durante las mediciones.

- 5.7** Finalmente, se procede a la limpieza de los electrodos, enjuagándolos primero con acetona, limpiándolos seguidamente con tricloroetileno hasta la eliminación total del ligante de la emulsión que eventualmente haya quedado adherido. Después de otro lavado con acetona se termina la limpieza enjuagándolos con agua destilada (nota 3).

Nota 3: En medidas de control rápido o rutinario, se puede utilizar para la determinación aproximada del pH, papel indicador universal o de escala cromática. Para ello, se pone un extremo de la tira del papel

indicador en contacto con la superficie de la emulsión, y se mantiene de esta manera unos pocos segundos, hasta que, por capilaridad, la fase acuosa de la emulsión empape la zona inferior del papel unos milímetros, momento en el que se procede a determinar el pH, de acuerdo con la escala cromática del indicador utilizado.

6 RESULTADOS

- 6.1 El resultado del ensayo es el valor obtenido como pH2 y se expresa redondeado a la primera cifra decimal.
- 6.2 El resultado se considera aceptable, si la diferencia entre los valores de pH1 y pH3, determinados en las calibraciones inicial y final, no excede de 0.2 unidades.
- 6.3 Junto con el resultado del ensayo es preciso indicar la temperatura a la cual se realizó.

7 PRECISIÓN Y SESGO

- 7.1 *Repetibilidad:* ± 0.3 unidades de pH.
- 7.2 *Reproducibilidad:* No se ha determinado.
- 7.3 *Sesgo* – El sesgo de este método de ensayo no se puede determinar, por cuanto no se dispone de un material que presente un valor de referencia aceptable.

8 NORMAS DE REFERENCIA

NLT 195 /92

CUBRIMIENTO Y RESISTENCIA DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS AL DESPLAZAMIENTO POR EL AGUA

INV E – 769 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Mediante esta norma se intenta ayudar a identificar las emulsiones asfálticas apropiadas para mezclar con agregados gruesos calcáreos, aunque también se puede aplicar a otros agregados (nota 1).

Nota 1: Se pueden emplear agregados diferentes a los calizos, omitiendo el empleo de carbonato de calcio a lo largo del ensayo. También, se deberán omitir el lavado y el secado previo de dichos agregados.

- 1.2** El ensayo es aplicable a las emulsiones de rotura media; y en el mismo se valoran visualmente, tanto en seco como en húmedo, el poder de cubrimiento de la emulsión y la posterior resistencia al desplazamiento por el agua en forma de lluvia.

- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-769-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Este método pretende determinar la habilidad de una emulsión asfáltica para: 1) cubrir de forma homogénea y completa un agregado; 2) resistir y mantenerse como una película adherida al agregado durante los procesos de mezclado, y 3) resistir la acción o efecto de lavado con agua luego de completar el mezclado con el agregado.

3 EQUIPO

- 3.1** *Recipiente para mezcla* – Taza metálica, con o sin mango, de unos 3 litros de capacidad.
- 3.2** *Espátulas o paletas de mezcla* – Con mango y hoja de acero de unos 31.8 mm (1 ¼") de ancho por 88.9 mm (3 ½") de largo, con los bordes redondeados. Como alternativa, se puede emplear una cuchara de cocina de 254.0 mm.
- 3.3** *Tamices* – Un tamiz de abertura 19.0 mm (¾") y otro de 4.75 mm (No. 4).

- 3.4** *Aparato regador de carga constante* – Este aparato consta de un tanque o depósito para el agua, Figura 769 - 1, con alimentación y vertedero adecuados para mantener en el mismo una carga o altura constante del agua de 774.7 mm (30 ½"). En su parte inferior va montado el dispositivo regador, terminado en un rociador agujereado según se detalla en la Figura 769 - 2, para la salida del agua en forma de lluvia. El tanque va colocado sobre un bastidor provisto de patas, de una altura aproximada de 1 m.
- 3.5** *Termómetro* – Un termómetro ASTM 15C o 15F, para bajo punto de ablandamiento, con las siguientes características:

REFERENCIA	ASTM 15C	ASTM 15F
RANGO	-2° C a 80° C	30° F a 180° F
GRADUACIONES	0.2°C	0.5° F
LONGITUD TOTAL	397 mm	15 5/8"
EXACTITUD	± 0.2°C	± 0.4°F
INMERSIÓN	Total	Total

- 3.6** *Pipeta* – De 10 ml de capacidad.
- 3.7** *Balanza* – Capaz de pesar 1000 g con una sensibilidad de ± 0.1 g.

4 MATERIALES

- 4.1** *Agregado de referencia* – Como agregado de referencia para el ensayo se utilizará un agregado calizo, lavado y secado al aire, cuyas partículas estarán comprendidas entre los tamices de 19.0 y 4.75 mm, (¾" y No. 4) (nota 1).
- 4.2** *Carbonato de calcio* – Se empleará carbonato de calcio químicamente puro, (CaCO₃), como polvo o llenante mineral, con el agregado calizo de referencia.
- 4.3** *Agua* – Se podrá usar agua del grifo para rociar sobre la muestra, si presenta una dureza inferior a 250 ppm de CaCO₃.

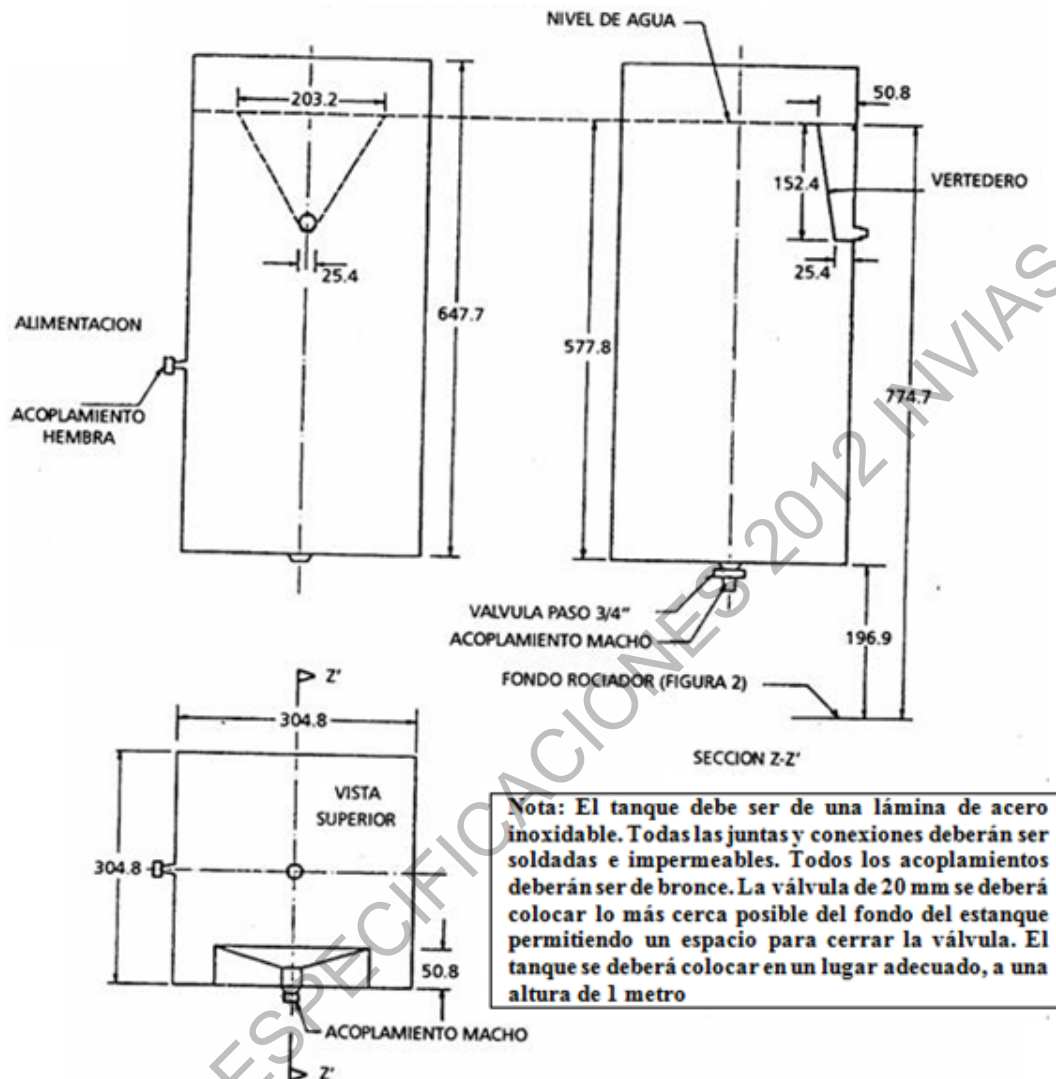


Figura 769 - 1. Tanque regador de carga constante

5 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO CON AGREGADOS SECOS

- 5.1 El ensayo se llevará a cabo a una temperatura de $23.9 \pm 5.5^\circ \text{C}$.
- 5.2 Se pesan 461 g del agregado de referencia secado al aire, en el recipiente para mezcla.
- 5.3 Se añaden como llenante mineral 4.0 g de carbonato cálcico en polvo (nota 2), mezclándolos aproximadamente durante 1 minuto con la espátula o la paleta de mezcla, hasta conseguir que el llenante forme una capa uniforme sobre las partículas del agregado.

Nota 2: Cuando se empleen agregados distintos al de referencia, como no se debe adicionar carbonato cálcico, se pesarán inicialmente 465 g de agregado.

- 5.4 A continuación se añaden, sobre el agregado en el recipiente, 35 g de la emulsión, mezclando seguidamente con la espátula o la paleta durante 5 minutos, mediante un movimiento de vaivén en trayectoria elíptica. Al terminar el mezclado, se inclina con cuidado el recipiente y se vierte el exceso de emulsión que no cubrió el agregado.

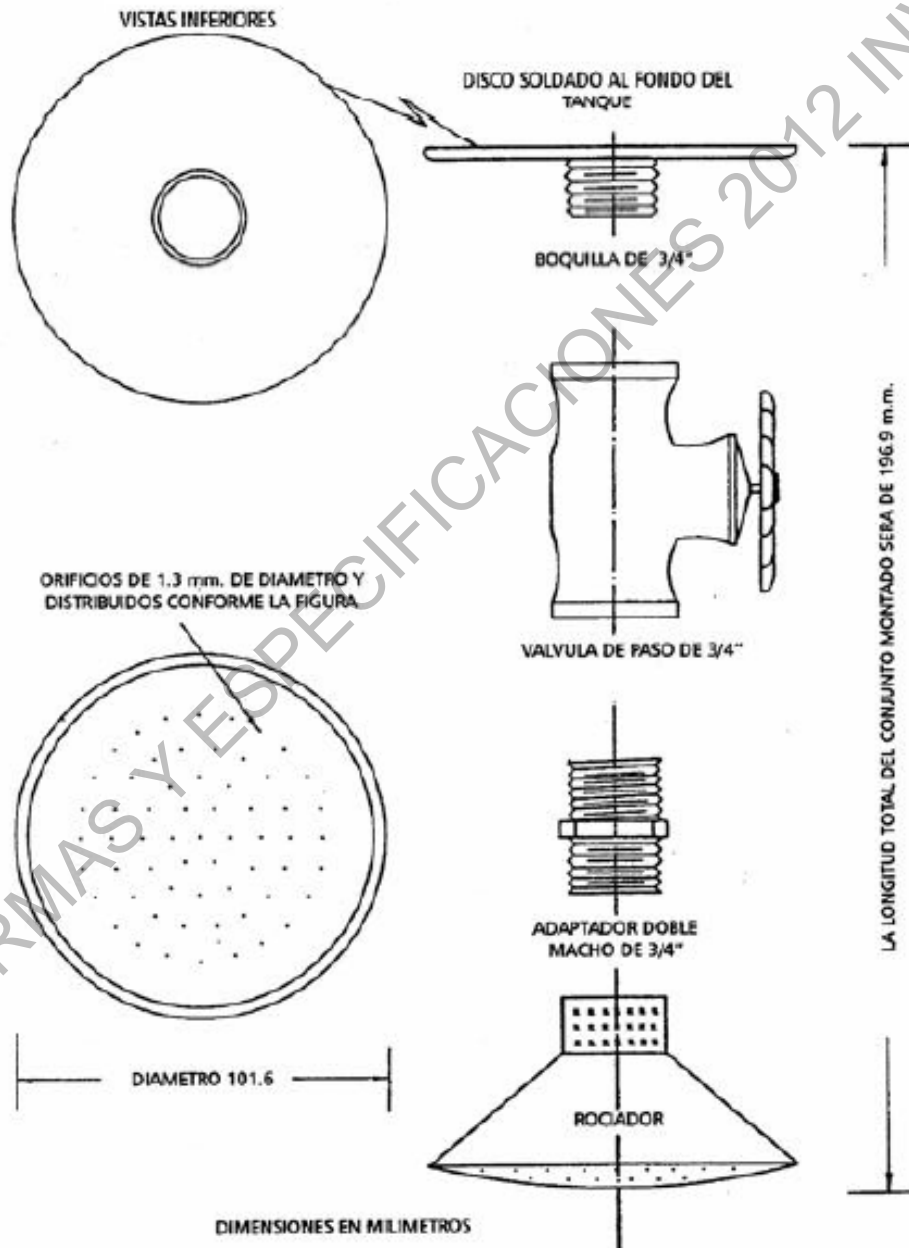


Figura 769 - 2. Detalle de los elementos del regador

- 5.5** Seguidamente, se remueve aproximadamente la mitad de la mezcla y se extiende sobre un papel absorbente, valorando visualmente y anotando el grado de cubrimiento que presenta.
- 5.6** Inmediatamente después, se coloca el recipiente con el resto de la muestra bajo el aparato regador, a una distancia del rociador de 305 ± 75 mm (12 ± 3 "), y se le deja caer agua, hasta que la mezcla quede cubierta. En seguida, se elimina cuidadosamente esta agua por decantación y se somete de nuevo la mezcla a otro ciclo de lluvia y decantación, repitiendo el proceso hasta que el agua de lavado salga limpia. Finalmente, esta parte de la mezcla se extiende sobre el papel absorbente y se valora y anota su grado de cubrimiento, mediante evaluación visual, después del riego.
- 5.7** A continuación, se seca la muestra al aire a la temperatura ambiente del laboratorio, empleando un ventilador si se desea, y se estima una vez más su grado de cubrimiento, mediante valoración visual.

6 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO CON AGREGADOS HÚMEDOS

- 6.1** Se sigue el mismo procedimiento descrito en los numerales 5.1 a 5.3.
- 6.2** Empleando la pipeta, se añaden a los agregados y al polvo de CaCO_3 , si corresponde, 9.3 ml de agua y se mezcla completamente hasta lograr un humedecimiento uniforme.
- 6.3** El procedimiento se continúa con los pasos indicados en los numerales 5.4 a 5.7.

7 RESULTADOS

- 7.1** Al final de cada uno de los procesos que se describen en esta norma, se valora visualmente y se anota el grado de cubrimiento de la superficie de los agregados, con arreglo a los siguientes criterios:
- 7.1.1** El cubrimiento se define como "*bueno*", si se encuentra cubierta toda la superficie de los agregados, exceptuando los poros y las aristas agudas.
- 7.1.2** Si la superficie cubierta es superior a la descubierta, se define como "*aceptable*" o "*satisfactorio*".

- 7.1.3** Si la superficie cubierta es inferior a la descubierta, el cubrimiento se define como "*deficiente*" o "*pobre*".
- 7.2** Al término del procedimiento, el cubrimiento se informará como "*bueno*", "*aceptable*" o "*satisfactorio*", o "*deficiente*" o "*pobre*", tanto si el ensayo se ha realizado con agregados secos como si se han empleado agregados húmedos.
- 7.3** Se pueden incluir comentarios sobre los resultados obtenidos.

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 244 – 09

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ENSAYO DE MEZCLA CON CEMENTO DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

INV E – 770 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un ensayo de mezcla con cemento para la identificación o la clasificación de las emulsiones asfálticas de rotura lenta utilizadas en la construcción vial.
- 1.2 Por medio del ensayo se determina el porcentaje de emulsión que rompe cuando se mezcla con cemento, bajo condiciones preestablecidas. El porcentaje de emulsión rota es una medida de la estabilidad del producto.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-770-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 El resultado de este ensayo indica la capacidad de una emulsión asfáltica de rotura lenta para ser mezclada, sin romper, con un material finamente dividido y de gran superficie específica, como el cemento portland Tipo III de alta resistencia inicial. Mediante este ensayo, se suele establecer la conveniencia de emplear o no una emulsión de rotura lenta en una mezcla con agregados finos o suelos que contengan un alto porcentaje de partículas menores de 75 μm .

3 ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

- 3.1 Todas las muestras de emulsión se deben agitar antes del ensayo, para obtener homogeneidad.
- 3.2 Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 50° C, se deberán calentar dentro de un horno o un baño de agua a $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), manteniéndolas en sus recipientes originales, los cuales deberán ser ventilados para aliviar la presión. Luego de que las muestras alcancen $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), se deberán agitar para mantener la homogeneidad.

- 3.3** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 25° C, se deberán mezclar o agitar a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$) en sus recipientes originales hasta obtener homogeneidad.

Nota 1: Si es necesario, las emulsiones que se deban ensayar a 25° C se pueden calentar como se indica en el numeral 3.2. Si se usa este procedimiento, la muestra se deberá enfriar posteriormente a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$), antes de proceder a su ensayo.

4 EQUIPO

- 4.1** *Tamices* – Un tamiz con abertura de 180 μm (No. 80) y otro de 1.40 mm (No. 14), ambos de 76.2 mm (3") de diámetro.
- 4.2** *Fondo para tamices* – Que se pueda ajustar a los tamices mencionados en el numeral 4.1.
- 4.3** *Recipiente para mezclado* – Plato metálico redondo o taza de unos 500 ml de capacidad.
- 4.4** *Varilla para agitación* – Una varilla metálica con extremos redondeados de unos 10 mm de diámetro.
- 4.5** *Probeta graduada* – De 100 ml de capacidad.
- 4.6** *Horno* – Capaz de mantener una temperatura de $163 \pm 0.3^\circ \text{C}$.
- 4.7** *Balanza* – Con capacidad de 1000 g y una posibilidad de lectura de 0.1 g.
- 4.8** *Termómetro* – Que permita medir la temperatura del horno y de la emulsión con una aproximación de 1°C .

5 MATERIALES

- 5.1** *Cemento* – Cemento portland de alta resistencia inicial, que tenga una superficie específica mínima de 1900 cm^2/g , medida con el turbidímetro de Wagner. El cemento portland tipo III cumple estas condiciones.
- 5.2** *Agua destilada o desionizada.*

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Se diluye la emulsión con agua destilada o desionizada hasta que su residuo sea de 55 %, determinado bien por destilación (norma INV E-762) o bien por evaporación durante 3 horas a $163 \pm 3^\circ \text{C}$ ($325 \pm 5^\circ \text{F}$) (norma INV E-771). La cantidad de agua que se debe añadir a la emulsión se calcula con la fórmula:

$$\% \text{ agua} = 100 - \left[\frac{55}{\% \text{ de residuo original de la emulsión}} \times 100 \right] \quad [770.1]$$

- 6.2** Se tamiza una porción del cemento a través del tamiz de $180 \mu\text{m}$ (No. 80) y se pesan, en el plato metálico o en la taza, $50 \pm 0.1 \text{ g}$ de la fracción que pasa dicho tamiz.
- 6.3** Se deja que los componentes (emulsión, cemento, agua, tamices, fondo, varilla, etc.) adquieran, antes de proceder al mezclado, una temperatura aproximada de 25°C (77°F). Se adicionan al cemento 100 ml de la emulsión diluida e inmediatamente se agita la mezcla durante un (1) minuto, con un movimiento circular de la varilla de acero, a una velocidad 60 rpm. Al término del minuto se añaden 150 ml de agua destilada o desionizada y se continúa la agitación durante otros 3 minutos.

Nota 2: Un procedimiento aceptable para el cumplimiento de este paso consiste en enjuagar el recipiente con la muestra con 3 porciones de agua destilada o desionizada, de unos 50 ml cada una.

- 6.4** Se determina, con aproximación a 0.1 g, la masa del tamiz de 1.40 mm (No. 14) con su fondo y se anota el valor obtenido.
- 6.5** Se vierte la mezcla a través del tamiz de aberturas de 1.40 mm (No. 14) y se realizan lavados repetidos para eliminar completamente el material del recipiente de mezclado. Se enjuaga el tamiz con agua destilada o desionizada vertida desde una altura de unos 152 mm (6"), hasta que el agua de enjuague salga clara.
- 6.6** Se coloca el tamiz sobre su fondo y se seca el conjunto durante 1 hora en un horno regulado a $163 \pm 0.3^\circ \text{C}$ ($325 \pm 0.5^\circ \text{F}$). Se saca el conjunto del horno, se permite su enfriamiento a temperatura ambiente y se pesa. Se repiten el calentamiento y el pesado hasta que dos pesadas consecutivas no difieran en más de 0.1 g.

7 CÁLCULOS

- 7.1 La masa de muestra retenida en el tamiz y el fondo se determina de la siguiente manera:

$$\text{Masa retenida} = B - A \quad [770.2]$$

- Donde: A: Masa del tamiz + fondo (numeral 6.4);
B: Masa del tamiz + fondo + residuo (numeral 6.6).

8 INFORME

- 8.1 La masa, en gramos, de material retenido en el tamiz y en el fondo, se informa como el porcentaje de rotura en el ensayo. El valor se debe redondear a la décima.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1 *Precisión* – Se deberán emplear los siguientes criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con el 95 % de probabilidad:

- 9.1.1 *Repetibilidad* – Ensayos duplicados realizados por el mismo operador se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

MEZCLA CON CEMENTO, % EN MASA	REPETIBILIDAD, % EN MASA
0 a 2	0.2

- 9.1.2 *Reproducibilidad* – Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

MEZCLA CON CEMENTO, % EN MASA	REPRODUCIBILIDAD, % EN MASA
0 a 2	0.4

- 9.2 *Sesgo* – El sesgo de este método de ensayo no se puede determinar, por cuanto no se dispone de un material que presente un valor de referencia aceptable.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6935 – 11

NLT 144/98

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

RESIDUO POR EVAPORACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

INV E – 771 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se refiere a la determinación cuantitativa del residuo de las emulsiones asfálticas por evaporación a 163° C.
- 1.2 Se describen dos procedimientos optativos, según sea o no necesario realizar ensayos sobre el residuo de evaporación.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-771-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Una muestra de emulsión asfáltica contenida en un recipiente sin tapa, se somete a calentamiento en un horno a $163 \pm 3^\circ \text{C}$ para determinar el porcentaje de asfalto residual. Si se emplea el procedimiento de ensayo B, el material obtenido como residuo se puede someter a pruebas posteriores de caracterización.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Esta práctica se usa como parámetro indicador de la composición característica de una emulsión asfáltica.
- 3.2 El residuo por evaporación obtenido se puede utilizar para la ejecución de otros ensayos de caracterización. Se debe tener en cuenta, sin embargo, que el residuo obtenido mediante este método de ensayo suele presentar menor penetración y ductilidad que el obtenido a través del ensayo de destilación (norma INV E-762). Por lo tanto, si el residuo obtenido por evaporación no satisface los requisitos de calidad exigidos por la especificación, el material no se puede rechazar, sino que hay que volver a determinar sus características sobre un residuo obtenido por medio del ensayo de destilación.

4 ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

- 4.1** Todas las muestras de emulsión se deben agitar antes del ensayo, para obtener homogeneidad.
- 4.2** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 50° C, se deberán calentar dentro de un horno o un baño de agua a $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), manteniéndolas en sus recipientes originales, los cuales deberán ser ventilados para aliviar la presión. Luego de que las muestras alcancen $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), se deberán agitar para mantener la homogeneidad.
- 4.3** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 25° C, se deberán mezclar o agitar a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$) en sus recipientes originales hasta obtener homogeneidad.

Nota 1: Si es necesario, las emulsiones que se deban ensayar a 25° C se pueden calentar como se indica en el numeral 4.2. Si se usa este procedimiento, la muestra se deberá enfriar posteriormente a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$), antes de proceder a su ensayo.

5 EQUIPO

- 5.1** *Vasos de precipitados* – De vidrio o metal, de forma baja, resistentes al calor, con capacidad de 1000 ml. Se requieren 3 o 4, según el procedimiento de ensayo que se vaya a aplicar.
- 5.2** *Varillas de vidrio* – Varillas de vidrio de 6 mm de diámetro y 180 mm de longitud, con extremos redondeados a la llama.
- 5.3** *Balanza* – Una balanza de 500 g de capacidad y con una posibilidad de lectura de 0.1 g.
- 5.4** *Horno* – Con control termostático, capaz de mantener una temperatura de $163 \pm 3^\circ \text{C}$ ($325 \pm 6^\circ \text{F}$).
- 5.5** *Tamiz* – Un tamiz con bastidor de 76.2 mm (3") de diámetro, con aberturas de 300 μm (No. 50).

6 PROCEDIMIENTO A

- 6.1** Este procedimiento se empleará cuando solamente se requiera determinar el porcentaje de residuo de la emulsión.
- 6.2** Se determina la masa de cada uno de tres vasos de precipitados con su respectiva varilla de vidrio, con aproximación a 0.1 g. A continuación, se pesan 50 ± 0.1 g de muestra de emulsión en cada vaso.
- 6.3** Se colocan los vasos en el horno, cuya temperatura se ha regulado a $163 \pm 3^\circ \text{C}$ ($325 \pm 5^\circ \text{F}$) y se dejan durante 2 horas. Cumplido este período, se sacan del horno y se agita bien el residuo. Después de la agitación, los vasos con las varillas y las muestras se vuelven a colocar en el horno durante una (1) hora, al cabo de la cual se retiran y se dejan enfriar a temperatura ambiente antes de proceder a determinar su masa.

Nota 2: Se deben tomar las debidas precauciones con el fin de evitar pérdidas de las muestras, cuando ellas son vertidas en los vasos o cuando se agitan o se colocan en el horno. Estas pérdidas se deben, principalmente, a la formación de espuma en la emulsión y a salpicaduras durante los procesos de homogeneización. Se admite que el operador observe periódicamente los vasos y agite la muestra para prevenir el rebosamiento por ebullición. Los vasos con las varillas de vidrio y las muestras se pueden precalentar por separado a temperaturas menores a 163°C antes de ser llevados al horno.

Nota 3: Si se prefiere, se puede realizar una evaporación preliminar del agua mediante un calentamiento cuidadoso en una placa calefactora, seguido del tratamiento en horno a 163°C durante 1 hora.

7 PROCEDIMIENTO B

- 7.1** Este procedimiento se emplea cuando se requiere realizar ensayos sobre el residuo obtenido.
- 7.2** Se procede de la misma manera indicada en los numerales 6.2 y 6.3, pero utilizando cuatro muestras de 50 ± 0.1 g. Después de determinar el porcentaje de residuo, se introducen de nuevo los vasos de precipitados en el horno hasta que el residuo asfáltico esté lo suficientemente fluido para pasar a través del tamiz de $300 \mu\text{m}$ (No. 50), operación que requiere normalmente de 15 a 30 minutos. El material que pasa el tamiz se vierte directamente en los recipientes o moldes que se vayan a emplear en los ensayos sobre el residuo.

8 CÁLCULOS

- 8.1 Tanto en el caso del procedimiento A como en el B se calcula el porcentaje de residuo en cada vaso de la siguiente manera:

$$\text{Residuo, \%} = 2 (A - B) \quad [771.1]$$

Donde: A: Masa del conjunto vaso + varilla + residuo, g;

B: Masa del conjunto vaso + varilla, g.

9 INFORME

- 9.1 Se informa el porcentaje de residuo como el promedio de las determinaciones de todos los vasos de precipitados, siempre y cuando las diferencias en los resultados no excedan de 0.4 %. Si algún valor difiere de los otros en más de 0.4 %, no será utilizado para la determinación del promedio.

10 PRECISIÓN Y SESGO

- 10.1 *Precisión* – Se deberán emplear los siguientes criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con el 95 % de probabilidad:

- 10.1.1 *Repetibilidad* – Ensayos duplicados, realizados por el mismo operador, se considerarán aceptables si no difieren en más de la siguiente cantidad:

RESIDUO POR EVAPORACIÓN % EN MASA	REPETIBILIDAD % MASA
50 a 70	0.4

- 10.1.2 *Reproducibilidad* – Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

RESIDUO POR EVAPORACIÓN % EN MASA	REPRODUCIBILIDAD % MASA
50 a 70	0.8

10.2 Sesgo – El sesgo de este método de ensayo no se puede determinar, por cuanto no se dispone de un material que presente un valor de referencia aceptable.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6934 – 08

NLT 147/91

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIA

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ENSAYO DE ENVUELTA DE AGREGADOS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS

INV E – 772 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la realización del ensayo de envuelta de un agregado con una emulsión asfáltica.
- 1.2 Este ensayo no se aplica a las emulsiones de rotura rápida ni a materiales diluidos para uso en riegos de liga o de imprimación.
- 1.3 El ensayo es una determinación visual de la facilidad de la emulsión aniónica o catiónica para cubrir un determinado tipo de gravilla, cuando se mezcla con ella durante 3 minutos.
- 1.4 Esta norma reemplaza la norma INV E-772-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 La finalidad de esta prueba es asegurar que una emulsión para mezcla es suficientemente estable y posee la capacidad para ser mezclada con un agregado de referencia durante el tiempo especificado, cubriéndolo total y uniformemente.

3 ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

- 3.1 Todas las muestras de emulsión se deben agitar antes del ensayo, para obtener homogeneidad.
- 3.2 Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 50° C, se deberán calentar dentro de un horno o un baño de agua a $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), manteniéndolas en sus recipientes originales, los cuales deberán ser ventilados para aliviar la presión. Luego de que las muestras alcancen $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), se deberán agitar para mantener la homogeneidad.

- 3.3** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 25° C, se deberán mezclar o agitar a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$) en sus recipientes originales hasta obtener homogeneidad.

Nota 1: Si es necesario, las emulsiones que se deban ensayar a 25° C se pueden calentar como se indica en el numeral 3.2 Si se usa este procedimiento, la muestra se deberá enfriar posteriormente a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$), antes de proceder a su ensayo.

4 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1** *Tamices* – Tamices de abertura 19.0 mm ($\frac{3}{4}$ ") y 6.30 mm ($\frac{1}{4}$ ").
- 4.2** *Espátula* – Una espátula de acero o su equivalente, con una hoja de unos 200 milímetros (8") de longitud.
- 4.3** *Taza* – Una taza metálica, de un 1 litro de capacidad.
- 4.4** *Balanza* – Con capacidad de 1000 g y legibilidad de 0.1 g.
- 4.5** *Agregado* – Un agregado de referencia que se debe lavar con agua y secar antes de cada uso. La granulometría será tal, que todo el agregado pase a través del tamiz de 19.0 mm ($\frac{3}{4}$ ") y que no más del 5 % pase a través del tamiz de 6.30 mm ($\frac{1}{4}$ ").

Nota 2: Cada laboratorio elegirá su agregado de referencia, cuyo suministro no conviene cambiarlo.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Se pesan en la taza 465 ± 0.1 g del agregado apropiado, lavado y seco.
- 5.2** Se añaden al agregado 35 ± 0.1 g de la emulsión que se va ensayar y se mezcla vigorosamente con la espátula durante 3 minutos.

Nota 3: Se pueden usar otras cantidades de agregados y asfalto, siempre que se mantenga la relación de 93 % de agregado y 7 % de emulsión, en masa.

- 5.3** Inmediatamente después del período de mezclado, se determina visualmente si se han separado las dos fases de la emulsión y si ésta cubre completamente el agregado.

6 INFORME

- 6.1 Se informa si se ha producido o no la rotura de la emulsión y si el agregado ha quedado o no envuelto de manera uniforme y completa con ella.

7 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6998 – 11

NLT 145/72

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MISCIBILIDAD CON AGUA DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

INV E – 773 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la realización del ensayo de miscibilidad con agua de las emulsiones asfálticas.
- 1.2 El ensayo se aplica únicamente a las emulsiones de rotura media y lenta.
- 1.3 Mediante este ensayo se determina si se produce coagulación del asfalto cuando se diluye la emulsión con agua.
- 1.4 Esta norma reemplaza la norma INV E-773-07.

2 USO Y SIGNIFICADO

- 2.1 A veces es necesario diluir la emulsión con agua cuando se va a emplear en obra. Este método está diseñado para verificar si esta operación se puede realizar de manera segura sin que se produzca la rotura de la emulsión.

Nota 1: En algunos lugares, las fuentes de provisión de agua contienen altos niveles de sales disueltas y de otros minerales que producen la coalescencia de la emulsión en un grado mayor que el agua destilada o desionizada. Se recomienda usar este método de ensayo para estudiar las fuentes potenciales de agua de la zona de las obras, antes de intentar la dilución de la emulsión.

3 ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

- 3.1 Todas las muestras de emulsión se deben agitar antes del ensayo, para obtener homogeneidad.
- 3.2 Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 50° C, se deberán calentar dentro de un horno o un baño de agua a $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), manteniéndolas en sus recipientes originales, los cuales deberán ser ventilados para aliviar la presión. Luego de que las muestras alcancen $50 \pm 3^\circ \text{C}$ ($122 \pm 5^\circ \text{F}$), se deberán agitar para mantener la homogeneidad.

- 3.3** Las emulsiones a las cuales se les requiera determinar la viscosidad a 25° C, se deberán mezclar o agitar a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$) en sus recipientes originales hasta obtener homogeneidad.

Nota 2: Si es necesario, las emulsiones que se deban ensayar a 25° C se pueden calentar como se indica en el numeral 3.2. Si se usa este procedimiento, la muestra se deberá enfriar posteriormente a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$), antes de proceder a su ensayo.

4 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1** *Probetas* – Una probeta graduada de 100 ml de capacidad y otra de 200 ml.
- 4.2** *Vaso de precipitados* – De 400 ml de capacidad.
- 4.3** *Termómetro* – De los tipos ASTM 17C o 17 F, con las características básicas que se muestran a continuación, u otro termómetro de igual o mayor exactitud.

REFERENCIA	ASTM 17C	ASTM 17F
RANGO	19° C a 27° C	66° F a 80° F
GRADUACIONES	0.1° C	0.2° F
LONGITUD TOTAL	275 mm	10 7/8"
INMERSIÓN	Total	Total

Nota 3: Aunque la temperatura no afecta de manera importante el ensayo, se recomienda realizarlo a una temperatura entre 20 y 25° C (68 a 77° F).

- 4.4** *Agua destilada o desionizada.*

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Se miden en una probeta 50 ml de emulsión y se vierten en un vaso de precipitados de 400 ml.
- 5.2** Se miden, también por medio de una probeta, 150 ml de agua destilada o desionizada y se añaden gradualmente a la emulsión mientras se está agitando. Una vez homogeneizada la mezcla, se deja en reposo durante dos (2) horas.
- 5.3** Terminado el período de reposo, se observa si se ha producido una coagulación apreciable del asfalto que contiene la emulsión.

6 INFORME

6.1 Se deberá informar si se produjo o no la coagulación después de dos (2) horas.

7 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6999 – 04

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS AGREGADOS FINOS (MÉTODO RIEDEL–WEBER)

INV E – 774 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la adhesividad de los ligantes asfálticos a una arena natural o de trituración, cuando la mezcla agregado–ligante se somete a la acción de soluciones de carbonato de sodio de concentración molar creciente.
- 1.2 Este método se puede aplicar con cementos asfálticos y emulsiones asfálticas modificados y sin modificar.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E–774–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Se reduce el agregado al tamaño 180 μm / 600 μm y se envuelve con el ligante en una proporción determinada. Se toman 0.5 g del aglomerado y se hierven en 6 ml de agua durante un minuto. Si el ligante se separa del agregado, la adherencia entre ellos es pobre. Si esto no ocurre, se repite el ensayo sustituyendo el agua por 6 ml de solución de carbonato de sodio en concentraciones crecientes, utilizando cada vez una nueva porción del aglomerado. La adhesión se califica de acuerdo con la concentración de carbonato de sodio que produce el desplazamiento total del ligante de la superficie del agregado.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Aunque las condiciones del ensayo no se parecen a las condiciones de obra, el ensayo es eficaz por su rigor, de forma que una buena adhesividad dada por el mismo se traduce, normalmente, en un margen de seguridad suficiente para el uso del agregado.
- 3.2 El ensayo es muy utilizado, por cuanto brinda una respuesta expresada numéricamente y es de muy fácil ejecución.

4 EQUIPO

- 4.1 *Tabos de ensayo* – Doce (12) tubos de ensayo de unos 20 mm de diámetro y 200 mm de altura.
- 4.2 *Tamices* – Con aberturas de 600 μm (No. 30) y 180 μm (No. 80).
- 4.3 *Balanza* – Suficiente para determinar masas de 200 g, con una sensibilidad de 0.01 g.
- 4.4 *Horno* – Termostáticamente controlado y con circulación forzada de aire, capaz de mantener una temperatura a $145 \pm 5^\circ \text{C}$ ($293 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 4.5 *Material auxiliar* – Cuarteador de agregado fino, recipientes de porcelana, gradilla (soporte) para tubos de ensayo, vasos de vidrio de 50 ml, pinzas, espátula, varillas de vidrio, etc.

5 REACTIVOS

- 5.1 *Agua destilada.*
- 5.2 *Soluciones de carbonato de sodio* – Las soluciones de carbonato sódico necesarias para el ensayo serán de concentraciones molares crecientes, desde M/256 para la más diluida, hasta M/1 para la más concentrada.
- 5.2.1 Las soluciones se prepararán a partir de carbonato de sodio (Na_2CO_3) puro, anhidro, y agua destilada.
- 5.2.2 La concentración molar M/1, se obtiene disolviendo 106 g (masa molecular) de carbonato sódico anhidro en agua destilada hasta completar 1 litro de solución. Las soluciones de concentración molar M/2, M/4, M/8, etc., se obtienen disolviendo en agua destilada hasta completar 1 litro, la cantidad correspondiente de carbonato sódico que se indica en la Tabla 774 - 1.

Tabla 774 - 1. Cantidades para preparar un litro de solución de ensayo

MOLARIDAD	g DE Na ₂ CO ₃ / LITRO DE SOLUCIÓN
M/256	0.414
M/128	0.828
M/64	1.656
M/32	3.312
M/16	6.625
M/8	13.23
M/4	26.5
M/2	53.0
M/1	106.0

Nota 1: Preferiblemente, las soluciones se prepararán de nuevo para cada ensayo o tandas de ensayos a realizar, y no se utilizarán aquellas que lleven más de 4 días de elaboradas.

6 PROCEDIMIENTO

6.1 Preparación del agregado:

- 6.1.1** Cuando la muestra de agregado recibida en el laboratorio proceda de piedra de cantera o grava sin clasificar, se procederá a su cuarteo y posterior trituración hasta obtener una arena de dicho material.
- 6.1.2** Si la muestra de agregado recibida en el laboratorio es una arena natural o de trituración, se separa por sucesivos cuarteos hasta obtener el material necesario para el ensayo.
- 6.1.3** La cantidad aproximada de agregado fino necesaria para el ensayo, independientemente de su naturaleza y origen, será de 200 g.
- 6.1.4** Se tamizan los 200 g de arena por los tamices de 600 µm (No. 30) y 180 µm (No. 80). El material comprendido entre estos tamaños constituirá la muestra de ensayo.
- 6.1.5** La fracción 180 µm /600 µm se lava con agua sobre el tamiz de 180 µm (No. 80), para eliminar totalmente el polvo que pueda estar adherido a las partículas de arena. Una vez lavada la muestra, se seca en horno a 145 ± 5° C (293 ± 9° F) durante una (1) hora, aproximadamente, o hasta masa constante.

6.2 Preparación de la mezcla arena-ligante:

6.2.1 Si el ligante asfáltico que se va a emplear en el ensayo es un cemento asfáltico, la mezcla se deberá preparar en la proporción de 71 volúmenes de arena seca con 29 volúmenes de ligante asfáltico (la relación correspondiente de masas se calcula a partir de las respectivas gravedades específicas). La mezcla de la arena con el cemento asfáltico se debe realizar a una temperatura en el rango de 140° a 175° C, dependiendo del tipo de ligante.

Nota 2: Es la viscosidad del cemento asfáltico la que en última instancia, determina la temperatura más adecuada para lograr un cubrimiento completo y uniforme del agregado por el ligante.

6.2.2 Si el ligante que se utiliza en el ensayo es una emulsión asfáltica, la mezcla se deberá preparar a temperatura ambiente, en la proporción de 71 volúmenes de arena seca con 95 volúmenes de emulsión concentrada al 50 %.

6.2.3 La mezcla se realiza en las cantidades prescritas y a la temperatura requerida, en un recipiente de porcelana previamente calentado a una temperatura similar a la requerida para la mezcla. Se mezclan ambos materiales con una varilla de vidrio hasta conseguir una masa perfectamente homogénea y, una vez preparada la mezcla, se deja enfriar durante una (1) hora a temperatura ambiente sin tapar el recipiente de porcelana. Si el ligante es una emulsión asfáltica, transcurrida esta hora se decanta el líquido en exceso que acompaña la mezcla y se deja en reposo durante otras 24 horas, sin tapar el recipiente de porcelana.

6.3 Ejecución del ensayo:

6.3.1 Se pesan en la balanza 11 porciones de la mezcla arena-ligante, cada una de 0.5 g, con una precisión de 0.01 g.

6.3.2 Cada una de las 11 porciones de mezcla se introduce en un tubo de ensayo. Los tubos se numeran consecutivamente de cero (0) a diez (10).

6.3.3 A continuación, en el tubo de ensayo marcado con el número cero (0) se vierten, sobre los 0.5 g de mezcla arena-ligante, 6 ml de agua destilada, y se marca en el tubo la altura que alcanza la superficie libre del agua. Se sujeta el tubo de ensayo con la pinza de madera y se

calienta cuidadosamente sobre la llama de un mechero de gas, hasta la ebullición suave del agua, ebullición que se mantendrá durante 1 min.

6.3.4 Terminado el período de ebullición, se repone el volumen del líquido perdido por evaporación, añadiendo la cantidad de agua destilada necesaria para alcanzar la línea previamente marcada en el tubo. Una vez realizado el ajuste de volumen, se agita vigorosamente el tubo con su contenido durante 10 s.

6.3.5 A continuación, se observa el aspecto que ofrece la mezcla arena-ligante en el tubo de ensayo (Figura 774 - 1), juzgándolo de acuerdo con los siguientes criterios:

6.3.5.1 El desprendimiento entre el ligante y el agregado se considerará total, cuando prácticamente todos los granos de la arena aparezcan limpios; en esta situación los granos estarán sueltos y si se hace rodar el tubo de ensayo entre los dedos, los granos de arena seguirán libremente la rotación dada al tubo (nota 3).

Nota 3: Para confirmación, se puede utilizar como prueba patrón, un tubo de ensayo con arena sin ligante y 5 o 6 ml de agua destilada y comparar su aspecto y el movimiento al rodar el tubo de ensayo entre los dedos.

6.3.5.2 El desprendimiento se considerará parcial, cuando en los granos de arena aparezcan zonas limpias, aunque se mantiene cierta cohesión entre ellos; en este caso, los granos de arena aun envueltos por el ligante permanecen aglomerados en el fondo del tubo de ensayo.

6.3.5.3 Si realizada la primera prueba se observa que la adhesividad es buena, es decir que no hay desplazamiento de ligante por el agua destilada, se procede como se indica en el numeral 6.3.6.



Figura 774 - 1. Evaluación de la adhesividad

- 6.3.6** Se repite todo el proceso, utilizando ahora el tubo de ensayo marcado con el número 1, pero añadiendo a la mezcla 6 ml de la solución de carbonato de sodio de concentración M/256. Se repiten las operaciones de ebullición y reemplazo de volumen evaporado (en este caso, el reemplazo del volumen evaporado se realiza con la solución de carbonato) y, finalmente, se comprueba si se ha producido o no desprendimiento total en la forma indicada en el numeral 6.3.5.1.

Nota 4: Para la apreciación de la adhesividad de una mezcla arena-ligante, después de actuar sobre ella cada solución de ensayo, no se tendrá en cuenta el ligante que aparezca en la superficie del líquido durante la ebullición; sólo se tendrá en cuenta el aspecto que ofrezca la masa de mezcla que queda en el fondo del tubo.

- 6.3.7** Si el desprendimiento es sólo parcial o nulo, se vuelve a repetir todo el proceso, tal como se indicó anteriormente, pero utilizando ahora el tubo de ensayo marcado con el número 2, utilizando la solución de carbonato de sodio de concentración M/128. Se continúa en esta forma, utilizando las soluciones de carbonato sódico de concentración creciente, M/64, M/32, etc., y los tubos de ensayo marcados con los números 3, 4, etc., hasta que se logre alcanzar el desprendimiento total del ligante de la superficie del agregado.

7 RESULTADOS

- 7.1** Se define como índice de adhesividad Riedel-Weber, el número correspondiente a la solución de menor concentración de las utilizadas que haya producido un desprendimiento total del ligante asfáltico de la superficie de la arena, de acuerdo con la relación que se presenta en la Tabla 774 - 2.

Tabla 774 - 2. Índice de Riedel-Weber

SOLUCIÓN DE ENSAYO	ÍNDICE DE ADHESIVIDAD RIEDEL-WEBER
Desplazamiento total con agua destilada	0
M/256	1
M/128	2
M/64	3
M/32	4
M/16	5
M/8	6
M/4	7
M/2	8
M/1	9
Si no hay desplazamiento total con la solución M/1	10

- 7.2** Si se produjera un desprendimiento parcial (no total) del ligante asfáltico con alguna de las soluciones referidas en la Tabla 774 - 2, el índice de adhesividad se podrá expresar con dos números: el correspondiente a la concentración menor con la que se produce algún desprendimiento y el que produce el desprendimiento total de acuerdo con la tabla.
- 7.3** Si el desplazamiento total del ligante se produce solamente con el agua destilada, el índice de adhesividad es 0.
- 7.4** Si la solución molar de carbonato sódico M/1 no produce el desprendimiento total del ligante asfáltico, el índice de adhesividad de la mezcla en estudio es 10.

8 NORMAS DE REFERENCIA

NLT 355/93

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA ADHESIÓN ENTRE EL LIGANTE Y EL AGREGADO POR EL MÉTODO DE ENSAYO DE CHOQUE DE LA PLACA VIALIT

INV E – 775 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para valorar la adhesividad y la resistencia al desprendimiento existentes entre los agregados y los ligantes asfálticos, mediante el ensayo de choque de la placa Vialit.
- 1.2 El procedimiento se aplica a los materiales empleados en tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla, en los cuales se utilizan como ligantes los cementos asfálticos blandos o las emulsiones asfálticas.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-775-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 Las siguientes definiciones se aplican específicamente a esta norma de ensayo:
 - 2.1.1 *Adhesividad activa* – La adhesividad necesaria para ligar agregados húmedos en su estado natural
 - 2.1.2 *Adhesión mecánica* – La adhesión necesaria para ligar agregados secos con partículas de polvo adheridas a su superficie, las cuales forman una pantalla inhibidora.
 - 2.1.3 *Temperatura de humidificación* – La menor temperatura del ligante sobre la placa, justo antes de colocar las partículas de gravilla, a la cual al menos el 90 % de las partículas quedan recubiertas de ligante en su superficie luego del ensayo de choque, considerando tanto las partículas que quedan pegadas a la placa como las que caen.
 - 2.1.4 *Temperatura de fragilidad* – La menor temperatura de ensayo a la cual permanecen en la placa más de 90 % de las partículas luego del ensayo de choque.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** El ensayo consiste en incrustar 50 o 100 partículas de gravilla calibradas, sobre una película de ligante extendida en una placa metálica. Una vez curado el ligante, se coloca la placa invertida sobre un soporte de 3 puntas y se la somete al impacto producido por la caída de una bola de acero, valorando la condición de las partículas desprendidas y la de las que han permanecido adheridas a la placa.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La adhesión entre el ligante y el agregado pétreo es la base del éxito de un tratamiento superficial. Es importante que ella se logre en el momento de la construcción y se asegure a baja temperatura, cuando los problemas de adhesividad se hacen predominantes con los agregados con polvo adherido, tanto si están secos como si se encuentran húmedos.
- 4.2** Mediante este ensayo se valora la adhesividad, así como la resistencia al desprendimiento que presenta la unión agregado–ligante en este tipo de materiales, tanto con agregados inicialmente en estado seco como en estado húmedo. Igualmente, el ensayo sirve para valorar la mejora de adhesividad que se puede conseguir mediante el empleo de un activante.
- 4.3** El ensayo está previsto como una ayuda para el diseño de sistemas de ligante y agregados para tratamientos superficiales, pero no es apropiado para usar a pie de obra con fines de control de calidad.

5 EQUIPO

- 5.1** *Placas de ensayo* – Placas cuadradas de acero de 200 ± 1 mm de lado y 2 ± 0.2 mm de espesor, provistas de un pequeño reborde lateral de 2 a 3 mm de altura que hagan estanco el recipiente (Figura 775 - 1). Para la correcta realización del ensayo es necesario que la superficie de la placa sea rigurosamente plana, admitiéndose una tolerancia de 0.2 mm cuando la placa es nueva y de 0.5 mm en placas usadas.

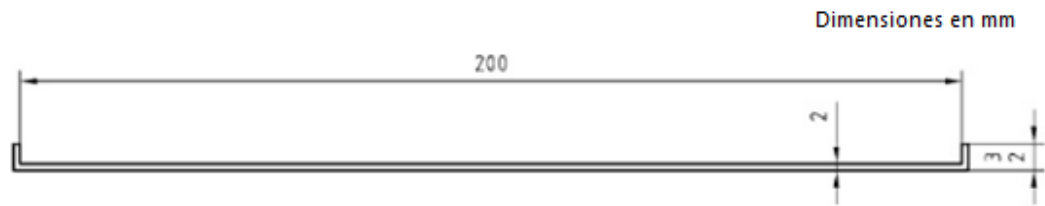


Figura 775 - 1. Placa de ensayo

- 5.2 Bola** – Una bola de acero de 50 ± 0.5 mm de diámetro y 510 ± 10 g de masa.
- 5.3 Rodillo de compactación** – Un rodillo con la forma y dimensiones que se muestran en la Figura 775 - 2, con banda de rodadura de caucho de 15 ± 2 mm de espesor, y que permita un lastrado hasta una masa total de 25 ± 1 kg. El caucho debe tener una dureza Shore 50/150, de acuerdo con la norma ISO 48.
- 5.4 Dispositivo para ensayo** – Consta esencialmente de un bastidor metálico formado por una base de nivelación, con dos niveles de burbuja y tornillos de ajuste, de la que salen 3 varillas verticales terminadas en punta para el apoyo de la placa durante el ensayo. Unida a esta base va soldado un tubo vertical, terminado por su parte superior en una canaleta inclinada un ángulo de $3 \pm 0.5^\circ$, desde la que cae la bola una altura de 50 cm sobre el centro de la placa. En las Figuras 775 - 3 y 775 - 4 se detallan las características de este dispositivo.

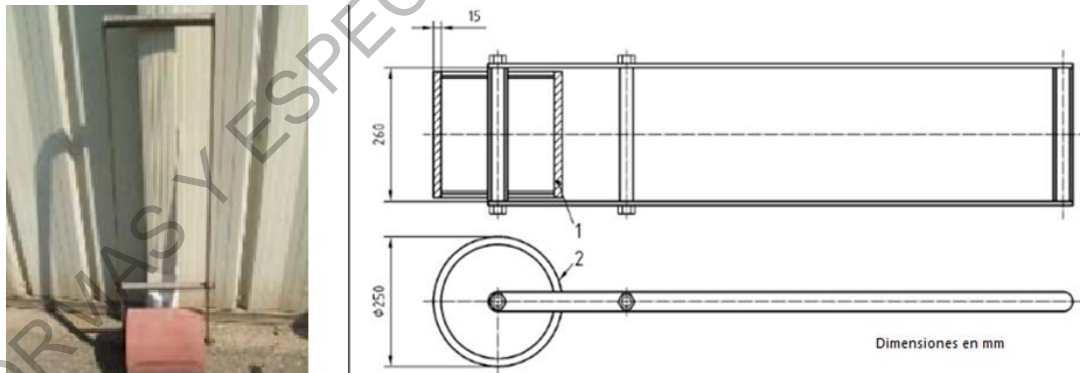


Figura 775 - 2. Rodillo de compactación

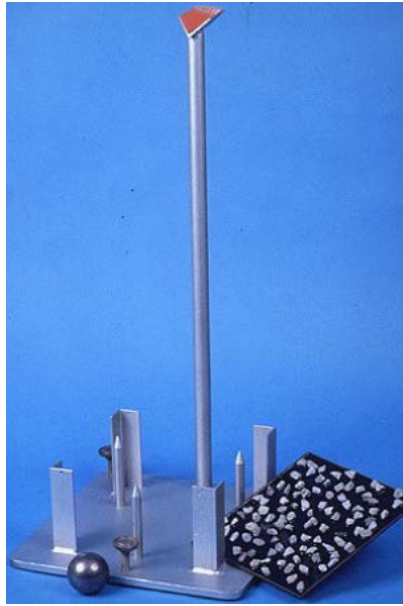


Figura 775 - 3. Dispositivo para ensayo, placa con la muestra y bola de acero

- 5.5 Balanza** – Una balanza con capacidad mínima de 1 kg y sensibilidad de 0.1 g.
- 5.6 Higrómetro** – Con exactitud de 5 % al 90 % de humedad.
- 5.7 Atomizador** – Para aplicar el producto mejorador de adherencia (si se requiere), como una capa interfacial entre el ligante y la gravilla.
- 5.8 Horno** – Con regulación de temperatura de 50 a 170° C y con una precisión de $\pm 1^\circ$ C.
- 5.9 Cámara climática** – Que permita mantener la temperatura en el rango $- 25$ a $+ 30^\circ$ C, con una humedad relativa mayor de 90 %
- 5.10 Tamices** – Tamices con aberturas de 4.75 mm (No. 4), 6.4 mm ($\frac{1}{4}$ "), 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ ") y 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ").
- 5.11 Elementos misceláneos** – Canastas metálicas de tamaño apropiado y con malla con aberturas de 3 mm, caja metálica de cierre hermético, espátulas, cronómetro, etc.

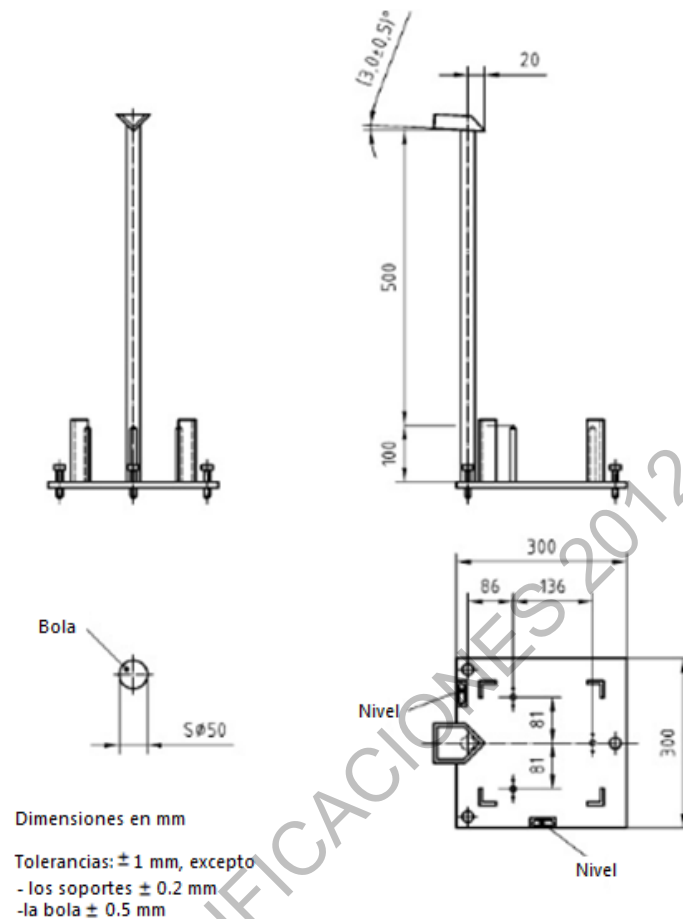


Figura 775 - 4. Dispositivo para el ensayo

6 PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS DE ADHESIVIDAD ACTIVA Y ADHESIÓN MECÁNICA

6.1 Preparación de los materiales:

6.1.1 Agregados:

6.1.1.1 Cantidad – Se requieren 100 partículas, si se desea ensayar alguna de las siguientes fracciones: 4.75/6.3 mm y 6.3/9.5 mm. Si se va a ensayar la fracción 9.5/12.7 mm, se emplearán 50 partículas. Al escoger las partículas, se deberán descartar aquellas que presenten aplanamiento o alargamiento excesivos. El ensayo se debe realizar con los agregados en el mismo estado de limpieza que tengan en la obra; por lo

tanto, hay que cuidar de no alterarlo sustancialmente durante la selección de las partículas.

6.1.1.2 *Tratamiento para el ensayo de adhesión mecánica (por vía seca)* – Se colocan las partículas de gravilla con su polvo y partículas finas sobre un cartón y se llevan a un horno ventilado a $50 \pm 1^\circ \text{C}$ durante $24 \pm 1 \text{ h}$. En seguida, se coloca el cartón con las partículas en la caja metálica de cierre hermético y se lleva ésta a una cámara de temperatura controlada a $5 \pm 1^\circ \text{C}$ durante $24 \pm 1 \text{ h}$.

6.1.1.3 *Tratamiento para el ensayo de adhesividad activa (por vía húmeda)* – Se colocan las partículas de gravilla con su polvo y partículas finas en la canasta metálica y se llevan a una cámara climática a $5 \pm 1^\circ \text{C}$ con una humedad relativa mayor de 90 %, durante $24 \pm 1 \text{ h}$.

6.1.2 *Ligante:*

6.1.2.1 *Tipo* – En general, se puede utilizar cualquier ligante que sea apropiado para tratamientos superficiales con riego, sea convencional o modificado mediante la adición de activantes, polímeros, etc., que mejoren las propiedades reológicas del ligante base.

6.1.2.2 *Cantidad* – Las dosificaciones de ligante residual, según el tamaño de gravilla por ensayar, son las siguientes:

PRODUCTO	TAMAÑO DE LA FRACCIÓN		
	4.75/6.3 mm	6.3/9.5 mm o	9.5/12.7 mm
Ligante residual (kg/m^2)	0.7	1.0	1.3

Nota 1: Cuando se emplee una emulsión asfáltica, se debe tener presente que las cantidades indicadas se refieren al ligante residual, es decir, el que permanece luego de la rotura y la evaporación del agua de la emulsión.

6.1.2.3 *Temperatura* – Al menos 0.5 kg del ligante a emplear en la construcción del tratamiento superficial se deberán calentar a la temperatura prevista para su aplicación en la obra.

6.2 *Preparación de las placas:*

- 6.2.1** Para cada ensayo se debe preparar un mínimo de 3 placas perfectamente planas, limpias y secas.
- 6.2.2** Se aplica sobre cada placa la cantidad requerida de ligante, a la temperatura definida en el numeral 6.1.2.3.
- 6.2.3** Para asegurar que el ligante quede correctamente distribuido sobre su superficie, se calienta cada placa a una temperatura máxima de 50° C durante 5 minutos.
- 6.2.4** Se coloca cada placa con el ligante en una cámara climática a $5 \pm 1^\circ \text{C}$, cerca de los agregados, durante 20 ± 2 min.

6.3 *Extensión y compactación del agregado (para ligantes diferentes de emulsiones):*

- 6.3.1** Se sacan las partículas de la cámara climática y se colocan de manera uniforme sobre el ligante.
- 6.3.2** Si se usa un mejorador de adherencia, éste se deberá atomizar sobre el ligante, justamente antes de colocar las partículas de agregado.
- 6.3.3** Empleando el equipo de compactación del ensayo, se hacen en cada placa tres (3) pasadas en una dirección y tres (3) en dirección perpendicular a la primera.

6.4 *Extensión del agregado (cuando el ligante es una emulsión asfáltica):*

- 6.4.1** Se sacan las partículas de la cámara climática y se colocan de manera uniforme sobre la emulsión antes de que ocurra la rotura de ésta. No se aplica ninguna compactación.
- 6.4.2** Se lleva cada placa con la emulsión y el agregado a una cámara climática de ventilación forzada a temperatura ambiente (de 20 a 30° C) durante 24 ± 1 h.
- 6.4.3** Se considera que el agua de la emulsión se ha evaporado, cuando al realizar dos pesadas sucesivas en un intervalo de media hora, la masa no cambia en más de 0.1 %.

6.5 Ajuste de la temperatura:

6.5.1 Las placas con el ligante viscoso aplicado o el ligante residual de la emulsión y las partículas de agregado, se llevan a una cámara climática a $5 \pm 1^\circ \text{C}$, durante 20 ± 2 min.

6.6 Ejecución del ensayo:

6.6.1 Cada prueba se deberá realizar en un término de 1 minuto, bajo las mismas condiciones, de manera de obtener tres (3) resultados comparables con las tres (3) placas. El dispositivo para el ensayo deberá estar colocado sobre una base firme y rígida.

6.6.2 Se verifica la nivelación del equipo, haciendo los ajustes necesarios con los tornillos dispuestos para ello.

6.6.3 Se retira una placa de la cámara climática y se coloca en posición invertida sobre las puntas de las varillas de soporte del dispositivo, de manera que las partículas pétreas queden hacia abajo.

6.6.4 Se coloca la bola metálica en la canaleta del equipo y se suelta para que caiga libremente sobre el centro de la placa. La operación se debe repetir 3 veces en un término no mayor de 10 s.

6.6.5 Se repite el procedimiento con las otras dos placas.

6.6.6 Al término del tercer golpe, se examina la placa y se cuentan las partículas de la siguiente manera: (1) Número de partículas que se desprendieron de la placa y que no tienen manchas de ligante: A; (2) Número de partículas que se desprendieron de la placa y que tienen manchas de ligante: B; (3) Número de partículas que permanecieron adheridas a la placa: C

Nota 2: Se debe verificar que la suma $A + B + C$ se igual al número de partículas colocadas en cada placa

Nota 3: Los valores A, B y C que se presentan en el informe, deberán ser los promedios obtenidos al ensayar las tres placas.

6.7 Expresión de los resultados:

6.7.1 El valor de adherencia se expresa por el porcentaje de partículas manchadas, tanto las que quedan pegadas a las placas como las que caen, luego del ensayo de choque:

Valor de la adherencia = $B + C$ (si se emplearon 100 partículas) [775.1]

Valor de la adherencia = $2 \times (B + C)$ (si se emplearon 50 partículas) [775.2]

6.8 *Informe para las pruebas de adhesividad activa y adhesión mecánica:*

6.8.1 El informe del ensayo incluirá:

6.8.1.1 Tipo de ensayo: adhesión mecánica (vía seca) o adhesividad activa (vía húmeda).

6.8.1.2 Tipo y dosificación del ligante utilizado.

6.8.1.3 Tipo, tamaño y cantidad de partículas de gravilla utilizadas.

6.8.1.4 Tipo y proporción de activante (si se empleó).

6.8.1.5 Resultados, según el numeral 6.7.1.

7 PROCEDIMIENTO PARA DEFINIR LA TEMPERATURA DE HUMIDIFICACIÓN

7.1 *Preparación de los materiales:*

7.1.1 La preparación del agregado es como la descrita en el numeral 6.1.1, salvo que no se pueden emplear partículas húmedas. La preparación del ligante es igual a la descrita en el numeral 6.1.2.

7.2 *Preparación de las placas:*

7.2.1 Las placas se preparan de manera similar a la indicada en el numeral 6.2; sin embargo, las placas con el ligante se deben colocar en la cámara climática a diferentes temperaturas a partir de 5° C, en incrementos de 5° C; es decir, 5° C, 10° C, 15° C, 20° C y 25° C, durante 20 ± 2 min.

7.3 *Extensión y compactación del agregado (para ligantes diferentes de emulsiones):*

7.3.1 La distribución y compactación del agregado es la misma descrita en el numeral 6.3.

Nota 4: El ensayo de humidificación no aplica cuando se utilizan emulsiones asfálticas.

7.4 *Ajuste de la temperatura:*

7.4.1 El ajuste de la temperatura se realiza de la manera descrita en el numeral 6.5.

7.5 *Ejecución del ensayo:*

7.5.1 El ensayo se realiza conforme se indica en el numeral 6.6.

7.6 *Expresión de los resultados:*

7.6.1 La temperatura de humidificación se establece como la mínima temperatura a la cual se distribuyeron las gravillas sobre la placa, que dio lugar a 90 % o más de partículas manchadas con ligante luego de la prueba de choque, sea que ellas se hayan caído o hayan quedado adheridas a la placa. En otras palabras, es la menor temperatura a la cual B + C sea igual o mayor a 90 si se usaron 100 partículas, o igual o mayor a 45 si se usaron 50 partículas.

7.7 *Informe para la temperatura de humidificación:*

7.7.1 Como el mencionado en el numeral 6.8, excepto que los resultados que se reportan son los obtenidos en el numeral 7.6.1.

8 PROCEDIMIENTO PARA DEFINIR LA TEMPERATURA DE FRAGILIDAD

8.1 *Preparación de los materiales:*

8.1.1 La preparación del agregado es como la descrita en el numeral 6.1.1.

8.2 *Preparación de las placas:*

8.2.1 Las placas se preparan de la manera indicada en el numeral 6.2.

8.3 *Extensión y compactación del agregado (para ligantes diferentes de emulsiones):*

8.3.1 La distribución y compactación del agregado es la misma descrita en el numeral 6.3.

8.4 *Extensión del agregado (cuando el ligante es una emulsión asfáltica):*

8.4.1 La manera de distribuir el agregado es la descrita en el numeral 6.4.

8.5 *Ajuste de la temperatura:*

8.5.1 Se toman las placas con el cemento asfáltico o el ligante residual de la emulsión y las partículas de gravilla y se colocan en una cámara climática a diferentes temperaturas a partir de 5° C, decreciendo en intervalos de 5° C; es decir: 5° C, 0° C, - 5° C, - 10° C y - 15° C. El tiempo de permanencia de las placas en la cámara debe ser de 45 ± 2 min.

8.6 *Ejecución del ensayo:*

8.6.1 El ensayo se realiza conforme se indica en el numeral 6.6.

8.7 *Expresión de los resultados:*

8.7.1 La temperatura de fragilidad es la menor temperatura a la cual el número de partículas que quedan adheridas a la placa luego del ensayo de choque (C) es mayor de 90 si se usaron 100 partículas o mayor de 45 si se usaron 50 partículas.

8.8 *Informe para la temperatura de fragilidad:*

8.8.1 Como el mencionado en el numeral 6.8, excepto que los resultados que se reportan son los obtenidos en el numeral 8.7.1.

9 NORMAS DE REFERENCIA

EN 12272-3:2003

NLT 313 – 87

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE AL TAMAÑO DE ENSAYO

INV E – 776 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe procedimientos para reducir muestras voluminosas de mezclas asfálticas en caliente a un tamaño apropiado para los diferentes ensayos que se necesiten realizar, empleando técnicas con las cuales se intentan minimizar las variaciones en las características medidas entre las muestras seleccionadas de la misma muestra de gran volumen.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Las especificaciones para las mezclas asfálticas requieren el muestreo de porciones del material para someterlas a diferentes ensayos. A igualdad de otros factores, las muestras de gran tamaño tienden a ser más representativas del total del material. Esta norma presenta procedimientos para reducir una muestra grande, obtenida en el campo o producida en el laboratorio, a un tamaño conveniente para la ejecución de pruebas descriptivas del material y establecer su calidad, de tal manera que la porción más pequeña del material muestreado sea representativa de la muestra mayor y, por lo tanto, del total del material. El incumplimiento de los procedimientos descritos en esta norma se puede traducir en la obtención de muestras faltas de representatividad para los ensayos previstos. Los métodos individuales de prueba requieren determinadas porciones mínimas de material para ensayo.

3 SELECCIÓN DEL MÉTODO

- 3.1** La elección de un método para reducir el tamaño de una muestra depende, principalmente, del volumen o masa de ésta. Cuando es grande, se recomienda el uso de un cuarteador mecánico, lo que permite reducir el tiempo necesario para la reducción y minimiza la pérdida de temperatura. Para reducciones posteriores, se puede emplear un método de cuarteo manual.

4 MUESTREO

- 4.1 Las muestras de la mezcla asfáltica se deben tomar en el campo o en la planta, de acuerdo con lo especificado en la norma INV E-731 o como lo requieran los métodos de prueba individuales. Cuando se deban realizar pruebas adicionales, el encargado de hacerlas se debe asegurar de que el tamaño inicial de la muestra del terreno sea adecuado para llevarlas a cabo. Procedimientos similares se deberán usar con las mezclas producidas en el laboratorio.

5 MÉTODO DEL CUARTEADOR MECÁNICO

5.1 Equipo:

- 5.1.1 *Cuarteador mecánico tipo A* – Debe tener cuatro ductos de ancho igual, los cuales descargan el material en cuatro recipientes de tamaño apropiado. El cuarteador deberá tener una tolva que contenga toda la muestra de campo, hasta que al accionar una manija se libere el material, permitiéndole caer a través de un elemento de división que la separa en cuatro porciones. El cuarteador debe estar diseñado de manera que la muestra fluya suavemente sin restricciones o pérdidas de material (Figuras 776 - 1, 776 - 2 y 776 - 3).

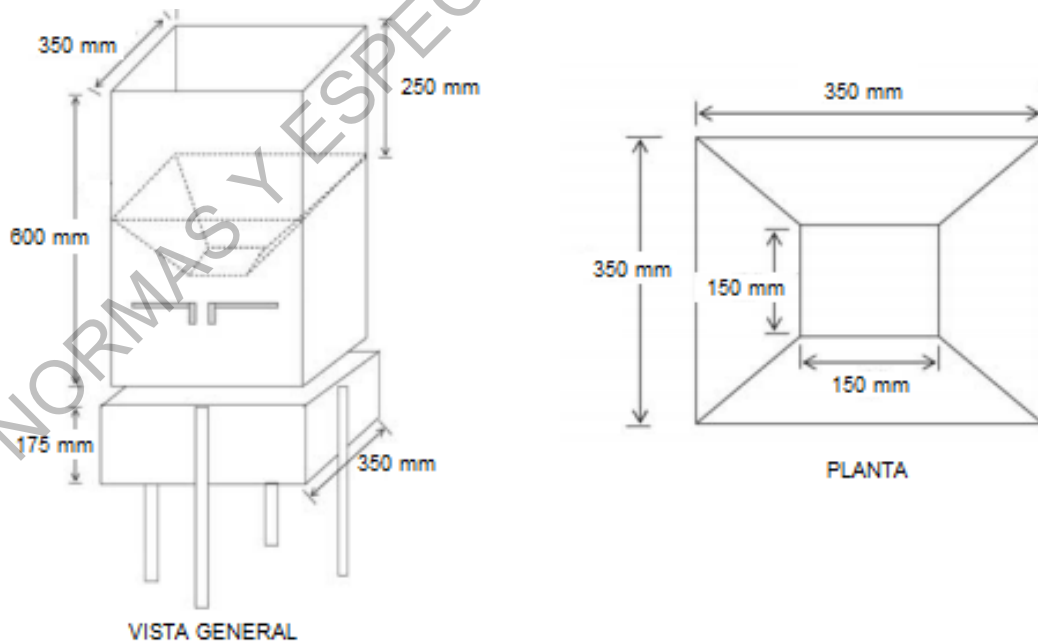


Figura 776 - 1. Cuarteador mecánico tipo A para mezclas asfálticas

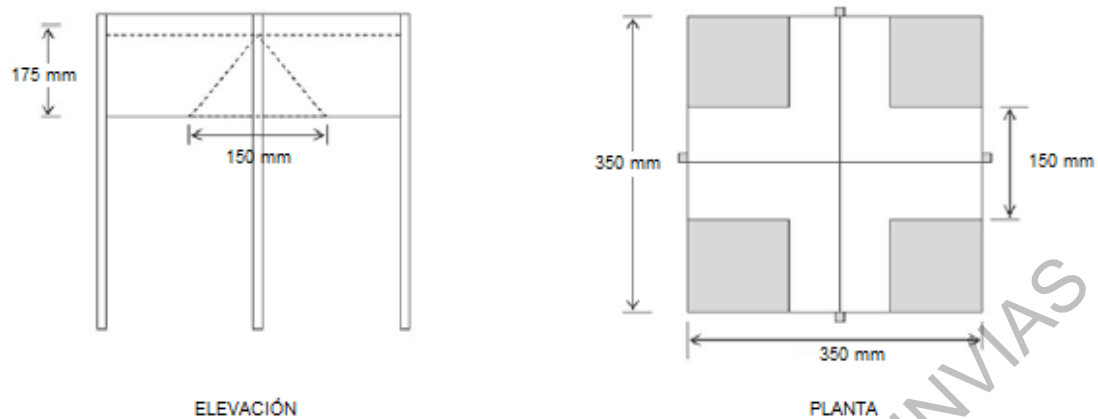


Figura 776 - 2. Vista en planta y elevación de la parte inferior del cuarteador mecánico A

5.1.2 Cuarteador mecánico tipo B – Debe tener un número par de ductos de igual ancho, pero no menos de ocho, los cuales descargan de manera alternativa a uno y otro lado del cuarteador. El ancho mínimo de cada ducto deberá ser, aproximadamente, cincuenta por ciento (50 %) mayor que la partícula más grande en la muestra que se va a cuartear. El cuarteador debe estar equipado con dos recipientes para contener las dos mitades en las cuales se divide la muestra. Además, deberá disponer de una tolva o canaleta de forma ortogonal, de ancho igual o levemente inferior al ancho total del ensamble de los ductos, con la cual se alimenta la muestra a los ductos de una manera controlada. El cuarteador y sus accesorios deberán estar diseñados de manera que la muestra fluya suavemente sin restricciones o pérdidas de material



Figura 776 - 3. Cuarteador tipo A y recipientes para recibir las descargas

5.2 Procedimiento:

- 5.2.1** El cuarteador y sus elementos accesorios se deben calentar a no más de 110° C (230° F), temperatura que se deberá verificar con un termómetro sin contacto. Las superficies del cuarteador que vayan entrar en contacto con la mezcla caliente se deberán recubrir con un producto antiadherente aprobado que prevenga aglomeraciones o pérdidas de ligante y de finos. El producto no deberá contener solventes o derivados de petróleo que puedan afectar las propiedades del asfalto.
- 5.2.2** *Cuarteador mecánico tipo A* – Se coloca la muestra de mezcla de campo o de laboratorio en la tolva y se ubican en posición los cuatro recipientes que van a recibir las porciones reducidas de la muestra. La tolva se debe llenar con el cuidado suficiente para evitar la segregación de la mezcla. Se acciona la manija que permite la salida de la mezcla de la tolva hacia los cuatro recipientes (Figuras 776 - 4 y 776 - 5). Se reintroduce en la tolva el contenido de dos recipientes opuestos preseleccionados y se repite la operación tantas veces como sea necesario hasta reducir la muestra al tamaño especificado para los ensayos por realizar.



Figura 776 - 4. Accionamiento de la manija para permitir la caída de la mezcla



Figura 776 - 5. Recipientes con la muestra cuarteada

- 5.2.3** *Cuarteador mecánico tipo B* – Se coloca la muestra original en la tolva o canaleta alimentadora, distribuyéndola uniformemente de lado a lado, de manera que al ser introducida por los ductos pasen cantidades aproximadamente iguales a través de cada uno. La velocidad a la cual se debe introducir la muestra debe ser tal, que permita su libre descenso por los ductos hacia los recipientes inferiores. Se reintroduce en el cuarteador la porción de la muestra que está en uno de los dos recipientes inferiores, repitiendo el proceso cuantas veces sea necesario para reducir la muestra al tamaño especificado para la prueba para la cual se necesita. La porción del material reunido en el otro recipiente inferior se puede conservar, para ser reducida en tamaño y empleada en pruebas futuras.

6 CUARTEO MANUAL

6.1 Equipo:

- 6.1.1** *Plantilla metálica para el cuarteo* – De un metal adecuado que soporte el calor y el uso sin deformarse. Debe estar configurada en forma de cruz con lados iguales (Figura 776 - 6), cuya longitud sea 1.1 veces el diámetro del cono aplanado de muestra que se va a muestrear. La altura de cada lado debe ser mayor que la altura del cono de mezcla por muestrear.

6.1.2 *Pala* – De fondo plano y con bordes rectos.

6.1.3 *Regla metálica* – O una espátula larga.

6.2 *Procedimiento:*

6.2.1 Se coloca la muestra original sobre una superficie dura, limpia y nivelada, donde no se presente pérdida del material ni adición accidental de otros materiales. La superficie debe estar recubierta con un producto antiadherente aprobado.

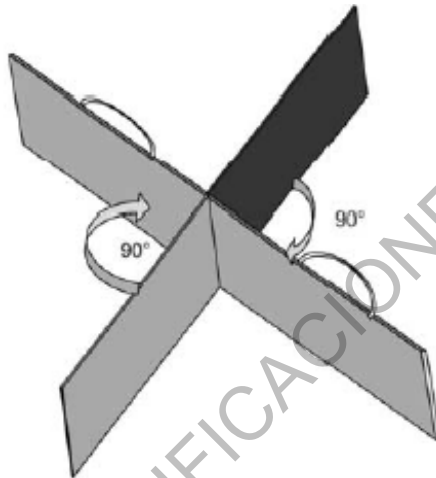


Figura 776 - 6. Plantilla para el cuarteo manual

6.2.2 Se mezcla el material completamente con la pala, volteando la totalidad de la muestra un mínimo de cuatro veces. Con la última vuelta, se forma una pila cónica depositando cada palada encima de la anterior. Se aplan cuidadosamente la pila cónica hasta conseguir un espesor y un diámetro uniformes, presionando su vértice con la pala de fondo plano. El diámetro deberá ser del orden de cuatro a ocho veces el espesor.

6.2.3 Se divide la muestra aplanada en cuatro cuartos iguales insertando la plantilla para el cuarteo y presionándola hacia abajo hasta que haga contacto con la superficie sobre la cual se colocó la muestra (Figura 776 - 7). Se admite el uso de reglas metálicas rígidas en lugar de la plantilla para separar completamente el material en cuatro partes aproximadamente iguales.

6.2.4 La muestra se reduce mediante alguno de los siguientes procedimientos:

- 6.2.4.1** Se retiran dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino. Se retira la plantilla. Se mezclan los cuartos remanentes y se repite la operación de cuarteo hasta que la muestra quede reducida al tamaño deseado.



Figura 776 - 7. División de la muestra en cuatro partes

- 6.2.4.2** Usando la regla metálica se hace un corte desde el centro hasta el borde de uno de los cuartos de mezcla. Se sostiene la regla de manera que su borde haga contacto con el centro del cuarteador y se rastrilla el material de una de las mitades de este cuarto de mezcla. Se remueve una porción igual del cuarto opuesto y las partes removidas se unen para repetir la operación hasta que la muestra quede reducida al tamaño requerido para el ensayo.

7 MÉTODO PROGRESIVO

7.1 Equipo:

7.1.1 *Papel no adherente* – O plástico resistente al calor.

7.1.2 *Espátulas largas, palas, regla metálica.*

7.1.3 *Equipo misceláneo* – Incluyendo palas, espátulas, placa calefactora, guantes resistentes al calor (no de asbesto), bandejas y recipientes.

7.2 Procedimiento:

7.2.1 Se coloca la muestra sobre una superficie dura, limpia y nivelada, donde no se presente pérdida del material ni adición accidental de

otros materiales. La superficie debe estar cubierta con un papel grueso o un plástico resistente al calor.

- 7.2.2** Se mezcla el material completamente, volteando la totalidad de la muestra un mínimo de cuatro veces. De manera alternativa, se levanta cada esquina del papel y se vuelca diagonalmente sobre la muestra hacia la esquina opuesta, haciendo rodar el material. Con la última vuelta, se levantan simultáneamente ambos extremos opuestos del papel para que se forme una pila cónica. Se observa que el material sea homogéneo.
- 7.2.3** Se sujeta el papel con firmeza, se enrolla el material para formar una barra cilíndrica y se aplana su parte superior.
- 7.2.4** Se hala el papel de manera que al menos $\frac{1}{4}$ de la longitud de la barra de mezcla quede por fuera de la superficie del mesón. Se permite que este material caiga dentro de un recipiente o, alternativamente, con la regla se separa más o menos $\frac{1}{4}$ de la longitud de la barra de mezcla y se coloca en un recipiente. Este material se descarta.
- 7.2.5** Se retira material adicional del borde del mesón y se vierte una porción de tamaño apropiado en una bandeja o recipiente. Alternativamente, se puede utilizar la regla para cortar la porción de la barra, la cual se coloca en la bandeja o recipiente.
- 7.2.6** Se repite el procedimiento hasta obtener la muestra del tamaño requerido para el ensayo.

8 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

AASHTO T-328-05

AASHTO R 47-08

CONSISTENCIA CON EL CONO Y TIEMPO DE ROTURA DE LAS LECHADAS ASFÁLTICAS

INV E – 777 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un procedimiento para determinar la consistencia mediante el cono y el tiempo de rotura de una lechada asfáltica.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-777-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Lechada asfáltica* – Mezcla de una emulsión asfáltica, agregados finos bien gradados, agua y llenante mineral, de consistencia fluida, homogénea y cremosa que, después aplicada en la superficie y tras la evaporación del agua, produce un mortero delgado, estanco y denso.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 El ensayo de consistencia consiste en llenar con la lechada un molde tronco-cónico apoyado sobre su base mayor en una escala circular graduada. Una vez retirado el molde, se mide el aumento de diámetro que experimenta la masa de lechada a causa de la fluencia. Se considera como adecuada una fluidez de la lechada de 2 a 3 cm.
- 3.2 Para determinar el tiempo de rotura, se fabrica una placa de lechada de consistencia adecuada, sobre la cual se presiona periódicamente una toalla o pañuelo de papel blanco hasta que no se presente una mancha de color marrón que sería sinónimo de emulsión libre.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 La determinación de la consistencia de la lechada es una operación muy importante, por cuanto permite definir el contenido óptimo de agua que asegura su adecuada manejabilidad. Además, a partir de ella se preparan las probetas para la dosificación de la lechada.

- 4.2 El ensayo del tiempo de rotura sirve para determinar el instante de la rotura inicial de la lechada.

5 EQUIPO Y MATERIALES

- 5.1 *Molde cónico* – Un molde en forma de tronco de cono, de metal o plástico rígido, de 38 mm (1 ½") de diámetro en su base superior, 89 mm (3 ½") de diámetro en su base inferior y 76 mm (3") de altura (Figura 777 - 1).
- 5.2 *Base graduada* – Una base plana metálica, cuadrada, de unos 228 mm (9") de lado y 3 mm (1/8") de espesor, alrededor de cuyo centro lleva impresos una serie de círculos concéntricos, el menor de 89 mm (3 ½") de diámetro y los restantes con radios crecientes en 10 mm al círculo que le precede.

Nota 1: Se pueden utilizar, igualmente, hojas de papel impresas con los círculos anteriores (Figura 777 - 1), las cuales se desechan después de cada ensayo. No es recomendable el empleo de placas de plástico grabadas, por el riesgo de desgaste y agrietamiento que sufren.



Figura 777 - 1. Molde tronco-cónico y base graduada

- 5.3 *Balanza* – De 2000 g de capacidad y 0.1 gramo de sensibilidad.
- 5.4 *Horno* – Termostáticamente controlado y de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F).
- 5.5 *Vasos de precipitados* – De 50 ml de capacidad y forma alta.

- 5.6 *Recipientes de porcelana* – De 150 ml de capacidad, de fondo plano y con pico.
- 5.7 *Plantilla metálica* – Cuadrada, de 150 mm (6") de lado y 6 mm (¼") de altura, para elaborar las probetas destinadas a determinar el tiempo de rotura.
- 5.8 *Filtro asfáltico* – U otro material no absorbente, en lámina cuadrangular, para utilizar como fondo y apoyo de los moldes de lechada asfáltica.
- 5.9 *Elementos misceláneos* – Toallas o pañuelos de papel, varillas de vidrio, espátulas, etc.

6 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA

- 6.1 *Preparación de la muestra de agregados* – Los agregados por utilizar en el ensayo se secan en el horno a 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F) hasta masa constante. A continuación, se separan por cuarteo las muestras para ensayo, de unos 400 gramos cada una.
- 6.2 *Preparación de la muestra de emulsión* – La emulsión se agita en su envase con una varilla gruesa de vidrio hasta conseguir su total homogeneidad, comprobando que no presente signos de rotura o sedimentación. Las cantidades para ensayo se tomarán directamente del envase. La cantidad de emulsión por incluir en las diferentes mezclas se debe definir previamente, mediante cálculos basados en la superficie específica del agregado mineral.
- 6.3 *Preparación de las muestras de lechada:*
- 6.3.1 Antes de fabricar las mezclas de lechada, los diferentes materiales (agregados, llenante mineral, aditivo, emulsión y agua) se deben mantener a temperatura ambiente durante una hora.
- 6.3.2 Se pesa y se determina la tara del recipiente para fabricar la mezcla, con aproximación de 0.1 g.
- 6.3.3 Se pesan sucesivamente en este recipiente 400 g de agregado seco y, a continuación, las proporciones elegidas de llenante mineral y agua, con el aditivo necesario cuando así lo exija la composición de la mezcla; seguidamente, se procede al amasado de estos componentes hasta su total mezclado.

- 6.3.4** Se añade la cantidad fijada de emulsión, preparada según lo descrito en el numeral 6.2, mezclándose el conjunto de materiales entre 1 y 3 minutos, hasta obtener una masa homogénea (Figura 777 - 2).

Nota 2: La humedad relativa ideal para la realización de este ensayo es del $50 \pm 5 \%$, pudiendo variar los resultados cuando se opere con otros valores de la humedad. Igualmente, la temperatura adecuada es de $25 \pm 1^\circ \text{C}$. Se debe anotar la temperatura ambiente en el momento de elaborar las mezclas.



Figura 777 - 2. Lechada homogénea

- 6.3.5** El número de muestras por preparar depende de los resultados que se vayan obteniendo en el ensayo; generalmente, será necesario ensayar diferentes mezclas con porcentajes variables de agua y el óptimo estimado de emulsión, hasta conseguir una amasada con la consistencia adecuada.

6.4 Ejecución del ensayo de consistencia:

- 6.4.1** Se coloca la base graduada circular sobre una superficie horizontal firme, centrando sobre ella la base mayor del molde tronco-cónico. Si se utilizan las hojas impresas de papel, se procede de la misma forma utilizando como base cualquier superficie horizontal.
- 6.4.2** La lechada recién fabricada se vierte suavemente en el interior del cono a través de la abertura superior con ayuda de una espátula, hasta un ligero exceso; se enrasa y seguidamente se levanta el molde con un movimiento vertical rápido.
- 6.4.3** Una vez retirado el molde se deja que la lechada fluya libremente sobre la base graduada, hasta que se deje de extender.

- 6.4.4** Se mide la fluencia, en centímetros, alcanzada por la lechada en cuatro puntos de la escala de círculos de la base graduada, separados entre sí 90°, y con una aproximación de 0.5 cm. El resultado será el valor promedio de las 4 lecturas, aproximado a ± 0.5 cm. Si el contenido de agua es muy bajo, el cono no se derrumba, mientras que si es muy alto, la lechada fluirá considerablemente (Figura 777 - 3).

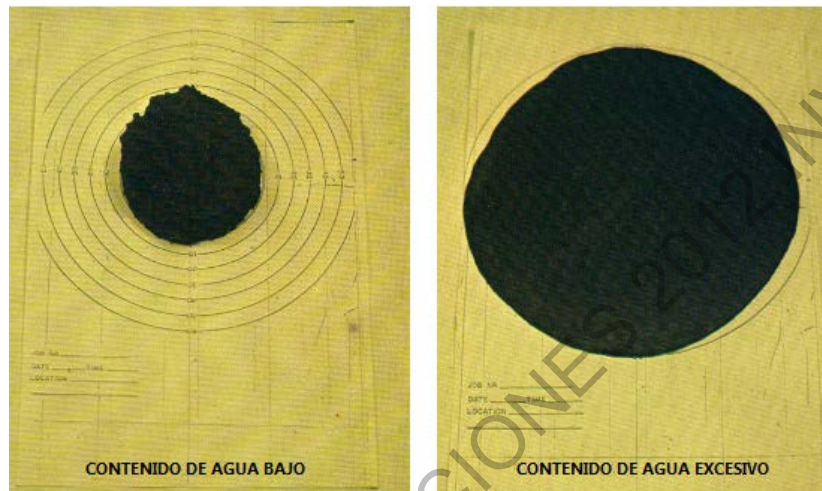


Figura 777 - 3. Lechadas de poca y excesiva fluidez

- 6.4.5** Se considera que el contenido óptimo de agua es aquel que proporciona a la lechada una fluencia entre 2 y 3 cm (Figura 777 - 4).

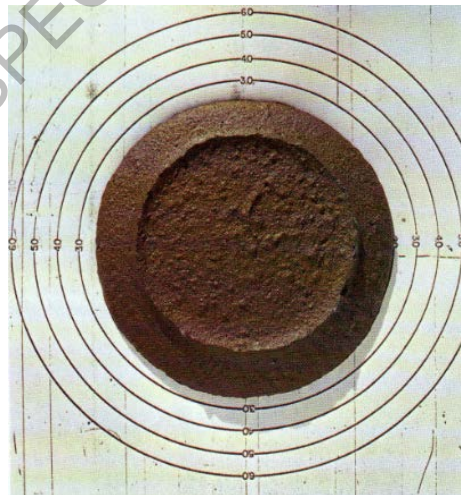


Figura 777 - 4. Lechada de consistencia óptima

- 6.4.6** Para facilitar la determinación del porcentaje de agua buscado, los resultados que se vayan obteniendo con diferentes contenidos de agua se pueden representar gráficamente (Figura 777 - 5).

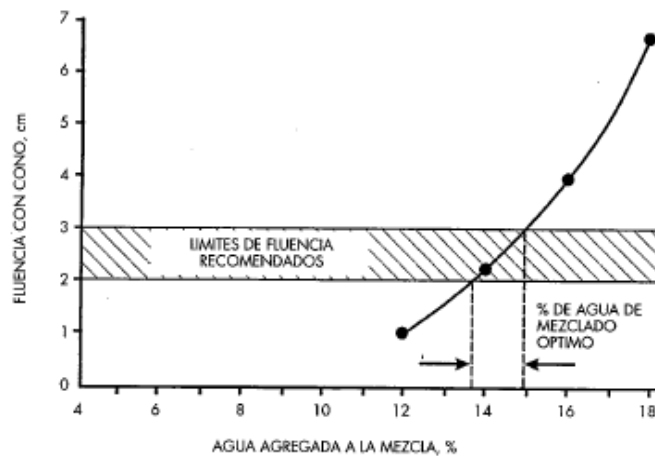


Figura 777 - 5. Fluencia del cono contra contenido de agua

7 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE ROTURA

- 7.1** A la mezcla o mezclas de lechada asfáltica que presentan una consistencia adecuada se les determinan sus características de rotura. Para ello, se vierte una muestra de la emulsión sobre una almohadilla de fieltro asfáltico de 150 mm (6") de lado, con ayuda de la plantilla de 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") de altura (Ver numeral 5.7), en un ambiente con una temperatura de $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 2^\circ \text{F}$) y una humedad relativa de $50 \pm 5\%$.
- 7.2** Transcurridos 15 minutos, se presiona la superficie de la lechada con una toalla o un pañuelo de papel blanco. Si el papel no se queda manchado de un color marrón, se considera que la lechada ha alcanzado la rotura; pero si la mancha aparece, se debe repetir el proceso a intervalos de 15 minutos hasta que ella desaparezca. Si después de 3 horas se siguen presentando manchas, se aumentan los intervalos de inspección a 30 minutos.
- 7.3** El tiempo requerido para que el papel no sea manchado, se reporta como tiempo de rotura de la emulsión.

8 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASTM D 3910 – 11

NLT 317/00

ELSAMEX S.A, "Lechadas bituminosas. Slurry Seal", Grupo ESM, Madrid, España

ABRASIÓN DE LAS LECHADAS ASFÁLTICAS POR VÍA HÚMEDA (WTAT)

INV E – 778 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento para determinar en el laboratorio las pérdidas de masa por abrasión que sufre una muestra de lechada asfáltica, al someterla a desgaste por abrasión por vía húmeda.
- 1.2 Mediante este método es posible determinar el contenido mínimo de emulsión necesario para que las pérdidas por abrasión sean inferiores al valor límite establecido por las especificaciones.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-778-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 El ensayo consiste en someter una probeta de lechada, curada previamente en un horno y sumergida en agua, a la acción abrasiva producida por un cilindro de caucho duro que frota su superficie con un movimiento planetario durante cinco minutos.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Mediante este procedimiento se pueden definir los valores mínimos de emulsión, necesarios para obtener una lechada bituminosa con la cohesión suficiente para resistir la acción abrasiva producida por el tránsito automotor.

4 EQUIPO

- 4.1 *Máquina de abrasión* – Consta, básicamente, de un motor eléctrico que hace girar, mediante un movimiento planetario, un eje vertical de ensayo con un movimiento doble de rotación y traslación. En el extremo inferior del eje va montado el cabezal de abrasión, que roza directamente la probeta de lechada durante el ensayo. El equipo está diseñado para proporcionar al cabezal de

abrasión una velocidad de rotación aproximada de 15 rad/s (144 rpm) en 61 vueltas completas del sistema planetario, mientras actúa sobre la probeta con una fuerza de 22.3 N (2.27 kgf). Para asegurar la constancia de esta fuerza sobre la probeta durante todo el ensayo, el eje del cabezal deberá tener un recorrido libre vertical de 12.7 mm.

- 4.2** *Baño de ensayo* – Recipiente metálico circular de fondo plano y grueso, de capacidad adecuada para mantener la probeta sumergida en el agua durante todo el ensayo. Deberá estar provisto de 3 pivotes para la sujeción de la base en ensayo.
- 4.3** *Base de ensayo* – Formada por un disco metálico de 31 cm de diámetro y 5 mm de espesor, sobre el cual se fija la probeta durante el ensayo, para lo cual deberá llevar en su periferia 3 o 4 abrazaderas con tornillos de cabeza moleteada, dispuestas simétricamente.
- 4.4** *Montaje del equipo de abrasión (Figura 778 - 1)* – La base de ensayo se fija en el fondo del baño mediante los pivotes de sujeción. Además, la máquina de abrasión y el baño de agua se deberán poder unir rígidamente mediante algún dispositivo durante la realización del ensayo.



Figura 778 - 1. Equipo de abrasión por vía húmeda

- 4.5** *Termostato* – Del tipo fuera de borda, que pueda mantener la temperatura del agua del baño a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 2^\circ \text{F}$).
- 4.6** *Baño auxiliar* – Un baño de agua para acondicionar las probetas antes del ensayo a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 2^\circ \text{F}$).
- 4.7** *Moldes anulares* – Las probetas para el ensayo tienen forma circular y se fabrican en moldes metálicos planos en forma de anillo, de $279 \pm 0.5 \text{ mm}$ de diámetro interior y $295 \pm 0.5 \text{ mm}$ de diámetro exterior. Se debe disponer de

moldes con alturas interiores de 6.3 ± 0.5 mm, 8.2 ± 0.5 mm y 11.5 ± 0.5 mm, cada uno de los cuales se usará de acuerdo con el tamaño máximo del agregado de la lechada.

- 4.8** *Soportes de las probetas* – Como base –soporte de las probetas se pueden usar discos de plástico semirrígido de 30 cm de diámetro, recortados de losetas de 30×30 cm. Estos discos se deben numerar y pesar, anotándose los datos respectivos.
- 4.9** *Cabeza abrasiva de caucho* – Será una manguera de caucho reforzado (dos lonas, 300 lb/pg^2 , con revestimiento resistente al aceite), de 19 ± 0.5 mm de diámetro interior y 31 mm de diámetro exterior, fabricada con una cubierta de 2 lonas, para una presión aproximada de 25 atmósferas y dureza de 80 grados Shore. La manguera se debe cortar en trozos de 127 ± 1 mm de longitud, que se montan en el cabezal de abrasión (Figura 778 - 2).
- 4.10** *Recipientes para mezclado* – Serán metálicos, con pico y de fondo circular grueso, de 1, 3 y 5 litros de capacidad.
- 4.11** *Espátula triangular* – Con mango de madera y hoja de unos 3 cm de ancho con su extremo redondeado.
- 4.12** *Enrasador metálico* – De borde recto, rígido y afilado en bisel por una de sus caras, con mango de madera y hoja de unos 36 cm de largo y 4 cm de ancho.
- 4.13** *Cronómetro* – O reloj eléctrico, graduado en 0.1 s y con exactitud de 0.1 s en 60 s.
- 4.14** *Balanzas* – Una de 5000 g de capacidad y sensibilidad de ± 1.0 g, y otra de 2000 g de capacidad y sensibilidad de ± 0.1 g.
- 4.15** *Horno* – De ventilación forzada, controlable termostáticamente y con capacidad mínima de 80 litros.

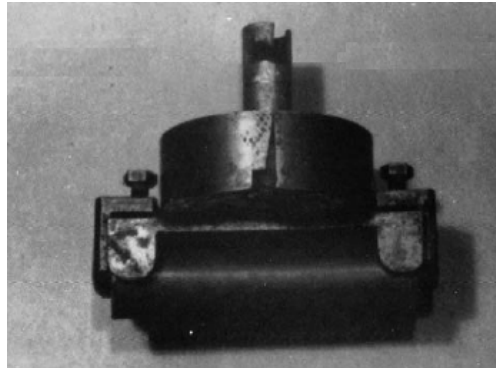


Figura 778 - 2. Ensamble de la cabeza de caucho abrasiva

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Preparación de los materiales:

- 5.1.1 Agregados** – Se seca en el horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ hasta masa constante, una cantidad suficiente de la mezcla de agregados, con las proporciones que se vayan emplear en la fabricación de la lechada.
- 5.1.2 Emulsión** – La muestra de emulsión se homogeniza directamente en su envase mediante una varilla gruesa de vidrio, no debiendo presentar signos de rotura o de sedimentación. Las muestras para elaborar las probetas se tomarán directamente de este envase.
- 5.1.3 Llenante mineral** – El llenante mineral, que puede ser cemento, cal hidratada u otro material que cumpla las características de calidad exigidas, deberá estar completamente seco antes de ser incorporado a la mezcla.

5.2 Elaboración de las probetas:

- 5.2.1** Todos los materiales empleados en la preparación de la lechada deberán haber permanecido a temperatura ambiente, al menos en la hora previa a su empleo.
- 5.2.2** Se deberá fabricar un mínimo de tres probetas por cada variación en cualquier componente. La proporción de agua de amasado será la definida como óptima en el ensayo de consistencia (norma INV E-777).

5.2.3 Se pesa la cantidad necesaria de agregados para fabricar una probeta (normalmente 800 g) en un recipiente metálico de tara conocida, añadiendo a continuación la cantidad correspondiente de llenante mineral y se mezclan ambos materiales con la espátula hasta obtener una mezcla homogénea (aproximadamente un minuto).

5.2.4 Se añade la proporción previamente determinada de agua de amasado y se mezcla con la espátula durante un minuto o hasta que se observe que el agregado se encuentra humedecido de manera homogénea.

Nota 1: Se puede emplear agua del grifo, siempre que su dureza sea menor a 250 ppm de carbonato de calcio.

5.2.5 Finalmente, se añade la cantidad de emulsión correspondiente y se mezcla con la espátula hasta lograr homogeneidad durante un lapso de 1 a 3 minutos.

Nota 2: Se puede emplear una mezcladora mecánica de tamaño apropiado. Los tiempos de mezclado serán los mismos que en el mezclado manual.

5.2.6 El tipo de molde para fabricar la probeta se elige en función del tamaño máximo del agregado. La altura del molde deberá ser mayor que dicho tamaño, al menos en 25 %.

5.2.7 Se coloca el molde anular sobre la base-soporte de material plástico y, en seguida, se vierte la lechada en su interior, se extiende y se nivela con el enrasador apoyado sobre la cara plana del molde, hasta obtener una superficie lisa y uniforme. La manipulación de la lechada durante esta operación debe ser la mínima posible, para evitar segregaciones que alteren su homogeneidad.

5.2.8 Transcurridos unos 3 minutos se levanta cuidadosamente el molde anular, dejando la probeta sobre la base-soporte (nota 3).

Nota 3: La retirada del molde no se debe retrasar más de 5 minutos, para evitar deformaciones de la probeta durante este proceso de curado.

5.2.9 La probeta, colocada sobre su soporte, se somete a curado en el horno a $60 \pm 3^\circ \text{C}$ hasta masa constante, durante un tiempo comprendido entre 15 y 24 horas.

5.3 Ejecución del ensayo:

- 5.3.1** Terminado el período de curado, se retira el conjunto probeta-soporte del horno, se permite que alcance la temperatura ambiente y se determina y anota su masa.
- 5.3.2** Seguidamente, se coloca el conjunto en el baño de agua a $25 \pm 0.5^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1^\circ \text{F}$) durante un lapso de 60 a 75 minutos.
- 5.3.3** Al finalizar este tiempo, se pasa el conjunto al baño para ensayo y se asegura al disco metálico de base ajustando las abrazaderas de tornillos. Se cubre la probeta con una lámina de agua de por lo menos 6 mm, regulada a $25 \pm 0.5^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1^\circ \text{F}$) por el termostato del tipo de fuera de borda.
- 5.3.4** Se sujeta en el cabezal de abrasión el trozo de manguera preparado según el numeral 4.9 y se apoya suavemente sobre la superficie de la probeta.
- 5.3.5** Inmediatamente, se pone en marcha la máquina de abrasión a la velocidad indicada en el numeral 4.1, durante un tiempo de $5 \text{ min} \pm 2 \text{ s}$ (Figura 778 - 3).

Nota 4: Se debe emplear un trozo nuevo de manguera para cada ensayo, aunque se permite un segundo ensayo utilizando la superficie virgen superior de la manguera, girándola 180° .



Figura 778 - 3. Ensamble de la cabeza de caucho abrasiva

- 5.3.6** Terminado el ciclo de abrasión, se retira el conjunto de la probeta sobre su soporte y se lava con un chorro de agua suave del grifo para eliminar los residuos de materiales sueltos; en seguida, se coloca en el horno a 60°C (140°F), y se mantiene allí hasta que alcance masa constante (15 a 20 horas).
- 5.3.7** Se retira el conjunto probeta-soporte del horno, se permite que alcance la temperatura ambiente y se determina y anota su masa.

6 CÁLCULOS

6.1 Se determina, para cada probeta, la diferencia entre las masas en estado seco del conjunto probeta-soporte, antes y después del ensayo de abrasión (numerales 5.3.1 y 5.3.7).

6.2 El valor obtenido en el numeral 6.1 se multiplica por 32.9 para obtener la pérdida de masa de la probeta en g/m^2 (nota 5).

Nota 5: El factor de conversión (32.9) sólo es válido para una superficie de abrasión producida en el ensayo de 0.03048 m^2 (equivalente a un círculo de 197 mm de diámetro) por una manguera de caucho de 127 mm de longitud.

6.3 El resultado del ensayo de abrasión por vía húmeda se expresa en g/m^2 y se obtiene calculando el promedio de tres probetas, presumiblemente idénticas, ensayadas según esta norma.

7 PRECISIÓN

7.1 Para esta práctica no ha sido establecida la precisión; sin embargo, se está considerando la posibilidad de su desarrollo con base en series de ensayos entre laboratorios, diseñadas con criterio estadístico.

8 NORMAS DE REFERENCIA

NLT 320/00

ASTM D 3910 – 11

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MEDIDA DEL EXCESO DE ASFALTO EN LECHADAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA ADHESIÓN DE ARENA EN LA MÁQUINA DE RUEDA CARGADA (LWT)

INV E – 779 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir en el laboratorio para determinar la exudación que sufre una muestra de lechada asfáltica, al someterla a compactación con una rueda cargada bajo unas condiciones especificadas.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-779-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Una probeta elaborada con lechada asfáltica, previamente acondicionada, se somete al paso repetido de una rueda de caucho cargada. Luego se cubre con arena caliente y se somete a nuevos ciclos de carga. La cantidad de arena que queda adherida a la probeta es un indicador del exceso de ligante que tiene la lechada.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 El ensayo de rueda cargada tiene como propósito compactar mezclas de lechada asfáltica por medio de una rueda de caucho con movimiento de vaivén. El ensayo se puede emplear con el fin de determinar el contenido máximo de emulsión que puede tener una lechada, para evitar exudaciones severas bajo las cargas del tránsito pesado.

4 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1 *Máquina de rueda cargada:*

4.1.1 Se empleará la máquina representada en la Figura 779 - 1, la cual consta de las siguientes partes principales (la letra que identifica las piezas es la indicada en la figura):

- a) Marco ajustable de acero acanalado;
- b) Placa de montaje para muestras;
- c) Motor, con accesorios de acoplamiento, de 1/3 HP y 750 rpm;
- d) Engranaje reductor horizontal, de doble salida y de relación 40:1;
- e) Biela motriz de 15.216 cm (6") de radio;
- f) Brazos conectores de conducción ajustables, de acero acanalado;
- g) Caja metálica porta-pesas, ajustable para centrarla sobre el eje de la rueda;
- h) Ensamblaje con rueda neumática de 7.61 cm (3") de diámetro por 2.54 cm (1") de ancho, de caucho blando (dureza 60-70), montada a una distancia de 60.86 cm (24") de los ejes motores que la impulsan;
- i) Contador de revoluciones, reposicionable a ceros;
- j) Bolsas de 5 a 25 libras con perdigones de plomo # 7 y #8;
- k) Placas de acero galvanizado calibre 24 para el montaje de las muestras, de 7.61 × 40.58 cm (3 × 16"), sin rebabas;
- l) Moldes para muestras, de las siguientes medidas:
 - Espesores: 3.2, 4.8, 6.3, 8.0, 9.5 y 12.7 mm (0.125, 0.188, 0.250, 0.313, 0.375 y 0.500");
 - Dimensiones exteriores: 7.61 × 40.58 cm (3 × 16");
 - Dimensiones interiores: 5.08 × 38.04 cm (2 × 15");

- m) Varilla de madera o metal para enrasar, de 25 mm (1") de diámetro y 150 mm (6") de longitud, o tabla maestra en forma de U;
- n) Marco de acero para arena de las siguientes dimensiones: $0.48 \times 6.34 \times 38.04$ cm ($0.188 \times 2.5 \times 15$ ") exteriormente y 3.80×35.50 cm (1.5×14 ") interiormente, revestido con caucho espumoso adhesivo;
- o) Báscula de plataforma de 250 libras de capacidad, con sensibilidad de 1 libra.

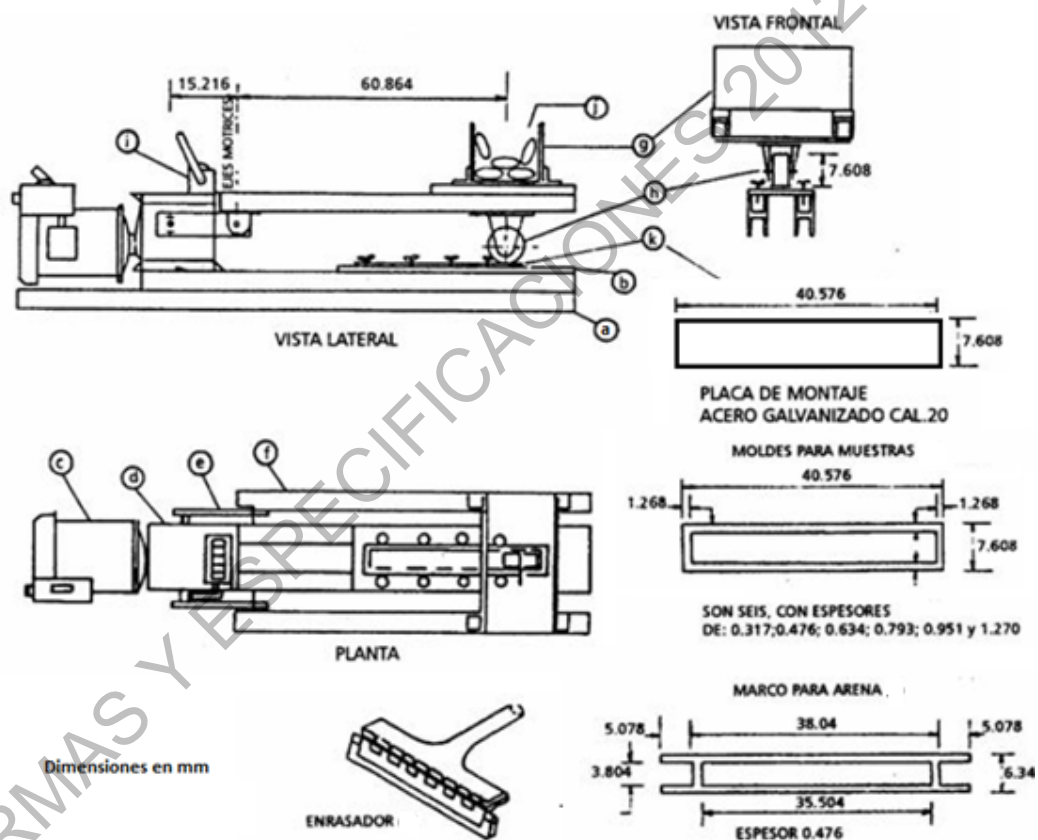


Figura 779 - 1. Máquina para el ensayo de rueda cargada

4.2 Equipo para la preparación de las muestras:

- 4.2.1 *Balanzas* – Una balanza de 2000 o más gramos de capacidad y con sensibilidad de ± 1 gramo.
- 4.2.2 *Horno* – Un horno capaz de mantener temperaturas constantes de 60° C y 82° C, dentro de una tolerancia de $\pm 3^\circ$ C.

- 4.2.3** *Recipiente para mezcla* – Será de fondo grueso, y adecuado para contener la muestra durante el mezclado, con capacidad de 600 a 1000 ml.
- 4.2.4** *Espátula o cuchara.*
- 4.2.5** *Varilla para enrasar* – La misma mencionada en el inciso m del numeral 4.1.1.



Figura 779 - 2. Máquina y accesorios para el ensayo de rueda cargada

4.3 *Equipo y materiales para la prueba de adhesión de arena:*

- 4.3.1** *Arena de Ottawa fina* – O similar, con tamaños comprendidos entre los tamices de 600 μm (No. 30) y 150 μm (No. 100).
- 4.3.2** *Horno* – Para calentar la arena a 82° C (180° F).
- 4.3.3** *Tamices* – Uno de aberturas de 600 μm (No. 30) y otro de 150 μm (No. 100).
- 4.3.4** *Cazuela* – Cazuela metálica con capacidad de 1000 a 5000 ml.
- 4.3.5** *Termómetro* – Un termómetro de – 10° C a 110° C, para medir la temperatura de la arena.
- 4.3.6** *Aspiradora* – Una aspiradora de vacío casera.
- 4.3.7** *Marco de acero para arena* – El descrito en el inciso n del numeral 4.1.1.

4.4 *Elementos opcionales:*

4.4.1 *Aparatos opcionales para compactación y para medir deformaciones, como un medidor de perfil y calibradores adecuados.*

5 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

- 5.1** Las lechadas asfálticas para el ensayo se preparan de acuerdo con las fórmulas de trabajo establecidas en su diseño. Antes de la elaboración de las mezclas, todos los materiales se deben mantener a 25° C durante un lapso no menor de 60 min.
- 5.2** Se elige el molde para preparar las probetas, considerando que su espesor debe ser, aproximadamente, 1.25 veces el tamaño máximo nominal del agregado de la lechada.
- 5.3** Se pesa en el recipiente de mezclado el agregado requerido para llenar el molde, añadiendo un exceso de 25 a 35 %. Normalmente, 300 gramos de agregado son suficientes para llenar el molde de 6.3 mm (¼").
- 5.4** Usando la espátula o cuchara, se mezcla en seco el llenante mineral con los agregados por un minuto o hasta que la distribución sea uniforme; se agrega la cantidad de agua y se mezcla otra vez por un minuto o hasta que todas las partículas de los agregados estén uniformemente humedecidas. Finalmente, se agrega la cantidad predeterminada de emulsión y se mezcla por un período no mayor de 60 segundos.
- 5.5** El molde seleccionado se coloca sobre una placa de montaje previamente pesada e inmediatamente se vierte la lechada sobre él hasta que rebose.
- 5.6** Utilizando el enrasador y con un movimiento horizontal de zigzag se enrasa la lechada con la parte superior del molde, con un mínimo de manipulación (el enrasado excesivo contribuye a la segregación). El exceso de material se retira y se descarta.
- 5.7** Cuando la probeta ha endurecido lo suficiente para prevenir desplazamientos, se le retira el molde. Se coloca la probeta en el horno a 60° C para secarla hasta masa constante (mínimo 12 horas); luego, se saca del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente.

6 AJUSTE Y PESO DE LA MÁQUINA DE RUEDA CARGADA

- 6.1 Los cojinetes del brazo de conexión y del ensamblaje de carga se ajustan y aseguran para que la distancia horizontal proyectada entre los ejes motores y la rueda sea de 60 cm (24"). El ensamblaje de la rueda se debe alinear para que la rueda ruede paralelamente al marco.
- 6.2 La caja de pesas se centra y se asegura directamente sobre el eje de la rueda.
- 6.3 La rueda se coloca sobre la báscula de plataforma cuidando que los brazos de conexión sean paralelos al marco y se colocan pesas de plomo en la caja, hasta obtener la masa especificada (generalmente 125 libras).

7 MONTAJE DE LA PROBETA

- 7.1 La probeta se monta con la placa de montaje firmemente ajustada contra los pines de fijación y se fija en posición con las arandelas de agarre y las tuercas de mariposa.

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1 La temperatura ambiente se debe mantener a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 2^\circ \text{F}$) o a la que se encuentre especificada.
- 8.2 Se coloca la rueda sobre la probeta, y se carga la caja de pesas con la masa deseada, previa inspección y limpieza de la rueda con un solvente evaporable y agua (nota 1).

Nota 1: Con el tiempo, los solventes pueden saturar la rueda de caucho produciendo valores erróneos del punto de adhesividad y de la adhesión de arena. Se recomienda un disco de lija fino montado en un taladro de 1/4" o de 3/8" para limpiar la rueda de caucho.

- 8.3 Se lleva a cero el contador de revoluciones y se inicia la compactación con el interruptor eléctrico. Las relaciones motrices deben producir 44 ciclos por minuto (Figura 779 - 3). Se deben evitar contactos personales con las partes móviles, para evitar accidentes.



Figura 779 - 3. Compactación de la probeta

- 8.4** En cierto instante durante la compactación, se pueden advertir un brillo visible y una pegajosidad audible. En este punto, se deberá añadir (con una botella de lavado) suficiente agua para prevenir la adhesión de la probeta a la rueda. Con ciertos agregados, puede ser necesario agregar agua hasta inundar completamente la huella de la rueda, tanto para prevenir la adhesión de la probeta a la rueda como el desprendimiento de partículas. Se debe anotar el número de revoluciones requerido para alcanzar este punto de adhesividad.
- 8.5** Al completar 1000 ciclos (o el número que se haya especificado) se detiene la máquina y se descarga. Se retira la probeta de su soporte, se lava para eliminar las partículas sueltas y se seca a 60° C (140° F) hasta masa constante.
- 8.6** Se anota la masa seca de la probeta (P_1) y se monta nuevamente en la placa de montaje, en su posición original. Se centra el marco para arena sobre la probeta con el caucho espumoso hacia ella, para prevenir pérdidas de arena. Se esparcen uniformemente dentro del molde de arena 300 g de la arena calentada a 82° C (180° F). Inmediatamente, se carga la rueda sobre la probeta y se somete a 100 ciclos adicionales (Figura 779 - 4) (nota 2).

Nota 2: De manera alternativa, se pueden repartir solo 200 g de arena de manera uniforme sobre el marco, cubriéndolos inmediatamente con una lámina metálica precalentada de 1/8 x 1-3/8 x 14-7/8" y haciendo rodar la rueda los 100 ciclos finales sobre la lámina metálica. Mediante este procedimiento se obtiene una mejor reproducibilidad y se produce menos suciedad en el área de trabajo.

- 8.7** Se remueve toda la arena suelta usando la aspiradora, se retira la probeta de la máquina y se determina su masa (P_2). Se anota el aumento en la masa debido a la adhesión de arena ($P_2 - P_1$).

Nota 3: Cuando se utiliza la lámina metálica, la aspiradora de vacío es innecesaria. El ensamblaje de la probeta se puede desmontar como una unidad, se desarma sobre un recipiente para desperdicios y se golpea suavemente para remover la arena no adherida.



Figura 779 - 4. Rueda actuando sobre la capa de arena

- 8.8** Se deben fabricar por lo menos tres probetas para cada variación en proporción o en calidad de los ingredientes de la mezcla.



Figura 779 - 5. Probetas luego del ensayo

9 CÁLCULOS

- 9.1** La arena adherida a las probetas se expresa en gramos por metro cuadrado (g/m^2), de acuerdo con el siguiente procedimiento:

9.1.1 Se determina, para cada probeta, el aumento de masa, en gramos, a causa de la adhesión de la arena. Este es el valor $(P_2 - P_1)$ indicado en el numeral 8.7.

9.1.2 El promedio de los valores $(P_2 - P_1)$ para el grupo de tres probetas correspondientes a las mismas proporciones de ingredientes en la mezcla, se tomará como la cantidad de arena adherida para esa proporción (\bar{P}).

9.1.3 Se expresa la cantidad promedio de arena adherida en las tres probetas idénticas, en g/m^2 , con la expresión:

$$\text{Arena adherida, g/m}^2 = \frac{\bar{P}}{0.0135} \quad [779.1]$$

Nota 4: El valor 0.0135 es el área de la probeta cubierta con arena, en m^2 , de acuerdo con las dimensiones mostradas en la Figura 779 - 1.

10 INFORME

10.1 Se debe reportar la siguiente información:

10.1.1 Identificación y características de la lechada.

10.1.2 Cantidad de arena adherida a cada probeta y el promedio de las tres probetas correspondientes a las mismas proporciones de ingredientes en la lechada, g/m^2 .

10.1.3 Número de ciclos a los cuales se presentó la adhesividad audible y el brillo visible (Punto de adhesividad).

11 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ISSA, "Technical Bulletin No. 109", December 1976, Revised 1990

AG: PT/T273, June 2005

CALTRANS DIVISION OF MAINTENANCE, "MTAG Volume I Flexible Pavement Preservation Chapter 8", 2nd Edition, October 24, 2007

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MÉTODO DE ENSAYO PARA CLASIFICAR LAS LECHADAS ASFÁLTICAS POR MEDIDA DEL PAR DE TORSIÓN, EN EL COHESIÓMETRO, EN FUNCIÓN DE LOS TIEMPOS DE ROTURA Y CURADO

INV E – 780 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un procedimiento para clasificar las lechadas asfálticas de acuerdo con la evolución de su consistencia, en función del tiempo de curado necesario para que presenten una determinada cohesión.
- 1.2 En el ensayo se miden los pares de torsión generados durante el desarrollo de las fuerzas de cohesión en la muestra, con los que se definen el tiempo de curado y el tiempo de apertura al tránsito a partir de un par de torsión determinado y del tiempo transcurrido desde que se fabrica la lechada hasta que alcanza dicho par.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-780-07.

2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

- 2.1 Para determinar el tiempo de curado, se extiende sobre un fieltro una capa de lechada de consistencia adecuada la cual, después de haber alcanzado la rotura, se somete periódicamente a la acción de torsión de una pieza circular de caucho, hasta alcanzar una torsión máxima constante o hasta que la pieza pase libremente sobre la superficie de la probeta sin que se suelte ninguna partícula de agregado.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 El ensayo de tiempo de curado brinda información sobre el tiempo requerido para poder librar al tránsito un tramo vial sometido a tratamiento con la lechada asfáltica, sin que se produzcan desperfectos en ella.

4 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1 Cohesiómetro (Figura 780 - 1)** – Constituido esencialmente por un cilindro neumático de presión, cuyo pistón tiene en la parte inferior una pata de caucho duro de 25.4 mm (1") de diámetro. El recorrido del pistón debe estar comprendido entre 35 y 40 mm. En la parte superior del cilindro está acoplado el torsiómetro o mecanismo utilizado para medir el par de torsión. El torsiómetro debe estar capacitado para medir esfuerzos entre 0 y 3.5 N-m (0 a 35 kgf-cm). La presión vertical que se ejerce sobre la lechada asfáltica debe provenir de una fuente de aire a presión, de un compresor portátil o de una bomba para inflar neumáticos de bicicletas. El aparato debe disponer de un sistema de toma de aire a presión y de conducción del mismo al cilindro neumático, con las llaves de control adecuadas y un manómetro intercalado en el circuito, que pueda suministrar y medir presiones de 0 a 1100 kPa (0 a 11 kgf/cm²).



Figura 780 - 1. Cohesiómetro para ensayo de lechadas asfálticas

- 4.2 Moldes metálicos** – Para fabricar y contener las probetas de lechada asfáltica. Deben ser anulares, con las siguientes dimensiones: 65.5 ± 0.5 mm de diámetro exterior; 60 ± 0.5 mm de diámetro interior, y altura de 6 ± 0.5 mm o de 10 ± 0.5 mm, según el tamaño máximo del agregado de la lechada que se vaya a ensayar.

Nota 1: Los moldes de 10 mm de altura están indicados para agregados con tamaño máximo hasta de 8 mm; y los de 6 mm de altura para agregados de 5 mm de tamaño máximo. Si el tamaño máximo del agregado es mayor de 8 mm, se deberán emplear moldes con la altura proporcionada a dicho tamaño.

- 4.3 Pie de caucho** – De forma cilíndrica, de 25.4 ± 0.5 mm de diámetro en la cara de contacto con la lechada y de 50 a 70 grados de dureza Shore.
- 4.4 Papel de lija** – De carburo de silicio, de los números de grano 100 y 200.

- 4.5** *Arena silícea* – Con partículas con tamaños comprendidos entre los tamices de 1.18 mm (No. 16) y 600 μm (No. 30).
- 4.6** *Fieltro asfáltico* – U otro material no absorbente, en lámina cuadrangular, para utilizar como fondo y apoyo de los moldes de las probetas de lechada asfáltica. La superficie de los fieltros necesaria para el ensayo es de unos 100 cm^2 .

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Se prepara la mezcla de lechada asfáltica para ensayar, dosificada por el procedimiento que se haya especificado para la misma.
- 5.2** Inmediatamente, se transfiere a un número suficiente de moldes de la altura adecuada al tamaño del agregado utilizado en la fabricación de la lechada (nota 1). Los moldes se colocan sobre la lámina cuadrangular de fieltro asfáltico que actúa como fondo del molde durante la fabricación de las probetas. Se debe prestar atención y cuidado para conseguir probetas uniformes y con superficies horizontales y paralelas.
- 5.3** Se deja reposar la lechada dentro de los moldes, hasta que rompa.
- 5.4** Una vez haya roto la lechada asfáltica, se sitúa el molde con la probeta de ensayo debajo del pie de caucho del pistón de carga y se centra con respecto a éste.
- 5.5** Se aplica la carga a través del pistón neumático con una presión de 193 kPa (28 lbf/pg^2), la cual se considera equivalente a la ejercida por un automóvil de tipo medio. Se desciende el pistón hasta que el pie de caucho haga contacto con la superficie de la muestra. Este descenso se debe hacer a una velocidad comprendida entre 8 y 10 cm/s . Después de 5 a 6 segundos de compresión, se pone el torsiómetro en cero y se coloca en la parte superior del cilindro de compresión neumático. Se gira el torsiómetro de forma suave pero firme en un movimiento horizontal hasta unos 90° a 120° de arco, en un tiempo comprendido entre 0.7 y 1.0 s (Figura 780 - 2a). Se realizan medidas del par de torsión, efectuadas de la forma descrita, en intervalos de tiempo adecuados como, por ejemplo, 30, 60, 150, 210 y 270 minutos, después del moldeo, sobre una serie de probetas idénticas de la lechada (Figura 780 - 2b).



a. Ejecución del ensayo



b. Verificación del par de torsión

Figura 780 - 2. Ejecución del ensayo y verificación del torque

- 5.6** El tiempo necesario para alcanzar una torsión máxima constante, o hasta que el pie de caucho no desplace o desprenda ninguna partícula del agregado en su deslizamiento sobre la superficie de la probeta, se define en esta norma como tiempo de curado de la lechada.

6 ACONDICIONAMIENTO Y CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

- 6.1** Se acondiciona el pie de caucho, realizando una serie de medidas del par sobre papel de lija de grano tipo 200, hasta que una tanda de 10 lecturas consecutivas permanezca constante dentro de un campo de variación de ± 0.3 kgf-cm.
- 6.2** Después de efectuado el "pulimento" o acondicionamiento del pie de caucho con el papel de lija tipo 200, se efectúa una medición con el papel de lija tipo 100 y otra sobre la arena silíceá natural ($600 \mu\text{m}$ - 1.18 mm) contenida en el molde de 10 mm de altura. Se anotan estos valores como datos de calibración

7 RESULTADOS

- 7.1** Los valores del par de torsión medidos en los tiempos establecidos de 30, 60, 90 minutos, etc., hasta obtener el valor máximo constante, se llevan a un gráfico en el que las abscisas representan el tiempo en minutos y las ordenadas los pares de torsión respectivos, en kgf-cm o lbf-pg. Se dibuja una curva suave que una los diferentes puntos. Esta curva es característica de la lechada asfáltica bajo estudio y proporciona información relativa a la evolución de la cohesión de la lechada lo que, a su vez, permite definir tiempos de apertura al tránsito. De esta forma, se puede establecer una clasificación de

la(s) lechada(s) de acuerdo con las definiciones y criterios que se describen a continuación.

- 7.1.1** *Tiempo de rotura* – Es el tiempo transcurrido desde la fabricación de la lechada hasta que ésta no puede ser remezclada homogéneamente, no se pueden producir desplazamientos laterales al presionar suavemente la muestra con el dedo, no mancha una toalla de papel colocada y presionada ligeramente sobre la superficie de la lechada, o cuando la emulsión ha roto y ésta no se puede diluir o arrastrar al añadirle agua a la lechada. Se considera que la rotura de una lechada asfáltica ocurre cuando el par de torsión alcanza el valor de 12 kgf-cm en el torsiómetro.
- 7.1.2** *Tiempo de apertura al tránsito* – Es el tiempo que ha de transcurrir desde que se extiende la lechada asfáltica hasta que se puede permitir el tránsito de vehículos sobre ella, sin causarle desperfectos. Este tiempo queda definido por el valor de 20 kgf-cm en el torsiómetro.
- 7.1.3** *Lechada de rotura rápida* – Aquella lechada que alcanza 12 a 13 kgf-cm en el torsiómetro dentro de los primeros 30 minutos.
- 7.1.4** *Lechada de apertura rápida al tránsito* – Aquella lechada que alcanza 20 a 21 kgf-cm en el torsiómetro dentro de los primeros 60 minutos.

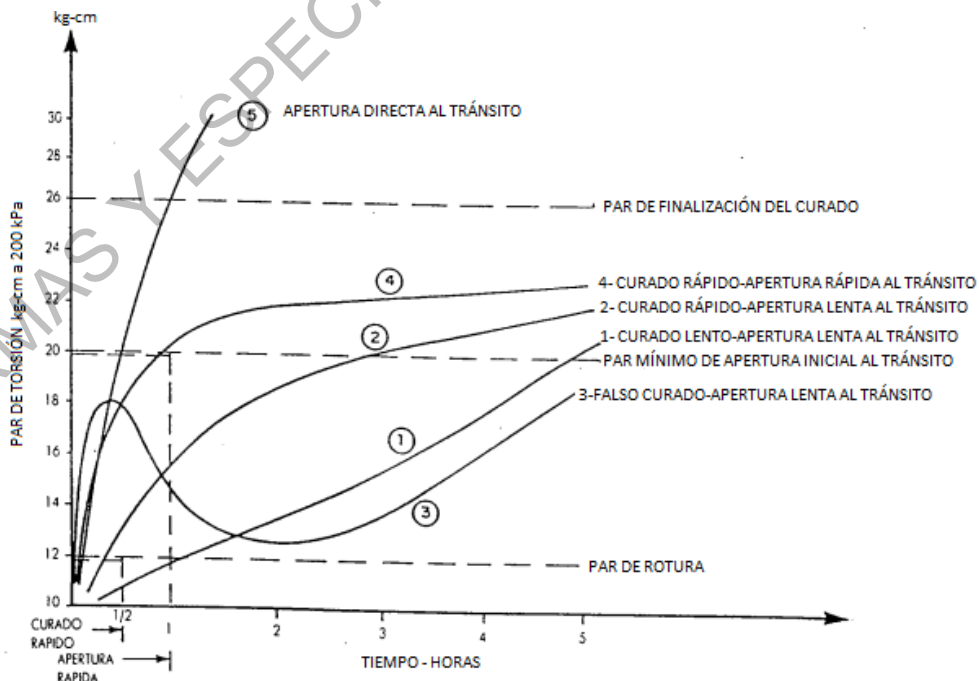


Figura 780 - 3. Clasificación de las lechadas en función del par de torsión y del tiempo de curado

8 CLASIFICACIÓN DE LAS LECHADAS ASFÁLTICAS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO Y DEL PAR DE TORSIÓN RESPECTIVO

- 8.1 De acuerdo con los valores obtenidos del par de torsión en función del tiempo de curado, las lechadas asfálticas se pueden clasificar en las 5 categorías que se muestran en la Figura 780 - 3.

Nota 2: El método de clasificación no está suficientemente verificado en la práctica. La experiencia se ha realizado solamente con agregados de tamaños comprendidos entre 0/5 mm y 0/8 mm. En rigor, sólo se ha considerado la cohesión como fundamento en la clasificación, sin tener en cuenta otras características importantes, como la pegajosidad de la superficie de la lechada puesta en obra. Por otra parte, tampoco está estudiada la discutible correlación entre laboratorio y obra.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 3910 –11

NLT 323/93

CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ASFALTO QUE ABSORBE UN AGREGADO

INV E – 781 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma provee ecuaciones para calcular la cantidad de asfalto que absorbe un agregado en una mezcla asfáltica para pavimento, expresada como un porcentaje de la masa del agregado secado al horno en dicha mezcla. Este cálculo se basa en valores medidos de los componentes y en las propiedades de una mezcla asfáltica secada al horno.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–781–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** El porcentaje de asfalto absorbido en una mezcla para pavimento secada al horno (expresado como porcentaje de la masa seca al horno del agregado total en la mezcla) se puede calcular por medio de ecuaciones a partir de los valores medidos de la gravedad específica máxima de la mezcla, de su contenido de asfalto (expresado bien como porcentaje de la masa total de la mezcla o como porcentaje de la masa seca del agregado contenido en la mezcla), de la gravedad específica aparente del asfalto y de la gravedad específica bulk ponderada del agregado total que forma parte de la mezcla (nota 1).

Nota 1: La gravedad específica bulk ponderada del agregado seco al horno se refiere al promedio ponderado de las gravedades específicas bulk de los agregados finos y gruesos, secados al horno, determinadas según las normas INV E–222 e INV E–223. El agregado fino ordinariamente incluye la porción de polvo mineral del agregado fino que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200). El promedio ponderado se deberá calcular por medio de la ecuación indicada en el numeral 8.3 de la norma INV E–223. En caso de que el agregado fino no incluya el polvo mineral (llenante), la gravedad específica de éste se deberá determinar de acuerdo con la norma INV E–128.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** La cantidad de asfalto absorbido por el agregado contribuye poco o nada a la durabilidad de un pavimento asfáltico en servicio, aparte de la posibilidad de proveer una mayor resistencia al desprendimiento de la película de asfalto en presencia de agua.

- 3.2** El porcentaje de asfalto absorbido puede ser un indicador de los cambios que pueden ocurrir en la producción de una mezcla en planta, durante la construcción.
- 3.3** El porcentaje de asfalto absorbido se puede usar para calcular el porcentaje de vacíos con aire durante el diseño de la mezcla asfáltica.

4 PROCEDIMIENTO

- 4.1** El porcentaje de asfalto absorbido por un agregado en una mezcla asfáltica se determina sobre una muestra secada al horno de dicha mezcla, sea preparada en el laboratorio, sea tomada de una capa de pavimento, u obtenida para control de calidad durante la construcción.
- 4.2** El porcentaje de asfalto que absorbe el agregado de una muestra de mezcla asfáltica secada al horno se establece a partir de valores de la muestra que han sido obtenidos de acuerdo las siguientes normas de ensayo:
- 4.2.1** Normas INV E-735 o INV E-803 (gravedad específica máxima de mezclas asfálticas para pavimentos).
 - 4.2.2** Normas INV E-729, INV E-732 o INV E-743 (contenido de asfalto). Para muestras tomadas de un pavimento o en el control de calidad de la mezcla durante la construcción, el contenido de asfalto se determina con cualquiera de las tres normas citadas. Para muestras de mezclas preparadas en el laboratorio con agregados secos durante la etapa de diseño, se considerará el contenido de asfalto que fue añadido durante la preparación de la mezcla.
 - 4.2.3** Norma INV E-707 (gravedad específica aparente del cemento asfáltico en la muestra de la mezcla).
 - 4.2.4** Normas INV E-222 e INV E-223 (gravedades específicas bulk secas del agregado fino y del agregado grueso incluidos en la muestra de la mezcla asfáltica). Si el agregado fino no incluye el llenante mineral, la gravedad específica de éste se determinará de acuerdo con la norma INV E-128.
 - 4.2.5** Normas INV E-213 o INV E-782 (análisis granulométrico de los agregados). Se empleará la primera de ellas si los agregados se están empleando para elaborar la mezcla, y la segunda cuando el agregado

haya sido recuperado de una mezcla ya elaborada. A partir de ellas, se establecen los porcentajes de agregado grueso, fino y llenante mineral empleados en la muestra de mezcla asfáltica y se determina el promedio ponderado de la gravedad específica bulk del agregado total, por medio de la ecuación incluida en el numeral 8.3 de la norma INV E-223.

5 CÁLCULOS

5.1 Mezclas cuyo contenido de asfalto se expresa como porcentaje de la masa total de una muestra de mezcla secada al horno:

5.1.1 Cuando se dispone de los valores de los resultados de los ensayos mencionados en los numerales 4.2.1 a 4.2.5, la absorción de asfalto, como porcentaje de la masa del agregado total secado al horno en la muestra de mezcla asfáltica seca al horno, se calcula sustituyendo los valores pertinentes en la siguiente ecuación:

$$A_a = \left[\frac{P_{bt}}{100 - P_{bt}} + \frac{G_b}{G_{ag}} - \frac{100 \times G_b}{(100 - P_{bt})G_{mm}} \right] \times 100 \quad [781.1]$$

Donde: A_a : Asfalto absorbido, como porcentaje de la masa de agregado secado al horno;

P_{bt} : Contenido de asfalto, como porcentaje de la masa de la muestra total de mezcla asfáltica secada al horno;

G_b : Gravedad específica aparente del asfalto en la muestra de mezcla asfáltica;

G_{ag} : Gravedad específica bulk (promedio ponderado) del agregado total incluido en la muestra de mezcla asfáltica;

G_{mm} : Gravedad específica máxima de la muestra de mezcla asfáltica.

5.2 Mezclas cuyo contenido de asfalto se expresa como porcentaje de la masa del agregado total secado al horno, incluido en la muestra de mezcla asfáltica secada al horno:

5.2.1 En este caso, la ecuación que se debe aplicar es la siguiente:

$$A_a = \left[\frac{P_{ba}}{100} + \frac{G_b}{G_{ag}} - \frac{(100 + P_{ba})G_b}{100 \times G_{mm}} \right] \times 100 \quad [781.2]$$

Donde: P_{ba} : Contenido de asfalto como porcentaje de la masa total del agregado secado al horno, incluido en la muestra de mezcla asfáltica secada al horno;

Los otros símbolos tienen los mismos significados dados en el numeral 5.1.1.

Nota 2: El porcentaje de asfalto absorbido se incrementa al aumentar la gravedad específica máxima de una mezcla asfáltica y su contenido de asfalto, y decrece al aumentar la gravedad específica aparente del asfalto y al aumentar el promedio ponderado de la gravedad específica bulk del agregado total secado al horno.

6 INFORME

- 6.1** Se debe informar la absorción de asfalto como un porcentaje de la masa del agregado total seco al horno, incluido en la muestra de mezcla asfáltica, redondeado a 0.1 % .
- 6.2** Se debe reportar el valor de cada una de las cuatro variables que hacen parte de las ecuaciones de los numerales 5.1.1 y 5.2.1, de la siguiente manera:
- 6.2.1** Gravedad específica máxima de la muestra de mezcla asfáltica secada al horno.
- 6.2.2** Contenido de asfalto, como porcentaje de la masa de la muestra de mezcla asfáltica (P_{bt} en la ecuación del numeral 5.1.1), o contenido de asfalto, como porcentaje de la masa del agregado total secado al horno, incluido en la muestra de mezcla asfáltica (P_{ba} en la ecuación del numeral 5.2.1).
- 6.2.3** Gravedad específica aparente del asfalto en la muestra de mezcla asfáltica.
- 6.2.4** Promedio ponderado de la gravedad específica bulk del agregado total seco al horno, incluido en la muestra de mezcla asfáltica secada al horno.

7 PRECISIÓN

- 7.1** La absorción de asfalto expresada como porcentaje de la masa de agregado secado al horno, en una muestra de mezcla asfáltica, calculada con las ecuaciones de los numerales 5.1.1 y 5.2.1, es matemáticamente exacta.
- 7.2** La precisión del valor reportado para el porcentaje de absorción depende de la exactitud de los valores medidos para cada una de las cuatro variables incluidas en las ecuaciones dadas. Los errores en estos valores medidos pueden tener una influencia importante en el valor del porcentaje de asfalto absorbido. La influencia de estos errores sobre el valor calculado de asfalto absorbido se ilustra con los datos del apartado A.2.1 del Anexo A.

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 4469 – 11

ANEXO A (Informativo)

EJEMPLO DE CÁLCULO

A.1 *Ejemplo de los cálculos para hallar el porcentaje de asfalto absorbido:*

A.1.1 La utilidad y el sesgo de las dos ecuaciones para determinar el porcentaje de asfalto absorbido por el agregado en una muestra de mezcla asfáltica de pavimentación se ilustra con los cálculos siguientes para una muestra determinada:

A.1.2 *Cálculo numérico* – Se asume lo siguiente:

A.1.2.1 Gravedad específica máxima de la muestra de mezcla para pavimentar, secada al horno = 2,501.

A.1.2.2 Contenido de asfalto en la muestra de mezcla asfáltica para pavimentar seca al horno, expresado como porcentaje de la masa total de la mezcla secada al horno $P_{bt} = 6.2$ (para usar con la ecuación del numeral 5.1.1).

A.1.2.3 El contenido de asfalto, expresado como porcentaje de la masa total del agregado seco (P_{ba}), será:

$$P_{ba} = \frac{P_{bt}}{100 - P_{bt}} \times 100 = \frac{6.2}{100 - 6.2} \times 100 = 6.61$$

A.1.2.4 Gravedad específica aparente del asfalto en la muestra de mezcla asfáltica = 1,015.

A.1.2.5 Gravedad específica bulk (promedio ponderado) del agregado total seco al horno en la muestra de mezcla asfáltica = 2,673.

A.1.2.6 *Base de cálculo* – 100 cm³ de mezcla asfáltica con su gravedad específica máxima.

A.1.2.7 Masa de los 100 cm³ de mezcla asfáltica = 100 × 2.501 = 250.1 g.

A.1.2.8 Masa del asfalto = (6.2/100) × 250.1 = 15,51 g.

A.1.2.9 Volumen del asfalto = (15.51/1.015) = 15.28 cm³.

A.1.2.10 Masa del agregado = (93.8/100) × 250.1 = 234.59 g.

A.1.2.11 Volumen del agregado = 234.59/2.673 = 87.76 cm³.

A.1.2.12 Volumen del asfalto más volumen del agregado = 15.28 + 87.76 = 103.04 cm³.

A.1.3 La diferencia entre 103.04 cm³ y el volumen original de la mezcla usado como base del cálculo, 100 cm³, representa el volumen de asfalto absorbido dentro de los poros de las partículas individuales de agregado. Por lo tanto:

$$\text{Volumen de asfalto absorbido} = 103.04 - 100 = 3.04 \text{ cm}^3$$

$$\text{Masa del asfalto absorbido} = 3.04 \times 1.015 = 3.09 \text{ g}$$

$$\text{Porcentaje de asfalto absorbido} = \frac{3.09}{234.59} \times 100 = 1.32 \%$$

Nota A.1: En el anterior ejemplo de cálculo se empleó el contenido de asfalto expresado como porcentaje de la masa de la mezcla total seca al horno. Un valor idéntico de porcentaje de

asfalto absorbido se obtiene cuando los cálculos se basan en el contenido de asfalto expresado como porcentaje de la masa del agregado total seco al horno.

A.1.4 Sustitución en la ecuación del numeral 5.1.1:

$$A_a = \left[\frac{P_{bt}}{100 - P_{bt}} + \frac{G_b}{G_{ag}} - \frac{100 \times G_b}{(100 - P_{bt})G_{mm}} \right] \times 100 = \left[\frac{6.2}{100 - 6.2} + \frac{1.015}{2.673} - \frac{100 \times 1.015}{(100 - 6.2)2.501} \right] \times 100 = 1.3 \%$$

A.1.5 Sustitución en la ecuación del numeral 5.2.1:

$$A_a = \left[\frac{P_{ba}}{100} + \frac{G_b}{G_{ag}} - \frac{(100 + P_{ba})G_b}{100 \times G_{mm}} \right] \times 100 = \left[\frac{6.61}{100} + \frac{1.015}{2.673} - \frac{(100 + 6.61)1.015}{100 \times 2.501} \right] \times 100 = 1.3 \%$$

A.1.5 Se demuestra, por lo tanto, que por medio de ambas ecuaciones se puede determinar el porcentaje de asfalto absorbido en los poros de las partículas del agregado en la muestra de mezcla asfáltica, siempre que se disponga de las cuatro variables incluidas en ellas.

A.2 *Influencia que tienen sobre el porcentaje de asfalto absorbido los errores en cada una de las cuatro variables incluidas en las dos ecuaciones.*

A.2.1 La influencia de errores en la medida de cada uno de las cuatro variables, a saber, (a) la gravedad máxima de una mezcla asfáltica secada al horno, (b) el contenido de asfalto, bien sea expresado como porcentaje de la masa seca de la muestra de mezcla asfáltica o como porcentaje de la masa del agregado total secado al horno de la muestra de mezcla asfáltica, (c) la gravedad específica aparente del asfalto en la mezcla asfáltica, y (d) la gravedad específica bulk del agregado total de la mezcla asfáltica secado al horno, se ilustra para cada una de ellas en la Tabla 781A - 1. Se asumen como correctos los valores listados en la primera fila para cada una de estas cuatro variables de una mezcla asfáltica típica para pavimentación (son los mismos valores usados para el ejemplo de cálculo en el numeral A.1.2). Se debe notar que el rango de errores es relativamente pequeño para cada una de las variables en la tabla, los cuales están dentro de los límites establecidos en la declaración de precisión sobre reproducibilidad en las normas de ensayo correspondientes a la determinación de cada variable. En la Tabla 781A - 1 se ilustra el efecto de los errores de cada una de las cuatro variables sobre la absorción del asfalto, cambiando el valor de cada una de ellas mientras las otras tres se mantienen constantes. Cada variable que se hace cambiar dentro de su rango de reproducibilidad, está marcada por el símbolo (a).

A.2.2 Los valores mínimo y máximo de asfalto absorbido que podrían ocurrir sobre la base de los datos de la Tabla 781A - 1, debido a la combinación de errores más fortuita en la determinación de las cuatro variables, se presentan en la Tabla 781A - 2.

A.2.3 Consecuentemente, siempre y cuando los errores en una variable para la determinación del porcentaje de asfalto absorbido estén dentro de los límites de precisión sobre reproducibilidad para esa variable, para el caso de los cálculos del ejemplo presentado en los numerales A.1.2, A.1.3, A.1.4 y A.1.5, el valor reportado para el porcentaje de asfalto absorbido se puede encontrar en el rango definido por los valores extremos -0.38 y 3.05 %.

Tabla 781A - 1. Efectos de los errores de medición sobre el porcentaje calculado de asfalto absorbido

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA	CONTENIDO DE ASFALTO, % ^A	GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE DEL ASFALTO	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL AGREGADO TOTAL	% DE ASFALTO ABSORBIDO
2.501	6.2	1.015	2.673	1.32
2.482 (a)	6.2	1.015	2.673	0.98
2.491 (a)	6.2	1.015	2.673	1.14
2.511 (a)	6.2	1.015	2.673	1.49
2.520 (a)	6.2	1.015	2.673	1.64
2.501	5.39 (a)	1.015	2.673	0.77
2.501	5.7 (a)	1.015	2.673	0.98
2.501	6.7 (a)	1.015	2.673	1.66
2.501	7.01 (a)	1.015	2.673	1.85
2.501	6.2	1.013 (a)	2.673	1.33
2.501	6.2	1.017 (a)	2.673	1.31
2.501	6.2	1.015	2.615 (a)	2.16
2.501	6.2	1.015	2.635 (a)	1.86
2.501	6.2	1.015	2.653 (a)	1.61
2.501	6.2	1.015	2.663 (a)	1.46
2.501	6.2	1.015	2.683 (a)	1.18
2.501	6.2	1.015	2.693 (a)	1.03
2.501	6.2	1.015	2.713 (a)	0.76
2.501	6.2	1.015	2.731 (a)	0.51

^A Basado en la masa de la mezcla total seca al horno (kg de asfalto por 100 kg de mezcla total seca al horno)

Tabla 781A - 2. Porcentajes mínimo y máximo calculados de asfalto absorbido debido a errores de medición

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA	CONTENIDO DE ASFALTO, % ^A	GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE DEL ASFALTO	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL AGREGADO TOTAL	% DE ASFALTO ABSORBIDO
<i>Para el mínimo de asfalto absorbido</i>				
2.482	5.39	1.017	2.731	- 0.38
<i>Para el máximo de asfalto absorbido</i>				
2.520	7.01	1.013	2.615	3.05

^A Basado en la masa de la mezcla total seca al horno (kg de asfalto por 100 kg de mezcla total seca al horno)

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS EXTRAÍDOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

INV E – 782 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe un procedimiento para determinar la granulometría de los agregados gruesos y finos recuperados de las mezclas asfálticas, empleando tamices con malla de abertura cuadrada.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-782-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Esta norma se utiliza para determinar la gradación de los agregados extraídos de una mezcla asfáltica. Los resultados del ensayo permiten determinar la conformidad de la granulometría con la especificación aplicable y suministran datos útiles para el control de la producción de los diferentes agregados usados en la fabricación de mezclas asfálticas.

3 EQUIPO

- 3.1** *Balanza* – La balanza debe tener una capacidad suficiente, con posibilidad de lectura de 0.1 g y exactitud de 0.1 g o 0.1 % de la carga de ensayo, la que sea mayor dentro del rango de uso.
- 3.2** *Tamices* – Con mallas de aberturas cuadradas, montados sobre bastidores resistentes, contruidos de manera de evitar pérdidas de material durante el tamizado. Se debe disponer de la serie de tamices necesaria para obtener la información deseada de acuerdo con la especificación aplicable al material que se ensaya.
- 3.3** *Tamizadora mecánica* – De uso opcional. Deberá impartir a los tamices un movimiento vertical, o lateral y vertical, con el fin de que las partículas que se encuentren sobre ellos reboten y giren tomando diferentes posiciones sobre las mallas de los tamices. La acción de tamizado deberá ser tal, que el criterio de tamizado adecuado que se menciona en el numeral 5.8 se satisfaga en un período razonable.

- 3.4** *Horno* – De temperatura regulable, de tamaño adecuado y capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 3.5** *Recipiente* – Bandeja o cubeta de tamaño suficiente para contener la muestra cubierta con agua y permitir una agitación vigorosa de ella sin que se produzcan pérdidas de partículas del agregado.

4 MUESTRA

- 4.1** La muestra empleada será la totalidad del agregado de la mezcla asfáltica obtenida según las normas INV E-729 o INV E-732.

- 4.1.1** El agregado extraído mediante el método de ignición descrito en la norma INV E-729 no se deberá emplear para el análisis granulométrico, si el factor de calibración obtenido con la fórmula mencionada en la Sección 11 de dicha norma es mayor de 1.0 (nota 1).

Nota 1: Las temperaturas aplicadas durante el ensayo de ignición (norma INV E-729) pueden causar algunos deterioros a las partículas del agregado como, por ejemplo, calcinación de algunos carbonatos minerales y transiciones de fase en el cuarzo. Estas reacciones pueden generar roturas de partículas, dando lugar a gradaciones más finas que las del material originalmente usado en la elaboración de la mezcla.

- 4.2** El tamaño de la muestra de ensayo depende del tamaño máximo nominal del agregado que se ensaya, según lo indicado en la Tabla 782 - 1.

Tabla 782 - 1. Tamaño de la muestra

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA, kg
mm	TAMIZ ESTÁNDAR	
4.75	No. 4	0.5
9.5	3/8"	1.0
12.5	1/2"	1.5
19.0	3/4"	2.0
25.0	1"	3.0
37.5	1 1/2"	4.0

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Se secan los agregados en el horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta conseguir masa constante. Se determina ésta con aproximación a 0.1 % de la masa seca

de la muestra. La masa total del agregado en la mezcla asfáltica es la suma de las masas de los agregados secados y del material contenido en el asfalto extraído. Si los agregados se han obtenido mediante la norma INV E-732, este último corresponde a la suma de la masa de ceniza en el extracto más el aumento de masa del elemento filtrante, según se indica en dicha norma.

- 5.2** La muestra del agregado, una vez secada y pesada, se coloca en un recipiente apropiado y se cubre completamente con agua. Se añade una cantidad suficiente de un agente humectante para facilitar el mojado de los agregados y asegurar una separación completa del material fino, menor de 75 μm (No. 200), de las partículas más gruesas. El material contenido en el recipiente se debe agitar vigorosamente para lograr la separación de las partículas menores de 75 μm (No. 200) y que queden en suspensión, de manera que se puedan remover por decantación del agua de lavado. El vertimiento del agua de lavado se hace sobre un ensamble de dos tamices, el de 2.0 mm o el de 1.18 mm (No. 10 o No. 16) sobreimpuesto al de 75 μm (No. 200). El empleo de una cuchara rígida grande es muy útil para agitar la muestra de agregado en el agua de lavado.

Nota 2: Los agentes humectantes pueden incluir cualquier agente dispersante, como un detergente líquido o un jabón que promueva la separación de material fino de las partículas gruesas. Se debe incluir suficiente humectante para producir una pequeña cantidad de espuma al agitar la muestra. La cantidad de humectante dependerá de la dureza del agua y de la calidad del agente. Si se produce demasiada espuma, ella podrá desbordar los tamices y arrastrar con ella parte del material.

- 5.3** Se deberá tener cuidado para evitar la decantación de partículas gruesas. La operación descrita en el numeral anterior se deberá repetir hasta que se remueva todo el agente humectante y el agua de lavado salga clara.
- 5.4** Todo el material retenido sobre el conjunto formado por los dos tamices se pasa de nuevo al recipiente de los agregados, se seca en el horno a una temperatura que no exceda la usada para compactar la mezcla en el laboratorio en más de 5° C (9° F) ni sea menor de 105° C (221° F) y, finalmente, se pesa con una aproximación de 0.1 % respecto de la masa inicial de la muestra seca.
- 5.5** El agregado, una vez seco y debidamente pesado, se tamiza entonces por los tamices requeridos por la especificación aplicable a la mezcla, incluyendo el tamiz de 75 μm (No. 200). Se determina y anota la masa del material que pasa cada tamiz y queda retenido en el siguiente, así como la que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200). Se verifica que la suma de las masas acabadas de determinar coincida con la masa seca total después del lavado \pm 0.2 %. La masa del material que pasó el tamiz de 75 μm (No. 200) por tamizado se añade a la del

material mineral contenido en el asfalto y a la del material fino removido por lavado, con el fin de obtener el total que pasa dicho tamiz. Si se desea verificar la masa de material lavado a través del tamiz de 75 μm (No. 200), se evapora el agua de lavado hasta la sequedad o se filtra por un papel de filtro tarado que luego se seca y se vuelve a pesar. Las masas de las fracciones retenidas en los diferentes tamices y el pasante del tamiz de 75 μm (No. 200) se convierten en porcentajes, dividiendo cada una de ellas por la masa total de agregado determinada en el paso 5.1.

- 5.6** Los tamices se deben haber insertado en orden descendente de tamaño de abertura, colocando luego la muestra sobre el tamiz superior (el de mayor abertura). El tamizado se realiza agitando el juego de tamices manualmente o con el agitador mecánico durante un período suficiente, establecido por tanteos o verificado sobre la muestra real de ensayo, para cumplir el criterio de eficiencia del tamizado que se describe en el numeral 5.7.
- 5.7** Se debe limitar la cantidad de material sobre un tamiz dado, para que todas las partículas tengan oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación de tamizado. Para los tamices con aberturas menores de 4.75 mm (No. 4), la masa retenida en cualquier tamiz durante la realización del tamizado no debe exceder de 6 kg por m^2 de superficie de tamiz. Para los tamices con aberturas de 4.75 mm (No. 4) y mayores, la masa en kg/m^2 de superficie de tamiz no debe exceder el producto de $2.5 \times$ la abertura del tamiz en mm. En ningún caso, la masa deberá ser tan grande que produzca una deformación permanente en la malla del tamiz.

Nota 3: La carga de 6 kg/m^2 se obtiene con una cantidad de 194 g para los tamices usuales de 203 mm de diámetro. La cantidad de material retenida en un tamiz se puede regular por: (1) la introducción de un tamiz con las aberturas inmediatamente mayores sobre el tamiz dado, o (2) tamizando la muestra en varias porciones.

- 5.8** Se continúa el tamizado por un período suficiente, de forma que después de concluido, no pase más del 0.5 % de la masa de la muestra total por ningún tamiz durante un minuto de tamizado continuo a mano, realizado de la siguiente manera: Se toma individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo que ajuste sin holgura, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Se golpea secamente el lado del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente $1/6$ de vuelta en cada intervalo de 25 golpes. En la determinación de la eficiencia del tamizado para tamaños con aberturas mayores que las del tamiz de 4.75 mm (No. 4), el material sobre el tamiz se debe limitar a una sola capa de partículas.

6 CÁLCULOS

- 6.1** Los resultados del análisis de tamizado se calculan de la siguiente manera: (1) porcentajes totales que pasan cada tamiz, (2) porcentajes totales retenidos en cada tamiz, o (3) porcentajes retenidos entre tamices consecutivos, dependiendo de la manera como lo exija la especificación para la cual se realiza el ensayo. Los porcentajes se calculan con aproximación a 0.1 %.

7 INFORME

- 7.1** Dependiendo de la exigencia de la especificación aplicable al agregado ensayado, la información se podrá presentar de diferentes formas:
- 7.1.1** Porcentaje total de material que pasa por cada uno de los tamices.
 - 7.1.2** Porcentaje total de material retenido en cada tamiz y porcentaje retenido acumulado en cada uno de los tamices.
 - 7.1.3** Porcentaje de material retenido entre dos tamices consecutivos.
- 7.2** Estos porcentajes se expresarán en el informe redondeando al número entero más próximo, excepto para el tamiz de 75 μm (No. 200), cuyo valor se debe expresar redondeado a 0.1 %.

8 PRECISIÓN Y SESGO

- 8.1** *Precisión* – La estimación de la precisión para este método de prueba se presenta en la Tabla 782 - 2. Los valores en la tabla son dados para diferentes rangos del porcentaje total de agregado que pasa un tamiz. Los datos se basan en un análisis de los resultados de ensayos realizados por un grupo de 47 a 133 laboratorios que ensayaron 14 pares de muestras de ensayos de suficiencia (muestras 1 a 28).

Tabla 782 - 2. Precisión

	PORCENTAJE TOTAL DE MATERIAL QUE PASA UN TAMIZ		% DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS, % (d2s)
	<100	≥95		
Agregado extraído: ^A	<100	≥95	0.5	1.4
	<95	≥40	1.0	2.9
	<40	≥25	0.7	2.0
<i>Precisión de un solo operador</i>	<25	≥10	0.4	1.2
	<10	≥5	0.3	0.9
	<5	≥2	0.2	0.6
	<2	≥0	0.2	0.5
	<100	≥95	0.5	1.5
	<95	≥40	1.2	3.5
<i>Precisión Multi-laboratorio</i>	<40	≥25	0.9	2.7
	<25	≥10	0.8	2.2
	<10	≥5	0.6	1.6
	<5	5≥2	0.4	1.1
	<2	≥0	0.3	0.9

^A Las precisiones estimadas se basan en agregados con tamaños máximos nominales de 19 mm (¾") a 9.5 mm (3/8").

8.2 Sesgo – Este método de prueba no tiene sesgo, ya que los valores determinados se pueden definir únicamente en los términos de este método.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 5444 – 08

CONTENIDO DE HUMEDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO DE SECADO EN EL HORNO

INV E – 783 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método de ensayo se refiere a la determinación del contenido de humedad de mezclas asfálticas en caliente mediante secado en un horno.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Masa constante* – Masa a la cual un secado posterior no modifica su valor en más de 0.05 %.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 Una muestra suelta de mezcla asfáltica en caliente se seca en un horno de ventilación forzada o de convección hasta alcanzar masa constante.

4 EQUIPO

- 4.1 *Balanza* – De 2 kg (4.4 lb) de capacidad y con legibilidad mínima de 0.1 g.
- 4.2 *Horno de ventilación forzada o de convección* – Capaz de mantener alrededor de la muestra una temperatura de $163 \pm 14^{\circ} \text{C}$ ($325 \pm 25^{\circ} \text{F}$).
- 4.3 *Bandeja metálica* – Para colocar la muestra para secarla. Su tamaño debe ser suficiente para contenerla sin que haya peligro de que rebose, así como para permitir la distribución uniforme de la mezcla de una manera de completar el ensayo con prontitud.

5 MUESTRA

- 5.1 La muestra de mezcla asfáltica en caliente se deberá obtener de acuerdo con la norma INV E-731.

- 5.2** La muestra se debe reducir al tamaño de ensayo de acuerdo con la norma INV E-776. Su tamaño deberá ser, como mínimo, de 1000 g.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Se determina y anota la masa de la bandeja, con aproximación a 0.1 g.
- 6.2** Se coloca la muestra dentro de la bandeja y se determina y registra su temperatura. La muestra se debe distribuir uniformemente sobre la bandeja para facilitar su secado.
- 6.3** Se determina y registra la masa total de la bandeja con la muestra húmeda, con aproximación a 0.1 g.
- 6.4** Se precalienta el horno a la temperatura de secado. La temperatura de secado se debe encontrar dentro del rango de mezcla requerido por la fórmula de trabajo. Si no se ha indicado este rango, se deberá emplear una temperatura de $163 \pm 14^\circ \text{C}$ ($325 \pm 25^\circ \text{F}$).

Nota 1: Para las pruebas de repetibilidad entre operadores y/o laboratorios, la diferencia entre las temperaturas de secado de las muestras no debe exceder de 9°C (15°F).

- 6.5** Se calcula la masa inicial de la mezcla asfáltica húmeda, restando la masa de la bandeja, determinada en el numeral 6.1, de la masa total de la bandeja más la muestra, determinada en el numeral 6.3. Se anota este valor como M_i .
- 6.6** Inicialmente, se seca la muestra durante 90 ± 5 minutos y se determina su masa. A continuación se seca en intervalos de 30 ± 5 minutos, hasta alcanzar masa constante.

Nota 2: La humedad de las muestras de ensayo y el número de muestras en el horno, afectarán la velocidad del secado en un instante dado. La colocación de muestras húmedas en vecindades de muestras secas puede afectar el proceso de secado.

- 6.7** Se dejan enfriar la bandeja y la muestra seca hasta aproximadamente la misma temperatura determinada en el numeral 6.2.
- 6.8** Se mide y anota la masa total de la bandeja más la muestra seca, con aproximación a 0.1 g.

Nota 3: No se debe intentar remover la muestra del recipiente con el fin de determinar su masa seca.

- 6.9 Se calcula la masa final de la muestra seca restando la masa de la bandeja, determinada en el numeral 6.1, de la masa total de la bandeja más la muestra seca, determinada en el numeral 6.8. Se anota este valor como M_f .

7 CALCULOS

- 7.1 El contenido de humedad se calcula, redondeado a 0.01 %, como sigue:

$$\text{Contenido de humedad, \%} = \frac{M_i - M_f}{M_f} \times 100 \quad [783.1]$$

Donde: M_i : Masa inicial de la muestra húmeda, g;

M_f : Masa final de la muestra seca, g.

Nota 4: Ejemplo: Si $M_i = 1134.9$ g y $M_f = 1127.3$ g.

$$\text{Contenido de humedad, \%} = \frac{1134.9 - 1127.3}{1127.3} \times 100 = 0.67 \% \quad [783.2]$$

8 INFORME

- 8.1 El contenido de humedad se debe reportar redondeado a 0.01 %.

9 NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO T-329-08

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LAS LEYES DE FATIGA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EN CALIENTE SOMETIDAS A FLEXIÓN DINÁMICA

INV E – 784 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma entrega los procedimientos para la determinación de las leyes de fatiga y energía de muestras de mezclas asfálticas en caliente, compactadas en laboratorio o tomadas directamente del terreno, sometidas a flexión dinámica hasta llevarlas a la falla.
- 1.2 Los especímenes para el ensayo deben tener una longitud de 380 mm, un ancho de 63 mm y una altura de 50 mm.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-784-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Punto de falla* – Ciclo de carga para el cual el espécimen muestra un 50 % de reducción, en relación con su rigidez inicial (Ver numeral 6.7).

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Las leyes de fatiga y energía determinadas por esta norma se pueden usar para determinar las leyes de fatigas de capas de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, bajo la acción de las cargas repetidas del tránsito. El comportamiento en servicio de las mezclas asfálticas se puede predecir con mayor exactitud cuando se conocen estas leyes.

4 EQUIPO

- 4.1 *Sistema de ensayo* – El sistema debe contener un mecanismo de carga axial, una cámara ambiental (opcional) y un sistema de control y de adquisición de datos (Figura 784 - 1). El sistema de ensayo debe reunir los requerimientos mínimos especificados en la Tabla 784 - 1.

- 4.1.1** *Dispositivo de aplicación de carga* – El sistema de ensayo debe incluir un componente de carga de cadena cerrada controlado por computador, el cual ajusta y aplica una carga tal, que el espécimen experimenta un nivel constante de deformación durante cada ciclo de carga, en respuesta a los comandos del componente de control y medición. Este dispositivo debe ser capaz de (1) producir cargas repetidas de forma sinusoidal en un rango de frecuencia de 5 a 10 Hz, (2) asegurar el espécimen en cuatro puntos de forma que se permita en ellos libertad de rotación y de desplazamiento horizontal, tanto para los puntos de aplicación de las cargas como en los puntos de apoyo o reacción, y (3) forzar el regreso del espécimen a su posición original (deflexión cero) al finalizar el pulso de carga (la Figura 784 - 2 ilustra las condiciones de carga).



Figura 784 - 1. Sistema de ensayo

Tabla 784 - 1. Requerimientos mínimos del sistema de ensayo

SISTEMA DE MEDIDA Y CONTROL DE CARGA	Rango: 0 a 5 kN Resolución: 2 N Precisión: 5 N
SISTEMA DE MEDIDA Y CONTROL DE DESPLAZAMIENTO	Rango: 0 a 5 mm Resolución: 2 μm Precisión: 5 μm
SISTEMA DE MEDIDA Y CONTROL DE FRECUENCIA	Rango: 5 a 10 Hz Resolución: 0.005 Hz Precisión: 0.01 Hz
SISTEMA DE MEDIDA Y CONTROL DE TEMPERATURA	Rango: -10 a 25°C Resolución: 0.25°C Precisión: $\pm 0.5^\circ\text{C}$

4.1.2 Cámara ambiental (Opcional) – La cámara ambiental debe guardar completamente el espécimen y mantenerlo a una temperatura de $20 \pm 0.5^\circ \text{C}$ durante el ensayo. La cámara no se requerirá cuando la temperatura ambiente pueda ser mantenida dentro de los límites antes indicados.

4.1.3 Sistema de control y medición – Durante cada ciclo de carga, el sistema debe ser capaz de medir la deflexión del espécimen, computar sus deformaciones y ajustar la carga de manera que el espécimen experimente un nivel constante de deformación en cada ciclo de carga. Adicionalmente, debe ser capaz de grabar los ciclos de carga, las cargas aplicadas y las deflexiones, y calcular y grabar el máximo esfuerzo a la tensión, la máxima deformación a la tensión, el ángulo de fase, la rigidez, la energía disipada y la energía disipada acumulada para los diferentes intervalos de ciclos de carga especificados por el usuario.

4.2 Aparatos y materiales misceláneos – Se requieren sierras para cortar los especímenes y un mecanismo guía para ajustar el espacio entre los dispositivos de sujeción del espécimen (mordazas). Para los dispositivos de carga que requieran una tuerca pegada para la medida de la deformación, se necesitan un tornillo, una tuerca (se sugiere de tamaño M 8×1) y un dispositivo para el montaje de transformadores lineales de voltaje diferencial (TLDV) en el eje neutro del espécimen y resina epóxica para asegurar la tuerca al espécimen.

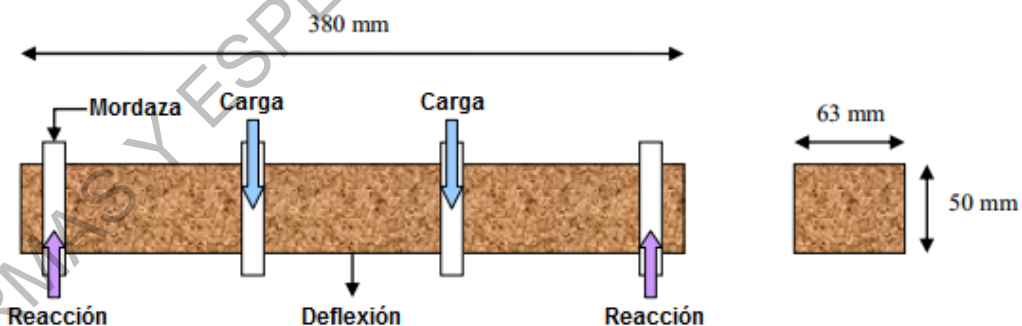


Figura 784 - 2. Características de carga en el aparato de ensayo de fatiga

5 PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES DE ENSAYO

5.1 Mezclas elaboradas y compactadas en el laboratorio – El agregado pétreo se debe muestrear de acuerdo con la norma INV E-201 y el cemento asfáltico

según la norma INV E-701. Se deberán preparar tres especímenes en forma de viga, tomados de losas o vigas compactadas de acuerdo con algún procedimiento que resulte apropiado para el usuario.

Nota 1: El tipo de equipo de compactación puede afectar los resultados del ensayo. Se recomienda cortar las vigas de ensayo de losas mayores compactadas con un rodillo vibratorio.

Nota 2: Normalmente, los especímenes de ensayo se compactan empleando una energía de compactación normalizada. Sin embargo, esta energía pudiera no reproducir los vacíos con aire de especímenes medidos en la carretera, según la norma INV E-736. Si los especímenes se van a compactar buscando un determinado contenido de vacíos con aire, la energía correspondiente se deberá determinar experimentalmente.

- 5.2 Mezclas fabricadas en planta y compactadas en el laboratorio** – Las muestras de concreto asfáltico se deberán obtener de acuerdo con el procedimiento de la norma INV E-731. A partir de ellas, se preparan tres especímenes en forma de viga, tomados de losas o vigas compactadas de acuerdo con algún procedimiento que resulte apropiado para el usuario (Ver notas 1 y 2).
- 5.3 Especímenes extraídos del pavimento** – Su extracción se realizará acuerdo con la norma INV E-758.
- 5.4 Tamaño del espécimen de ensayo** – Se deben cortar al menos 6 mm en ambas caras del espécimen con el propósito de eliminar áreas con vacíos superficiales. Para los dispositivos de carga que requieran una tuerca pegada para la medida de la deformación, estas superficies cortadas deberán ser suaves y paralelas para permitir el montaje correcto de los deformímetros. Las dimensiones finales requeridas para los especímenes, después de cortados, son: 380 ± 6 mm de longitud, 63 ± 6 mm de base y 50 ± 6 mm de altura (Figura 784 - 3).



Figura 784 - 3. Especimen de ensayo

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** *Mediciones del espécimen* – La medida de la altura y del ancho del espécimen se debe dar con una aproximación de 0.01 mm en tres diferentes puntos a lo largo de los 100 mm centrales de la longitud del espécimen. Se determina el promedio de las tres mediciones para cada dimensión y se registran dichos valores con una aproximación de 0.1 mm.
- 6.2** *Colocación de la tuerca en el eje neutro del espécimen* – Se localiza el centro de una cara lateral del espécimen. Se aplica una resina epóxica alrededor de este punto central y se pega la tuerca de forma tal, que el centro de la tuerca coincida con el punto central de la cara del espécimen. Se debe evitar la aplicación de resina epóxica de manera que ocupe el orificio de la tuerca. Se permite el curado del epoxi antes de mover el espécimen. La Figura 784 - 4 ilustra la tuerca adherida en el eje neutro del espécimen.

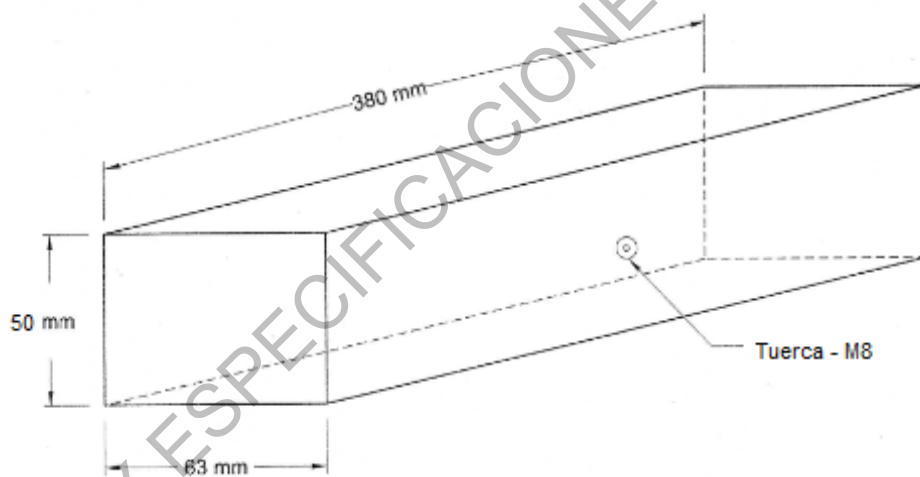


Figura 784 - 4. Tuerca adherida en el eje neutro del espécimen

- 6.3** *Temperatura de ensayo* – Se coloca el espécimen en un ambiente cuya temperatura sea $20 \pm 0.5^\circ \text{C}$, durante un período de tiempo de dos horas antes de dar comienzo al ensayo.
- 6.4** *Colocación de las mordazas* – Se abren las mordazas y se desliza el espécimen hasta que alcance la posición de ensayo (Figuras 784 - 5, 784 - 6, 784 - 7 y 784 - 8). Se debe asegurar un apropiado espaciamiento entre las mordazas, de forma que la distancia entre ellas, medida centro a centro, sea de 119 mm. Cuando el espécimen y las mordazas se encuentren en posición, se cierran las mordazas aplicando en ellas suficiente presión para permitir que el espécimen quede en su lugar.

- 6.5** *Instalación de los transformadores lineales de voltaje diferencial variable (TLDV)* – Se coloca al espécimen el sistema de medición de deformaciones (TLDV), el cual es conectado a un tornillo que penetra la muestra a través de la tuerca previamente pegada con resina epóxica sobre la cara del espécimen (la Figura 784 - 7 muestra la conexión tornillo/tuerca/sistema de medición, de manera que se midan las deformaciones de la viga en su eje neutro). Se asegura el TLDV en su posición de manera que su probador descanse sobre la parte superior del sistema de medición y su lectura sea cercana a cero.

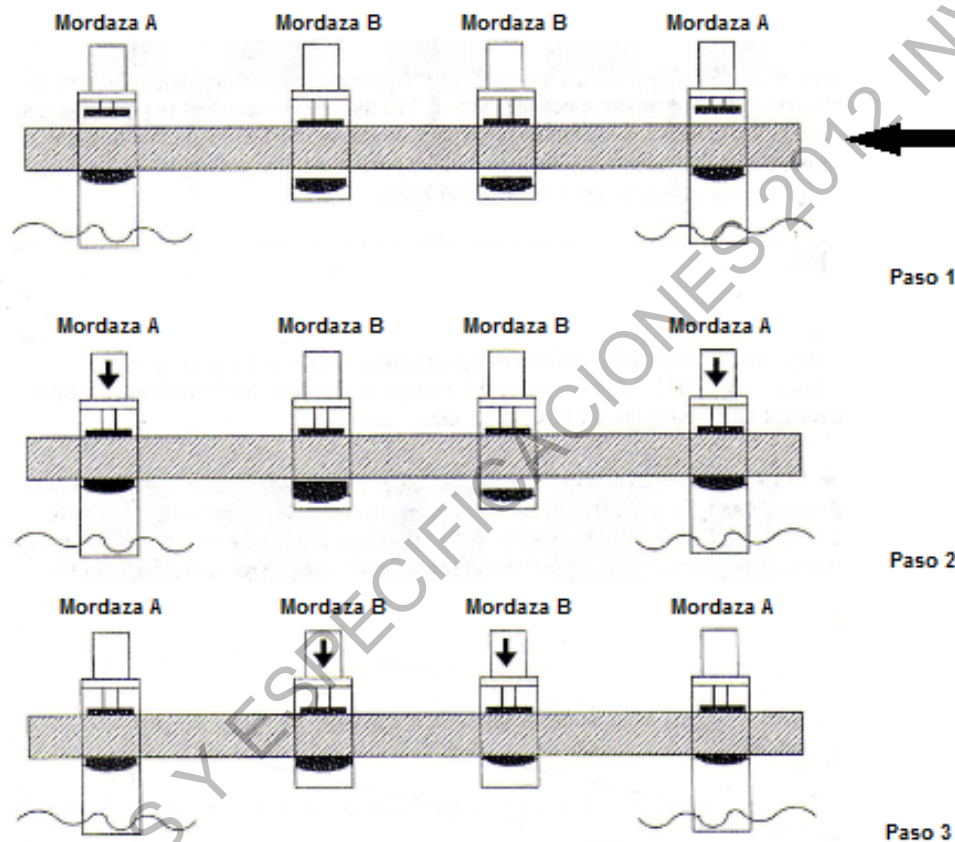


Figura 784 - 5. Procedimiento de sujeción del espécimen

- 6.6** *Condiciones iniciales de ensayo* – Se seleccionan las condiciones iniciales deseadas en cuanto a deformación (250 a 750 microdeformaciones) y frecuencia de carga, así como los intervalos de los ciclos de carga, los cuales se deberán grabar, calcular e ingresar los resultados del ensayo en el componente de control y medición del programa de ensayo. La frecuencia de carga se fija en un rango de 5 a 10 Hz.

Nota 3: La selección de los intervalos de los ciclos de carga los cuales se deberán grabar, calcular e ingresar los resultados del ensayo, puede encontrarse limitada por la memoria disponible para el almacenamiento de los datos.

- 6.7** *Ciclos de carga* – Se aplican 50 ciclos de carga con una deformación constante entre 250 y 750 microdeformaciones. Se determina la rigidez del espécimen en el ciclo de carga número 50. Esta rigidez es un estimativo de la rigidez inicial, la cual es usada como un referente para determinar la falla del espécimen.
- 6.8** *Niveles de deformación* – Se selecciona un rango de deformación tal, que el espécimen experimente, como mínimo, 10 000 ciclos de carga antes de que su rigidez se reduzca a 50 % o menos de su rigidez inicial. Una reducción de rigidez del 50 % o más, representa la falla del espécimen. Un mínimo de 10 000 ciclos de carga asegura que la rigidez del espécimen no se reducirá muy rápidamente.
- 6.9** *Ejecución del ensayo* – Una vez seleccionados los parámetros apropiados del ensayo, se da inicio al mismo. Se activan los componentes de medida y control, de manera que los resultados del ensayo, en unos intervalos de ciclos de carga seleccionados, sean monitoreados y grabados, asegurando con ello que el sistema de ensayo opera apropiadamente. Cuando el espécimen experimente una reducción de más del 50% de su rigidez, el ensayo se da por concluido.



Figura 784 - 6. Colocando el espécimen en la posición de ensayo

7 CÁLCULOS

- 7.1** Se deben realizar los siguientes cálculos para los intervalos del ciclo de carga especificados por el operador:

7.1.1 Esfuerzo máximo de tensión (Pa):

$$\sigma_t = \frac{0.375 P}{bh^2} \quad [784.1]$$

- Donde: P: Carga aplicada, N;
b: Ancho del espécimen, m;
h: Altura del espécimen, m.

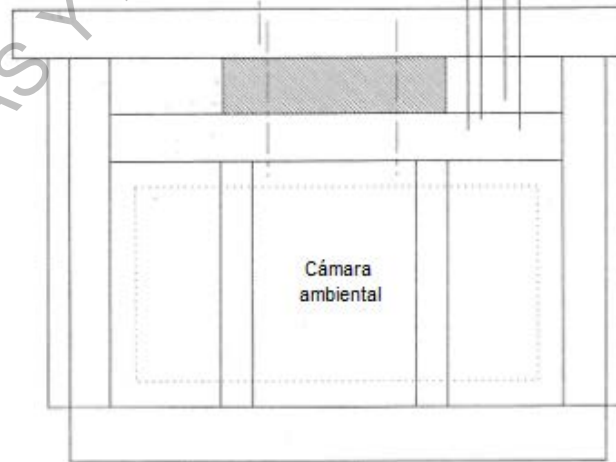
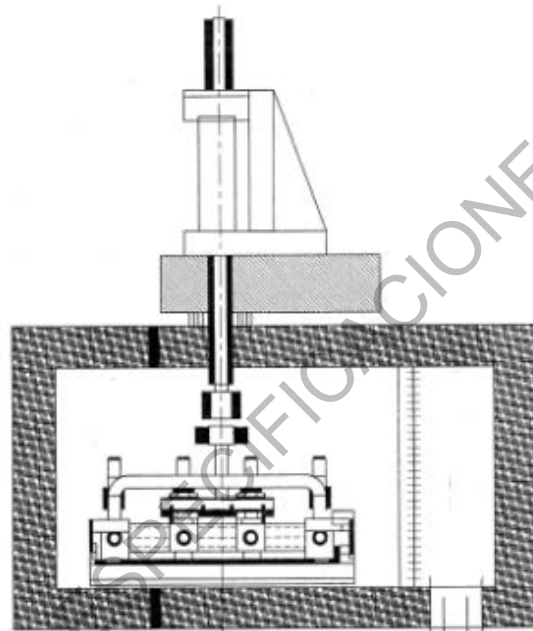


Figura 784 - 7. Esquema (vista lateral) del equipo para el ensayo de fatiga de vigas por flexión

7.1.2 Deformación máxima de tensión (m/m):

$$\epsilon_t = \frac{12 \delta h}{(3L^2 - 4a^2)} \quad [784.2]$$

- Donde: δ : Deflexión en el centro de la viga, m;
- a: Espacio entre las mordazas interiores ($0.357/3 = 0.119$ m);
- L: Longitud del espécimen entre las mordazas extremas, 0.357 m.

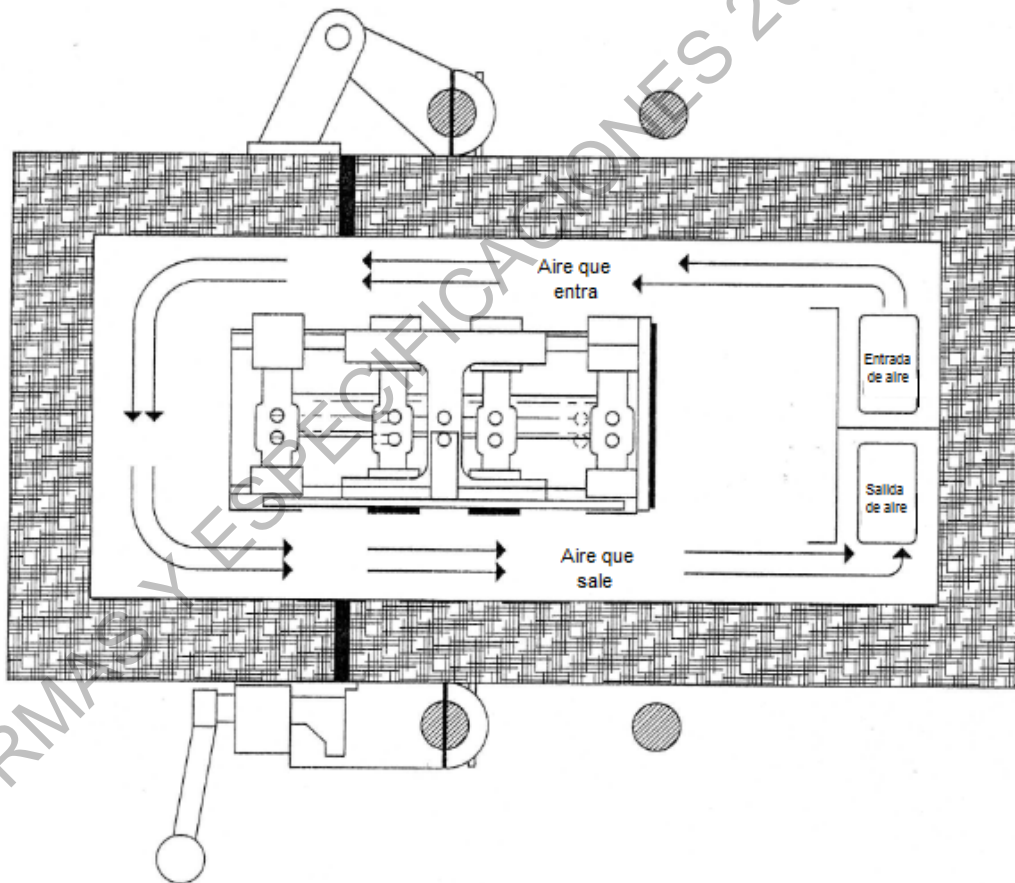


Figura 784 - 8. Esquema (vista de techo) del equipo para el ensayo de fatiga de vigas por flexión

7.1.3 Rigidez a la Flexión (Pa):

$$S = \frac{\sigma_t}{\epsilon_t} \quad [784.3]$$

7.1.4 Angulo de fase (grados):

$$\phi = 360 \times f \times s \quad [784.4]$$

Donde: f: Frecuencia de carga, Hz;

s: El tiempo referenciado entre P_{max} y δ_{max} , s.

Nota 4: Si se usa un software automático para el componente de medición y control del sistema de ensayo, ϕ es aproximado por un algoritmo contenido en el software.

7.1.5 Energía disipada por ciclo (J/m^3):

$$D = \pi \times \sigma_t \times \epsilon_t \times \text{sen}(\phi) \quad [784.5]$$

7.1.6 Energía disipada acumulada (J/m^3):

$$\sum_{i=1}^{i=n} D_i \quad [784.6]$$

Donde: D_j : D para el ciclo de carga "i".

Nota 5: Puede no ser posible determinar la energía disipada D para cada ciclo de carga, debido a limitaciones en el sistema de control y medición. Por lo tanto, la energía disipada acumulada se puede dibujar contra los ciclos de carga en el rango de ciclos en que se recolectaron los datos, hasta el ciclo de interés. El área bajo la curva representa la energía disipada acumulada. En la Figura 784 - 9 se presentan unas relaciones típicas entre la energía disipada y el número de ciclos de carga.

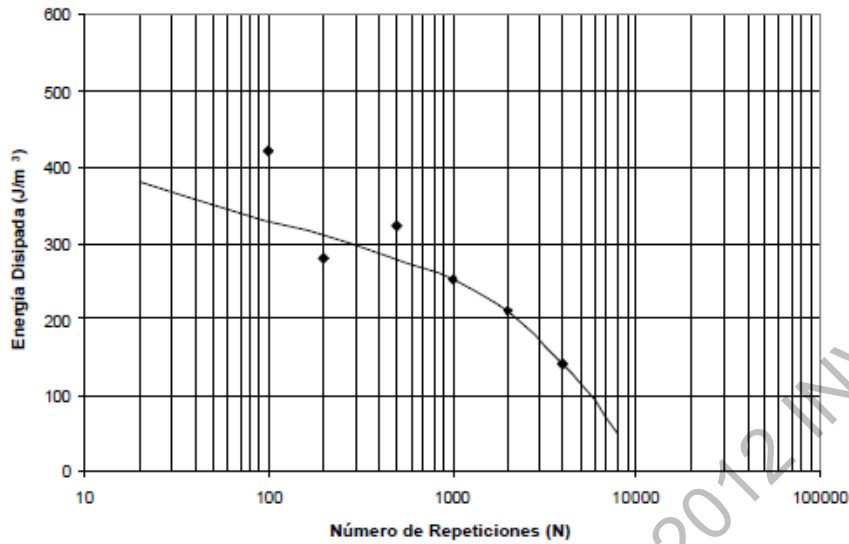


Figura 784 - 9. Energía disipada contra ciclos de carga (repeticiones)

7.1.7 Rigidez inicial (Pa): La rigidez inicial se determina graficando la rigidez (S) contra los ciclos de carga (n) y se ajusta la curva a una función exponencial de la forma mostrada en la Figura 784 - 10.

$$S = A \times e^{bn} \quad [784.7]$$

Donde: e: Base del logaritmo natural;

A, b: Constantes.

7.1.8 Ciclos de falla: La falla se define como el punto en el cual la rigidez del espécimen se reduce al 50 % de la rigidez inicial. El ciclo de carga para el cual ocurre la falla se calcula despejando n de la ecuación del numeral 7.1.7 o, simplemente:

$$n_{f,50} = \frac{\left[\ln \frac{S_{f,50}}{A} \right]}{b} \quad [784.8]$$

Donde: $S_{f,50}$: 50 % de la rigidez inicial, Pa;

$S_{f,50}/A$: 0.50 por definición.

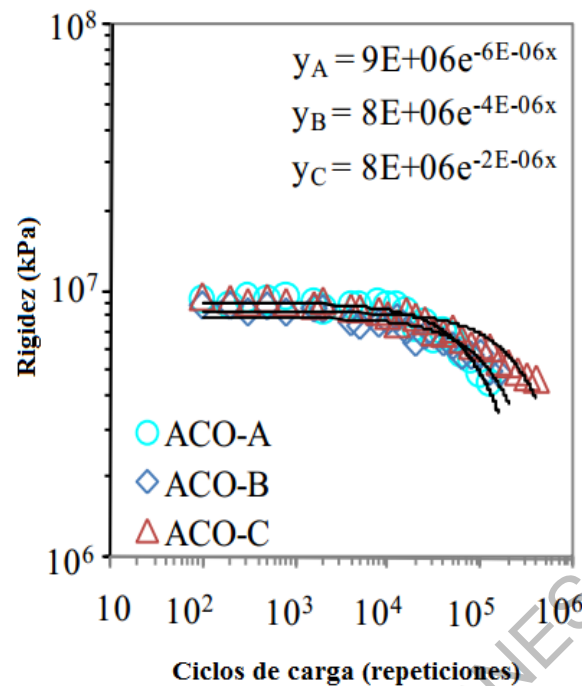


Figura 784 - 10. Ejemplo de curvas rigidez versus ciclos de carga

7.1.9 Energía acumulada disipada a la falla (J/m^3):

$$\sum_{i=1}^{i=n_{f,50}} D_i$$

[784.9]

Nota 6: No es necesario medir la energía disipada en cada ciclo; sin embargo, el software usado para controlar el ensayo de fatiga determina sistemáticamente la energía disipada en los ciclos de carga especificados durante el ensayo. La energía total disipada en el instante de la falla es resumida como parte de los datos de salida.

8 INFORME

8.1 Se debe presentar la siguiente información:

- 8.1.1** *Descripción de la mezcla asfáltica* – Tipo y contenido de ligante, gradación de los agregados y el porcentaje de vacíos con aire.
- 8.1.2** *Dimensiones del espécimen* – La longitud y los valores promedios del ancho y la altura, en metros, con cuatro dígitos significativos.
- 8.1.3** Temperatura del ensayo, con una aproximación de 0.2 ° C.

8.1.4 Se anotan los siguientes resultados del ensayo para cada intervalo de ciclos de carga seleccionados por el operador, con tres dígitos significativos:

Tabla 784 - 2. Resultados del ensayo

CICLO DE CARGA	CARGA APLICADA	DEFLEXIÓN DE LA VIGA	ESFUERZO DE TENSIÓN	DEFORMACIÓN DE TENSIÓN	RIGIDEZ FLEXURAL	ÁNGULO DE FASE	ENERGÍA DISIPADA	ENERGÍA DISIPADA ACUMULADA
	N	m	Pa	m/m	Pa	grados	J/m ³	J/m ³

8.1.5 Se informa la rigidez inicial a la flexión en Pa.

8.1.6 Se reportan los ciclos de falla.

8.1.7 Se grafica la rigidez versus los ciclos de carga como se muestra en la Figura 784 - 10.

8.1.8 Se grafica la energía disipada versus los ciclos de carga como se muestra en la Figura 784 - 9.

9 PRECISIÓN Y SESGO

9.1 Aún no se han conducido los ensayos para determinarlos.

10 NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO T 321 – 07

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DISEÑO DE MEZCLAS DE AGREGADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO ESPUMADO

INV E – 785 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe un procedimiento para la preparación de cemento asfáltico espumado y para el diseño de mezclas de agregados pétreos con cemento asfáltico espumado, a partir de la elaboración de probetas cilíndricas de mezcla, a las cuales se les determina su resistencia a la tensión indirecta.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E– 785– 07.

2 EQUIPO

- 2.1** *Planta portátil de laboratorio (Figura 785 - 1)* – Planta capaz de producir asfalto espumado a razón de 50 a 200 g/s. El método de producción debe simular de manera muy aproximada la producción a escala industrial. La planta debe tener un recipiente termostáticamente controlado, capaz de contener una masa de diez kilogramos (10 kg) de asfalto a una temperatura entre 150 y 205° C, con un margen de $\pm 5^\circ$ C. Debe poseer, además, un dispositivo para el suministro de aire comprimido de baja presión de 0 – 500 kPa, con una precisión de ± 25 kPa. También, debe disponer de un sistema para la adición de agua fría al asfalto caliente, variable de 0 a 4 % de la masa, con una precisión de ± 0.2 %. Su diseño debe permitir la descarga directa de la espuma elaborada en el tazón de mezcla de un mezclador de laboratorio accionado por electricidad, con una capacidad de, cuando menos, 10 kg.



Figura 785 - 1. Planta de laboratorio para producir asfalto espumado

- 2.2** *Moldes de compactación* – Moldes Marshall de 101.6 ± 0.5 mm de diámetro y 87.3 ± 1 mm de altura, con placa de base y collar de extensión. La placa de base y el collar de extensión deberán ser intercambiables, es decir, ajustables en cualquiera de los dos extremos del molde.
- 2.3** *Extractor de probetas* – Elemento de acero en forma de disco, con diámetro de 100 mm y 12.7 mm de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde, con ayuda del collar de extensión.
- 2.4** *Martillo de compactación* – Martillo Marshall, consistente en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 98.4 mm de diámetro y un pisón deslizante de 4536 ± 9 g de masa, con una caída libre de 457 ± 1.5 mm. El martillo de compactación debe estar equipado con un protector de dedos. Se permite el empleo de un martillo de operación mecánica.
- 2.5** *Pedestal de compactación* – Consiste en una pieza prismática de madera, de base cuadrada de 203.2 mm de lado y 457.2 mm de altura, provista en su cara superior de una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado y 25.4 mm de espesor, firmemente sujeta a la misma. La madera será roble u otra clase cuya densidad seca se encuentre entre 0.67 y 0.77 g/cm³. El conjunto se debe fijar firmemente a una base de concreto, debiendo quedar la platina de acero en posición completamente horizontal.
- 2.6** *Soporte para molde* – Dispositivo con resorte de tensión, diseñado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal. Deberá, además, mantener el molde en su posición durante el proceso de compactación de la mezcla.

- 2.7** *Balanzas* – Una balanza de 5 kg de capacidad, con precisión de 1 g, para pesar agregados y asfalto; otra de 2 kg de capacidad, con precisión de 0.1 g, para pesar las probetas compactadas.
- 2.8** *Espátula* – Con una cuchilla de unos 150 mm de longitud.
- 2.9** *Prensa* – Prensa con capacidad mínima de carga de 20 kN, con una velocidad uniforme de desplazamiento de 50.8 mm/min, provista de un medidor de carga de, cuando menos, 15 kN con una precisión de 0.1 kN. La prensa para el ensayo Marshall (norma INV E-748) presenta estas características.
- 2.10** *Recinto termostático* – Capaz de mantener una temperatura de $25 \pm 1^\circ \text{C}$.
- 2.11** *Placa de transferencia de carga* – De acero, para transferir la carga de la prensa a la banda de carga superior sin generar deformaciones.
- 2.12** *Bandas de carga* – Se necesitan bandas metálicas de carga con una superficie cóncava, que tengan un radio de curvatura igual al radio nominal del espécimen de ensayo, para aplicar la carga al espécimen. Para especímenes de 102 mm (4"), la franja deberá tener 12.7 mm (0.5") de ancho. La longitud de la franja de carga debe exceder el espesor de los especímenes. Los bordes de las bandas deberán ser redondeados, con el radio de curvatura adecuado.
- 2.13** *Calibradores* – Calibradores para medir la longitud y el diámetro de las probetas, con aproximación a los 0.5 mm más cercanos.
- 2.14** *Grasa de silicona o aceite.*
- 2.15** *Dispositivos para aplicar vacío* – Desecador de vacío u otro recipiente apropiado, y una bomba de vacío capaz de reducir la presión a menos de 50 mm Hg, conectada a un manómetro.
- 2.16** *Termómetro* – Con un rango de 0 a 50°C .

3 SELECCIÓN DEL PORCENTAJE DE AGUA PARA OPTIMIZAR LAS PROPIEDADES DEL ASFALTO ESPUMADO

- 3.1** El objetivo es determinar el porcentaje de agua que optimiza las propiedades de espumado de un determinado asfalto, maximizando la relación de expansión y la vida media del asfalto espumado. Para ello, se calibran las ratas de flujo de asfalto y agua. La primera se regula a razón de 100 g/s. La presión

de aire se ajusta a 100 kPa. Se mantiene el asfalto a una temperatura entre 180 y 200 °C durante 15 minutos, antes de comenzar la producción de espuma. Se requieren cinco (5) muestras de asfalto espumado para producir espuma con contenidos de agua entre 1 y 3 %, en incrementos de 0.5 %.

- 3.2** Para cada muestra, se permite que la espuma descargue durante 5 segundos en un tambor de acero de 20 litros. Se señala con un marcador el máximo volumen al cual se expande la espuma. Usando un cronómetro, se mide el tiempo en segundos que tarda la espuma en reducir su volumen a la mitad, el cual se define como vida media. Se calcula la relación de expansión del asfalto espumado, dividiendo el volumen máximo de la espuma por el volumen de asfalto en el tambor luego de que la espuma se ha disipado totalmente, pero nunca antes de 60 segundos. Se dibujan las gráficas de relación de expansión y vida media contra el contenido de agua para todas las muestras, en el mismo juego de ejes, lo que permite optimizar el contenido de humedad.

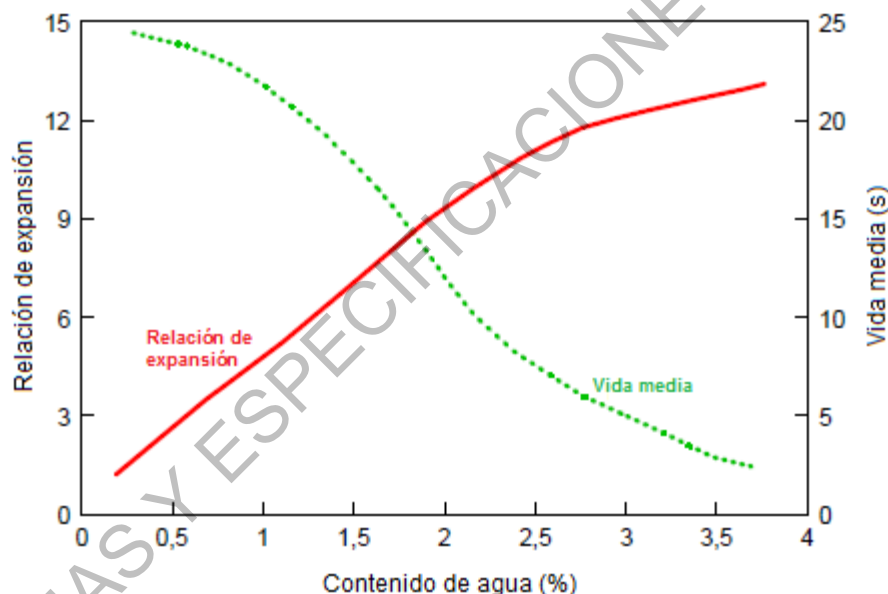


Figura 785 - 2. Optimización de las propiedades de la espuma

4 PREPARACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

- 4.1** Se determinan la granulometría y la plasticidad de los agregados pétreos. En algunos casos, la mezcla de dos o más agregados puede ser necesaria para satisfacer el requisito granulométrico de la especificación. Se debe realizar un pre-tratamiento con cal, si el producto plástico (Índice de plasticidad \times % pasa tamiz de 75 μ m) es mayor de 72.

- 4.2** Se realiza un ensayo modificado de compactación, norma INV E-142, para obtener el contenido óptimo de humedad del agregado.
- 4.3** Se seca la muestra de agregado hasta masa constante a 105 – 110°C. En el caso de materiales recuperados de un pavimento existente, el secado se debe realizar a la menor temperatura que evite que las partículas se adhieran unas a otras. El contenido de ligante de los materiales bituminosos recuperados debe ser determinado en este momento. Una vez seca, la muestra se debe cuartear y dividir en porciones de 10 kg cada una.

5 TRATAMIENTO DE LOS AGREGADOS CON ASFALTO ESPUMADO O PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS

- 5.1** Para el diseño de la mezcla, se deben preparar 5 porciones de 10 kg cada una, con contenidos de asfalto variables, en incrementos de 1 %. La planta portátil de laboratorio se ajusta para producir el asfalto espumado con propiedades óptimas, como se determinó en la Sección 3 de esta norma. Si se requiere, se agrega un aditivo mejorador de adherencia para incrementar la adhesión del asfalto al agregado.
- 5.2** Cada porción de mezcla con 10 kg de agregado se prepara de acuerdo con el siguiente procedimiento:
- 5.2.1** Se coloca la bachada de agregado entera en el recipiente de mezcla. Se añade una cantidad de agua tal, que el contenido de humedad más el contenido de ligante añadido sean iguales al contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo modificado de compactación. El mezclador mecánico se debe colocar de manera que la espuma sea descargada directamente al recipiente de mezcla. Los agregados y el agua se mezclan durante un minuto. Posteriormente, sin parar el mezclador, se descarga la masa requerida de asfalto espumado en el recipiente de mezcla y se continúa el proceso de mezclado durante los siguientes 30 segundos.
- 5.2.2** Se transfiere el agregado tratado con el asfalto espumado a un contenedor sellado. Se repite el procedimiento hasta obtener cinco (5) muestras tratadas con diferentes contenidos de asfalto. Estas muestras se encuentran listas para la ejecución del ensayo.

6 VERIFICACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE HUMEDAD Y DE ASFALTO

- 6.1 Se toman muestras por duplicado de cada bachada de mezcla, para verificar los contenidos de agua y de asfalto.
- 6.2 Se seca cada muestra hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$, para determinar su humedad.
- 6.3 Posteriormente, se realiza una extracción para determinar el contenido de asfalto.

7 COMPACTACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE ASFALTO ESPUMADO

- 7.1 Se limpian el molde, el collar, la placa de base y la base del martillo de compactación. Se coloca un papel de filtro en el fondo del molde. Se pesa una cantidad suficiente de material para que la probeta compactada tenga una altura de $63.6 \pm 1.5 \text{ mm}$ (usualmente 1150 g son suficientes). Se golpea la muestra con la espátula 15 veces por su perímetro y 10 veces en su parte interior, de manera que la superficie quede ligeramente redondeada.
- 7.2 Se coloca el conjunto en el sujetador sobre el pedestal de compactación y se compacta la mezcla aplicando 75 golpes del martillo, desde la altura libre establecida. Se remueven del pedestal el molde y el collar, se invierte aquel y se coloca firmemente sobre la placa de base; se ajusta de nuevo el collar y se aplican otros 75 golpes a la nueva superficie superior de la muestra.
- 7.3 Se deben compactar, como mínimo, seis probetas por porcentaje de asfalto espumado, tres para ensayo de tracción indirecta con tratamiento previo en seco y tres para ensayo con especímenes saturados antes de la falla.

8 CURADO

- 8.1 Terminada la compactación, se remueve el molde de la placa de base y se permite el curado de la probeta compactada dentro del molde, durante 24 horas a temperatura ambiente.
- 8.2 Se extrae la probeta compactada del molde con ayuda de un gato de extrusión u otro dispositivo adecuado.

- 8.3** Se somete la probeta a un segundo período de curado durante 72 horas a 60° C en un horno de temperatura controlada y ventilación forzada. Las probetas se deben colocar sobre una superficie plana y lisa tanto durante el curado como luego de él.

9 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LAS PROBETAS COMPACTADAS

- 9.1** Se determina la gravedad específica bulk de cada probeta luego de su curado a temperatura ambiente, utilizando el procedimiento descrito en la normas INV E-733 o INV E-802.

Nota 1: Se deben excluir de los ensayos posteriores aquellas probetas cuya densidad específica bulk difiera en más de 30 kg/m³ de la densidad específica bulk promedio del grupo al cual pertenecen.

10 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA

- 10.1** La prueba de resistencia a la tensión indirecta se usa para ensayar probetas de mezcla con asfalto espumado, compactadas y curadas tanto bajo condición seca como húmeda. La resistencia a la tensión indirecta se determina midiendo la carga última de falla de una probeta sometida a una tasa de deformación constante de 50.8 mm/minuto sobre su eje diametral.
- 10.2** Las probetas se dejan en reposo a temperatura ambiente durante una noche, antes de ser ensayadas. A continuación, se mide la altura de cada una en cuatro puntos uniformemente espaciados y se calcula su altura promedio (t). Igualmente, se mide su diámetro (D).
- 10.3** Se colocan las probetas en la cámara termostática a una temperatura de 25 ± 1° C durante un período comprendido entre una y dos horas.
- 10.4** Se retira una probeta de la cámara y se coloca en el aparato de carga con las bandas de carga, centradas y paralelas en el plano diametral vertical (Figura 785 - 3).



Figura 785 - 3. Ensayo de tensión indirecta

- 10.5** Se aplica carga a la probeta sin impactos a una velocidad de avance de 50.8 mm/minuto hasta alcanzar la máxima carga, registrando esta última (P) con aproximación a 1N.
- 10.6** Con el fin de determinar la resistencia a la tensión indirecta de probetas saturadas, se colocan los especímenes curados en un desecador de vacío donde se cubren con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$. Se aplica un vacío de 50 mm Hg durante 60 ± 1 minutos, contando el tiempo desde el instante en que se ha alcanzado el vacío total. Se remueve la muestra, se seca su superficie y se determina su resistencia a la tensión indirecta mediante el procedimiento descrito con anterioridad.
- 10.7** La resistencia a la tensión indirecta de cada probeta se calcula con la siguiente expresión, debiendo redondear el resultado al entero de kPa más cercano:

$$RTI = \frac{2000 \times P}{\pi \times t \times D} \quad [785.1]$$

Donde: RTI: Resistencia a la tensión indirecta, kPa;

P: Carga máxima, N;

t: Altura del espécimen inmediatamente antes del ensayo, mm;

D: Diámetro del espécimen justo antes del ensayo, mm.

11 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE DE DISEÑO

11.1 Para todas las muestras (tanto las ensayadas en seco como bajo saturación), se dibuja una gráfica que represente el contenido de ligante espumado (abscisas) contra la resistencia a la tensión indirecta (ordenadas), en el mismo juego de ejes (Figura 785 - 4).

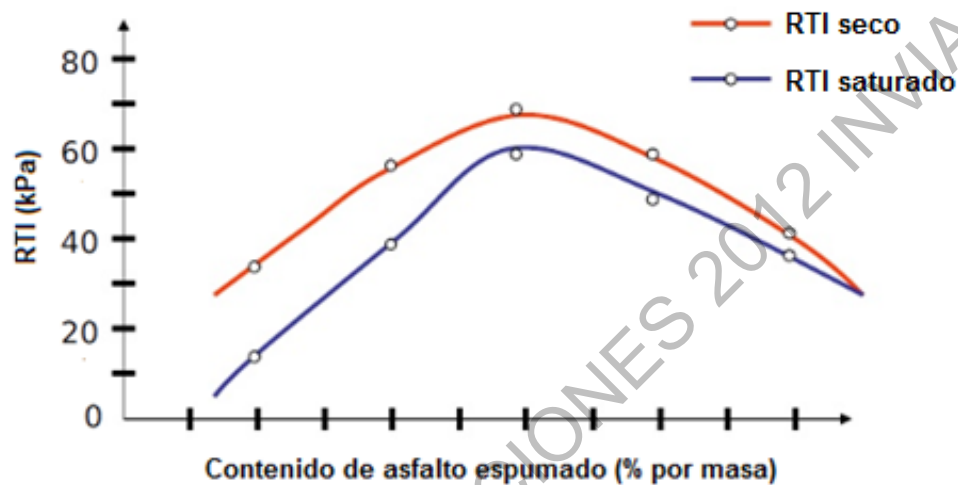


Figura 785 - 4. Contenido de asfalto espumado vs RTI

11.2 El contenido de ligante para el cual alcanzan la máxima resistencia a la tensión las probetas ensayadas bajo saturación es el contenido de ligante óptimo de la mezcla con asfalto espumado.

11.3 Se determina si esta resistencia y la correspondiente en seco para el mismo contenido de ligante, satisfacen las especificaciones. Si no lo hacen, se deberá diseñar una nueva mezcla.

12 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Foamed asphalt mixes, mix design procedure, Contract report CR – 98/077, K M Muthen, SABITA Ltd & CSIR Transportek, South Africa, 1998

Foam Bitumen Recycling, DPU DKI, Jakarta, 19 Nopember 2007, <http://es.scribd.com/doc/10064170/5-Foam-Bitumen-Recycling>

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA (RTI) DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

INV E – 786 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe un procedimiento para la preparación y el ensayo de tensión indirecta de probetas de mezcla asfáltica fabricadas en el laboratorio o de núcleos extraídos de capas de pavimento.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-786-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** La resistencia a la tensión indirecta se determina cargando un espécimen cilíndrico de mezcla asfáltica a través de su plano diametral vertical, bajo unas condiciones especificadas de velocidad de deformación y de temperatura. El valor de la carga pico en el instante de la falla se emplea para calcular la RTI del espécimen.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Los valores de resistencia a la tensión indirecta se pueden emplear para evaluar la calidad relativa de las mezclas asfálticas en conjunto con los ensayos para su diseño, así como para estimar su potencial de agrietamiento y de ahuellamiento.
- 3.2** Los resultados se pueden usar, también, para determinar el potencial de daño por humedad cuando se realizan ensayos sobre especímenes en estado natural y acondicionado en agua, como se describe en la norma INV E-725.

4 EQUIPO

- 4.1** *Dispositivo de carga* – Un gato de carga y un anillo dinamométrico, o una máquina de ensayo servo hidráulica con una celda de carga electrónica, como se describe en la norma INV E-748. El dispositivo debe ser capaz de aplicar

cargas de compresión con una velocidad de deformación controlada, mientras mide tanto la carga como la deformación.

4.2 *Bandas de carga* – Con una superficie cóncava con un radio de curvatura igual al radio nominal del espécimen de ensayo. Para especímenes con diámetro nominal de 101.6 mm, el ancho de las bandas deberá ser 12.70 ± 0.3 mm, mientras que para probetas con 150 mm de diámetro nominal, el ancho de las bandas será de 19.05 ± 0.3 mm. La longitud de las bandas deberá ser mayor que el espesor del espécimen. Los bordes de las bandas deberán ser levemente biselados, para que no presenten aristas cortantes.

4.2.1 Las bandas de carga forman parte de la instalación del ensayo, como se muestra en la Figura 786 - 1, en la cual la banda inferior está montada sobre una base que contiene dos varillas o columnas de guía que se extienden hacia arriba. La banda de carga superior deberá estar limpia y deslizar libremente por las columnas. Las camisas de guía de la parte superior de la instalación se deben encontrar en una posición tal, que dirijan correctamente las dos bandas de carga sin que se presenten atascos u holguras apreciables.

4.3 *Sistema de control de temperatura* – Un baño de aire o de agua, que permita mantener los especímenes a la temperatura de ensayo especificada $\pm 1.0^\circ$ C.

4.4 *Termómetro* – Calibrado, de líquido en vidrio, de rango adecuado y con subdivisiones legibles a 0.1° C, u otro dispositivo termostático de igual o superior exactitud, precisión y sensibilidad.

4.5 *Elementos misceláneos* – Cinta, regla o juego de calibradores, para medir la altura de las probetas.

Nota 1: Si se desea hacer el ensayo para determinar la susceptibilidad al agua de la mezcla compactada, se requerirá el equipo descrito en la norma INV E-725.

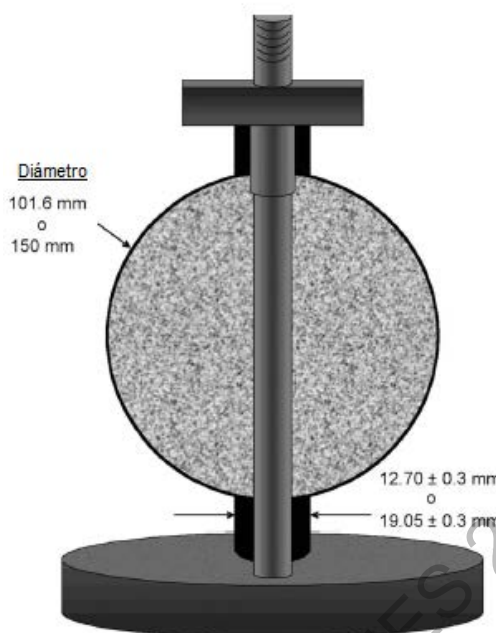


Figura 786 - 1. Esquema de una instalación para el ensayo de tensión indirecta

5 ESPECÍMENES DE ENSAYO

5.1 *Especímenes moldeados en el laboratorio* – Los especímenes de laboratorio se pueden moldear de acuerdo con las normas INV E-747, INV E-748 o INV E-800. Si los especímenes tienen un diámetro nominal de 101.6 mm, su altura debe ser, como mínimo, 50.8 mm; mientras que si el diámetro nominal es 150 mm, la altura mínima debe ser 75 mm. Se deberá preparar y ensayar un mínimo de tres probetas para cada mezcla.

5.2 *Núcleos* – Deben ser lisos, con caras paralelas, y cumplir los mismos requisitos de diámetro y altura exigidos para los especímenes moldeados en el laboratorio, excepto que se permite una altura mínima de 38 mm cuando el diámetro es 101.6 mm. Los núcleos también se deberán ensayar por triplicado.

Nota 2: Los especímenes de 101.6 de diámetro nominal son apropiados para mezclas con agregados de tamaño máximo nominal no mayor de 19 mm. Los de 150 mm de diámetro nominal se emplean con mezclas con agregados con tamaño máximo nominal de 37.5 mm o menos.

6 PROCEDIMIENTO

6.1 Se determina la altura del espécimen, con aproximación a 1 mm, según el procedimiento descrito en la norma INV E-744.

- 6.2** En el caso de núcleos, el diámetro se mide en la mitad de su altura, tomando cuatro lecturas a separaciones de 90° y determinando el promedio con aproximación a 1 mm.
- 6.3** Se lleva el espécimen a la temperatura de ensayo $\pm 1.0^{\circ}$ C por alguno de los tres procedimientos que se mencionan en seguida. La temperatura de ensayo recomendada es 25° C.

Nota 3: Aunque se puede usar cualquier temperatura a discreción del usuario, la mayoría de las pruebas se realizan a 25° C.

- 6.3.1** *Procedimiento A* – Se coloca el espécimen en un baño de aire por un mínimo de 4 horas.
- 6.3.2** *Procedimiento B* – Se coloca el espécimen en una bolsa plástica gruesa e impermeable y se introduce en un baño de agua durante 2 horas, como mínimo.
- 6.3.3** *Procedimiento C* – Se introduce el espécimen en un baño de agua durante un lapso comprendido entre 30 y 120 min.
- 6.4** Se retira el espécimen del baño de aire o agua, se remueve de la bolsa si se empleó el procedimiento B, y se coloca sobre la banda de carga inferior. Se desciende de manera lenta la banda de carga superior hasta que haga un contacto leve con el espécimen. Se verifica que las bandas de carga se encuentren paralelas y centradas sobre el plano diametral vertical. El tiempo transcurrido desde la remoción de la probeta del baño hasta la culminación del ensayo, no deberá exceder de 2 minutos.
- 6.5** Se aplica sobre la probeta una carga vertical de compresión hasta alcanzar la carga máxima y se anota el valor de ésta. La velocidad de deformación deberá ser de 50 ± 5 mm/min.

Nota 4: Esta velocidad de deformación ha sido de uso general para hallar la resistencia a la tensión de especímenes de 101.6 mm de diámetro y se recomienda también en el ensayo Marshall sobre probetas de 150 mm de diámetro (norma INV E-800). Aún no existen resultados de investigaciones que indiquen que la velocidad de deformación se debe ajustar para hallar la resistencia a tensión indirecta de especímenes con 150 mm de diámetro nominal. Algunos investigadores han empleado un velocidad de 3.75 mm/min a temperaturas más elevadas (30 – 40° C) sobre especímenes de 150 mm, para evaluar el potencial de ahuellamiento.

7 CÁLCULOS

7.1 La resistencia a la tensión indirecta se calcula con la expresión:

$$RTI = \frac{2000 \times P}{\pi \times t \times D} \quad [786.1]$$

Donde: RTI: Resistencia a la tensión indirecta, kPa;

P: Carga máxima, N;

t: Altura del espécimen inmediatamente antes del ensayo, mm;

D: Diámetro del espécimen justo antes del ensayo, mm.

8 INFORME

8.1 Se debe presentar la siguiente información:

8.1.1 Tipo de muestra ensayada (moldeada en el laboratorio o núcleo) y descripción de la mezcla (tamaño máximo nominal, granulometría, tipo de ligante).

8.1.2 Altura medida y diámetro nominal (laboratorio) o promedio (núcleo) de cada espécimen, redondeados a 1 mm.

8.1.3 Temperatura de ensayo, aproximada a 1° C.

8.1.4 Velocidad de deformación usada en el ensayo, aproximada a 1 mm/min.

8.1.5 Procedimiento empleado para acondicionar el espécimen (A, B o C, según el numeral 6.3), incluyendo el método usado para controlar la temperatura del baño.

8.1.6 Carga máxima de compresión, P, aproximada a 1 N.

8.1.7 La RTI de cada uno de los tres especímenes del juego y el promedio de ellas, redondeados a 10 kPa.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1** *Precisión* – La desviación estándar de la repetibilidad (ensayo en el mismo laboratorio) para una velocidad de deformación de 50 ± 5 mm/min y una temperatura de ensayo de 25° C, fue 80 kPa para probetas de 101.6 mm de diámetro, de acuerdo con resultados proporcionados por 28 laboratorios usando muestras por duplicado o cuadruplicado, con 11 mezclas diferentes. La reproducibilidad (ensayos entre laboratorios) aún no se ha determinado y, por lo tanto, esta norma no se puede emplear todavía para aceptación o rechazo de materiales con fines de pago.
- 9.2** *Sesgo* – No se presenta información sobre sesgo, dado que es un ensayo destructivo y no hay bases para establecer un valor de referencia verdadero para comparación.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6931 – 12

DENSIDAD EN EL SITIO DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE UTILIZANDO EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE CONTACTO SUPERFICIAL

INV E – 787 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se refiere a la determinación in-situ de la densidad total y la compactación relativa de pavimentos de mezcla asfáltica densa en caliente (MDC) midiendo los cambios que se producen en el campo electromagnético, como resultado del proceso de compactación.
- 1.2 El equipo referenciado en este método es un aparato de contacto superficial, el cual no es relativamente afectado por la humedad superficial ni por las variaciones en la temperatura de la superficie que se suelen encontrar durante las operaciones de pavimentación con mezclas densas en caliente. Si se necesitan, se deberán incluir circuitos para medir y/o compensar las variaciones de humedad y temperatura durante el proceso de compactación del material.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-787-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 El método de ensayo descrito es útil como una técnica rápida no destructiva para determinar la densidad in-situ y la compactación relativa de mezclas asfálticas densas en caliente compactadas.
- 2.2 Los resultados de densidad obtenidos por este método se pueden aplicar usando tres métodos: Método A: relativo, Método B: calibración de la enrasadora del pavimento, y Método C: calibración del núcleo. El método C es el más exacto y requiere una correlación con una muestra de densidad conocida del material que se está midiendo.

3 INTERFERENCIAS

- 3.1** La composición de la mezcla en caliente que está siendo sometida al ensayo puede afectar significativamente las medidas. El dispositivo se debe calibrar al diseño de la mezcla específica que se está usando en el terreno.
- 3.2** Este método de ensayo exhibe sesgo espacial. Sobretamaños del agregado en el área de la trayectoria del sensor pueden causar variaciones en las lecturas de densidad. Se recomienda el promedio de, por lo menos, cuatro medidas en cada sitio de ensayo.
- 3.3** La textura superficial del material que está siendo ensayado puede causar lecturas más bajas de densidad que las reales.
- 3.4** Campos de fuerza electromagnética, como aquellos causados por cables eléctricos de alta tensión o por objetos grandes de metal cerca del dispositivo, pueden interferir con su lectura.

4 EQUIPO

- 4.1** El dispositivo deberá satisfacer los requerimientos señalados a continuación:
- 4.1.1** Deberá estar alojado dentro de una caja construida para trabajo pesado y estar diseñado para tomar medidas de densidad in-situ de pavimentos asfálticos de mezcla en caliente.
- 4.1.2** Deberá funcionar a los niveles de temperatura y humedad experimentados durante la colocación de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.
- 4.1.3** Deberá incluir los circuitos internos apropiados para desplegar medidas individuales que permitan a los operadores registrar los resultados.
- 4.1.4** Deberá incluir un modo de operación de medida continua.
- 4.1.5** Deberá emplear circuitos electrónicos adecuados para suministrar energía y acondicionar la señal al sensor, para proporcionar la función de adquisición y lectura de datos y permitir la calibración de la unidad sobre el rango esperado de condiciones de colocación y de materiales.

La Figura 787 - 1 muestra un ejemplo de equipo que aplica los principios de medición indicados en esta norma.



Figura 787 - 1. Ejemplo de equipo electrónico de contacto superficial para medir la densidad de un pavimento asfáltico en el sitio

5 PREPARACIÓN DEL SITIO DE ENSAYO

- 5.1** Puesto que las condiciones de la superficie pueden tener un efecto significativo sobre las medidas de densidad, se requiere una superficie lisa sin exceso de agua (el agua del rodillo de compactación es aceptable) para una prueba correcta. La condición óptima para las pruebas rutinarias sería una superficie seca y lisa, donde exista contacto total entre la superficie inferior del dispositivo y la superficie que se está ensayando.
- 5.2** Se selecciona un área de ensayo plana y relativamente lisa en la capa de la mezcla en caliente. Se cepilla la superficie hasta que esté libre de arena o piedras, las cuales impedirían el contacto correcto entre la superficie y el dispositivo medidor.

6 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

- 6.1** El dispositivo se debe calibrar para cada mezcla, antes de hacer ensayos sobre materiales que sean diferentes a los tipos de materiales usados al establecer la calibración más reciente. Siempre se deberá calibrar un dispositivo recientemente adquirido o reparado. Si se dispone de ella, se deberá usar una

placa normal o una base de referencia para asegurar que el dispositivo se encuentre dentro de las especificaciones del fabricante.

- 6.2** El dispositivo deberá ser calibrado sobre la capa de mezcla en caliente en rangos de temperatura de compactación que permitan la toma de lecturas subsiguientes a medida que progresa la pavimentación en este rango de temperatura. Para calibración usando muestras de núcleos, se debe seguir el procedimiento dado en el numeral 6.4.3 y consultar los procedimientos recomendados por el fabricante.
- 6.3** El dispositivo se debe manejar siguiendo las recomendaciones de su fabricante. Se deben promediar varias medidas individuales para calcular una lectura. El lugar y el número de medidas usadas para calcular una lectura dependerán de las especificaciones presentadas por el fabricante.
- 6.4** El dispositivo se debe calibrar siguiendo el procedimiento para los métodos A, B o C. Todos los datos usados para la calibración se deben registrar para cada fórmula de trabajo de la mezcla.
- 6.4.1** *Método A* – Es el Método relativo. Se puede usar para seguir el proceso de compactación durante el establecimiento de los patrones de compactación.
- 6.4.1.1** Se coloca el dispositivo sobre la capa asfáltica en el lugar del ensayo y se traza una línea alrededor de la unidad sensora del equipo y se registran las medidas de compactación y las lecturas promedio del material no compactado que va saliendo de la plancha enrasadora de la máquina pavimentadora.
- 6.4.1.2** Después de cada pasada del rodillo de compactación, se coloca el dispositivo dentro de la marca trazada y se registran las medidas de compactación y la lectura promedio.
- 6.4.1.3** Cuando las lecturas dejan de aumentar con pasadas adicionales, se registran este valor y el número de pasadas.
- 6.4.1.4** Se repiten los pasos indicados en los numerales 6.4.1.2 y 6.4.1.3, después de las pasadas de cada tipo de compactador en donde la compactación va a ser controlada.

6.4.2 *Método B* – Este es el método de calibración de la enrasadora de la pavimentadora. Este método utiliza el porcentaje de compactación obtenido por la enrasadora, para calcular una densidad inicial. Este método requiere que el operador estime el porcentaje de compactación obtenido por la enrasadora; rutinariamente, este número es de 75 a 85 % de la densidad máxima teórica o densidad sin vacíos. La experiencia del operador contribuirá a la exactitud de la estimación de la compactación y al éxito de este método.

6.4.2.1 Se estima el porcentaje de compactación obtenido por la enrasadora.

6.4.2.2 Se multiplica la densidad máxima del material (sin vacíos) por el porcentaje de compactación obtenido por la enrasadora, en forma decimal. Ejemplo: la densidad sin vacíos es 2468 kg/m³ (154 lb/pie³); la compactación de la enrasadora es de 81 %. El dispositivo deberá leer 1999 kg/m³ (124.7 lb/pie³) detrás de la enrasadora ($2468 \times 0.81 = 1999 \text{ kg/m}^3$).

6.4.2.3 Se mide la densidad de la mezcla que sale de la enrasadora y se compensa el dispositivo para obtener la lectura calculada en el numeral 6.4.2.2. Se deben seguir las especificaciones recomendadas específicas del fabricante para registrar la compensación.

6.4.3 *Método C* – Este es el método de calibración del núcleo. Este método usa densidades reales de núcleos para calibrar el dispositivo. Se considera el método más exacto y detallado y debe ser examinado para obtener una comprensión amplia del proceso de calibración.

6.4.3.1 Se identifican al azar de 1 a 5 lugares de prueba en la capa de mezcla asfáltica en caliente. Para establecer una franja de control, se deben usar 5 ubicaciones de núcleos. Para control de pavimentación o de calidad, se deberán seguir el criterio del operador y las recomendaciones del fabricante.

6.4.3.2 Se coloca el dispositivo sobre la capa asfáltica en el lugar del ensayo y se traza una marca alrededor de la unidad sensora del equipo. Se registran las medidas y la lectura promedio.

6.4.3.3 Se corta un núcleo de 150 mm (6") de diámetro dentro del área marcada que rodea el dispositivo donde fue tomada la lectura.

- 6.4.3.4** Se repiten los pasos de los numerales 6.4.3.2 y 6.4.3.3 en los lugares adicionales de ensayo, si es necesario.
- 6.4.3.5** Se determina en el laboratorio la densidad de cada núcleo de diámetro de 150 mm (6") de acuerdo con la norma INV E-733 o cualquier otro método aplicable y se anotan los resultados.
- 6.4.3.6** Se registra la diferencia numérica entre la lectura promedio obtenida con el dispositivo y la correspondiente densidad del núcleo para cada lugar de ensayo.
- 6.4.3.7** Se promedian las diferencias numéricas obtenidas en el numeral 6.4.3.6 y se registra la diferencia numérica promedio.

6.4.3.7.1 *Ejemplo:*

DENSIDAD DE LOS NÚCLEOS kg/m ³	DENSIDAD CON EL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO kg/m ³	DIFERENCIA kg/m ³
2320	2260	60
2275	2190	85
2290	2238	52
2180	2145	35
2346	2295	51
2330	2280	50
2300	2266	34
Diferencia promedio		+ 52

- 6.4.3.8** Se ajusta el dispositivo siguiendo el procedimiento recomendado por el fabricante para tener en cuenta la diferencia numérica promedio. Esto calibrará el instrumento a la capa asfáltica añadiendo (o sustrayendo) la diferencia numérica promedio.

7 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

- 7.1** Se asegura que el dispositivo esté calibrado de acuerdo con la Sección 6 de esta norma, referente a las condiciones del lugar y de la mezcla asfáltica en caliente que se está usando.

- 7.2** Se localiza el área de medida lejos de cualquier fuente conocida de interferencia electromagnética, como líneas eléctricas elevadas de alta tensión u objetos metálicos de gran tamaño. Para obtener mejores resultados, se deben evitar superficies que presenten grandes extremos de temperatura.
- 7.3** Se coloca el dispositivo firmemente sobre la superficie de ensayo (preparada de acuerdo con la Sección 5 de esta norma) y se traza una marca alrededor de la unidad sensora del dispositivo.
- 7.4** Se realizan y registran varias medidas de densidad dadas por el dispositivo. Para el control de calidad o inspección del pavimento, el número de medidas tomadas en un lugar es menos crítico. Se requieren más medidas para aplicaciones de aseguramiento de la calidad o donde se obtienen núcleos adicionales. El número requerido de medidas dependerá de las recomendaciones del fabricante, con base en las posibilidades del dispositivo. El número de medidas debe estar respaldado por informes precisos obtenidos en lugares similares.
- 7.5** Se promedian las medidas del lugar individual para obtener una lectura de densidad promedio, la cual se corrige según la diferencia numérica promedio (numeral 6.4.3.7).
- 7.6** Se registran los datos de acuerdo con la Sección 8 de esta norma.

8 INFORME

- 8.1** Identificación de los sitios de trabajo, datos de localización de los sitios de prueba de acuerdo con los protocolos normales del contratista.
- 8.2** Datos de calibración del dispositivo como se especifica en la Sección 6.
- 8.3** Medidas individuales de densidad en cada lugar de prueba, junto con la lectura de densidad promedio calculada para el lugar.
- 8.4** Temperatura de la capa de la mezcla asfáltica en caliente al momento de tomar las temperaturas, si esto se ha hecho.
- 8.5** Cualquier observación cualitativa sobre el ensayo o sobre las condiciones del material, que puedan afectar la exactitud o la interpretación de los resultados del ensayo.

- 8.6** Datos correspondientes a la densidad de los núcleos (si han sido tomados) para cada lugar de ensayo.
- 8.7** Firma del operador y fecha de la prueba.

9 NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO TP 68 – 04 (2006)

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MEDIDA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE, DE LA SUPERFICIE Y DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

INV E – 788 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe los equipos y los procedimientos requeridos para determinar la temperatura del aire, la temperatura superficial de una capa asfáltica y la temperatura de una mezcla asfáltica en estado suelto.

2 EQUIPO

- 2.1 *Termómetro infrarrojo (Figura 788 - 1)* – Usado para la determinación de la temperatura de la superficie y de la mezcla asfáltica suelta. Debe tener registros entre -5 y 200°C (20 y 400°F), con un incremento máximo de 1°C (2°F). Se deberá operar de acuerdo con las instrucciones del fabricante.



Figura 788 - 1. Termómetro infrarrojo

- 2.2 *Termómetro de mercurio* – Se usa para determinar la temperatura del aire o de la superficie. Puede ser un termómetro recto de vidrio convencional o en forma de U, contenido en un bastidor plástico, conocido como termómetro de máximas y mínimas (Figura 788 - 2). Debe registrar en el rango de -5 a 60°C (20 a 140°F), con graduaciones cada 1°C (2°F) o menos.
- 2.3 *Termómetro blindado* – Se usa para determinar la temperatura de la mezcla suelta. Debe registrar en el rango de 10 a 200°C (50 a 400°F), con graduaciones cada 3°C (5°F) o menos.

- 2.4 *Termómetro bi-therm de carátula (Figura 788 - 3)* – Se usa para determinar la temperatura de la mezcla asfáltica suelta. Debe registrar en el rango 10 a 200° C (50 a 400° F), con graduaciones cada 3° C (5° F) o menos.



Figura 788 - 2. Termómetro de máximas y mínimas



Figura 788 - 3. Termómetro bi-therm

- 2.5 *Termómetro de disco tipo spot check (Figura 788 - 4)* – Se usa para determinar la temperatura de la superficie. Debe registrar en el rango 10 a 200° C (50 a 400° F), con graduaciones cada 3° C (5° F) o menos.



Figura 788 - 4. Termómetro de disco tipo spot check

- 2.6** *Termómetro digital (Figura 788 - 5)* – Se usa para determinar la temperatura del aire o la de la mezcla bituminosa. Debe medir en el rango de -20 a 200°C (0 a 400°F), como mínimo, en incrementos no mayores de 0.5°C (1°F). Deber tener una sonda remota y debe poder leer las temperaturas máxima y mínima. En el momento de su adquisición, el termómetro debe venir acompañado de un registro de calibración de acuerdo con los estándares de NITS.



Figura 788 - 5. Termómetro digital

- 2.7** *Cámara de video termográfica infrarroja (Figura 788 - 6)* – Se usa para determinar la temperatura de la mezcla bituminosa en cualquier parte del proceso. Debe medir en el rango de -5 a 200°C (20 a 400°F), como mínimo. Se deberá operar de acuerdo con las instrucciones del fabricante.



Figura 788 - 6. Cámara termográfica

- 2.8** *Caja de madera* – Para usar como cobertura de los termómetros de mercurio y digital cuando se determine la temperatura de una capa asfáltica. El espesor de sus paredes no debe ser menor de 10 mm (3/8"). Sus dimensiones interiores mínimas serán de 50 × 75 × 350 mm (2 × 3 × 14"). El lado inferior de la caja debe permanecer abierto. Los bordes del fondo deben tener una banda de espuma de caucho de 5 mm (3/16") de espesor y del mismo ancho de los bordes. La parte exterior de la caja debe estar recubierta con pintura de aluminio (Figura 788 - 7).

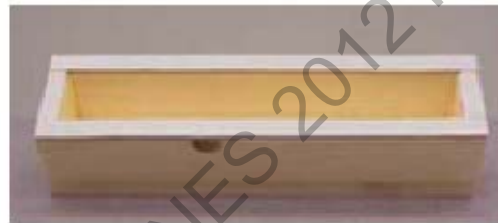
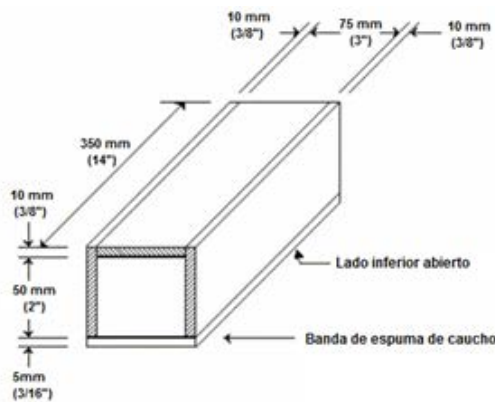


Figura 788 - 7. Caja de madera

3 CALIBRACIÓN

- 3.1** Los termómetros se deben calibrar anulamente contra un patrón conocido.

4 PROCEDIMIENTO

- 4.1** *Temperatura del aire* – El termómetro de mercurio o el digital se colocan en un área sombreada y no se deben exponer directamente a la luz solar. El termómetro se deberá colocar 1.35 m (4.5 pies) sobre el nivel de la superficie, medidos desde el bulbo del termómetro. Se debe tener cuidado de no generar calentamientos ni enfriamientos cerca del termómetro. El termómetro se debe dejar en posición hasta que se establezca la lectura. La temperatura del aire se debe registrar con una aproximación a 1° C (2° F).
- 4.2** *Temperatura de la superficie con termómetro de mercurio* – El termómetro no deberá ser disturbado durante un mínimo de 5 min mientras se adelanta el ensayo, de manera que se debe escoger un lugar que permita satisfacer este requisito. Se coloca el termómetro sobre la superficie de ensayo y se pone la

caja de madera firmemente sobre él, asegurando que la espuma de caucho de los bordes quede en perfecto contacto con la superficie de ensayo. Luego de los 5 minutos, se levanta un borde la caja, sólo lo suficiente para leer el termómetro. El registro se hará con aproximación a 1° C (2° F).

- 4.3** *Temperatura de la superficie con termómetro infrarrojo* – Cuando se use este termómetro, se deberán seguir las instrucciones del fabricante. Cuando se esté midiendo la temperatura de la superficie, se debe tener cuidado de que no haya corrientes que afecten la lectura. El registro se hará con aproximación a 1° C (2° F).
- 4.4** *Temperatura de la superficie con termómetro de disco tipo spot-check* – Se coloca sobre la superficie y se espera hasta que la aguja se deje de mover. Se lee la temperatura con aproximación a 3° C (5° F).
- 4.5** *Temperatura de la superficie con termómetro digital* – La sonda del termómetro no deberá ser disturbada durante un mínimo de 5 min mientras se adelanta el ensayo, de manera que se debe escoger un lugar que permita satisfacer este requisito. Se coloca la sonda sobre la superficie de ensayo y se coloca la caja de madera firmemente sobre ella, asegurando que la espuma de caucho de los bordes quede en perfecto contacto con la superficie de ensayo. Luego de un mínimo de 5 minutos, se lee la pantalla del termómetro. El registro se hará con aproximación a 1° C (2° F).
- 4.6** *Temperatura de la mezcla con el termómetro blindado o el bi-therm* – Se embebe el vástago del termómetro en la mezcla suelta. No se deberá perturbar hasta que la lectura se haya estabilizado, instante en el cual se toma la lectura, con aproximación a 3 °C (5° F). En lugar del termómetro blindado o del bi-therm, se puede usar un termómetro digital que tenga un rango capaz de medir la temperatura de la mezcla asfáltica y cuya sonda pueda permanecer dentro de ella (Figura 788 - 5).
- 4.7** *Temperatura de la mezcla con termómetro infrarrojo* – Cuando se use este termómetro, se deberán seguir las instrucciones del fabricante. El sitio para medir la temperatura de la mezcla suelta debe ser el platón del camión de transporte, la tolva de la pavimentadora, o tras la plancha enrasadora (Figura 788 - 1). El registro se hará con aproximación a 3° C (5° F).
- 4.8** *Registro de la temperatura con cámara infrarroja* – El empleo de estas cámaras se deberá realizar de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Las medidas se podrán realizar en cualquier punto donde se encuentre la mezcla elaborada: platón del camión, tolva de la pavimentadora o mezcla extendida.

Su empleo es particularmente útil para verificar si existe segregación térmica en cualquier punto de la mezcla (Figura 788 - 8).

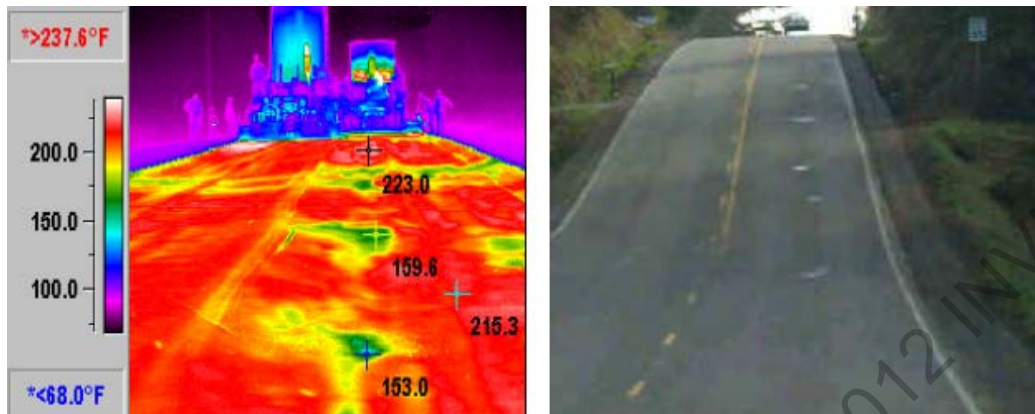


Figura 788 - 8. Temperatura de la mezcla en el instante de colocación y aspecto de la superficie del pavimento luego de 18 meses de servicio

5 NORMAS DE REFERENCIA

MoDOT TM 20 (Missouri Department of Transportation)

MEDIDA DEL AHUELLAMIENTO EN SUPERFICIES PAVIMENTADAS

INV E – 789 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe métodos de ensayo para medir la profundidad del ahuellamiento en la superficie de pavimentos asfálticos.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-789-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Ahuellamiento* – Depresión longitudinal en la superficie del pavimento a lo largo de la (s) banda (s) de circulación de los vehículos.
- 2.2 *Profundidad del ahuellamiento* – Distancia perpendicular máxima existente entre la superficie del pavimento en un sitio específico ahuellado y la superficie que teóricamente debería existir en ese mismo punto.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 El ahuellamiento es un fenómeno que afecta a los pavimentos asfálticos, el cual se manifiesta en forma de una depresión longitudinal en la sección transversal y se localiza en las zonas del pavimento por donde circula la mayor parte del tránsito (huellas).
- 3.2 Las superficies ahuelladas tienen una influencia adversa sobre las características de operación de los vehículos y pueden impedir el drenaje superficial, reduciendo las propiedades de fricción y fomentando el hidropneumático. El ahuellamiento se produce por la deformación o el desgaste de los materiales del pavimento y puede ser indicativo de problemas como el flujo de las capas asfálticas, o la consolidación, el corte o la pérdida de materiales del pavimento.
- 3.3 Esta norma reseña los procedimientos normales para estimar la profundidad del ahuellamiento en las superficies de un pavimento asfáltico. Su propósito es producir estimaciones consistentes de la profundidad del ahuellamiento, tanto

para apoyar decisiones sobre una nueva nivelación en la rehabilitación de pavimentos, como para disponer de información para la administración de pavimentos a nivel de red.

4 EQUIPO

4.1 Existen diversos equipos para determinar el ahuellamiento; dependiendo de sus características, se suelen clasificar como equipos de alto y de bajo rendimiento.

4.1.1 *Equipos de alto rendimiento* – Los principales equipos de alto rendimientos son el perfilómetro láser y el perfilómetro óptico.

4.1.2 *Equipos de bajo rendimiento* – Los equipos de bajo rendimiento más característicos son las reglas metálicas, el perfilógrafo transversal, y los perfilómetros portátiles.

4.2 *Calibración y operación del equipo* – Los procedimientos de calibración y de operación de los diferentes equipos dependen de las indicaciones de los respectivos fabricantes.

5 PROCEDIMIENTO

5.1 *Selección del sistema de medición:*

5.1.1 Para fines de autocontrol, un contratista de obra podrá utilizar alguno de los sistemas mencionados en la Sección 4 u otro tipo de equipo, siempre que esté debidamente calibrado. Para los fines de recibo de obras y en tanto no esté certificada por el Instituto Nacional de Vías la calibración de los equipos de alto rendimiento, el ahuellamiento se debe determinar mediante reglas, perfilógrafos transversales o perfilómetros portátiles. Los procedimientos a seguir al utilizar unos u otros de estos equipos son los que se indican a continuación.

5.1.2 *Uso de reglas:*

5.1.2.1 *Características de la regla* – Un perfil metálico indeformable, de sección rectangular, con ancho entre 20 y 30 mm en el plano de medición. Las longitudes preferidas son de 1.83, 2.0,

3.05 y 3.66 m (6, 6.56, 10 y 12 pies). La longitud deberá asegurar que la regla descansa sobre los dos puntos más altos a cada lado de la zona ahuellada. La máxima falta de conformidad admisible de la superficie inferior de la regla en el plano de medida será menor a ± 0.4 mm/m de longitud y a ± 2.5 mm/m de ancho.

5.1.2.2 *Elemento de medida de la profundidad de ahuellamiento* – Podrá ser una regla (Figura 789 - 1) o una cuña metálica con graduaciones de 1 mm (1/16") o más finas (Figura 789 - 2), y tener el rango suficiente para registrar la mayor deformación. Su superficie de apoyo deberá tener entre 20 y 30 mm de ancho.

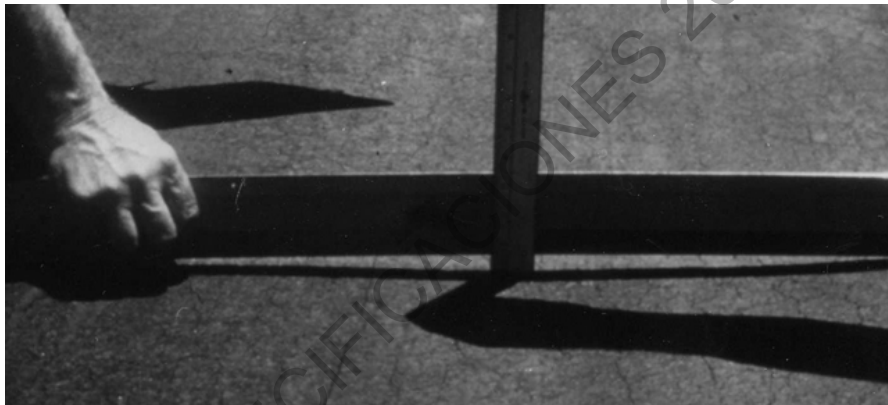


Figura 789 - 1. Regla como elemento para medir la profundidad del ahuellamiento

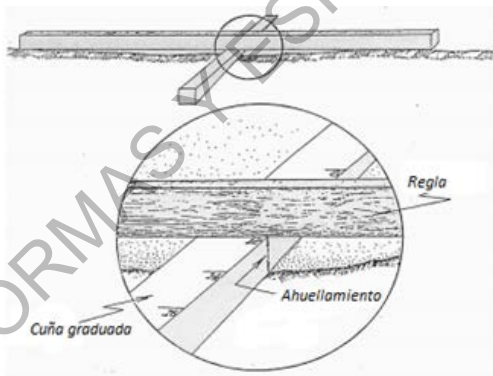


Figura 789 - 2. Cuña graduada como elemento para medir la profundidad del ahuellamiento

5.1.2.3 *Colocación de la regla* – La regla se deberá colocar a través de la banda ahuellada. Se debe permitir que repose sobre el pavimento en dos áreas de contacto, de manera que si se desliza a lo largo de su longitud en ambas direcciones, dichas

áreas se mantengan. La regla se deberá colocar en un plano perpendicular a la dirección del movimiento del tránsito y su superficie inferior deberá quedar paralela a la pendiente longitudinal del pavimento. La regla no se podrá colocar sobre otras discontinuidades del pavimento como desprendimientos del tipo ojo de pescado, o sobre residuos u otros materiales sueltos.

5.1.2.4 Colocación del medidor – El elemento de medida se coloca entre dos áreas de contacto perpendiculares al plano de referencia creado por el fondo de la regla y a la pendiente longitudinal del pavimento (Figura 789 - 3). El medidor no se deberá colocar sobre discontinuidades del pavimento como desprendimientos del tipo ojo de pescado, o sobre residuos u otros materiales sueltos.

5.1.2.5 Medida del ahuellamiento – Una vez colocado el medidor en posición, se mide la distancia entre la superficie inferior de la regla y el pavimento. La medida se debe realizar con aproximación a la menor graduación del medidor. Se deberán realizar varias medidas a lo largo de la regla para establecer la mayor profundidad del ahuellamiento.

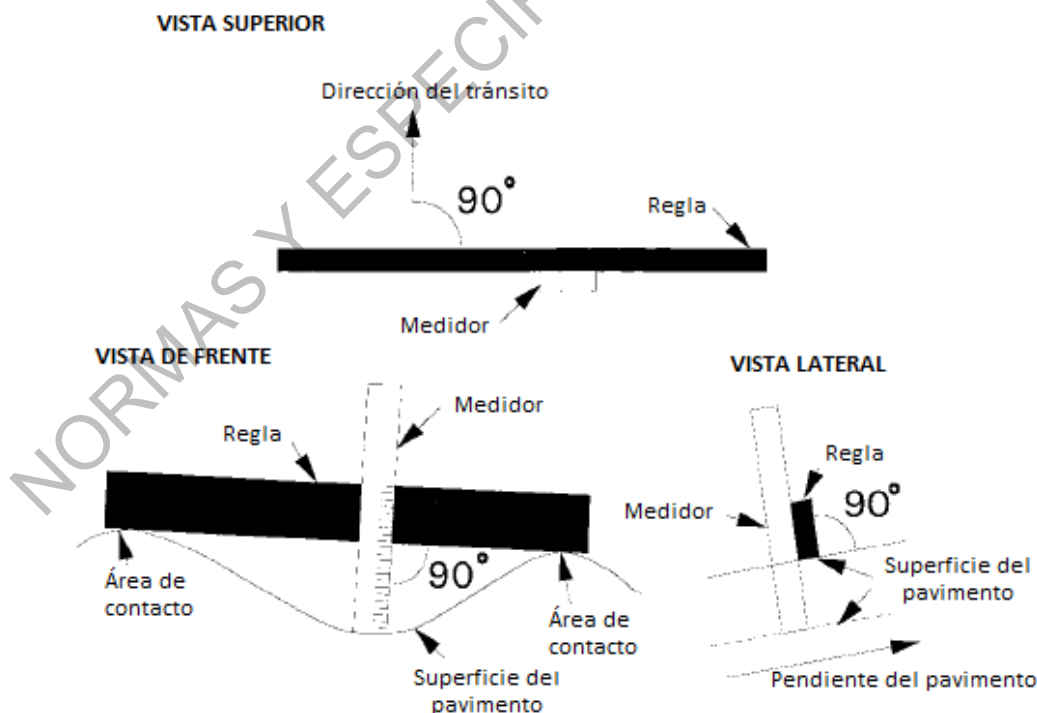


Figura 789 - 3. Medida de la profundidad de una huella empleando una regla

5.1.3 Empleo de un perfilógrafo transversal – Consiste en extender el perfilógrafo sobre la calzada perpendicularmente al eje del carril (Figura 789 - 4). Se nivela la viga del aparato para proporcionar una referencia horizontal y se conecta un transductor de desplazamiento lineal vertical a una rueda que se encuentra bajo la viga. A medida que la rueda es desplazada sobre la superficie del pavimento, el transductor se mueve en relación con la viga y el desplazamiento vertical de la rueda va quedando registrado en un gráfico (Figura 789 - 5). De esta manera, se obtiene gráficamente un perfil transversal del carril, el cual sirve para determinar la deformación máxima por banda de rodadura, valor que corresponde al ahuellamiento.



Figura 789 - 4. Perfilógrafo transversal

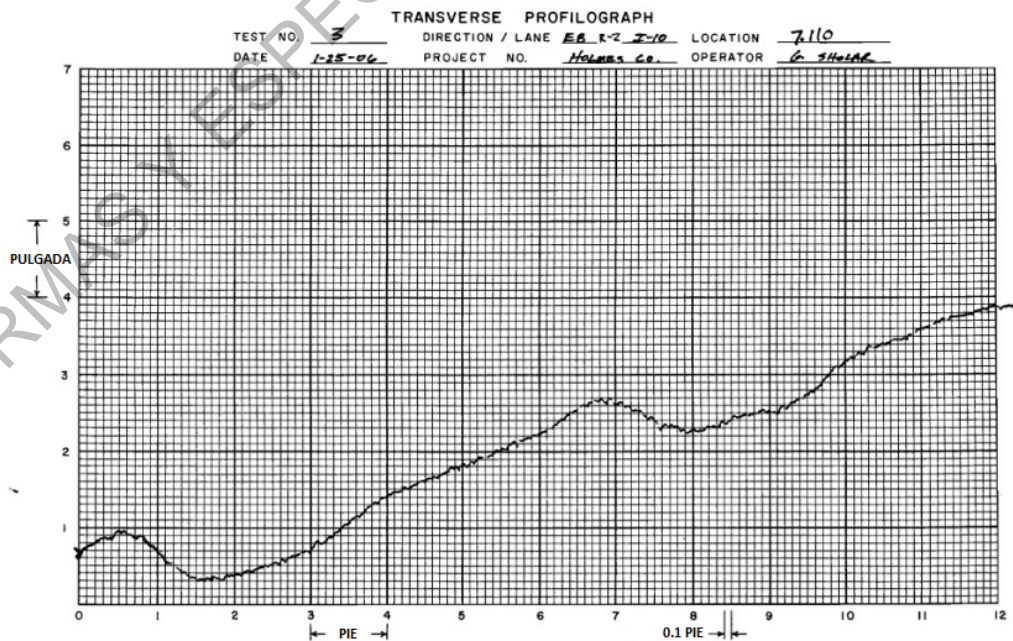


Figura 789 - 5. Registro de un perfilógrafo transversal

- 5.1.4** *Uso de un perfilómetro portátil* – Este es un instrumento operado manualmente, capaz de medir el perfil transversal de una pista mediante un sistema de inclinómetro - odómetro, extensómetro - odómetro u otro mecanismo similar (Figura 789 - 6). Para los fines de recibo de obra se debe generar un registro de no menos de 10 puntos por carril, con base en el cual se determina el ahuellamiento máximo en el carril auscultado.



Figura 789 - 6. Perfilómetro portátil

- 5.2** *Procedimiento de evaluación* – Cualquiera sea el método utilizado para determinar el ahuellamiento, se deben efectuar las medidas con la frecuencia indicada en la especificación de obra por cada huella y por carril o el uso previsto de los datos; registrando como ahuellamiento representativo del carril el mayor valor medido para las dos bandas de rodadura. Las medidas se deben informar con una precisión de 1 mm o mejor. No se debe medir el ahuellamiento en singularidades tales como puentes, tapas de alcantarilla u otras que alteren localmente el perfil transversal del carril.

6 INFORME

- 6.1** El informe correspondiente debe contener, al menos, la siguiente información:
- 6.1.1** Identificación de la sección. Se debe utilizar el sistema de referencia general que utiliza la administración.
 - 6.1.2** Fecha de realización de las medidas.
 - 6.1.3** Longitud de la sección evaluada.

- 6.1.4 Equipo empleado para realizar las medidas.
- 6.1.5 Profundidad del ahuellamiento máximo en cada sitio de medida.
- 6.1.6 Intervalo de muestreo.

7 PRECISIÓN Y SESGO

- 7.1 *Precisión* – La precisión de cada medida de profundidad de ahuellamiento con la regla, depende del diseño del elemento de medición, de la textura superficial del pavimento y de la destreza del operador. En el caso de los equipos, la precisión de un determinado equipo deberá ser establecida por el usuario a través de series de ensayos diseñados con criterio estadístico.
- 7.2 *Sesgo* – Puesto que no hay un material de referencia adecuado para establecer el sesgo en la medida del ahuellamiento de un pavimento, no se hace declaración sobre el particular.

8 NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO PP 38 – 00 (2005)

ASTM E 1703/1703M – 10

NORMA CHILENA 8.502.11

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI) PARA MEDIR LA RUGOSIDAD (IRREGULARIDADES DE LA SUPERFICIE) DE PAVIMENTOS

INV E – 790 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe un procedimiento para estimar la rugosidad (irregularidades de la superficie) de una sección de pavimento, mediante el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). El IRI se calcula a partir de la medición del perfil longitudinal de las huellas externa e interna de la circulación del tránsito en un pavimento, empleando un perfilómetro. El promedio estadístico de estos dos valores de IRI se reporta como la rugosidad de la sección de pavimento.
- 1.2** Esta práctica reconoce la necesidad de un plan de aseguramiento de la calidad (QA) y propone una guía para su desarrollo.
- 1.3** Esta reemplaza la norma INV E-790-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Rugosidad* – Conjunto de alteraciones del perfil longitudinal de una vía que provocan vibraciones en los vehículos que lo recorren. Es la desviación de la superficie respecto de una superficie plana, con dimensiones características que afectan la dinámica del vehículo y la calidad de la circulación. En esta norma, el término rugosidad es el promedio estadístico de los dos IRI calculados a partir de la medición del perfil longitudinal en cada una de las huellas que representan las zonas de circulación de las llantas de los vehículos.
- 2.2** *Perfil longitudinal* – Es el conjunto de desviaciones perpendiculares de la superficie del pavimento con respecto a un plano horizontal de referencia tomado a lo largo del carril de circulación.
- 2.3** *Índice internacional de rugosidad (IRI)* – Es un número estadístico utilizado para estimar la magnitud de la rugosidad en un perfil longitudinal. El IRI es una medida de la influencia de la calidad del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura, que representa la vibración de un vehículo típico de pasajeros como resultado de la falta de regularidad de la superficie de la vía.

Se define como el movimiento acumulado, en una distancia determinada, de la suspensión de un modelo matemático denominado “cuarto de carro” (cuya respuesta es similar a la de un automóvil) que circula a una velocidad de 80 km/h, calculado a partir del perfil longitudinal de la vía.

- 2.4 Singularidad** – Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre otras, se pueden citar puentes, tapas de alcantarillas, resaltos, cruces de calles y otras que alteren el perfil de la vía por diseño geométrico.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Esta práctica se refiere a procedimientos normalizados para medir el perfil longitudinal y calcular el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) de superficies pavimentadas de carreteras, con el fin de contribuir en la producción de estimaciones consistentes del IRI para los programas de administración de pavimentos a nivel de red.

4 EQUIPO

- 4.1** Existen dos categorías de equipos para medir las irregularidades del perfil longitudinal con alto nivel de precisión, las cuales se diferencian únicamente por la velocidad con que efectúan las mediciones (rendimiento). Los más conocidos son los que se indican a continuación, sin perjuicio que puedan existir otros que cumplan con los requisitos exigidos a una u otra categoría.

4.1.1 Equipos de alto rendimiento – Entre los cuales se pueden citar los perfilómetros ópticos y los perfilómetros láser.

4.1.2 Equipos de bajo rendimiento (portátiles) – Esta categoría incluye el uso de nivel y mira (topográfico) y los perfilómetros pivotantes de alta precisión.

Nota 1: En estas categorías se podrán incluir otros equipos que cumplan los requisitos exigidos.

Nota 2: Existen otros equipos para medir la rugosidad de los pavimentos que no funcionan con base en la medición del perfil, entre los que se pueden citar los equipos de respuesta.

5 CALIBRACIÓN Y OPERACIÓN DEL EQUIPO

- 5.1 En general, los procedimientos de calibración y operación de los equipos se deberán ajustar a las indicaciones de los respectivos fabricantes.

6 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD (QA)

- 6.1 Las empresas que utilicen esta norma deben desarrollar un plan satisfactorio de aseguramiento de calidad (QA) que, como mínimo, considere los siguientes aspectos:

- 6.1.1 Registros de calificación y entrenamiento del personal encargado de las mediciones.
- 6.1.2 Registros de exactitud y calibración del equipo utilizado en las mediciones.
- 6.1.3 Verificaciones periódicas de la calidad del programa de control y del contenido del programa.

Nota 3: Las guías que se pueden usar para el desarrollo de un programa de aseguramiento de calidad se presentan en el Anexo A

7 MEDICIÓN DEL PERFIL

- 7.1 Al ensayar un tramo de carretera, éste se deberá dividir en hectómetros, iniciando una nueva división en cada uno de los postes de referencia. Si la distancia entre postes de referencia es diferente de 1000 m, por cuanto entre dos postes puede existir un número no entero de hectómetros, pueden ocurrir dos casos, según que la longitud del tramo sobrante sea:

- 7.1.1 *Menor de 50 m* – En este caso, el tramo sobrante se añadirá al hectómetro inmediatamente anterior, y se calculará el IRI del tramo total. Además del valor del IRI, al dar el resultado se debe anotar la longitud del tramo.
- 7.1.2 *Mayor o igual a 50 m* – En este caso, se calculará el IRI del tramo sobrante. Además del valor del IRI, al dar el resultado se debe anotar la longitud del tramo.

- 7.2** La medición se efectuará en forma continua, operando el equipo de acuerdo con las instrucciones del fabricante y comenzando desde el inicio del tramo a evaluar, hasta el término del mismo y/o viceversa, según sea el caso.
- 7.3** Las mediciones se realizarán longitudinalmente en el carril y la dirección de viaje escogidos en las dos huellas.

Nota 4: Los hectómetros en los cuales se presenten singularidades (numeral 2.4) no se considerarán en las evaluaciones de rugosidad.

8 CÁLCULOS

- 8.1** Se calcula el IRI cada 100 m en ambas huellas de la llanta, en m/km aproximado a una décima.
- 8.2** Se calcula el promedio de los valores de IRI obtenidos en ambas huellas (numeral 7.3) para determinar la rugosidad del hectómetro.

Nota 5: Los datos de campo se deberán procesar con algún programa de cómputo que permita la obtención del índice internacional de rugosidad, IRI, en las condiciones expuestas en esta norma (Ver norma INV E-794).

9 INFORME

- 9.1** Se debe reportar el IRI calculado (numeral 7.1) para cada hectómetro, en m/km, redondeado a una décima
- 9.2** Los mínimos datos registrados y almacenados para cada tramo de pavimento evaluado deben incluir:
- 9.2.1** *Identificación del tramo* – Se debe utilizar toda la información necesaria que permita localizar la sección utilizando el sistema de referencia de la entidad.
 - 9.2.2** El IRI para cada una de las dos huellas de la llanta (m/km) en cada hectómetro del tramo.
 - 9.2.3** El promedio de los dos IRI calculados para cada sección (m/km) en cada hectómetro del tramo.
 - 9.2.4** Fecha de la recolección de los datos (mes/día/año).

- 9.2.5 Longitud, en m, del tramo en la cual se recoge la información.
- 9.2.6 Intervalo de valores de IRI en cada hectómetro y en todo el tramo.
- 9.2.7 Configuración del filtro de longitud de onda larga.
- 9.2.8 Temperatura del pavimento (opcional).

10 NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO PP 37 – 04

NORMA CHILENA 8.502.8

ANEXO A (Informativo)

GUÍAS PARA EL PLAN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

- A.1** *Plan de aseguramiento de calidad* – Cada empresa debe desarrollar un plan de aseguramiento de calidad. El plan debe incluir registros sobre entrenamiento y la certificación del personal que realiza los ensayos, sobre la exactitud del equipo, sobre los procedimientos diarios del control de calidad y sobre las actividades periódicas y cotidianas de QC. Se pueden usar las siguientes guías para el desarrollo del plan:
 - A.1.1** *Certificación y entrenamiento* – Las empresas son individualmente responsables de la recolección de información sobre el entrenamiento y/o certificación de sus empleados o contratistas en relación con el uso del equipo de acuerdo con esta norma y las otras del Instituto Nacional de Vías que sean aplicables.
 - A.1.2** *Calibración del equipo* – La calibración de los acelerómetros y de los sensores de no contacto, así como la utilización del equipo se deben realizar en concordancia con las especificaciones y las recomendaciones específicas del fabricante. Se debe establecer un programa regular de mantenimiento y de ensayo para el equipo, en acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

- A.1.3** *Secciones de verificación* – Se eligen a partir de valores del IRI previamente determinados sobre ambas huellas de circulación. Los operadores de los equipos deberán realizar medidas en estas secciones con regularidad. Las evaluaciones de los resultados de estas medidas pueden brindar información acerca de la exactitud de las medidas de campo, así como dar una idea de la necesidad de calibrar el equipo. Las secciones de verificación se deben rotar periódicamente, con el fin de asegurar que los operadores no repitan estadísticos IRI previamente conocidos durante la verificación. Una alternativa a las secciones de verificación consiste en volver a medir y comparar hasta el 5 % de los datos diaria o semanalmente, para asegurar la estabilidad y la repetibilidad del sistema.
- A.1.2** *Chequeos de calidad* – Se deben hacer comparando los registros del año anterior con los actuales. En los sitios donde se presenten grandes variaciones, el administrador de pavimentos podrá requerir chequeos adicionales de los datos.

MEDIDA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO EMPLEANDO LA TÉCNICA VOLUMÉTRICA

INV E – 791 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe un procedimiento para la determinación de la profundidad media de la macrotextura superficial de un pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material granular sobre la superficie y el subsiguiente cálculo del área total cubierta.
- 1.2** Los resultados obtenidos empleando este procedimiento no coinciden o correlacionan necesariamente de manera directa con los obtenidos empleando otros métodos de determinación de la profundidad media de macrotextura del pavimento.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-791-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Macrotextura del pavimento* – Desviaciones de la superficie de un pavimento respecto de una superficie completamente plana con dimensiones características de longitud de onda entre 0.5 y 50 mm (0.02 y 2"), y una amplitud que varía entre 0.1 y 20 mm (0.004 y 0.8").

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Los materiales normales y el equipo de ensayo son los siguientes: una cantidad determinada de un material granular uniforme, un recipiente de volumen conocido, una pantalla cortavientos, cepillos para la limpieza de la superficie, un disco plano para distribuir el material sobre la superficie y un elemento que permita estimar el área cubierta por el material (Figura 791 - 1). También, se recomienda el empleo de una balanza de laboratorio para asegurar la consistencia de las cantidades empleadas en cada muestra de ensayo.

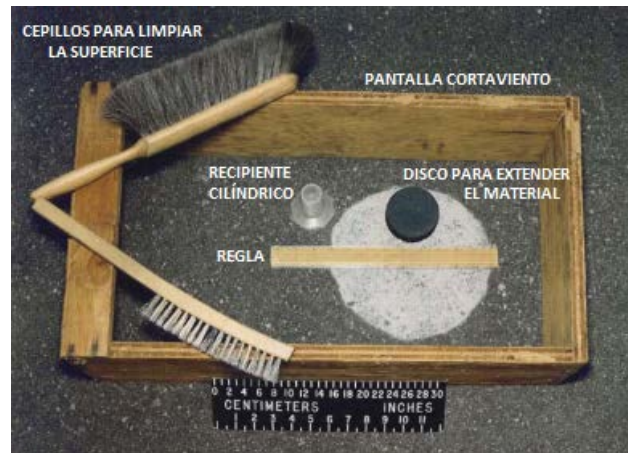


Figura 791 - 1. Elementos para medir la profundidad de macrotextura superficial

- 3.2** El ensayo consiste en la extensión de un volumen conocido de material granular sobre la superficie de pavimento limpia y seca, midiendo el área cubierta y calculando posteriormente la profundidad media entre el fondo de los vacíos superficiales del pavimento y la parte superior de las partículas del agregado de éste. Esta medida de la profundidad de textura refleja las características de la macrotextura del pavimento.

Nota 1: Al distribuir el material especificado en este método de ensayo, los vacíos superficiales son completamente llenados a nivel con las cúspides de las partículas de los agregados circundantes (Figura 791 - 2). El método de ensayo no se considera apropiado en pavimentos con superficies ranuradas o con grandes vacíos superficiales (≥ 25 mm).

- 3.3** El material por emplear en el ensayo puede ser, en principio, cualquiera granulado, uniforme y estable, con tamaño de grano adecuado a la macrotextura del pavimento. Está muy generalizado el empleo de arena sílicea, aunque la tendencia es sustituirla por esferas de vidrio. Esta norma de ensayo presenta el empleo de ambos materiales, aunque se recomienda el uso de las esferas de vidrio.

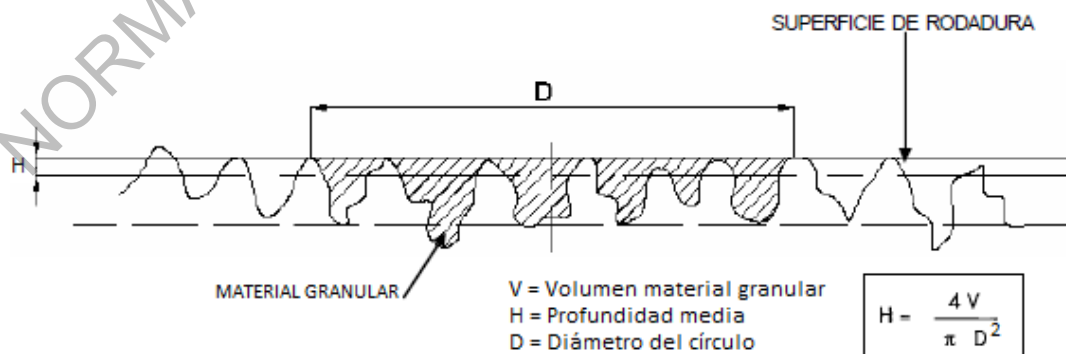


Figura 791 - 2. Macrotextura superficial mediante la técnica volumétrica

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La macrotextura juega un papel principal en las características de fricción de las superficies de los pavimentos en condición húmeda, en especial a velocidades elevadas.
- 4.2** El método de ensayo descrito en esta norma es apropiado para la ejecución de ensayos de campo tendientes a determinar la profundidad media de macrotextura de una superficie de pavimento. Cuando se usan en conjunto con otros ensayos físicos, los valores de profundidad de macrotextura derivados de este ensayo se pueden emplear para determinar la capacidad de resistencia al deslizamiento del pavimento y la idoneidad de los materiales empleados o de su puesta en obra. Cuando se use con otros ensayos, se debe cuidar que todas las pruebas se realicen en el mismo emplazamiento.
- 4.3** Las medidas de profundidad de textura obtenidas mediante este ensayo están influenciadas por las características de macrotextura del pavimento y no son afectadas significativamente por su microtextura. Las características referentes al tamaño de las partículas del agregado, su forma y su distribución no quedan consideradas en este procedimiento; por lo tanto, no se pretende que el ensayo provea una evaluación completa de las características de textura superficial del pavimento.
- 4.4** Los valores de la profundidad de macrotextura medidos mediante este ensayo con el equipo y los procedimientos especificados aquí, no coinciden o correlacionan necesariamente con otras técnicas de medida de la textura superficial. Este ensayo es apropiado para la investigación y desarrollo si se realizan comparaciones directas entre superficies de pavimento dentro de un mismo programa de ensayos.

5 SEGURIDAD

- 5.1** Cuando estos ensayos se realizan en carreteras abiertas a la circulación, el equipo y el operario invaden un área del pavimento obstruyendo el tránsito. Por lo tanto, se deberán tomar todas las medidas adecuadas para conseguir una zona de trabajo segura, conforme a los reglamentos vigentes.

6 MATERIALES Y EQUIPO

- 6.1** *Material granular* – Pueden ser esferas de vidrio (recomendado) o una arena silíceas (optativo).
- 6.1.1** *Esferas de vidrio* – Resistentes y esencialmente esféricas. Su granulometría será tal, que al menos el 90 % en masa pase por el tamiz de 250 μm (No. 60) y quede retenida en el tamiz de 180 μm (No. 80).
- 6.1.2** *Arena silícea* – Se utilizan dos tipos de arena silícea de río, de grano redondeado, lavada y secada en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, y con las siguientes granulometrías:
- 6.1.2.1** Arena tipo 50 – 100, que pasa por el tamiz de 300 μm (No. 50) y queda retenida en el tamiz de 150 μm (No. 100).
- 6.1.2.2** Arena tipo 100 – 200, que pasa por el tamiz de 150 μm (No. 100) y queda retenida en el tamiz de 75 μm (No. 200).
- 6.2** *Recipientes* – Tres recipientes para tres medidas diferentes del volumen del material, constituidos por tubos cilíndricos de latón o plástico duro, cerrado por uno de sus extremos, con el diámetro interior y las alturas necesarias para que sus volúmenes sean, respectivamente, de $50\,000 \pm 200\text{ mm}^3$, $25\,000 \pm 150\text{ mm}^3$ y $10\,000 \pm 100\text{ mm}^3$.
- 6.3** *Dispositivo para extender el material granular* – Disco plano y duro de unos 25 mm (1") de espesor y de 50 a 75 mm (2 a 3") de diámetro. Un disco para el juego de hockey sobre hielo resulta adecuado para utilizar como elemento de caucho duro en este ensayo (Figuras 791 - 1 y 791 - 3a). Alternativamente, se puede emplear un disco de madera plano cuya superficie inferior lleve adherida una zapata de caucho duro del diámetro anteriormente indicado, y la superior un mango (Figura 791 - 3b).
- 6.4** *Cepillos* – Uno de alambre duro y otro de cerdas blandas, utilizados para la limpieza de la superficie de ensayo antes de aplicar el material granular (Figura 791 - 1).
- 6.5** *Pantalla cortaviento* – Formada por varias chapas metálicas rectangulares unidas de manera que se pueda formar con ellas una barrera poligonal alrededor del emplazamiento del ensayo, para impedir la acción directa del viento sobre el mismo (Figura 791 - 1). Como sustituto se puede utilizar un neumático de camión (Figura 791 - 4).

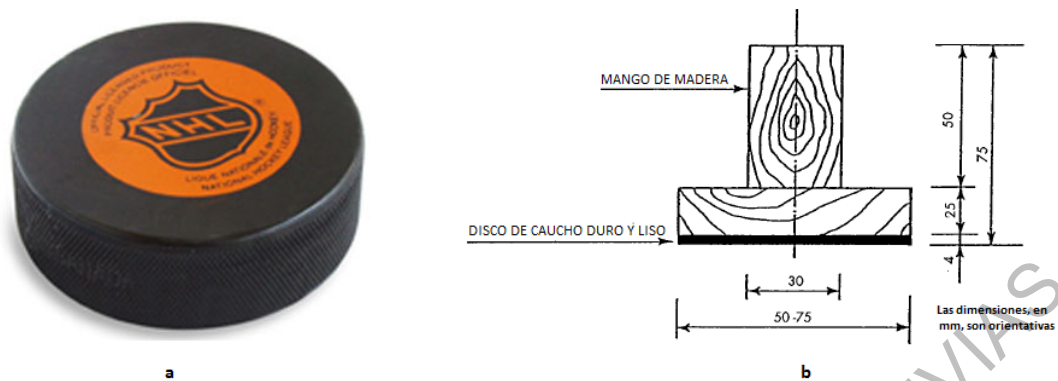


Figura 791 - 3. Dispositivos para extender el material granular

- 6.6 *Recipientes* – De boca ancha y de unos 2 litros de capacidad, para el almacenamiento y el transporte del material granular.
- 6.7 *Compás de puntas* – Para medir diámetros de hasta 400 mm.
- 6.8 *Regla* – Metálica o de plástico de 300 mm (12") de longitud como mínimo y graduada en milímetros o en 0.1".
- 6.9 *Balanza* – De laboratorio, con sensibilidad de 0.1 gr, cuyo uso se recomienda para un control adicional y asegurar la consistencia de las cantidades empleadas en cada muestra de ensayo.



Figura 791 - 4. Neumático de camión empleado como pantalla cortaviento

7 PROCEDIMIENTO

7.1 Área de ensayo:

- 7.1.1 Se examina la superficie del pavimento en el que se van a realizar las medidas y se selecciona una zona representativa seca y homogénea del

tramo o sector en estudio, que no presente de manera aislada grietas, desprendimientos de partículas, exudación o cualquier otro deterioro.

- 7.1.2** Se limpia cuidadosamente la zona seleccionada utilizando los cepillos, primero el metálico y después el blando. La zona deberá quedar exenta de cualquier partícula suelta o residuo. A continuación, se instala la pantalla cortavientos alrededor del punto de ensayo.

7.2 *Muestra de material:*

- 7.2.1** Si se utilizan esferas de vidrio (procedimiento recomendado), se deberá emplear una cantidad tal, que llene el recipiente de 25 000 mm³ (25 cm³).
- 7.2.2** Si se emplea la arena silícea, se empleará el recipiente adecuado de los tres mencionados en el numeral 6.2, de manera que, dependiendo de la textura de la superficie que se ensaya, el radio del círculo de arena sobre la superficie esté comprendido entre 5 y 18 cm. El tamaño máximo del grano de arena empleado no podrá ser superior a la profundidad media obtenida.

7.3 *Llenado del recipiente cilíndrico:*

- 7.3.1** Se llena el recipiente adecuado, con el material granular seleccionado (esferas de vidrio o arena silícea) seco, y se golpea suavemente la base del recipiente varias veces contra una superficie rígida; se añade más material para llenar el recipiente hasta el borde, enrasándolo finalmente con la regla. Si se dispone de la balanza, se determina la masa del material granular en el recipiente, por diferencia con la tara. Esta masa se puede emplear como referencia para los ensayos subsiguientes.

7.4 *Ejecución del ensayo:*

- 7.4.1** Se vierte el contenido del material granular, medido en el recipiente, sobre el punto de ensayo. Se esparce el material con esmero, de manera que forme una superficie circular. Esta operación se debe realizar con el dispositivo mencionado en el numeral 6.3, realizando movimientos rotatorios hasta conseguir un área enrasada lo más circular posible en la que el material granular (esferas o arena) rellene todas las oquedades y depresiones de la superficie del pavimento. El movimiento de esparcimiento debe ser suave, sin ejercer presión,

hasta que la zapata o disco de caucho haga contacto con las puntas del agregado en el pavimento.

- 7.4.2** Con ayuda del compás de puntas y la regla se determina el diámetro del área circular formada por el material granular, en 4 líneas diametrales regularmente espaciadas a 45°. El valor numérico de cada uno de los 4 diámetros se obtiene llevando el compás de puntas, sin modificar su abertura, sobre la regla graduada en milímetros (nota 2). Se calcula el valor medio de las cuatro medidas de diámetro, el cual se expresa en milímetros (nota 3).

Nota 2: Los diámetros también se pueden medir directamente con la regla.

Nota 3: Si la superficie del pavimento es lisa, los diámetros del círculo pueden superar los 300 mm en cuyo caso se recomienda utilizar la mitad del volumen normal del material.

7.5 Número de mediciones:

- 7.5.1** En cada emplazamiento o sección del pavimento se deben realizar, al menos, cuatro (4) determinaciones separadas aleatoriamente como mínimo un metro (1 m) entre sí. La media aritmética de estas determinaciones es el valor numérico de la profundidad media de macrotextura de la superficie en el emplazamiento o sección considerados.

8 CÁLCULOS

8.1 Volumen del cilindro:

- 8.1.1** Empleando la siguiente expresión, se calcula el volumen interno del recipiente que se va a utilizar.

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad [791.1]$$

Donde: V: Volumen interno del cilindro, mm³ (pg³);

d: Diámetro interior del cilindro, mm (pg.);

h: Altura del cilindro, mm (pg.).

8.2 Profundidad media de macrotextura:

8.2.1 Se calcula la profundidad media de macrotextura, H, con aproximación de 0.01 mm, con la expresión:

$$H = \frac{4V}{\pi D^2} \quad [791.2]$$

- Donde: H: Profundidad media de macrotextura, mm;
- V: Volumen del material granular (igual al del recipiente), mm³;
- D: Diámetro promedio del círculo del material granular, mm.

8.3 Se tomará como resultado del ensayo el valor promedio de al menos cuatro (4) determinaciones, obtenidas como se indica en el numeral 7.5.

9 INFORME

9.1 Junto con el resultado del ensayo, determinado según la Sección 8 de esta norma, el informe referirá las siguientes circunstancias:

9.1.1 Localización e identificación de la superficie de ensayo.

9.1.2 Fecha y hora de la prueba.

9.1.3 Volumen del material granular empleado, mm³.

9.1.4 Número de determinaciones por ensayo.

9.1.5 Diámetro medio de cada área circular, mm.

9.1.6 Profundidad media de macrotextura por cada emplazamiento, mm con aproximación a 0.01 mm.

9.1.7 Profundidad media de macrotextura para todo el tramo o sección del pavimento en estudio.

10 PRECISIÓN Y SESGO

- 10.1** *Ensayo con arena* – Cuando las medidas se repiten en emplazamientos diferentes en el mismo tramo de ensayo, la desviación estándar es $0.4/\sqrt{n}$, siendo n el número de ensayos, cada uno de ellos basado en 10 determinaciones.
- 10.2** *Ensayo con esferas de vidrio* – Ensayos realizados sobre muestras de laboratorio con profundidades medias de macrotextura comprendidas entre 0.5 y 1.2 mm, dieron los siguientes resultados:
- 10.2.1** La desviación estándar en condiciones de repetibilidad (ensayos realizados por el mismo operador) es igual o menor al 1 % de la profundidad medida de macrotextura.
- 10.2.2** La desviación estándar en condiciones de reproducibilidad es igual o menor al 2 % de la profundidad medida de macrotextura.
- 10.2.3** La desviación estándar de ensayos realizados sobre emplazamientos definidos aleatoriamente en una sección homogénea de pavimento, puede alcanzar valores del 27 % de la profundidad media de macrotextura. Esto implica la realización de gran número de determinaciones si se quiere estimar este parámetro con cierta seguridad para los tipos de pavimento que presenten grandes variaciones de textura, a pesar del hecho de que el método presenta una alta repetibilidad y no está sujeto a grandes influencias metodológicas.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM E 965 – 96 (reaprobada 2006)

NLT 335/00

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO USANDO EL PÉNDULO BRITÁNICO

INV E – 792 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento para medir las propiedades superficiales de fricción (resistencia al deslizamiento) de un pavimento utilizando el péndulo británico (*British Pendulum Skid Resistance Tester*). El método de calibración del equipo se incluye en el Anexo A.
- 1.2** El péndulo británico es un equipo dinámico de impacto utilizado para medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas, provisto en su extremo de una zapata de caucho, cuando la arista o borde de la zapata roza con una presión determinada y en una longitud fija la superficie a ensayar. El equipo se emplea tanto en el laboratorio como en el campo sobre superficies planas y para medidas de pulimento sobre muestras curvadas de laboratorio, usadas en pruebas de pulimento acelerado con llanta.
- 1.3** Los valores numéricos medidos con este péndulo, CRD (Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento), para superficies planas y para los valores del pulimento sobre especímenes de pulimento acelerado con llanta, representan las propiedades friccionantes obtenidas con el aparato usando el procedimiento establecido en esta norma y no concuerdan necesariamente con las medidas de rozamiento efectuadas con otros equipos.
- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E-792-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Este método consiste en el uso de un equipo de prueba tipo péndulo, provisto en su extremo de una zapata deslizante de caucho para medir las propiedades friccionantes de la superficie de ensayo.
- 2.2** La superficie de ensayo debe estar limpia y completamente humedecida antes de efectuar el ensayo.
- 2.3** Antes de realizar la prueba, la zapata del péndulo se debe fijar de manera que apenas establezca contacto con la superficie que se va a ensayar. El péndulo se

levanta y se asegura en su posición inicial y luego se suelta permitiendo el rozamiento entre la zapata y la superficie de ensayo.

- 2.4** Una aguja indicadora muestra entonces el valor CRD en la escala que tiene el aparato (Figura 792 - 1). A mayor fricción entre la zapata deslizante y la superficie de ensayo más se retarda la oscilación y se obtiene una lectura mayor de CRD. Se deben hacer cuatro movimientos pendulares sobre cada punto de la superficie a ensayar.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este método proporciona una medida de una propiedad friccional de la superficie, la microtextura, tanto en el campo como en el laboratorio.
- 3.2** Este método de ensayo se puede utilizar para determinar el efecto relativo de varios procesos de pulimento sobre materiales o combinaciones de materiales.
- 3.3** Los valores medidos siguiendo este procedimiento no concuerdan necesariamente con los resultados obtenidos al emplear otros métodos que evalúan las características de fricción ó resistencia al deslizamiento.

Nota 1: Valores de CRD y de pulimento obtenidos en superficies similares no son numéricamente iguales, principalmente por las diferencias en la longitud de rozamiento y por la forma de la superficie. No es recomendable la aplicación de correcciones teóricas de los valores de pulimento con el fin de obtener una igualdad numérica, ya sea matemáticamente o mediante el uso de escalas de medición especial.

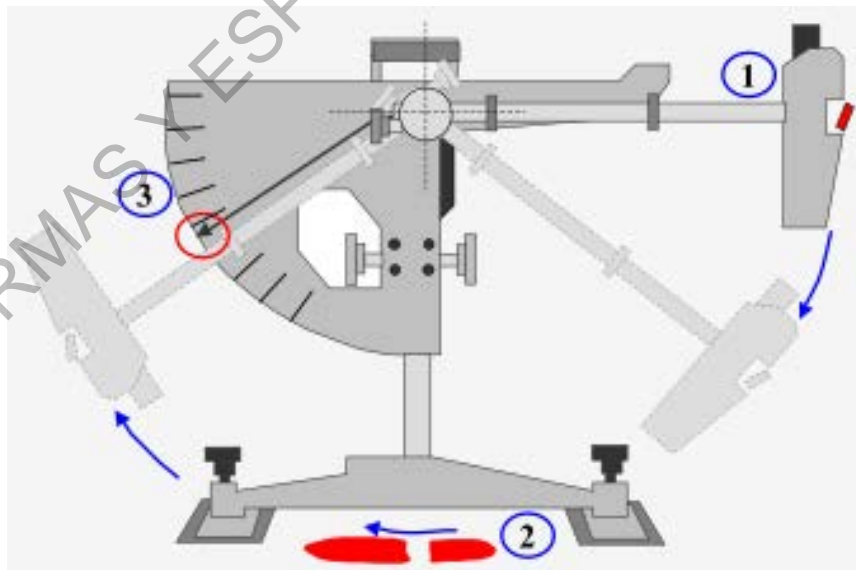


Figura 792 - 1. Uso del péndulo británico

4 EQUIPO

- 4.1** *Péndulo británico (Figura 792 - 2)* – El péndulo con la zapata deslizante y el montaje de la zapata, debe pesar 1500 ± 30 g. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo a una distancia de 411 ± 5 mm (16.2 ± 0.2 ") del centro de oscilación. El equipo debe tener la posibilidad de efectuar un ajuste vertical que permita un contacto de la zapata con la superficie en una longitud entre 125 ± 1.6 mm ($4 \frac{15}{16} \pm 1/16$ "), para pruebas sobre superficies planas y entre 76 y 78 mm ($3 \pm 1/16$ ") para pruebas sobre especímenes sometidos a pulimento acelerado. El arreglo constituido por el resorte y el brazo del péndulo, mostrado en la Figura 792 - 3, debe proporcionar una fuerza normal deslizante de 2500 ± 100 g entre la zapata de 76 mm de ancho y la superficie de ensayo, medida como se describe en el Anexo A.
- 4.2** *Zapata* – La zapata va pegada sobre una placa de aluminio (Figura 792 - 4) con orificio circular para su fijación al pivote del brazo del péndulo, formando un ángulo de 70° con el eje de este brazo y de manera tal, que solamente la arista posterior de la zapata quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girar alrededor del pivote, recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo, manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo. Las dimensiones de las zapatas de caucho a emplear en medidas de resistencia al deslizamiento serán de $76 \times 25 \times 6$ mm ($3 \times 1 \times \frac{1}{4}$ ") para ensayar superficies planas (Figura 792 - 5) y de $32 \times 25 \times 6$ mm ($1\frac{1}{4} \times 1 \times \frac{1}{4}$ ") para ensayar muestras curvas para pulimento acelerado con llanta. El material de la zapata será de caucho natural que cumpla con los requisitos del *Road Research Laboratory* (hoy *Transport Research Laboratory*), los cuales se resumen en la Tabla 792 - 1, o de caucho sintético de las características especificadas en las Tablas 792 - 2 y 792 - 3.
- 4.2.1** Las zapatas nuevas se deben acondicionar antes de ser usadas, haciendo 10 giros oscilatorios sobre un paño de carburo de silicio grado No. 60 o equivalente, en condiciones secas. Los giros se deben hacer con el dispositivo ajustado como se describe en la Sección 6 (Preparación del aparato).
- 4.2.2** El desgaste del borde de la zapata de caucho (superficie rozada) no debe exceder 3.2 mm ($1/8$ ") en el plano de la zapata (ancho) o 1.6 mm ($1/16$ ") en la dirección vertical a ésta (alto) (Figura 792 - 7). Si el desgaste alcanza esta magnitud, la zapata se debe cambiar.

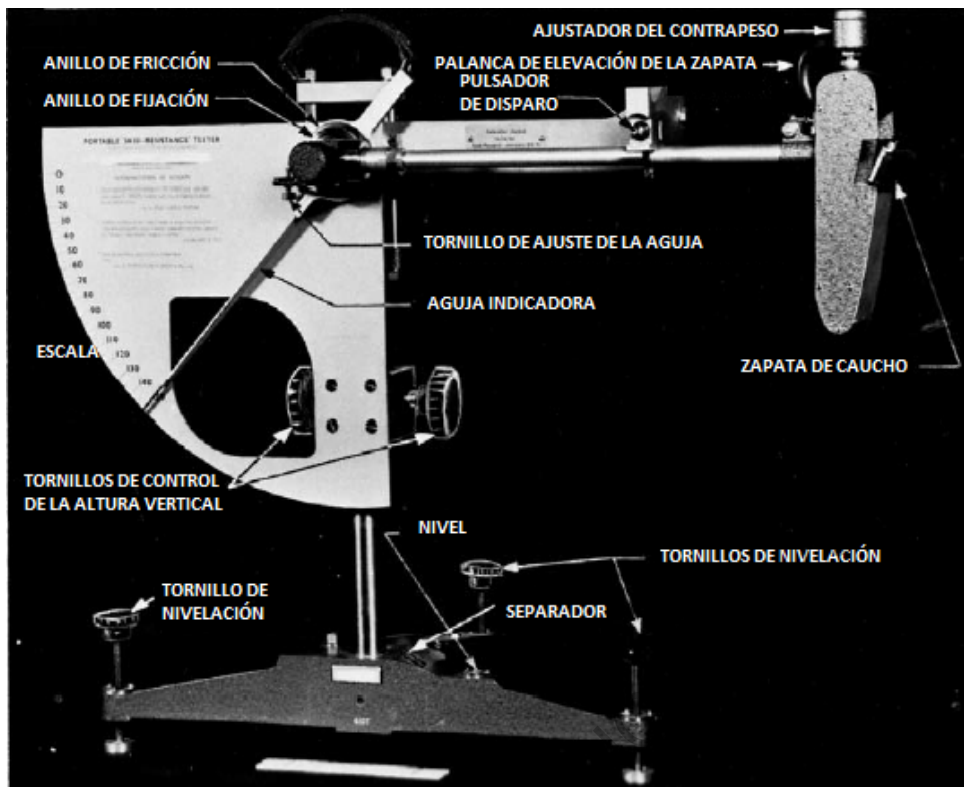


Figura 792 - 2. Detalle del péndulo británico

4.3 Accesorios:

- 4.3.1 Medidor de la longitud de contacto, el cual consiste en una reglilla con marcas para controlar que la longitud de rozamiento entre la zapata y la superficie de ensayo se encuentre entre 124 y 127 mm ($4 \frac{7}{8}$ a 5") o entre 75 y 78 mm ($2 \frac{15}{16}$ a $3 \frac{1}{16}$ "), según lo requiera el ensayo particular (Figura 792 - 8).
- 4.3.2 Equipo auxiliar, incluyendo recipientes para agua, termómetro para la superficie de ensayo y cepillo.

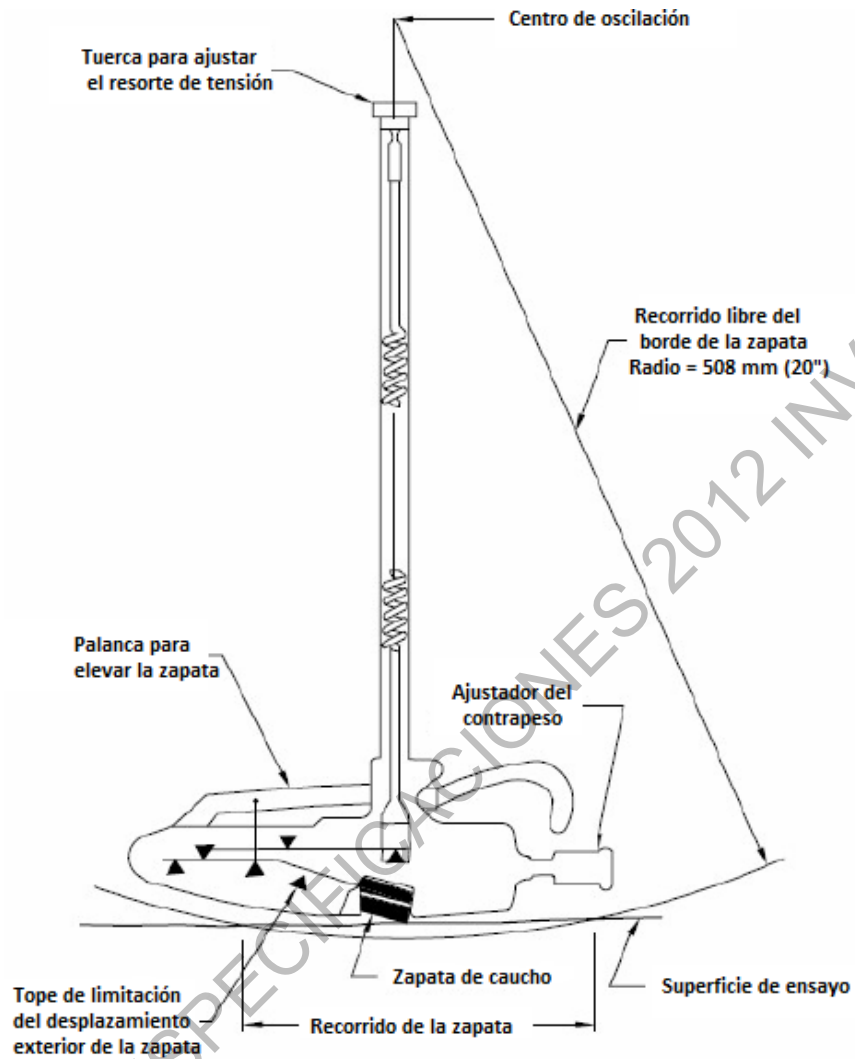


Figura 792 - 3. Detalle del brazo del péndulo

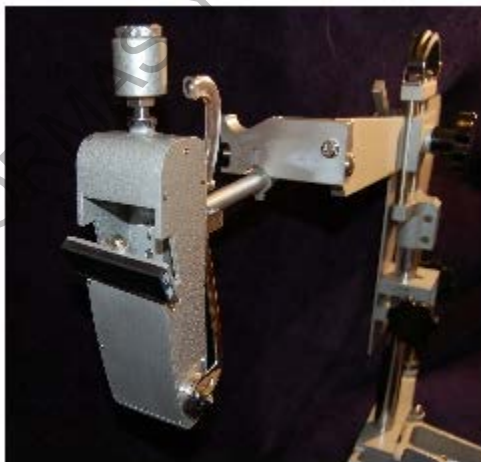


Figura 792 - 4. Detalle del montaje de la zapata de caucho

Tabla 792 - 1. Especificaciones para las zapatas de caucho natural

TIPO DE MATERIAL	TEMPERATURA (° C)	PROPIEDAD	
		RESILIENCIA A (%)	DUREZA B (IRHD)
Caucho Four-S	5	21 ± 2	96 ± 2
	23	24 ± 2	
	40	28 ± 2	
Caucho TRL	0	43 a 49	55 ± 5
	10	58 a 65	
	20	66 a 73	
	30	71 a 77	
	40	74 a 79	

^A Ensayo de rebote Lüpke^B International Rubber Hardness Degrees

Tabla 792 - 2. Especificaciones de los compuestos para fabricación del caucho de butadieno–estireno (SBR)

COMPUESTO	PARTES POR MASA
SBR 1712 ^A	89.38
CB1J252 ^B	48.12
N347 ^C	75.00
Aceite altamente aromático	9.00
Oxido de Zinc	3.00
Ácido esteárico	2.00
Santoflex 13 ^D	2.00
Cera parafínica	2.00
Santocure NS ^E	1.10
DPG F	0.10
Azufre	1.80

^A Caucho estireno-butadieno (23.5% de estireno), 37.5 partes de aceite altamente aromático.^B Cis-polibutadieno con 37.5 partes de aceite altamente aromático.^C N347 Carbón negro.^D Santoflex 13, dimetil butilfenil fenilenediamina.^E Santocure NS, butil benzotiazol sulfonamida.^F DPG, difenil guanidine.

Tabla 792 - 3. Propiedades físicas del caucho

CURADO DE LA HOJA DE TENSIÓN A 149° C (300° F), MINUTOS	30
MÓDULO DEL 300v%, MPa (lbf/pg ²)	5.5 ± 1.4 (800 ± 200)
DURÓMETRO DE LA HOJA DE TENSIÓN	58 ± 2
ENERGÍA RESTAURADA (REBOTE O RESILIENCIA)	46 ± 2
GRAVEDAD ESPECÍFICA	1.13 ± 0.20
RESISTENCIA MÍNIMA A LA TENSIÓN, MPa (lbf/pg ²)	13.8 (2000)
ELONGACIÓN MÍNIMA, %	500
DURÓMETRO DEL CAUCHO DE LA ZAPATA	58 ± 2

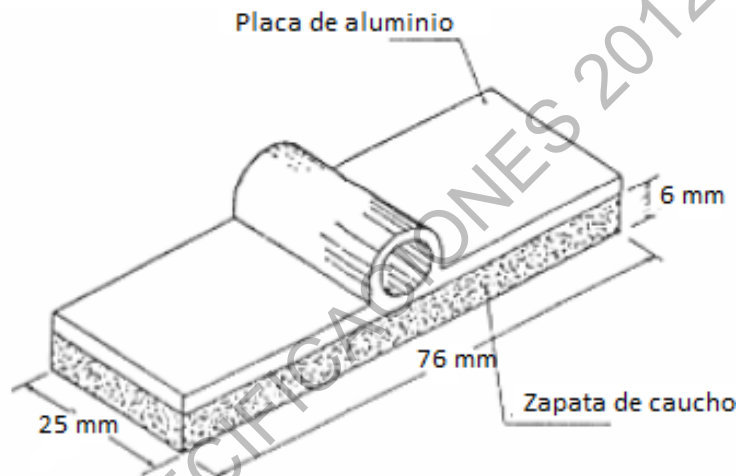


Figura 792 - 5. Zapata para ensayar superficies planas

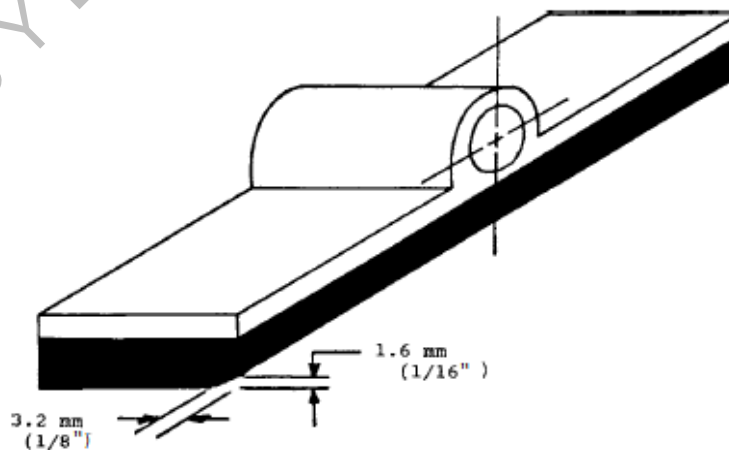


Figura 792 - 6. Máximo desgaste admisible en el borde de contacto de la zapata



Figura 792 - 7. Medidor de la longitud de contacto

5 MUESTRA DE ENSAYO

- 5.1** *En el campo* – La superficie de ensayo en el campo se debe encontrar libre de partículas sueltas y se debe limpiar con un chorro de agua limpia a presión. La superficie de ensayo no tiene que ser necesariamente horizontal, ya que el instrumento puede ser nivelado en la posición de trabajo utilizando únicamente los tornillos de nivelación y la cabeza del péndulo franqueará la superficie.
- 5.2** *En el laboratorio* – Las muestras de laboratorio deben estar limpias de partículas sueltas y se deben sostener firmemente, de forma que no se muevan con la fuerza del péndulo.
- 5.2.1** Las muestras planas de laboratorio deben tener una superficie de ensayo de, al menos, 89 × 152 mm (3 ½ × 6").
- 5.2.2** Las muestras de laboratorio para la prueba de pulimento acelerado con llanta, deben tener una superficie de ensayo de, al menos, 44 × 89 mm (1 ¾ × 3 ½") y deben ser curvadas en un arco de círculo de 406 mm (16") de diámetro.

6 PREPARACIÓN DEL APARATO

- 6.1** *Nivelación* – Se nivela el instrumento con exactitud, girando los tornillos de nivelación hasta que la burbuja está centrada en el nivel.

6.2 *Ajuste de ceros* – Se levanta el mecanismo del péndulo soltando el tornillo de seguridad (ubicado directamente detrás del pivote del péndulo) y se gira cualquiera de los dos tornillos de movimiento de la cabeza ubicados en el centro del instrumento, para permitir que la zapata realice libremente el movimiento oscilatorio. Se aprieta firmemente el tornillo de seguridad. Se coloca el péndulo en la posición horizontal de reposo y se rota la aguja indicadora en sentido contrario al de las manecillas del reloj hasta que alcance la posición de reposo contra el tornillo de ajuste en el brazo del péndulo. Se libera el péndulo y se anota la lectura de la aguja indicadora. Si la lectura no es cero, se afloja el anillo de seguro y se gira suavemente el anillo de fricción en el eje de soporte y se asegura de nuevo. Se repite la prueba y se ajusta el anillo de fricción hasta que el movimiento oscilatorio del péndulo lleve la aguja a cero.

6.3 *Ajuste de la longitud de rozamiento de la zapata:*

6.3.1 Con el brazo del péndulo colgando libremente, se coloca el espaciador debajo del tornillo de ajuste de la palanca de elevación de la zapata de caucho. Se baja entonces el péndulo, de manera que el borde de la zapata apenas toque la superficie a medir. Se asegura la cabeza del péndulo firmemente, se levanta la palanca de elevación de la zapata y se remueve el espaciador.

6.3.2 Se levanta la zapata por medio de la palanca de elevación, se mueve el péndulo a la derecha, se baja la zapata y se permite que el péndulo se mueva lentamente hacia la izquierda, hasta que el borde de la zapata toque la superficie de ensayo. Para verificar la longitud de contacto o rozamiento, se fija el medidor de la longitud de contacto a un lado de la zapata y paralelo a la dirección del movimiento oscilatorio. Se levanta la zapata usando la palanca de elevación y se mueve el péndulo a la izquierda y luego lentamente se baja hasta que el borde de la zapata vuelva nuevamente a reposo en la superficie. Si la longitud de contacto no está entre 124 y 127 mm ($4 \frac{7}{8}$ a 5") en muestras de superficie plana o entre 75 y 78 mm ($2 \frac{15}{16}$ a $3 \frac{1}{16}$ ") en muestras curvas para el ensayo de pulimento con llanta, medida entre los sitios de contacto de los bordes de la zapata de caucho en su recorrido, se ajusta levantando o bajando el aparato con los tornillos frontales de nivelación. La longitud de deslizamiento también se puede ajustar por medio de los tornillos de control de la altura vertical. Se ajusta nuevamente el nivel del aparato, si es necesario. Se coloca el péndulo en la posición horizontal de reposo y se rota la aguja indicadora en el sentido contrario a las manecillas del reloj hasta que se detenga contra el tornillo de ajuste en el brazo del péndulo.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se debe aplicar suficiente agua para cubrir totalmente el área de ensayo. Se realiza un movimiento oscilatorio, pero no se registra la lectura.

Nota 3: Siempre se debe sostener el péndulo durante la parte inicial de su recorrido de regreso, antes que pase por la posición vertical. Mientras que el péndulo se devuelve a su posición inicial, se levanta la zapata con su palanca de elevación para prevenir el contacto de la zapata con la superficie de ensayo. Con anterioridad a cada movimiento oscilatorio, la aguja indicadora debe ser devuelta a su posición de descanso contra el tornillo de ajuste.

- 7.2** Se vuelve a mojar la superficie de ensayo y, sin demora, se realizan cuatro nuevos movimientos oscilatorios remojando la zona de ensayo antes de cada disparo y anotando los resultados.

Nota 4: Se debe tener cuidado de que la zapata permanezca paralela a la superficie durante el movimiento oscilatorio y no rote de manera que una punta haga el contacto inicial en lugar de hacerlo todo el borde. Existe información que demuestra que los giros de la zapata pueden dar origen a lecturas erradas. La instalación de un pequeño resorte plano puede atenuar el problema. Este resorte se puede insertar en una ranura de la abrazadera de resorte y asegurar con un pasador como se muestra en la Figura 792 - 8. Los bordes libres del resorte se pueden apoyar sobre la platina posterior de la zapata, de tal manera que le impidan girar.

- 7.3** Se debe revisar nuevamente la longitud de contacto de la zapata de acuerdo con el numeral 6.3.
- 7.4** Una vez realizadas las medidas, se registra la temperatura del agua aplicada al pavimento, empleando un termómetro digital con sonda remota o un termómetro de mercurio, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-788.

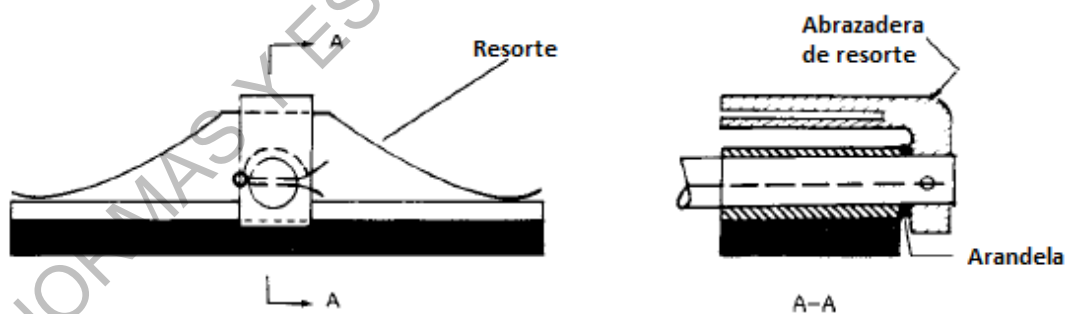


Figura 792 - 8. Abrazadera y resorte para impedir la rotación de la zapata

8 INFORME

- 8.1** El informe debe contener lo siguiente:

- 8.1.1 Valores individuales en unidades CRD o valores de pulimento acelerado.
- 8.1.2 Temperatura de la superficie ensayada.
- 8.1.3 Tipo, edad, condición, textura y localización de la superficie de ensayo.
- 8.1.4 Tipo y fuente de provisión del agregado para la prueba de pulimento.
- 8.1.5 Tipo y edad de la zapata de caucho.

9 PRECISIÓN Y SESGO

Nota 5: La siguiente información se refiere únicamente a la precisión y el sesgo de las unidades CRD.

9.1 Pruebas repetidas muestran las siguientes desviaciones estándar:

Zapata de caucho británica: 1.0 unidad CRD
Zapata de caucho sintético: 1.2 unidades CRD

9.1.1 En ambos casos, la variabilidad depende en buena parte de las condiciones del equipo. Como no hay una marcada correlación entre la desviación estándar y la media aritmética de un grupo de resultados de ensayo, parece que la magnitud de las desviaciones estándar son más pertinentes para este ensayo, independientemente de los niveles promedios de resistencia al deslizamiento que han sido ensayados.

9.2 La relación, si existe, entre unidades CRD observadas y un valor real de nivel de fricción, no ha sido y probablemente no podrá ser estudiada. Como resultado, la precisión y el sesgo de esta prueba en relación con un valor real de nivel de fricción medido no pueden ser evaluados y únicamente se da la repetitividad del método.

9.3 Se determina el error de ensayo como sigue:

$$E = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \quad [792.1]$$

Donde: E: Error de ensayo;

t: Curva de distribución normal de 1.96 o 2.0 redondeado;

σ : Desviación estándar de los resultados de un ensayo individual (unidades CRD);

n: Número de ensayos.

9.4 Con el fin de asegurar que el error de ensayo este dentro de 1.0 unidades CRD con un nivel de confianza del 95 % (correspondiente a una curva normal de 1.96 o 2.0 redondeado), se requieren los siguientes tamaños muestrales:

Zapata británica de caucho natural: 4

Zapata de caucho sintético: 5

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM E-303-93 (Reprobada 2008)

ASTM E-501-08

BS 7976-1: 2002

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

CALIBRACIÓN

A.1 *Masa del péndulo* – El brazo del péndulo con la zapata de caucho montada, debe ser desconectado del instrumento y pesado con una aproximación a 1.0 g.

A.2 *Centro de gravedad* – El centro de gravedad del péndulo con la zapata de caucho montada debe ser determinado colocando el ensamblaje del péndulo sobre el filo de un cuchillo y ubicando experimentalmente el punto de equilibrio, como se muestra en la Figura 792A - 1. La tuerca del adaptador debe ser sostenida en el extremo más lejano del brazo con una cuña liviana de papel. Después de obtener el punto de equilibrio, la posición del peso de balance se debe ajustar hasta que los lados del pie del péndulo estén horizontales.

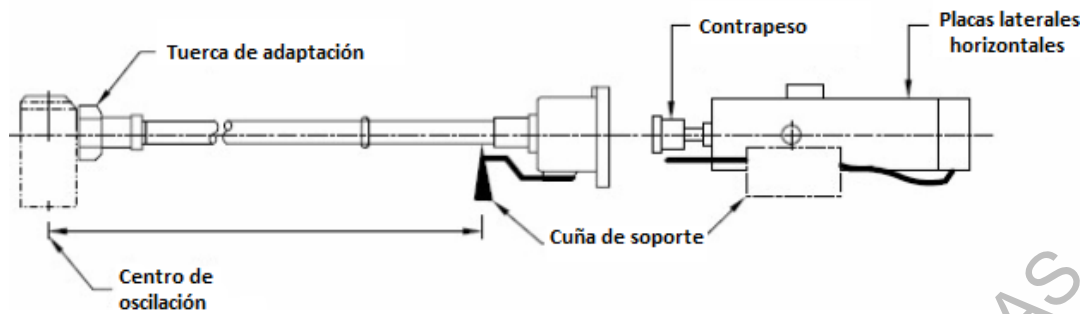


Figura 792A - 1. Montaje del péndulo mostrando la localización del punto de balance

- A.3** *Distancia desde el centro de gravedad hasta el centro de oscilación* – Con el péndulo reconectado al aparato y sin la cubierta del apoyo, la distancia se debe medir desde el centro de oscilación (centro de la tuerca de apoyo) hasta el punto de equilibrio (centro de gravedad). Esta distancia debe ser medida directamente, con una aproximación de 1 mm (0.04").
- A.4** *Carga de la zapata* – El péndulo debe ser sujetado a una agarradera adherida a la placa de la escala del dispositivo de prueba y éste se debe colocar y nivelar en un trípode como se muestra en la Figura 792A - 2. Se inserta el espaciador. Se ajusta una balanza de platos, con un montaje de apoyo (nota A.1) en un plato y pesas para tarar en el otro plato, de forma que la aguja de la balanza quede en el centro de la escala de lectura. El péndulo, con la zapata, se debe bajar utilizando los tornillos de ajuste de altura vertical del dispositivo de prueba, hasta que la zapata esté aproximadamente a 0.25 mm (0.01") del tope de la superficie del montaje de apoyo. Se aseguran los tornillos de ajuste de altura vertical y se quita el espaciador. Esto causará un desequilibrio, el cual debe ser parcialmente compensando añadiendo pesas al plato opuesto, con el fin traer el indicador de la escala a un valor dentro de los 200 g centrales de ésta. Para completar el proceso de balance, se regresa la aguja al centro de la escala de lectura, añadiendo agua gradualmente en un cilindro graduado. Se vacía el cilindro y se repite el vertido de agua. Se registra el peso promedio requerido para elevar la zapata de forma tal que la aguja de la balanza esté en el centro de la escala (nota A.2). Si la carga promedio de una zapata de 76.2 mm (3") de ancho y el plato de la balanza no están dentro de los requisitos establecidos en el numeral 4.1, se ajusta la tuerca para ajustar el resorte de tensión mostrada en la Detalle del brazo del péndulo y se determina de nuevo la carga de la zapata.

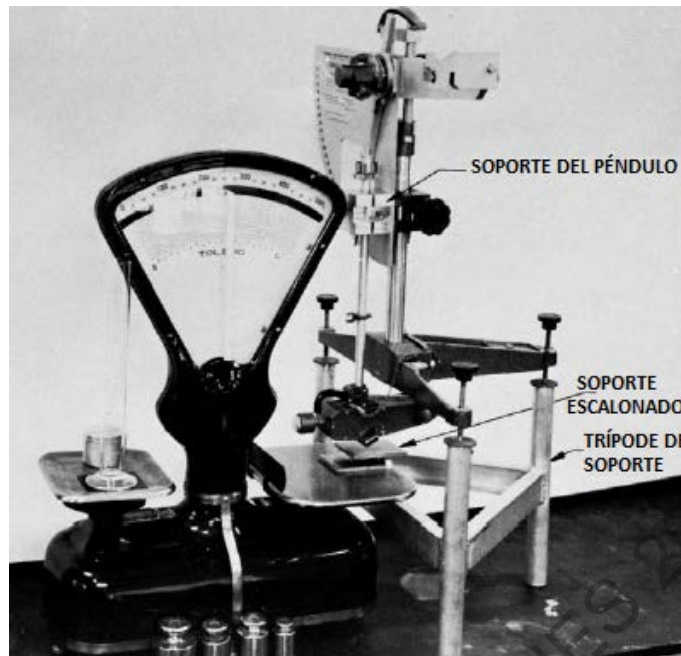


Figura 792A - 2. Arreglo del péndulo británico, mostrando el montaje del péndulo y de la balanza de platos utilizados para medir la carga de la zapata

Nota A.1: El montaje de apoyo puede ser tipo escalera de apoyo con una placa superior rígida de movimiento libre o un arreglo similar tal, que no se introduzca ninguna carga horizontal mientras se mide la carga vertical de la zapata.

Nota A.2: Puede ser necesario mover los platos de la balanza hacia arriba y hacia abajo para operar el resorte, con el fin de lograr lecturas parejas y consistentes. Si las medidas de la carga de la zapata siguen siendo irregulares después de operar el resorte, se quitan el panel lateral y el de la base del pie del péndulo y se revisa la limpieza de las superficies de apoyo y de los bordes de contacto y se determina de nuevo la carga de la zapata.

ANEXO B (Aplicación obligatoria)

CORRECCIÓN DEL CRD POR EFECTO DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE ENSAYADA

B.1 La norma permite el empleo de zapatas de caucho natural que cumpla los requerimientos de la Tabla 792 - 1 o de caucho sintético conforme a los requerimientos de las Tablas 792 - 2 y 792 - 3. Si se emplean zapatas de caucho natural, se deberá aplicar un factor de corrección por temperatura para convertir los resultados a una temperatura de referencia de 20° C, debido a que la fricción del caucho natural depende de la temperatura. Los factores de corrección suministrados en la norma BS 7976 son los siguientes:

TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE (° C)	FACTOR DE CORRECCIÓN (UNIDADES CRD)
8 a 11	-3
12 a 15	-2
16 a 18	-1
19 a 22	0
23 a 28	+1
29 a 35	+2

B.2 La ASTM considera que el caucho sintético formulado de acuerdo con las características de las Tablas 792 - 2 y 792 - 3 es independiente de la temperatura y, por lo tanto, si se emplean zapatas fabricadas con él no se requiere la corrección por efecto de la temperatura superficial.

B.3 A través del tiempo, se han realizado varias investigaciones para establecer los factores de corrección de los valores CRD por efecto de la temperatura de la superficie ensayada. A efectos comparativos, sus resultados se muestran en la Figura 792B - 1. El usuario deberá consultar las condiciones bajo las cuales se establecieron las diferentes ecuaciones, con el fin que elija la que considere más adecuada.

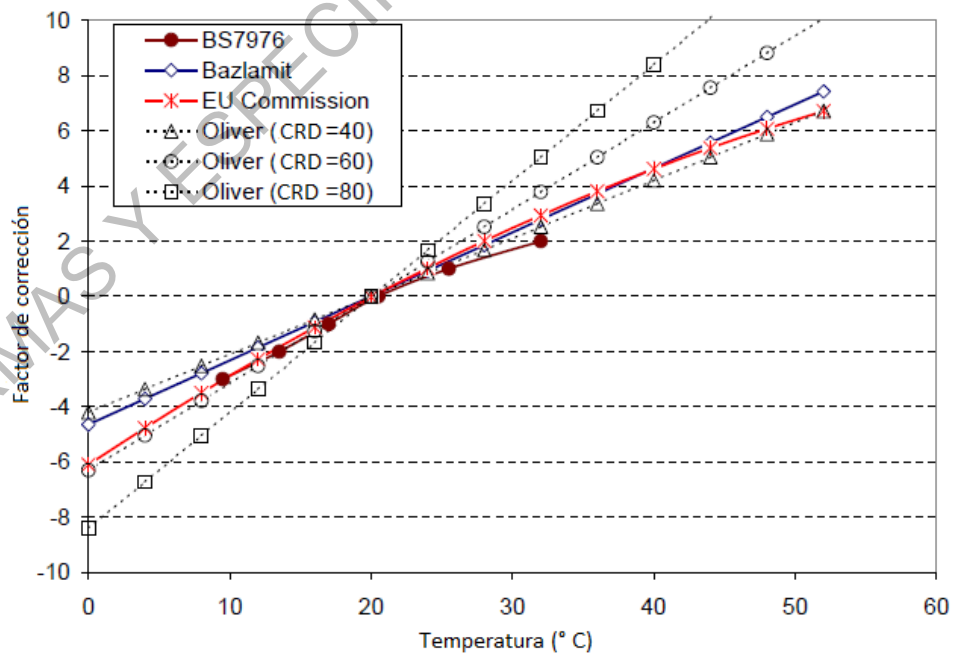


Figura 792B - 1. Factores de corrección para los valores de CRD sugeridos por diferentes investigadores

- B.4** En la *Overseas Road Note 18* del TRL se recomienda que, en climas tropicales, la corrección del valor de CRD se realice empleando una temperatura de referencia de 35° C, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CRD_{35} = \frac{(100+t)}{135 \times CRD_t} \quad [792.2]$$

Donde: CRD_{35} : Coeficiente de resistencia al deslizamiento a una temperatura de referencia de 35° C;

CRD_t : Coeficiente de resistencia al deslizamiento medido;

t: Temperatura a la cual se realizó el ensayo.

Nota B.1: A esta temperatura de referencia, se obtienen valores de CRD de 3 a 5 unidades inferiores a los determinados a una temperatura de referencia de 20° C.

ANEXO C (Informativo)

CORRELACIÓN ENTRE LAS MEDIDAS DEL PÉNDULO BRITÁNICO Y LAS DEL GRIPTESTER

- C.1** Una correlación entre los resultados de estos dos dispositivos se determinó en Australia y sus resultados fueron presentados en la Conferencia Internacional sobre Fricción Superficial realizada en Nueva Zelanda en 2005¹. Un número limitado de datos muestra una correlación entre las medidas de los aparatos cuando el GripTester es halado a 50 km/h (30 mph) o empujado a 5 km/h (3 mph), como se muestra en la Figura 792C - 1. Sin, embargo, el documento no brinda detalles sobre datos como los tipos de superficie y las temperaturas de ensayo.

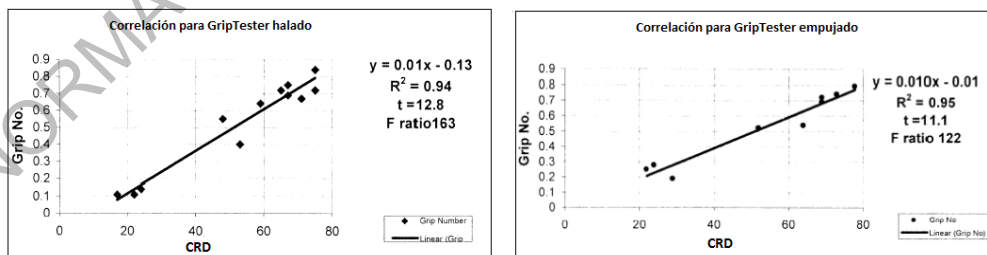


Figura 792C - 1. Correlaciones entre los valores del péndulo británico y los del GripTester

¹ MACKEY G., "Road Surface Friction: Measurement, Testing and Accuracy", International Surface Friction Conference: Roads and Runways, Christchurch, New Zealand, May 2005

MEDIDA DE LA IRREGULARIDAD SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO MEDIANTE LA REGLA DE TRES METROS, ESTÁTICA O RODANTE

INV E – 793 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la medida de las irregularidades superficiales de los pavimentos de carreteras utilizando la regla de 3 metros, estática o rodante.
- 1.2** Esta norma describe dos métodos y dos aparatos para medir la irregularidad de la superficie de un pavimento. El método A es la regla estática de 3 metros, y el método B es una regla rodante de la misma longitud. Ambos métodos son semejantes y su diferencia principal estriba en la posibilidad de realizar las medidas de forma discreta y lenta (regla estática) o continua y rápida (regla rodante).
- 1.3** Las irregularidades superficiales son aleatorias por naturaleza; por lo tanto, no se especifica un método rutinario para el muestreo.
- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E-793-07.

Nota 1: Al realizar el ensayo descrito en esta norma, el equipo y el operario invaden un área de la carretera, obstruyendo el tránsito. Por lo tanto, es necesario tomar las medidas adecuadas para conseguir una zona de trabajo segura, conforme con la reglamentación vigente.

2 DEFINICIONES

- 2.1** Para el uso de esta norma de ensayo, se definen los siguientes términos:
- 2.1.1** *Irregularidad* – Distancia máxima desde una superficie hasta el borde de medida de la regla de 3 metros, en la zona existente entre dos puntos de contacto de la regla con la superficie.
- 2.1.2** *Pavimento* – Estructura formada por una o más capas para facilitar el tránsito de vehículos.
- 2.1.3** *Capa de rodadura* – Capa superior de un pavimento que está en contacto con el tránsito.

2.1.4 Detrito – Material suelto en la superficie.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Las irregularidades en una superficie pueden causar variaciones importantes en la carga dinámica de las ruedas, impedir el drenaje del agua de la superficie en detrimento de la durabilidad de la carretera, e influir adversamente en la condición del vehículo, seguridad, costos de operación y comodidad de circulación.
- 3.2** Los valores y resultados obtenidos con cualquiera de las dos reglas representan una característica obtenida con estos métodos y no tienen por qué ser proporcionales o similares a los obtenidos con otros equipos o métodos.
- 3.3** El ensayo con la regla rodante permite determinar las irregularidades superficiales de una capa del pavimento siguiendo una línea o perfil longitudinal, en general paralela al eje de la vía, aunque se puede adoptar cualquier otra dirección.

4 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1** *Regla estática* – Para medir la distancia a la superficie desde el plano del borde de medida de la regla. Este borde de medida será inequívocamente identificable. La regla tendrá 3000 ± 1 mm de longitud y estará construida con un material rígido de forma que, suspendida de sus extremos, su borde de medida no se desviará en más de ± 0.5 mm en cualquier punto. La regla será recta también en toda su longitud y no se desviará de esta condición en más de 1.5 mm. El ancho horizontal del borde de medida será de 25 ± 1 mm.
- 4.2** *Cuña calibrada* – Para medir las irregularidades detectadas por la regla estática. Estará construida con un material rígido y tendrá 300 ± 1 mm de largo y 25 ± 1 mm de ancho. Dispondrá de marcas permanentes grabadas en su plano inclinado cada 1 mm, de forma que su altura verdadera venga definida por una tolerancia máxima de ± 0.1 mm en cada una de las marcas.

Nota 2: Tanto la regla estática como la cuña calibrada se deberán marcar de forma indeleble con una misma y única referencia, para que su uso sea siempre conjunto.

- 4.3 Regla rodante** – El aparato (Figuras 793 - 1 y 793 - 2) consiste en una viga rígida (flecha inferior a $200 \mu\text{m}$) apoyada en dos ruedas, una en cada extremo, cuya distancia entre ejes es de $3000 \pm 1 \text{ mm}$, y una rueda de medida en su punto medio con libertad de movimiento vertical, a la que se acopla un dispositivo para medir los desplazamientos verticales en un recorrido de $\pm 30 \text{ mm}$ con una precisión mínima de $\pm 1 \text{ mm}$. El sistema de lectura podrá ser gráfico o digital. También, se podrá adaptar un mecanismo provisto de dos indicadores luminosos, alimentados con una pila de 4.5 V , que se enciende cuando la medida supera unos límites previamente establecidos, según la especificación aplicable. En su extremo posterior, el aparato lleva un manillar con dos brazos para su conducción por el operador y un soporte inferior abatible para mantener la regla apoyada cuando no se opera.
- 4.3.1** Una de las ruedas extremas, preferiblemente la delantera, tendrá un eje de giro vertical que permita guiar el aparato mediante un cable con mando accionado desde el manillar.
- 4.3.2** Sobre la viga, donde se unen los brazos, se sitúa un soporte destinado a colocar un bote de pintura, que se puede utilizar para marcar las zonas o puntos defectuosos del pavimento.
- 4.4 Material auxiliar** – Pilas del voltaje adecuado, libreta de notas y elementos de escritura, cinta métrica de 25 m u odómetro para medir distancias, destornillador, llave inglesa, calibrador de 250 mm de rango, pintura, pincel, señales de tránsito según las normas vigentes.

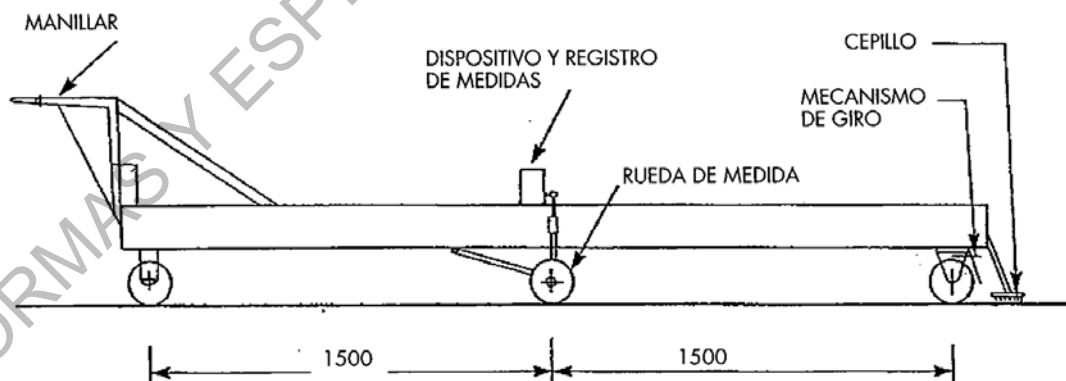


Figura 793 - 1. Esquema de regla rodante de 3 m



Figura 793 - 2. Regla rodante en operación

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Regla estática:

5.1.1 La zona donde se va a realizar la medida se limpia de detritos o de cualquier otro elemento suelto sobre la superficie.

5.1.2 Se coloca la regla de canto sobre la superficie. Esto se puede hacer en cualquier dirección, paralela o transversalmente al sentido de la circulación. Se desplaza la regla sobre la superficie del pavimento para determinar la irregularidad máxima en la zona que se ensaya (nota 3).

Nota 3: Este procedimiento se puede utilizar para medir la profundidad de los ahuellamientos formados en las carreteras que están en servicio.

5.1.3 Una vez situada la regla en el punto de medida, se coloca la cuña calibrada sobre la superficie, verificando que el contacto sea firme. La cuña se debe colocar perpendicularmente al borde de medida de la regla. Se deberán realizar medidas por ambos lados de la regla entre los dos puntos de contacto entre ésta y la superficie del pavimento.

5.1.4 Se determina la distancia entre el borde de medida de la regla y la superficie, insertando la cuña en el huelgo formado por aquellas y se lee el valor de esta distancia en la escala grabada en el plano oblicuo de la cuña. Se realizan las medidas necesarias en cada posición de la regla, para determinar la mayor distancia entre ésta y la superficie del pavimento. Esta distancia definirá la magnitud de la irregularidad en el punto de ensayo. Las medidas se deberán realizar con aproximación de ± 1 mm.

5.1.5 En superficies de pavimentos recién construidos, los requisitos para la especificación sobre irregularidad se entenderán para los ensayos realizados antes de la apertura al tránsito y tan pronto como sea posible después de colocada la capa. Si éstas no son las circunstancias del ensayo, ello se deberá anotar en el informe, junto con los resultados.

5.2 *Regla rodante:*

5.2.1 *Comprobación en el laboratorio:*

5.2.1.1 En el laboratorio se sitúa el aparato sobre una superficie perfectamente plana, que puede ser una regla de más de 3 m de longitud. Se mide con un calibrador la distancia mínima entre la parte superior de la rueda de medida y la parte inferior de la regla. Se anota este valor en la libreta de notas. Se miden, igualmente, cuatro o más radios de cada rueda, simétricamente distribuidos en su circunferencia. Estas medidas deben diferir entre sí menos de 1 mm para cada rueda. Si las longitudes de dos cualesquiera de los radios antes medidos difieren en 1 mm o más, se deberá corregir la circunferencia de la rueda, mecanizándola o sustituyéndola por otra que cumpla las condiciones anteriores. Se anota el radio medio de la rueda de medida.

5.2.1.2 Se comprueba finalmente que el valor señalado por el dispositivo de lectura (digital, gráfico, etc.) de medida se corresponde justamente con los desplazamientos verticales de la rueda de medida, utilizando el calibrador para esta comparación.

5.2.2 *Preparación en el campo:*

5.2.2.1 En el tramo a ensayar, con el aparato en posición de medida sobre la superficie del pavimento, se mide la mínima distancia entre la parte superior de la rueda de medida y el plano inferior de la regla, comprobándose que la diferencia entre esta medida y la anotada en el laboratorio es igual a la indicada por el dispositivo de lectura. Si estas lecturas fuesen distintas, se corregirá tal lectura mediante el ajuste que para tal fin tiene la varilla de transmisión rueda –dispositivo de lectura; si se trata de registro gráfico, se coloca la plumilla de

modo que sobre el papel marque la lectura correctamente. Si la regla dispone de indicadores luminosos, se fijan sus contactos de forma que se enciendan cuando las irregularidades medidas en la superficie del pavimento sobrepasen los límites que establezca la especificación aplicable.

5.2.2.2 Se colocan las pilas en su ubicación sobre la regla y se conectan los bornes de las pilas a los bornes de las luces del dispositivo de lectura.

5.2.2.3 En el caso de que se deseen marcar sobre el pavimento las zonas defectuosas, se coloca un bote de pintura, después de agitado convenientemente, en el soporte situado para este fin sobre la regla, así como el pincel o sistema de pintado.

5.2.3 *Ubicación de las medidas* - Se debe efectuar una inspección previa del tramo o tramos del pavimento por ensayar. Siempre que sea posible, se deben obtener los planos del trazado definitivo de los tramos, sobre los que se harán las anotaciones reseñadas a continuación: (1) origen y final del tramo, que se marcan en el pavimento, en la berma o en una referencia fija muy visible; (2) los puntos kilométricos y las distancias entre éstos y las referencias fijas; (3) las referencias fijas existentes fuera del pavimento y visibles desde un vehículo en marcha lenta circulando por éste; y (4) las zonas de tránsito conflictivo o de falta de visibilidad, en las que se aumentará la señalización provisional o se desviará el tránsito o se detendrá, en caso que no se pueda evitar medir en estas zonas.

5.2.4 Se tomará, como mínimo, una línea o perfil en el carril derecho por cada sentido de circulación. Es aconsejable situar los perfiles a 1.00 y 2.50 m del borde derecho del carril, en el sentido de circulación, para ancho de carril de 3.50 m o más y a 0.80 y 2.30 m en los restantes casos.

5.2.5 Se sitúa la regla en el sentido de marcha, en la línea y el punto señalados para el comienzo de las medidas. Se anota la distancia de éste con respecto a referencias fijas. En caso de disponer de registro gráfico, se marca sobre él esta situación.

5.2.6 El examen de las irregularidades de la superficie del pavimento se puede realizar mediante dos procedimientos:

5.2.6.1 *Registro de defectos* - Se anotan los puntos y zonas (con su longitud) en los que la medida dada por la regla supere a la establecida como tolerancia admisible, según la especificación aplicable. Si el aparato dispone de registro gráfico, no son necesarias las anotaciones de medidas, pero sí marcar en el papel de registro los pasos por las referencias fijas. Para efectos de control de construcción, se marcarán con pintura los puntos y zonas que presenten estas irregularidades.

5.2.6.2 *Método estadístico*- Se anotan las medidas máximas de irregularidad (positivas o negativas) obtenidas con la regla en tramos de longitud prefijada, por ejemplo, 10 m, consecutivamente. Si el aparato dispone de registro gráfico, no son necesarias las anotaciones de medidas, pero sí marcar en el papel de registro los pasos por las referencias fijas. Este método es el que se utiliza para el estudio o control del estado general de tramos de carretera y de la evolución de la regularidad superficial de los pavimentos en servicio. Por ello, no será necesario marcar con pintura los puntos o zonas con defectos.

6 INFORME

6.1 El informe deberá contener, como mínimo, lo siguiente:

6.1.1 Nombre o número de trabajo.

6.1.2 Descripción e identificación del ensayo, incluyendo localización, carretera, calzada, puntos kilométricos, carril y berma, y si el pavimento ha sido puesto en servicio o no.

6.1.3 Fecha(s) de realización del ensayo(s).

6.1.4 Procedimiento de ensayo y especificaciones aplicables.

6.1.5 Abscisa en la que se observa el defecto o comienza la zona defectuosa.

6.1.6 Flecha máxima medida en el punto o zona (cuando las medidas se tomen con la regla estática).

- 6.1.7** Longitud de la zona defectuosa.
- 6.1.8** Distancias a referencias fijas.
- 6.1.9** Observaciones visuales sobre el pavimento, causas posibles del defecto como, por ejemplo, juntas de losas, tablero de puente, pozo de inspección, etc.

7 NORMAS DE REFERENCIA

NLT 334/98

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

CÁLCULO DEL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI) DE PAVIMENTOS DE CARRETERAS

INV E – 794 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe un procedimiento para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) en un sector de un hectómetro de carretera, a partir de su perfil longitudinal.
- 1.2** El método tiene aplicación para los perfiles longitudinales definidos por sus cotas a intervalos iguales de longitud inferior a 0.30 m.
- 1.3** Para definir el IRI se emplea un modelo matemático que simula la suspensión y las masas de una cuarta parte de un vehículo tipificado (cuarto de carro), que circula a 80 km/h por el tramo de carretera que se pretende evaluar. Los parámetros que definen las masas, rigideces y amortiguaciones de este vehículo, se presentan en la Figura 794 - 1. Para calcular el IRI es necesario conocer el perfil longitudinal de la carretera, definido por sus cotas en intervalos (Δx) de longitud constante.
- 1.4** El IRI es un valor promedio sobre una longitud L y sus valores dependen del valor L elegido. Para el cálculo de los valores del IRI en esta norma se utilizará como longitud L el hectómetro.
- 1.5** Esta norma reemplaza la norma INV E-794-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** Para los efectos de esta norma, aplican las siguientes definiciones:
- 2.1.1** *Perfil longitudinal de la carretera* – Sucesión de cotas en intervalos de longitud constante, la cual no deberá ser inferior a 0.01 m, ni superior a 0.30 m. Si el intervalo fuese inferior a 0.25 m, para que represente el acoplamiento que realmente sufriría la rueda sobre el pavimento, se debe suavizar obteniendo su media móvil por segmentos de 0.25 m.
- 2.1.2** *Desplazamiento vertical, u* – Desplazamiento vertical de las masas no suspendidas del cuarto de carro, con relación a su posición inicial.

- 2.1.3** *Desplazamiento vertical, v* – Desplazamiento vertical de las masas suspendidas del cuarto de carro, con relación a su posición inicial.
- 2.1.4** *Longitud de valoración del IRI, L* – Longitud del tramo en el que se calculará el IRI y se reportará un resultado. Para los cálculos que siguen en esta norma, la longitud se considerará igual a 100 m.
- 2.1.5** *IRI* – El IRI se define como sigue, a partir de los desplazamientos verticales “u” y “v”:

$$IRI = \frac{1}{L} \sum |\Delta u - \Delta v| \quad [794.1]$$

- 2.1.5.1** Por lo tanto, el IRI se puede definir como el desplazamiento acumulado, en valor absoluto, de la masa superior respecto a la inferior, dividido por la distancia recorrida.
- 2.1.5.2** Si Δx es el intervalo fijado y “n” el número de intervalos recorridos, se tiene:

$$L = n \Delta x \quad [794.2]$$

- 2.1.5.3** Sustituyendo la expresión del numeral 2.1.5.2 en la del numeral 2.1.5.1:

$$IRI = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{\Delta u}{\Delta x} - \frac{\Delta v}{\Delta x} \right| \quad [794.3]$$

- 2.1.5.4** Si se define:

$$RS = \left| \frac{\Delta u}{\Delta x} - \frac{\Delta v}{\Delta x} \right| \quad [794.4]$$

- 2.1.5.5** Se obtiene por sustitución:

$$IRI = \frac{1}{n} \sum RS \quad [794.5]$$

2.1.5.6 De las fórmulas se deduce que el IRI es una unidad adimensional. Sin embargo, para facilitar su manejo y evitar números decimales muy pequeños, se acostumbra multiplicar por 1000 y expresar en m/km (dm/hm).

3 IMPORTANCIA Y USO

3.1 El IRI se puede emplear en sistemas de gestión para el mantenimiento de pavimentos, donde se hacen evaluaciones a nivel de red; o como elemento de control de calidad de la regularidad superficial de obras de pavimentación.

4 FUNDAMENTO Y CÁLCULO

4.1 Las ecuaciones diferenciales que expresan el movimiento de las masas suspendida y no suspendida son:

$$m_2 \ddot{v} + c_2 (\dot{v} - \dot{u}) + k_2 (v - u) = 0 \quad [794.6]$$

$$m_2 \ddot{v} + m_1 \ddot{u} + k_2 (u - y) = 0 \quad [794.7]$$

Donde: m_1 , m_2 , k_1 , k_2 y c_2 : Constantes del cuarto de carro de la Figura 794 - 1;

y : Cota del perfil recorrido, según la experimenta la rueda del vehículo (perfil suavizado);

Las derivadas \dot{u} , \dot{v} , \ddot{u} y \ddot{v} lo son respecto al tiempo.

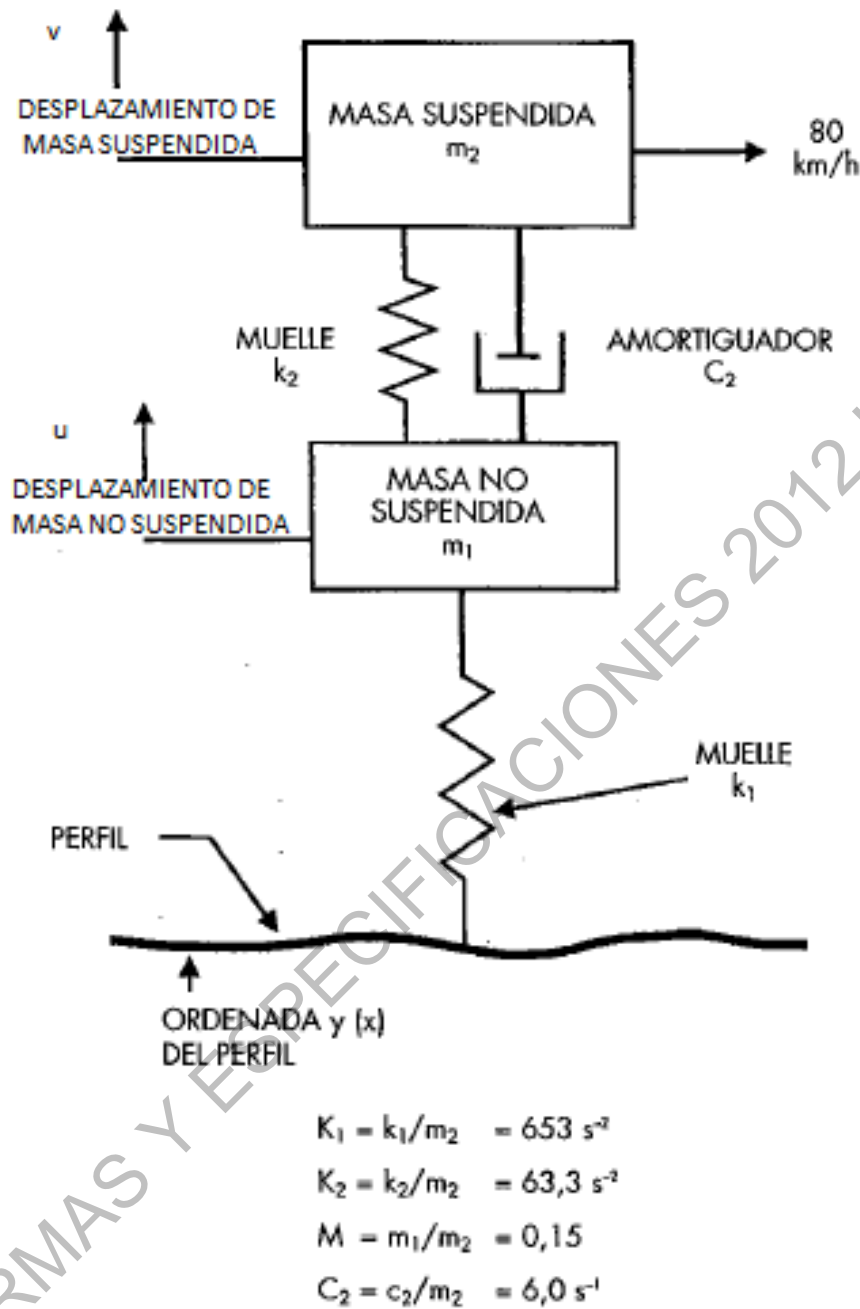


Figura 794 - 1. Modelo del "Cuarto de Carro"

- 4.2 Si el perfil se define por una serie de cotas a intervalos de longitud constante, una vez resuelto el sistema de ecuaciones diferenciales anterior, los movimientos de las masas del cuarto de carro quedan definidos mediante el siguiente sistema de ecuaciones:

$$Z_{1,i} = S_{11}Z_{1,i-1} + S_{12}Z_{2,i-1} + S_{13}Z_{3,i-1} + S_{14}Z_{4,i-1} + P_1 \cdot y' \quad [794.8]$$

$$Z_{2,i} = S_{21}Z_{1,i-1} + S_{22}Z_{2,i-1} + S_{23}Z_{3,i-1} + S_{24}Z_{4,i-1} + P_2 \cdot y' \quad [794.9]$$

$$Z_{3,i} = S_{31}Z_{1,i-1} + S_{32}Z_{2,i-1} + S_{33}Z_{3,i-1} + S_{34}Z_{4,i-1} + P_3 \cdot y' \quad [794.10]$$

$$Z_{4,i} = S_{41}Z_{1,i-1} + S_{42}Z_{2,i-1} + S_{43}Z_{3,i-1} + S_{44}Z_{4,i-1} + P_4 \cdot y' \quad [794.11]$$

Donde: Z_{1i} : $\Delta v / \Delta x$ para una posición "i";

Z_{3i} : $\Delta u / \Delta x$ para una posición "i";

$$y' = (y_i - y_{i-1}) / \Delta x \quad [794.12]$$

S_{ij} , P_i : Constantes que vienen fijadas por el tiempo necesario para que el cuarto de carro recorra el intervalo Δx a la velocidad de 80 km/h. Sus valores aparecen al final del programa de computador incluido en el Anexo A de esta norma.

4.2.1 Mediante este sistema de ecuaciones recurrentes se conocen, en cualquier punto, las posiciones "u" y "v" de las masas del cuarto de carro, si se conoce la posición de las masas en el punto anterior.

4.3 Si no se conocen las condiciones iniciales del sistema en el primer punto, se tomarán las siguientes:

$$Z_{1,0} = Z_{3,0} = (y^* - y_0) / 11 \quad [794.13]$$

$$Z_{2,0} = Z_{4,0} = 0 \quad [794.14]$$

Donde: y^* : Cota del punto del perfil situado a 11 m del inicio;

y_0 : Cota inicial (punto $i = 0$).

- 4.4 Conocidas las condiciones iniciales, se puede calcular para cada punto "i" del perfil, su correspondiente valor RS_i :

$$RS_i = |Z_{3,i} - Z_{1,i}| \quad [794.15]$$

5 CÁLCULO DEL IRI EN UN HECTÓMETRO

- 5.1 Conocidos los valores de RS_i , el valor del IRI en un hectómetro cualquiera sería:

$$IRI = \frac{1}{n} \sum RS_i \quad [794.16]$$

$$n = 100 / \Delta x \quad [794.17]$$

- 5.2 En el Anexo A de esta norma se incluye el código de un programa que permite el cálculo del IRI. No obstante, se podrán utilizar otros programas de cálculo, siempre que los resultados no difieran de los obtenidos en el programa del Anexo A en más de cinco centésimas de decímetro/hectómetro (0.05 dm/hm).

6 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 6.1 Los resultados identificarán la abscisa del punto inicial del hectómetro y, a continuación, se presentará el resultado del IRI, expresado en dm/hm, redondeado a la décima.

Nota 1: Al ensayar un tramo de carretera, éste se deberá dividir en hectómetros, iniciando una nueva división en cada uno de los postes de referencia. Si la distancia entre postes de referencia es diferente de 1000 m, por cuanto entre dos postes puede existir un número no entero de hectómetros, pueden ocurrir dos casos, según que la longitud del tramo sobrante sea:

a) Menor de 50 m – En este caso, el tramo sobrante se añadirá al hectómetro inmediatamente anterior, y se calculará el IRI del tramo total. Además del valor del IRI, se debe anotar la longitud del tramo al dar el resultado.

b) Mayor o igual a 50 m – En este caso, se calculará el IRI del tramo sobrante, como se indica en la nota A.1. Además del valor del IRI se debe anotar la longitud del tramo al dar el resultado.

Nota 2: Cuando se trate de calcular los porcentajes de tramos hectométricos cuyos valores de IRI son inferiores a ciertos umbrales dados, los tramos de los casos a) y b) se ponderarán con un factor igual a su longitud, expresada en metros, divida por 100.

7 NORMAS DE REFERENCIA

NLT 330 – 98

ANEXO A (Informativo)

PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL IRI

- A.1** Para facilitar el cálculo del IRI en un perfil de 100 m de longitud, definido por sus cotas cada Δx , se incluye un programa escrito en lenguaje BASIC.
- A.2** Al comienzo, el programa solicita el “NOMBRE DEL ARCHIVO CON LAS COTAS (en mm)”. Hay que dar el nombre del archivo, que estará constituido por una columna con las cotas del perfil cada Δx , expresadas en mm. A continuación, el programa pide el “INTERVALO ENTRE PUNTOS DEL PERFIL (en mm)”. Hay que dar el intervalo Δx en metros.
- A.3** El IRI del hectómetro es el resultado que aparece en pantalla.

Nota A.1: Si se desea calcular el IRI en una longitud distinta a 100 m, bastará sustituir en la línea 1480 el valor “100” por “L”; siendo “L” la longitud deseada, expresada en m.

```
1000 REM ESTE PROGRAMA REALIZA EL
      CALCULO DEL IRI EN UN
      HECTÓMETRO
1010 CLS
1020 DIM Y(1101),Z(4),Z1(4),S(4,4),P(4)
1030 LOCATE 12,20 : INPUT "NOMBRE DEL
      ARCHIVO CON LAS COTAS.(en mm)";
      A$
1040 OPEN "I", #1, A$
1050 LOCATE 16,20 : INPUT "INTERVALO
      ENTRE PUNTOS DEL PERFIL (en m)";
      DX
1060 REM ----- Calcular constantes
1070 K = INT (.25 / DX + .5) + 1
1080 BL = (K - 1) * DX
1090 GOSUB 1520
1100 REM ----- Inicializar variables
1110 NN = 11 / DX + 1
1120 FOR I = 1 TO NN
1130 INPUT #1, Y(I)
1140 NEXT I
1150 CLOSE #1
1160 OPEN "I", #1, A$
1170 INPUT #1, Y(1)
1180 Z1(1) = (Y(NN) - Y(1)) / 11
1190 Z1(2) = 0
1200 Z1(3) = Z1(1)
1210 Z1(4) = 0
1220 RS = 0
1230 IX = 1
1240 I = 0
1250 REM ----- Introducir cotas
1260 I = I + 1

1270 IX = IX + 1
1280 IF EOF(1) GOTO 1500
1290 INPUT #1, Y(K)
1300 REM ----- Cálculo de las pendientes
1310 IF IX < K THEN Y(IX) = Y(K)
1320 IF IX < K THEN GOTO 1270
```

```
1330     YP = (Y(K) - Y(1)) / BL
1340     FOR J = 2 TO K
1350         Y(J-1) = Y(J)
1360     NEXT J
1370 REM ----- Simulación de la respuesta
           del vehículo
1380     FOR J = 1 TO 4
1390         Z(J) = P(J) * YP
1400         FOR JJ = 1 TO 4
1410             Z(J) = Z(J) + S(J,JJ) * Z1(JJ)
1420         NEXT JJ
1430     NEXT J
1440     FOR J = 1 TO 4
1450         Z1(J) = Z(J)
1460     NEXT J
1470     RS = RS + ABS (Z(3) - Z(1))
1480     IF IX < INT (100 / DX + .5) OR IX = INT
           (100 / DX + .5) GOTO 1260
1490     LOCATE 12,30 : PRINT "IRI = ",RS / I
1500     CLOSE #1
1510     END
1520 REM ----- Subrutina para cálculo de
           las constantes
1530     CLS
1540     N = 4
1550     K1 = 653
1560     K2 = 63.3
1570     MU = .15
1580     C = 6
1590     DIM A(4,4), A1(4,4), A2(4,4), IC(4), JC(4),
           W(4)
1600     MM = DX * 1000
1610     V = 80
1620     T = MM / V * .0036
1630     FOR I = 1 TO 4
1640         FOR J = 1 TO 4
1650             A(J,I) = 0
1660             A1(J,I) = 0
1670             S(I,J) = 0
1680         NEXT J
1690         A1(I,I) = 1
1700         S(I,I) = 1
```

```
1710 NEXT I
1720 A(1,2) = 1
1730 A(3,4) = 1
1740 A(2,1) = - K2
1750 A(2,2) = - C
1760 A(2,3) = K2
1770 A(2,4) = C
1780 A(4,1) = K2 / MU
1790 A(4,2) = C / MU
1800 A(4,3) = -(K1 + K2) / MU
1810 A(4,4) = - C / MU
1820 IT = 0
1830 IT = IT + 1
1840 IS = 1
1850 FOR J = 1 TO N
1860   FOR I = 1 TO N
1870     A2(I,J) = 0
1880     FOR KK = 1 TO N
1890       A2(I,J) = A2(I,J) + A1(I,KK) * A(KK,J)
1900     NEXT KK
1910   NEXT I
1920 NEXT J
1930 FOR J = 1 TO N
1940   FOR I = 1 TO N
1950     A1(I,J) = A2(I,J) * T / IT
1960     IF S(I,J) = S(I,J) + A1(I,J) THEN
1970       GOTO 1990
1980     S(I,J) = S(I,J) + A1(I,J)
1990   NEXT I
2000 NEXT J
2010 IF IS = 0 THEN GOTO 1830
2020 ER = 0
2030 FOR KK = 1 TO N
2040   KD = KK - 1
2050   PV = 0
2060   FOR I = 1 TO N
2070     FOR J = 1 TO N
2080       IF KK = 1 THEN 2140
```

```
2090     FOR II = 1 TO KD
2100       FOR JJ = 1 TO KD
2110         F I = IC(II) OR J = JC(JJ) THEN
           GOTO 2180
2120         NEXT JJ
2130       NEXT II
2140     IF ABS (A(I,J)) <= ABS (PV)
           THEN GOTO 2180
2150     PV = A(I,J)
2160     IC(KK) = I
2170     JC(KK) = J
2180     NEXT J
2190     NEXT I
2200     IF ABS (PV) > ER THEN GOTO 2230
2210     PRINT "PIVOT < ",ER
2220     STOP
2230     II = IC(KK)
2240     JJ = JC(KK)
2250     FOR J = 1 TO N
2260       A(II,J) = A(II,J) / PV
2270     NEXT J
2280     A(II,JJ) = 1 / PV
2290     FOR I = 1 TO N
2300       AA = A(I,JJ)
2310       IF I = II THEN 2360
2320       A(I,JJ) = - AA / PV
2330       FOR J = 1 TO N
2340         IF J <> JJ THEN A(I,J) =
           A(I,J) - AA * A(II,J)
2350       NEXT J
2360     NEXT I
2370     NEXT KK
2380     FOR J = 1 TO N
2390       FOR I = 1 TO N
2400         W(JC(I)) = A(IC(I),J)
2410       NEXT I
2420     FOR I = 1 TO N
2430       A(I,J) = W(I)
```

```
2440     NEXT I
2450     NEXT J
2460     FOR I = 1 TO N
2470         FOR J = 1 TO N
2480             W(IC(J)) = A(I,JC(J))
2490         NEXT J
2500     FOR J = 1 TO N
2510         A(I,J) = W(J)
2520     NEXT J
2530     NEXT I
2540     FOR I = 1 TO N
2550         P(I) = - A(I,4)
2560         FOR J = 1 TO N
2570             P(I) = P(I) + A(I,J) * S(J,4)
2580         NEXT J
2590         P(I) = P(I) * K1 / MU
2600     NEXT I
2610     RETURN
```

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MEDIDA DE LAS DEFLEXIONES DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN

INV E – 795 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento a seguir para la determinación estática de la deflexión elástica recuperada de un pavimento asfáltico empleando la viga Benkelman. A tal fin, se utiliza un camión donde la carga, el tamaño de neumáticos, el espaciamiento entre ruedas duales y la presión de inflado están normalizados.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-795-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Deflexión total (d_t)* – Deformación vertical y puntual de una superficie de pavimento bajo la acción de una carga.
- 2.2** *Deflexión remanente o residual (d_r)* – En los materiales viscoelásticos, cuando la sollicitación aplicada deja de actuar, la recuperación del pavimento no es total, quedando este material con una deflexión residual o deflexión remanente.
- 2.3** *Deflexión elástica recuperable (d_e)* – Es la diferencia entre la deflexión total y la deflexión remanente, $d_t = d_e + d_r$. La deflexión elástica recuperable se utiliza para la modelación de las estructuras de pavimento mediante retrocálculo.
- 2.4** *Cuenca de deflexión* – Línea de influencia de la deformada del pavimento debido a la aplicación de una carga determinada.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Un camión donde la carga, el tamaño de los neumáticos, el espaciamiento entre ruedas duales y la presión de inflado están normalizados, se coloca en el pavimento de manera que la rueda dual quede sobre el punto escogido para el ensayo. A continuación, se coloca la viga tras la rueda, de manera que el

extremo de su brazo de medida quede exactamente en el centro del espacio comprendido entre los dos neumáticos de la rueda dual, ajustando a cero la lectura del dial del aparato. Se aleja el vehículo del punto de ensayo y se lee en el dial el valor de la recuperación elástica de la deformación sufrida por el pavimento. Si se está empleando una viga Benkelman doble, se registra, además, la lectura del segundo dial.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La medida de las deflexiones, como respuesta ante la aplicación de una carga sobre la superficie del pavimento, es la base de la mayoría de los procesos de evaluación estructural existentes en la actualidad. Aunque existen otras medidas que pueden dar una idea del estado estructural del pavimento, la deflexión en superficie es, sin duda, la que ofrece las posibilidades de análisis más amplias.
- 4.2** La medida de las deflexiones Benkelman es una operación relativamente sencilla, que emplea un dispositivo de bajo costo, de fácil adquisición y de sencilla aunque laboriosa operación.
- 4.3** El ensayo permite determinar la deflexión vertical y puntual de una superficie del pavimento bajo la acción de una carga normalizada, transmitida por medio de las ruedas gemelas de un eje simple tipo, pero no permite obtener el cuenco de deflexión. Sin embargo, cuando se utiliza una viga Benkelman doble, se pueden encontrar dos puntos del cuenco de deflexión, a partir de los cuales se puede estimar, grosso modo, un radio de curvatura.

5 EQUIPO

- 5.1** *Viga Benkelman* – Es un deflectómetro mecánico simple. Un brazo móvil, suspendido en un bastidor a través de un pivote, transmite la deflexión vertical del punto de medida a un dial medidor. La Figura 795 - 1 presenta un esquema general del dispositivo y unas dimensiones típicas. Sus principales partes constitutivas se describen a continuación.

- 5.1.1** *Bastidor* – Viga con tres patas de apoyo sobre el suelo, que sirve de sustentación a la palanca o brazo de medida, y de soporte al dial medidor. La altura de la pata trasera se puede regular con un tornillo, mientras que las delanteras, que son fijas, están situadas simétricamente con respecto al eje longitudinal de la viga.

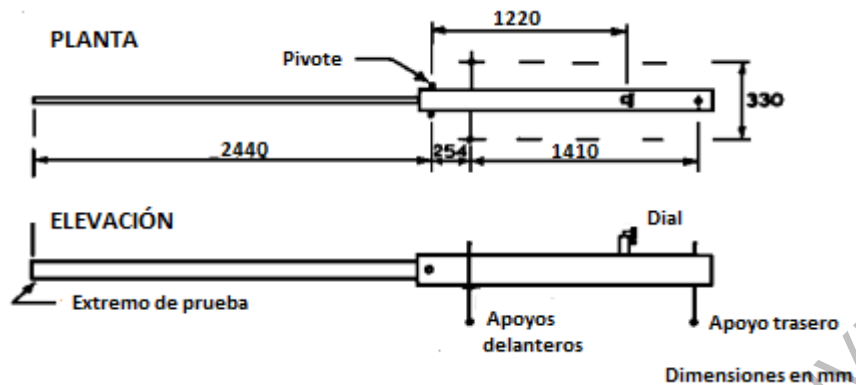


Figura 795 - 1. Viga Benkelman típica

5.1.2 *Palanca o brazo de medida* – Perfil metálico suspendido del bastidor a través un pivote que lo divide en dos partes con una determinada relación. La viga de la Figura 795 - 1 tiene una relación de brazo (constante de la viga) de 2:1 (2440/1220), pero se acepta el uso de vigas con otras constantes (por ejemplo, 4:1). Para facilitar su transporte, el brazo de medida se debe fabricar de manera que se pueda desmontar en varias partes.

5.1.3 *Pivote* – Un eje, que hace de punto de apoyo del brazo de medida, suspendido en dos rodamientos a bolas, estancos al polvo y solidarios al bastidor.

5.1.4 *Seguro* – Elemento que sirve para bloquear el brazo de medida, dejándolo fijo al bastidor.

5.1.5 *Dial* – Aparato con limbo dividido en 0.01 mm y con un recorrido igual o superior a 10 mm. Se fija al bastidor con un soporte solidario de éste, de modo que su vástago prolongado quede apoyado sobre el extremo posterior del brazo de medida. El dial puede ser sustituido por un captador electrónico con presentación de lectura digital.

5.1.6 *Palpador* – Pieza metálica de la forma que muestra la Figura 795 - 2, colocada en el extremo anterior del brazo de medida y que reposa sobre el suelo en el punto de la medición.

5.2 *Viga Benkelman de doble brazo (Opcional)* – Viga con doble brazo de medida (Figura 795 - 3), con sus correspondientes diales registradores (al 0.01 mm y recorrido 10 mm) y las siguientes dimensiones típicas:

- 5.2.1 Longitud del primer brazo de ensayo, desde el pivote al punto de prueba de 2440 mm.
- 5.2.2 Longitud del primer brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago del dial registrador de 610 mm. (Relación 1:4).
- 5.2.3 Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote a la punta de prueba de 2190 mm.
- 5.2.4 Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago del deformímetro registrador de 548 mm. (Relación 1:4).



Figura 795 - 2. Palpador en el extremo del brazo de medida



Figura 795 - 3. Viga Benkelman doble

Nota 1: Se permite el empleo de vigas con dimensiones diferentes a las indicadas en esta Sección, siempre y cuando no sean tan reducidas que el radio de acción de la carga afecte permanentemente la posición de sus patas

- 5.3 **Vehículo de carga** – El vehículo usado para cargar el pavimento deberá ser un camión que lleve una carga de prueba de 80 kN (18 000 lbf) en un eje trasero simple con sistema de rueda doble. Los neumáticos serán de 10.00 – 20 y

tendrán una presión de inflado tal, que la presión de contacto sobre el pavimento sea de 552 kPa (80 lbf/pg²).

- 5.4** *Elementos misceláneos* – Herramientas menores para el montaje y ajuste de la viga, termómetro con escala de 0 a 50° C o mayor y divisiones cada grado, cinta métrica de 2 o 3 m, odómetro, taladro para ejecutar orificios en el pavimento hasta de 50 mm de profundidad y 10 mm de diámetro, papel para impresión de las huellas de los neumáticos (dimensiones mínimas de 50 × 70 cm), tiza y pintura para marcar el pavimento, etc.

6 SEGURIDAD

- 6.1** Cuando estos ensayos se realizan en carreteras abiertas a la circulación, el equipo, el operario y el personal auxiliar invaden un área del pavimento obstruyendo el tránsito. Por lo tanto, se deberán tomar todas las medidas adecuadas para conseguir una zona de trabajo segura, conforme a los reglamentos vigentes.

7 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 7.1** El camión especificado en el numeral 5.3 se carga con lingotes de metal o bloques de concreto o de piedra y se pesa en una báscula contrastada hasta tener la carga de 80 kN (18 000 lbf) en el eje simple trasero. Se comprueba la carga al comienzo del ensayo y, para series de ensayos, al comienzo y al final de la jornada de trabajo. Se pesan el eje trasero y las ruedas gemelas, bajo las cuales se realizarán las medidas. La masa en estas últimas será de 40 kN (9000 lbf). Si los materiales utilizados para cargar el vehículo son susceptibles a las variaciones de humedad, se deberán proteger con una lona.
- 7.2** Se imprime sobre un papel la huella de las ruedas gemelas cargadas correctamente, con la presión de inflado adecuada. Para ello, se levantan las ruedas con un gato sobre una superficie lo más plana posible, se coloca el papel debajo y se descenden las ruedas reposando libremente toda la carga sobre el papel. Se levantan de nuevo las ruedas y se mide el área de cada impronta. Conocidas la carga por rueda y las áreas de las improntas, se calcula la presión de contacto. Si ésta difiere de la especificada en el numeral 5.3, se deberá ajustar la presión de inflado según corresponda.
- 7.3** Se arma la viga Benkelman, se le coloca el dial (o los diales si es una viga doble) y se comprueba el correcto funcionamiento de todo el conjunto.

8 PROCEDIMIENTO

8.1 Operaciones previas:

- 8.1.1** El punto del pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se recomienda utilizar las distancias indicadas en la Tabla 795 - 1.

Tabla 795 - 1. Localización del punto de ensayo

ANCHO DEL CARRIL	DISTANCIA DESDE EL BORDE DEL PAVIMENTO
2,70 m	0,45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m o más	0,90 m

- 8.1.2** Con el fin de medir la temperatura del pavimento, se practica un orificio de 40 a 50 mm de profundidad y 10 mm de diámetro, aproximadamente, emplazado sobre la línea paralela al eje del camino, que pasa por el punto de determinación de la deflexión y a 500 mm del mismo, en el sentido de avance del camión. Se llena con glicerina o aceite, no menos de 10 minutos antes de iniciar el ensayo, y se lee la temperatura inmediatamente antes de la colocación del camión en el sitio de prueba. El rango de temperatura de trabajo deberá quedar dentro de los siguientes límites: inferior 5° C y superior 35° C.

- 8.1.3** Se mide y anota la temperatura ambiente.

- 8.1.4** Se coloca la rueda dual externa del camión sobre el punto de ensayo seleccionado. Para la correcta ubicación de la misma, se recomienda colocar en la parte trasera externa del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada en el numeral 8.1.1, de modo que simultáneamente el punto quede entre ambos neumáticos de la rueda dual.

8.2 Medición de la deflexión:

- 8.2.1** Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta del brazo de medida (palpador) coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las llantas de la rueda dual (Figura 795 - 4). Si se trata de una viga doble, el palpador que deberá quedar entre los neumáticos en coincidencia con el eje, será el delantero (Figura 795 - 5).



Figura 795 - 4. Colocación de la viga en el punto de ensayo

- 8.2.2** Se libera el seguro del brazo y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que la parte posterior del brazo de medición quede en contacto con el dial. En el caso de vigas dobles, se realiza esta operación con ambos brazos y diales.
- 8.2.3** Se ajusta cada dial, de modo que su vástago tenga un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se gira el limbo del dial hasta que las agujas queden en cero y se verifica la lectura golpeándolo suavemente con un lápiz. Se gira el limbo si es necesario y se repite la operación hasta obtener la posición cero. También se puede registrar una lectura inicial diferente de cero (L_0).



Figura 795 - 5. Colocación de la viga doble

- 8.2.4** Se hace avanzar suave y lentamente el camión hasta una distancia no menor de 5 m (Figura 795 - 6) y se lee el dial cada 60 segundos, golpeándolo suavemente con un lápiz. Cuando dos lecturas sucesivas no difieran en más de 0.01 mm, se da por finalizada la recuperación, registrándose la última lectura observada (L_f) (Figura 795 - 7).

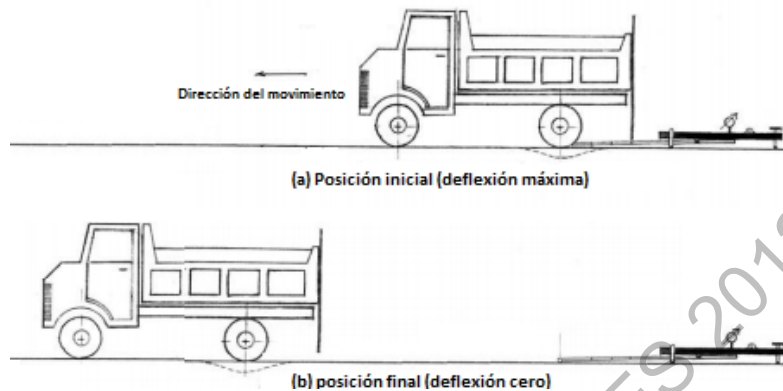


Figura 795 - 6. Esquema del proceso de medición

Nota 2: Las medidas de deflexión no se considerarán válidas, así se hayan realizado a temperaturas inferiores al límite superior indicado en el numeral 8.1.2, si se produce deformación plástica entre ambas llantas de la rueda dual. Para detectar si ello sucede, se procederá de la siguiente forma: Una vez registradas la lectura L_f , se hace retroceder suave y lentamente el camión hasta que la rueda dual externa quede colocada sobre el punto de ensayo, observando la marcha en la aguja del dial. Si alcanzada cierta posición la aguja se detiene y luego se observa un desplazamiento en sentido contrario, como si se produjera la recuperación del pavimento, ello indica que existe deformación plástica medible entre ambas llantas de la rueda dual. Esa aparente recuperación puede ser debida, también, al hecho que el radio de acción de la carga del camión afecte las patas de la viga.

- 8.3** Se repite el proceso de medida seleccionado, a los intervalos de medida indicados en la Sección 9. Normalmente, se toman medidas bajo las dos ruedas usando dos dispositivos. Sin embargo, si se usa un solo instrumento, la prueba puede ser alternada entre las ruedas, obteniéndose dos o más medidas en la rueda exterior por cada rueda interior medida a través de toda la sección de prueba.



Figura 795 - 7. Lecturas finales de los dials en una viga doble

9 FRECUENCIA DE MEDICIÓN

- 9.1** La ubicación de las pruebas variará según el propósito para el cual se obtengan los datos. Por lo general, el método que comúnmente es utilizado es el de realizar la prueba principalmente en las huellas de las ruedas, puesto que la reacción del pavimento en estos lugares refleja el efecto del daño que se ha estado acumulando. Se pueden efectuar pruebas de deflexión entre las huellas de circulación en pavimentos flexibles, para comparar con los resultados bajo las huellas de las ruedas, de manera de conocer el daño relativo.
- 9.2** *Ensayos a nivel de red* – Este nivel de prueba proporciona una perspectiva general de la capacidad de resistencia del pavimento con un número limitado de pruebas. Las pruebas de deflexión se ejecutan generalmente a intervalos de 200 a 500 metros (656 a 1640 pies), dependiendo de las condiciones específicas del pavimento. Un mínimo de siete pruebas por sección de pavimento uniforme, se recomienda para asegurar una muestra estadísticamente significativa.
- 9.3** *Ensayos a nivel general de proyecto* – Este nivel de prueba proporciona un análisis más detallado del pavimento, por ejemplo: para el diseño de un refuerzo o una rehabilitación. Las pruebas se deberán hacer a intervalos de 50 a 200 m (164 a 656 pies), dependiendo de las condiciones específicas del pavimento, con un mínimo de 15 pruebas recomendadas por cada sección de pavimento uniforme.
- 9.4** *Ensayos a nivel detallado de proyecto* – Este nivel de prueba proporciona un análisis altamente detallado y específico del pavimento para propósitos tales como la identificación de áreas de alta deflexión. En este caso, las medidas se toman, generalmente, a intervalos entre 10 y 50 m (32.8 a 164 pies), según recomiende el ingeniero, en ambas huellas de las ruedas.

10 CÁLCULOS

- 10.1** Se calcula la deflexión de la superficie del pavimento en cada punto de medida (d_i), con la expresión:

$$d_i = |L_0 - L_f| \times \text{Constante de la viga} \quad [795.1]$$

Donde: L_0 : Lectura inicial del dial, 0.01 mm;

L_f : Lectura final del dial, 0.01 mm.

Nota 3: Algunos diales presentan lecturas que ya vienen afectadas por la constante de la viga, caso en el cual ésta no se deberá aplicar en el cálculo de la deflexión.

10.2 Si el ensayo se ha realizado con una viga doble, la deflexión de la segunda viga, d_{i25} , se calcula de la misma manera a partir de las dos lecturas de su dial.

10.3 Si las medidas se realizaron con una viga doble, se calcula el radio de curvatura en el sitio de ensayo, con la expresión:

$$RC = \frac{3125}{d_i - d_{i25}} \quad [795.2]$$

Donde: RC: Radio de curvatura, m (Tabla 795 - 2);

d_i : Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, 0.01 mm;

d_{i25} : Deflexión recuperable a 25 cm del eje vertical de la carga, 0.01 mm.

10.4 Corrección de la deflexión por temperatura:

10.4.1 Se considera como deflexión patrón, la que se produce cuando las capas asfálticas del pavimento se encuentran a 20° C.

10.4.2 Las deflexiones medidas a temperaturas diferentes a 20° C se deberán corregir cuando el espesor de las capas asfálticas sea igual o mayor a 5 cm, empleando la expresión:

$$F_T = \frac{1}{1 + [8 \times 10^{-4} \times H_a \times (T - 20)]} \quad [795.3]$$

Donde: F_T : Factor de corrección;

H_a : Espesor de las capas asfálticas, cm;

T: Temperatura de las capas asfálticas en el instante del ensayo, ° C.

Tabla 795 - 2. Tabla para la determinación del radio de curvatura

Diferencia $d_i - d_{i25}$ (0,01 mm)	Radio de Curvatura m	Diferencia $d_i - d_{i25}$ (0,01 mm)	Radio de curvatura m	Diferencia $d_i - d_{i25}$ (0,01 mm)	Radio de curvatura m
1	3125	28	112	55	57
2	1562	29	108	56	56
3	1042	30	104	57	55
4	781	31	101	58	54
5	625	32	98	59	53
6	521	33	95	60	52
7	446	34	92	61	51
8	391	35	89	62 - 63	50
9	347	36	87	64	49
10	312	37	84	65	48
11	284	38	82	66 - 67	47
12	260	39	80	68	46
13	240	40	78	69 - 70	45
14	223	41	76	71	44
15	208	42	74	72 - 73	43
16	195	43	73	74 - 75	42
17	184	44	71	76 - 77	41
18	174	45	69	78 - 79	40
19	164	46	68	80 - 81	39
20	156	47	66	82 - 83	38
21	149	48	65	84 - 85	37
22	142	49	64	86 - 88	36
23	136	50	63	89 - 90	35
24	130	51	61	91 - 93	34
25	125	52	60	94 - 96	33
26	120	53	59	97 - 99	32
27	116	54	58	100	31

10.5 Procesamiento de la información – Para cada sub-tramo de pavimento de comportamiento homogéneo se definirá una deflexión promedio (d_m) y una deflexión característica (d_c), obtenidas con las expresiones:

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad [795.4]$$

$$d_c = d_m + Z_r \times \sigma \quad [795.5]$$

- Donde: d_i : Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga en cada punto de ensayo, 0.01 mm;
- Z_r : Factor que depende del grado de confiabilidad deseado en la deflexión característica (Tabla 795 - 3);
- σ : Desviación estándar de los valores de deflexión en el sub-tramo, obtenida con la expresión:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (d_i - d_m)^2}{n - 1}} \quad [795.6]$$

Tabla 795 - 3. Valores de Z_r por aplicar a la desviación estándar para diferentes niveles de confiabilidad

CONFIABILIDAD (%)	Z_r
50	0.000
75	0.674
85	1.037
90	1.282
95	1.645
97	1.881
98	2.054
99	2.327

11 INFORME

- 11.1** Para cada serie de medidas se indicarán la carga del eje trasero y de sus sistemas de rueda dual, así como la presión de contacto entre ruedas y pavimento.
- 11.2** Para cada punto de ensayo, el informe deberá incluir la abscisa de la prueba, el estado superficial, la temperatura del pavimento y las d_i y d_{i25} (si esta última se midió), corregidas a 20° C.
- 11.3** El radio de curvatura, en metros, en cada punto de ensayo donde se haya empleado la viga doble.
- 11.4** Gráficos representando las deflexiones individuales y los radios de curvatura a lo largo del sector evaluado.
- 11.5** Las deflexiones promedio y característica de cada sub-tramo homogéneo.

12 NORMAS DE REFERENCIA

NLT 356/88

VN-E-28-77

VN-E-65-83

PERMEABILIDAD IN SITU DE CAPAS ASFÁLTICAS DRENANTES CON EL PERMEÁMETRO LCS (LABORATORIO DE LA ESCUELA DE CAMINOS DE SANTANDER, ESPAÑA)

INV E – 796 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento a seguir para realizar medidas de permeabilidad in-situ en las mezclas drenantes utilizadas en capas de rodadura y bermas.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-796-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 El ensayo se fundamenta en la medición del tiempo que tarda en pasar un volumen fijo de agua a través de una capa asfáltica drenante de pavimento bajo condiciones especificadas, empleando un permeámetro de carga variable. A partir de este tiempo, se estima el coeficiente de permeabilidad de la capa empleando una fórmula desarrollada por el LCS de Santander, España.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Uno de los inconvenientes que pueden presentar las capas de rodadura drenantes, es la posibilidad de que sus vacíos se obstruyan con la llegada de sedimentos, perdiendo así muchas de sus ventajas (infiltración rápida del agua lluvia, alta resistencia al deslizamiento, reducción de las proyecciones de agua al paso de los vehículos en instantes de lluvia, mejor visibilidad del pavimento mojado, etc.).
- 3.2 Debido a ello, un dato importante a considerar en la evaluación de las capas de rodadura drenantes es la evolución de su capacidad de infiltración. Para ello, el método normalmente utilizado consiste en medir su permeabilidad mediante el empleo de permeámetros.

4 EQUIPO Y MATERIALES

4.1 *Permeámetro LCS* – Representado en la Figura 796 - 1 y constituido por los siguientes elementos principales:

4.1.1 Una base de apoyo, formada por una placa rígida circular de acero, de 165 mm de diámetro y 10 mm de espesor, con un orificio circular en su centro, de 40 mm de diámetro.

4.1.2 Un tubo cilíndrico circular, de unos 40 mm de diámetro exterior, 30 mm de diámetro interior y 45 mm de altura, incrustado como se indica en la Figura 796 - 1, en el orificio circular de la base de apoyo.

4.1.3 Un tubo cilíndrico transparente de 94 mm de diámetro interior y unos 500 mm de altura, unido rígidamente y con cierre estanco a la base de apoyo. El tubo lleva marcadas dos señales de medida, grabadas en toda su periferia y situadas respectivamente a 100 y 350 mm del fondo de la base de apoyo.

4.1.4 Una pesa tórica de 20 ± 0.5 kg de masa, cuyo orificio y base permitan un apoyo estable sobre la placa circular.

4.1.5 Un anillo circular estanco de caucho celular de 16 mm de espesor, que se adapte perfectamente a las irregularidades superficiales del pavimento para impedir el escape superficial del agua durante el ensayo. Para ello, su deformación o reducción de espesor bajo la carga de la pesa tórica deberá ser de 8 ± 0.5 % a los 30 segundos de carga, alcanzando una deformación final constante de 12 ± 0.5 % a los 5 minutos.

4.2 *Reserva de agua* – Mínima de 20 litros por ensayo.

4.3 *Cronómetro* – Con una precisión de 0.5 segundos.

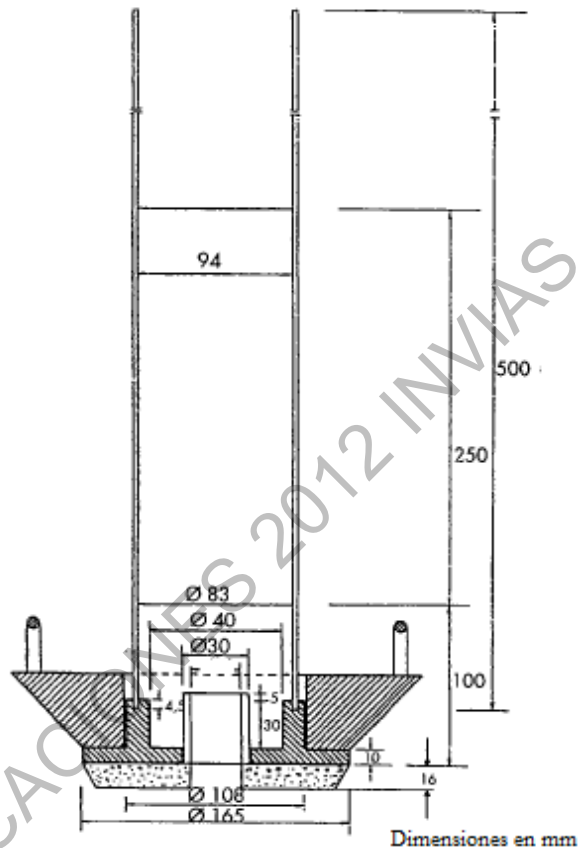


Figura 796 - 1. Permeámetro LCS

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Se sitúa el permeámetro en el punto del pavimento elegido para el ensayo y se coloca la pesa tórica sobre la base.
- 5.2 A continuación, se llena con agua el tubo transparente del permeámetro hasta unos 15 cm por encima de la marca superior de medida, y se deja que se vacíe a continuación para mojar y saturar el pavimento en la zona de medida.
- 5.3 Seguidamente, se vuelve a llenar el permeámetro de la misma forma y se anota el tiempo de evacuación, en segundos, que tarda el nivel del agua en descender desde la marca superior de medida hasta la inferior.

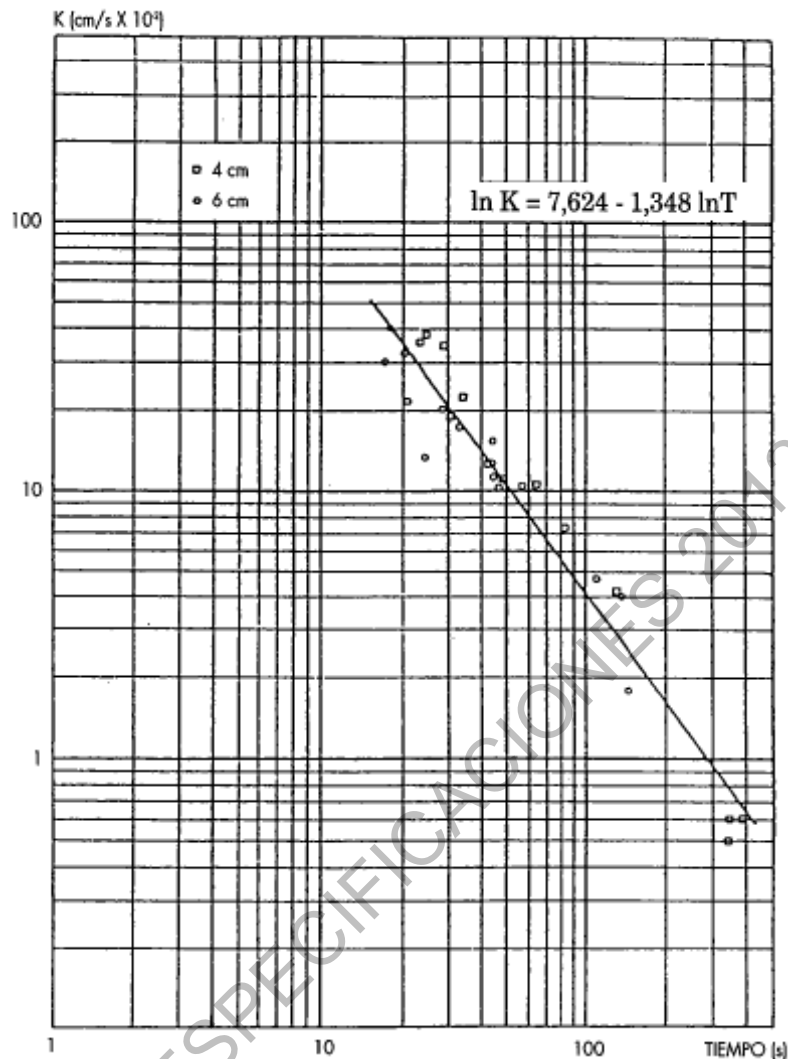


Figura 796 - 2. Correlación coeficiente de permeabilidad – tiempo

6 CÁLCULOS

- 6.1 El resultado del ensayo realizado sobre un punto del pavimento será el tiempo, en segundos, obtenido según lo indicado en el numeral 5.3.
- 6.2 Se determina el coeficiente permeabilidad de la capa ensayada, aplicando la siguiente correlación, determinada por el LCS de Santander a partir de los valores representados en la Figura 796 - 2:

$$\ln K = 7.624 - 1.348 \ln T$$

[796.1]

Donde: K: Coeficiente de permeabilidad, cm/s $\times 10^{-2}$;

T: Tiempo de evacuación del agua, s

Nota 1: La correlación fue obtenida al estudiar mezclas asfálticas drenantes con las características que se presentan en seguida y en espesores de capa comprendidos entre 4 y 6 cm:

Tamaño máximo del agregado, mm	10 – 12
% pasa tamiz de 2.5 mm (No. 8)	10 – 15
% pasa tamiz de 75 μ m (No. 200)	2 – 6
% asfalto sobre masa del agregado	3.5 – 5.5

6.3 El contenido de vacíos con aire (V_a) de la capa ensayada se puede estimar con la expresión:

$$V_a = \frac{58.6}{T^{0.305}} \quad [796.2]$$

Donde: V_a : Contenido de vacíos con aire en la capa drenante ensayada, %;

T: Tiempo de evacuación del agua, s.

7 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

NLT 327/00

RUIZ A., ALBEROLA R., PÉREZ-JIMÉNEZ F. & SÁNCHEZ B., "Porous Asphalt Mixtures in Spain" Transportation Research Record", Journal of the Transportation Research Board, No. 1265 (1990), pp. 87-94, National Research Council, Washington D.C.

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MEDIDAS DE DEFLEXIÓN EN PAVIMENTOS

INV E – 797 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma proporciona procedimientos normalizados para medir deflexiones superficiales de pavimentos directamente debajo o en sitios radialmente ubicados fuera de una carga estática conocida, de condición estacionaria o de impacto. Las deflexiones se miden con sensores que monitorean el movimiento vertical de la superficie del pavimento debido a la carga. Esta norma de ensayo describe procedimientos para medir la deflexión usando varios dispositivos para este fin y proporciona la información general que se debe obtener, independientemente del tipo de dispositivo que se utilice.
- 1.2** Este método de prueba es aplicable para medidas de deflexión efectuadas en pavimentos flexibles de concreto asfáltico (CA), en pavimentos rígidos de concreto hidráulico (CCP) o en pavimentos compuestos (CA/CCP). Los pavimentos rígidos pueden ser de concreto simple con juntas, de concreto reforzado con juntas, de refuerzo continuo o de concreto fracturado.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-797-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Sensor de deflexión* – Dispositivo electrónico capaz de medir los movimientos verticales relativos de la superficie de un pavimento, instalado de tal manera que se minimice la rotación angular con respecto a su plano de medida para el movimiento esperado. Tales dispositivos pueden incluir sismómetros, transductores de velocidad o acelerómetros.
- 2.2** *Celda de carga* – Dispositivo capaz de medir con exactitud la carga que se aplica perpendicularmente a la placa de carga y que está colocado en una posición que minimice la masa entre la celda de carga y el pavimento. La celda de carga debe estar colocada de manera que no restrinja la capacidad de obtener medidas de deflexión bajo el centro de la placa de carga. Debe ser resistente al agua y a los golpes mecánicos producidos por impactos a la vía durante la prueba o durante el transporte.
- 2.3** *Placa de carga* – Dispositivo capaz de distribuir la carga uniformemente sobre la superficie del pavimento. Las placas de carga pueden ser de forma circular

(o en algunos casos rectangular), de una sola pieza o segmentadas, para medidas en calles y carreteras convencionales y pistas de aterrizaje o en pavimentos de similar rigidez. La placa deberá ser construida de manera adecuada para permitir las medidas de deflexión bajo el centro de ella.

- 2.4** *Cuenca de deflexión* – Es la forma de tazón idealizada de la superficie deformada del pavimento debido a una carga especificada como la describen las medidas máximas de una serie de sensores de deflexión colocados a diferentes distancias radiales del centro de la placa de carga.
- 2.5** *Prueba de cuenco de deflexión* – Es una prueba con sensores de deflexión, colocados a varias distancias radiales desde el centro de la placa de carga. La prueba se usa para registrar la forma del cuenco de deflexión resultante de una carga aplicada. La información obtenida de esta prueba se puede usar para estimar las propiedades de los materiales de una determinada estructura de pavimento.
- 2.6** *Prueba de transferencia de carga* – Es una prueba, generalmente realizada en un pavimento rígido, con sensores de deflexión en ambos lados de una junta transversal en el pavimento. La prueba se usa para determinar la capacidad del pavimento para transferir carga de un lado de la junta al otro. Los datos también se pueden usar para detectar la presencia de vacíos debajo del pavimento.
- 2.7** *Lugar de prueba* – Es el punto en el cual se localiza el centro de la carga o cargas aplicadas.

3 RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO Y SUS LIMITACIONES

- 3.1** Esta norma hace referencia a procedimientos normalizados para medir deflexiones de la superficie de pavimento debajo y/o en lugares apropiados desplazados del centro de la carga. Cada dispositivo de prueba no destructivo (NDT) se opera de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a él.
- 3.2** La norma incluye descripciones generales de varios tipos de dispositivos de medida de deflexión, estáticos y semi-continuos, y procedimientos para medir la deflexión correspondiente a cada dispositivo.
- 3.3** Los procedimientos normalizados para obtener información general, tales como: preparación del ensayo, temperatura ambiente, temperatura del pavimento, calibración del equipo, número y lugares de los ensayos, son aplicables a todos los dispositivos.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La medida no destructiva de las deflexiones superficiales de los pavimentos brinda información que se puede utilizar para la evaluación estructural de pavimentos nuevos o en servicio. Estas medidas se pueden emplear para determinar las siguientes características de los pavimentos: (1) módulo de cada capa; (2) rigidez total de la estructura del pavimento; (3) eficiencia en la transferencia de carga en pavimentos de concreto simple; (4) módulo de reacción de la subrasante; y (5) espesor efectivo, número estructural o valor de soporte del suelo.
- 4.2** Estos parámetros se pueden usar en el análisis y el diseño de pavimentos flexibles y rígidos reconstruidos y rehabilitados, en la evaluación de la suficiencia estructural del pavimento, en la detección de vacíos en los pavimentos rígidos, en la investigación, y en el inventario con fines de evaluación estructural de una red.

5 EQUIPO

- 5.1** El equipo usado en este método de ensayo deberá ser uno de los dispositivos que miden la deflexión descritos en el numeral 5.2, y deberá consistir en algún tipo de probador o sensor (es) de contacto superficial para medir movimientos verticales o deformaciones del pavimento cuando se somete a una carga determinada.

5.2 *Dispositivos para medir deflexión:*

- 5.2.1** *Dispositivo de carga estática no continua* – Es un dispositivo que funciona bajo el principio del brazo de palanca simple. Este dispositivo debe tener un brazo de prueba de, por lo menos, 2.5 m (8.2 pies) de largo, y su extensión debe bajar el deformímetro (dial medidor) o el sensor electrónico que mide la máxima deflexión de superficie del pavimento con una sensibilidad mínima de 0.025 mm (0.001"). El vehículo usado para transportar el dispositivo de deflexión estática y cargar el pavimento deberá ser un camión que lleve una carga de prueba de 80 kN (18 000 lbf) en un eje simple trasero. La configuración de la carga incluyendo cargas por eje, el tamaño de las llantas y la presión de inflado se pueden obtener a partir de las especificaciones aplicables; sin embargo, esta información se debe indicar claramente en el informe de ingeniería. Un ejemplo de este tipo de equipo es la viga Benkelman (Figura 797 - 1).



Figura 797 - 1. Viga Benkelman

5.2.2 *Dispositivo de carga estática semi-continua* – Es un equipo que opera basado en el principio de la palanca de doble brazo. El vehículo usado para transportar este dispositivo y para cargar el pavimento debe ser un camión con una carga de prueba de 130 kN (29 000 lbf) en el eje simple trasero. La configuración de la carga, incluyendo cargas por eje, el tamaño de las llantas y la presión de inflado se pueden obtener a partir de las especificaciones aplicables; sin embargo, esta información se debe indicar claramente en el informe de ingeniería. El vehículo de prueba deberá estar equipado con una palanca de doble brazo y puntas de prueba, cuya geometría y tamaño hagan posible el medir la máxima deflexión de la superficie del pavimento bajo las dos huellas que dejan ambas llantas a su paso y con una sensibilidad mínima de 0.025mm (0.001"). La extensión de cada brazo de palanca que sostiene la punta de prueba debe oprimir un sensor electrónico, que puede ser de cualquier tipo, siempre y cuando produzca una señal análoga o digital. La señal digital deberá estar correlacionada con el movimiento de esta extensión y, por lo tanto, con la deflexión de la superficie del pavimento bajo el efecto de la carga de prueba en movimiento. El camión debe estar capacitado para levantar y trasladar las palancas de un punto de medida al siguiente, bajarlas hasta la superficie del pavimento y efectuar otro juego de medidas en un proceso totalmente automatizado a una velocidad constante del vehículo. Un ejemplo de este tipo de instrumento es el deflectógrafo Lacroix (Figura 797 - 2).



Figura 797 - 2. Deflectógrafo Lacroix

5.2.3 *Dispositivo de carga estacionaria* – Este dispositivo usa un generador de fuerza dinámica para producir una carga dinámica. El generador de fuerza puede usar, por ejemplo, una masa contrarrotativa o un accionador hidráulico servo-controlado para producir la carga dinámica. El dispositivo que usa una masa contrarrotativa opera a una frecuencia fija para producir una carga dinámica bajo un peso estático aplicado a través de un par de ruedas rígidas de acero. La frecuencia y la magnitud de las cargas dinámicas pueden ser variadas por el operador de los dispositivos que usan un accionador hidráulico servo-controlado. Dependiendo del modelo, las frecuencias de operación normal fluctúan de 8 a 60 Hz y las fuerzas dinámicas máximas varían de 2.2 a 35.5 kN (500 a 8000 lbf) aplicadas a través de una sola placa circular o de una placa rectangular doble. Estos dispositivos de carga pueden ir montados en un furgón, en la parte delantera de un vehículo, o en un remolque. Los dispositivos para medir la deflexión deben tener cinco o más sensores para medir satisfactoriamente el cuenco de deflexión con una sensibilidad mínima de 0.001 mm (0.00004"). Un ejemplo de este tipo de dispositivo es el Dynaflect (Figura 797 - 3).



Figura 797 - 3. Dynaflect

5.2.4 *Dispositivo de carga por impacto* – Es aquel que crea una carga de impulso dejando caer una masa desde diferentes alturas sobre un sistema amortiguador de caucho o resortado. Generalmente conocido como deflectómetro de impacto [Falling Weight Deflectometer, (FWD)]. El dispositivo generador de la fuerza deberá estar capacitado para ser levantado a una o más alturas predeterminadas y luego dejarse caer. La fuerza de impacto resultante transmitida al pavimento a través de una placa de carga de 300 mm (11.8") de diámetro, no debe variar una de otra en más de 3 %. El pulso de la fuerza deberá aproximarse a la forma de medio seno verso o semisinusoide y deberá ser factible que la fuerza máxima pueda ser variada dentro del rango de 7 a 105 kN (1500 a 24 000 lbf). El dispositivo de carga por impacto deberá medir las deflexiones de la superficie del pavimento usando seis o más sensores, con una resolución mínima de 0.001mm (0.00004"). Ejemplos de estos dispositivos son los deflectómetros Dynatest, KUAB, Phoenix y el JILS (Figura 797 - 4).



Figura 797 - 4. Deflectómetro de impacto

6 CALIBRACIÓN

6.1 El (los) sensor (es) de deflexión y la celda de carga (si aplica) del dispositivo de deflexión deben estar calibrados para asegurar la exactitud de todas las lecturas dentro de los límites especificados. Para los dispositivos en los cuales se asume que la carga es constante y no se mide, la exactitud de la magnitud de la carga aplicada debe ser verificada periódicamente.

6.2 *Celda de carga:*

6.2.1 *Generalidades* – El procedimiento para calibrar la celda de carga (si el dispositivo usa una celda de carga) depende del tipo de dispositivo usado. La calibración de la celda de carga se puede revisar informalmente observando las lecturas de la celda de carga y comparándolas con las lecturas anticipadas basadas en la experiencia o en valores derivados de calibración en el caso del FWD. La calibración de la celda de carga de referencia (o absoluta) se debe ejecutar por lo menos una vez al año, excepto para dispositivos de carga no continuos y semi-continuos (Ver Tabla 797 - 1).

Tabla 797 - 1. Frecuencia de calibración de la celda de carga

TIPO DE DISPOSITIVO	FRECUENCIA DE CALIBRACIÓN
Tipos continuos y semi-continuos de carga estática	Antes de la prueba
Tipos de carga estacionaria (ver numeral 6.2.3) para dispositivos que no tengan una celda de carga)	Por lo menos una vez al año usando instrucciones del fabricante o el procedimiento citado en el Apéndice A del reporte SHRP P-661
Tipos de carga de impacto (FWD)	Por lo menos una vez al año usando el procedimiento del Apéndice A del reporte SHRP P-661

6.2.2 *Dispositivos de carga estática no-continuos y semi-continuos* – Inmediatamente antes de la prueba, se pesa la carga por eje del camión si el lastre es un material que puede absorber humedad (grava, arena, etc.) o puede haber variado por cualquier otra razón. Camiones cargados con acero o bloques de concreto solamente necesitan ser pesados si las cargas son cambiadas o han sufrido algún desplazamiento.

6.2.3 *Dispositivos de carga estacionaria* – Los dispositivos que están equipados con celdas de carga pueden ser calibrados midiendo la señal de salida de la celda de carga bajo condiciones conocidas de carga estática, tales como el peso propio del mismo dispositivo. Las celdas de carga se deben calibrar por lo menos una vez al año, siguiendo las recomendaciones del fabricante o usando el procedimiento SHRP descrito en el Apéndice A del reporte SHRP P-661. Para la calibración de un dispositivo de aplicación de carga dinámica que no tenga celda de carga se requiere de equipo especial que, generalmente, sólo posee el fabricante. El error potencial debido a variaciones en las cargas aplicadas para este dispositivo es nominal; probarlo después de haber salido de fábrica puede ser innecesario. La calibración para la carga aplicada se debe realizar indirectamente una vez al mes, inspeccionando la frecuencia de los volantes de contrarrotación con una luz estroboscópica.

6.2.4 *Dispositivos de carga de impacto* – La calibración de la celda de carga de referencia se debe llevar a cabo por lo menos una vez al año. El Apéndice A del reporte SHRP P-661 contiene un resumen, a manera de ejemplo, para dichos trabajos.

6.3 *Sensores de deflexión:*

6.3.1 *Generalidades* – El procedimiento para calibrar los sensores de deflexión depende del tipo de aparato que se emplee. La calibración de los sensores de deflexión se debe verificar por lo menos una vez al mes durante el tiempo que esté siendo utilizado, excepto en el caso de dispositivos de carga no-continuos y semi-continuos (ver Tabla 797 - 2)

6.3.2 *Dispositivos de carga estática no continuos y semi-continuos* – Los dispositivos de carga estática se deben calibrar diariamente con plantillas de calibración. Al ejecutar la calibración del sensor de deflexión, las deflexiones inducidas deberán ser similares en magnitud a las encontradas durante las pruebas normales.

6.3.3 *Dispositivos de carga estacionaria* – Se debe hacer mensualmente una inspección rutinaria de la calibración de los sensores de deflexión. Si se notan diferencias significativas en algún sensor, éste se deberá devolver al fabricante para inspección o calibración bajo vibraciones oscilatorias de calibración normalizada. Los sensores de deflexión deberán ser calibrados anualmente.

6.3.4 *Dispositivos de carga por impacto* – La revisión de la calibración del sensor de deflexión se debe hacer de acuerdo con el protocolo de SHRP (ver Apéndice A de reporte SHRP P-661 sobre dispositivos de carga por impacto). Cada cuatro meses se debe realizar una calibración de verificación, usando el protocolo de SHRP (ver apéndice A del reporte SHRP P661).

6.4 *Sensores de temperatura* – La calibración de los sensores de la temperatura de pavimento se debe llevar a cabo usando termómetros calibrados de referencia y dos superficies de referencia tales como superficie “fría” y “caliente”. La calibración del sensor de temperatura del aire (si lo hay) se debe realizar usando dos temperaturas de referencia; por ejemplo, agua helada agitada (0° C) y agua hirviendo (100° C). La calibración de los sensores de temperatura se debe efectuar, por lo menos, una vez al año.

Tabla 797 - 2. Frecuencia de calibración de sensores de deflexión

TIPO DE DISPOSITIVO	FRECUENCIA DE CALIBRACIÓN	FRECUENCIA MÍNIMA DE VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN
Tipos de carga estática no continua y semi-continua	Diariamente durante la operación	Diariamente durante la operación
Tipos de carga de estado constante	Por lo menos una vez al año	Una vez al mes durante la operación
Tipos de carga por impacto (FWD)	Calibración de referencia por lo menos una vez al año usando el procedimiento del reporte SHRP P-661	Calibración de verificación una vez al mes durante la operación, usando el procedimiento del reporte SHRP P-661

7 RECOLECCIÓN DE DATOS EN EL TERRENO Y PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

7.1 *Generalidades* – El procedimiento que se debe seguir es, hasta cierto punto, dependiente del tipo de dispositivo que se use. La siguiente información general es sugerida para reunir el mínimo de datos requeridos, independientemente del tipo de dispositivo que se use.

- 7.1.1** *Carga* – Para dispositivos de carga por impulso, se registra la máxima carga aplicada a la superficie del pavimento por el dispositivo de deflexión. Para dispositivos de carga estacionaria se debe registrar la carga calculada entre picos. Para dispositivos de carga estática, se registra la carga por eje del vehículo de prueba.
- 7.1.2** *Frecuencia de la carga* – Si es aplicable, se registra la frecuencia de la carga oscilatoria calculada para dispositivos de carga vibratoria.
- 7.1.3** *Geometría del área cargada y posiciones de los sensores de deflexión*– Para una modelación apropiada de la estructura del pavimento y/o retrocalcular parámetros de capas, etc., es necesario que las ubicaciones de la carga, de los sensores de deflexión, de las grietas en la superficie y de las juntas en los pavimentos de concreto sean conocidas y registradas. Se registran la ubicación de las grietas y juntas entre la carga y cada sensor dentro de los 2 m (6.5 pies) desde el centro de la carga hacia los sensores. Se registran la ubicación y la orientación de todos los sensores, con mediciones radiales desde el centro de la carga hacia afuera; por ejemplo, “a 300 mm (11.8”) adelante de la carga aplicada”. De acuerdo con el método seleccionado para evaluar la eficiencia de las juntas o la transferencia de carga, la (s) carga (s) y sensor (es) de deflexión deben quedar correctamente colocados; por ejemplo, con uno o más sensores a cada lado de la junta y la carga colocada lo más cerca posible del lado que queda hacia adelante (en el sentido del flujo del tránsito) de la junta en cuestión. Una omisión en detectar o notar la presencia de juntas y grietas dentro de la zona de influencia de la carga se podría traducir en errores en el análisis subsecuente de los registros de las deflexiones. Igualmente, una omisión en anotar correctamente la posición real de los sensores de deflexión podrá producir graves errores en el análisis.
- 7.1.4** *Hora de la prueba* – Se deben registrar la fecha y la hora en que fueron obtenidas las medidas de deflexión.
- 7.1.5** *Abscisa o referencia del sitio de prueba* – Se debe registrar la abscisa o el punto de referencia que se esté utilizando para ubicar cada punto de prueba de deflexión.
- 7.1.6** *Temperaturas del aire y del pavimento* – Como mínimo, se deben registrar la temperatura ambiental y de la superficie del pavimento a intervalos especificados, según recomendación del ingeniero. Se pueden requerir temperaturas adicionales para métodos específicos de

análisis y procesamiento de los registros. Por ejemplo, las temperaturas de las capas del pavimento se pueden determinar haciendo orificios a una o más profundidades en la capa y llenándolos con agua, glicerina, o algún producto de base aceitosa y registrando la temperatura del fluido al fondo de cada orificio. Si la prueba se lleva a cabo durante un largo periodo de tiempo, se deben tomar las temperaturas del fluido cada hora, con el fin de establecer una correlación directa entre las medidas de las temperaturas del aire, de la superficie del pavimento y/o la profundidad de las medidas de temperatura. Si esto no es posible, existen también algunos procedimientos para calcular la temperatura del pavimento en función de la profundidad, usando las temperaturas del aire alta y baja de las 24 horas del día previo y la temperatura actual de la superficie del pavimento.

7.2 *Sitios de prueba* – Se registran los lugares de prueba al comienzo de la secuencia de ensayo. La frecuencia de la prueba de campo depende del nivel de ensayo seleccionado, tal como se discute en la Sección 8 de esta norma.

7.3 *Método de ensayo* – Dependiendo del tipo de equipo usado, se pueden emplear diferentes métodos de ensayo. Los dispositivos de carga estacionaria capaces de trabajar con cargas y frecuencias variables, se pueden usar para realizar pruebas múltiples a diferentes frecuencias en los mismos sitios de ensayo bajo la misma carga (“barrido de frecuencia”). Por lo general, los dispositivos de carga por impacto son capaces de aplicar varias cargas; algunos dispositivos pueden controlar la forma y la duración del pulso de la carga. Se pueden llevar a cabo medidas de la eficiencia de las juntas en pavimentos rígidos con juntas, empleando dispositivos equipados con sensores múltiples de deflexión colocando la carga a un lado de la junta y ubicando uno o más sensores a cada lado de ella.

7.4 *Procedimiento para las medidas de deflexión:*

7.4.1 *General* – Los procedimientos para hacer pruebas específicas de deflexión deben ser los que recomiende el fabricante del dispositivo, complementados para reflejar los parámetros generales descritos en esta norma. Se deberán ejecutar los siguientes pasos, independientemente del dispositivo que se use.

7.4.1.1 Se calibran los sensores de deflexión y la celda de carga (si aplica) del dispositivo, siguiendo el procedimiento descrito en la Sección 6.

- 7.4.1.2** Se transporta el dispositivo al sitio de prueba y se coloca sobre el punto deseado para el ensayo.
- 7.4.1.3** Se miden la temperatura ambiente y las temperaturas del pavimento de acuerdo con lo especificado en el numeral 7.1.6.
- 7.4.1.4** Se anota la siguiente información para cada pavimento ensayado: localización del proyecto, nombre del operador, la fecha y la hora, los factores de calibración, la referencia de las estaciones inicial y final o su ubicación física, como, por ejemplo, "cruce de carreteras A y B", los sitios de relleno o de corte, la ubicación de las alcantarillas, puentes y otras características de control vertical, los límites y la extensión de los deterioros de la superficie, las condiciones climáticas y una descripción del tipo de pavimento.
- 7.4.1.5** El lugar de la prueba deberá estar libre de piedras y escombros, para asegurar que la placa de carga, si aplica, quede asentada correctamente. Las superficies de grava o suelo deben presentar la mayor lisura que sea posible y todo material suelto se debe evitar o retirar.
- 7.4.2** *Dispositivo de carga estática no continua (por ejemplo, viga Benkelman):*
- 7.4.2.1** Se coloca la viga de manera que el extremo de prueba quede entre las ruedas del eje posterior del camión y perpendicular al eje trasero.
- 7.4.2.2** Se ajusta el dial de medición para que quede en 0.000 mm (0.000") (D_0).
- 7.4.2.3** Se aleja el vehículo de prueba por lo menos 5 m hacia adelante a una velocidad mínima y después de que la aguja del dial se haya estabilizado, se registra la lectura final (D_f) con una aproximación de 0.025mm (0.001") o mejor.
- 7.4.2.4** Se calcula la deflexión de la superficie del pavimento, $\text{deflexión} = (D_f - D_0) \times \text{constante de la viga}$.
- 7.4.2.5** Se repite este proceso en los intervalos de medida especificados en la Sección 8. Normalmente se toman medidas bajo las dos huellas de las llantas usando dos

dispositivos. Sin embargo, si se usa un solo instrumento, la prueba puede ser alternada entre las huellas de las llantas obteniéndose dos o más medidas en la huella de la llanta exterior por cada medida en la llanta interior a través de toda la sección de prueba.

7.4.2.6 Se reporta la deflexión promedio para cada huella de una llanta.

7.4.3 *Dispositivo de carga estática semi-continua:*

7.4.3.1 Se obtienen medidas de deflexión de la superficie del pavimento de ambas huellas de las llantas como se especifica en la Sección 8, haciendo un registro continuo.

7.4.3.2 Se leen las medidas de deflexión en las huellas, con una aproximación de 0.025 mm (0.001") o mejor y se tabulan usando los datos de las hojas de datos de deflexión junto con cualquier nota adicional que los acompañe.

7.4.3.3 Se calculan y anotan las deflexiones promedio bajo ambas huellas de las ruedas.

7.4.4 *Dispositivo de carga estacionaria:*

7.4.4.1 Se registra la información que identifica la configuración exacta del dispositivo de deflexión en el momento del ensayo. Usualmente, los datos de la configuración del dispositivo incluyen el número, el espaciamiento y la orientación de los sensores de deflexión.

7.4.4.2 Se coloca el dispositivo de manera que el centro de la carga quede en el lugar seleccionado para el ensayo y la barra sensora esté paralela a la dirección de viaje (o a través de la junta, para el caso de juntas longitudinales u oblicuas).

7.4.4.3 Se baja la barra sensora para posicionar los sensores y la placa (o placas) de carga o las ruedas de carga. Se inicia la generación de fuerza hasta alcanzar la estabilidad a la frecuencia y a la magnitud de carga seleccionadas.

7.4.4.4 Se leen y registran las deflexiones medidas por cada uno de los sensores, ya sea manualmente en hojas de datos o directamente si el registro de datos es automático.

7.4.5 *Dispositivo de carga por impacto:*

- 7.4.5.1** Se prepara el software para la anotación de datos.
- 7.4.5.2** Se introduce la información que identifica la configuración exacta del dispositivo de deflexión al momento de la prueba. Los datos de la configuración del dispositivo están guardados en el archivo de salida de datos y son un dato de entrada directo para el análisis de datos. Esta información incluye, generalmente, el tamaño de la placa de carga, el número, el espaciamiento y la orientación de los sensores de deflexión con respecto a la placa de carga.
- 7.4.5.3** Se selecciona el formato apropiado para el archivo de datos. Existen varios formatos disponibles, tales como: unidades inglesas, unidades SI, y otras opciones.
- 7.4.5.4** Se baja la placa de carga y los sensores para asegurarse que estén descansando sobre una superficie firme y estable.
- 7.4.5.5** Se sube el generador de esfuerzo hasta alcanzar la altura deseada y se deja caer la "masa" libremente. Se ejecuta, por lo menos, una caída de asentamiento y una o más caídas de prueba para cualquier nivel de carga. Se anotan las deflexiones máximas de superficie y la carga pico (excluyendo las caídas de asentamiento), o se anota la respuesta a la carga total y el historial tiempo-deflexión, como lo recomiende el ingeniero.
- 7.4.5.6** Cuando se desee determinar la no linealidad de los materiales del pavimento, se deben realizar pruebas con niveles múltiples de carga. El analista puede usar el promedio del cuenco, si el error aleatorio no es de importancia.

8 UBICACIÓN Y FRECUENCIA DE MUESTREO

- 8.1** La ubicación de las pruebas variará según el propósito para el cual se obtengan los datos. Por lo general, el método que se utiliza comúnmente es el de realizar la prueba principalmente en las huellas de las llantas, puesto que la reacción del pavimento en estos lugares refleja el efecto del daño que se ha estado acumulando. Se pueden efectuar pruebas de deflexión entre las huellas

de circulación en pavimentos flexibles, para comparar con los resultados bajo las huellas de las llantas, de manera de conocer el daño relativo.

- 8.2** *Ensayos a nivel de red* – Este nivel de prueba proporciona una perspectiva general de la capacidad de resistencia del pavimento con un número limitado de ensayos. Las pruebas de deflexión se ejecutan generalmente a intervalos de 200 a 500 m (656 a 1640 pies), dependiendo de las condiciones específicas del pavimento. Se recomienda un mínimo de siete pruebas por sección de pavimento uniforme para asegurar una muestra estadísticamente significativa. Como mínimo, la carga para los pavimentos de concreto asfáltico (AC) y los de concreto con refuerzo continuo (CRPC) debe ser posicionada a lo largo del trayecto de la llanta externa o, alternativamente, a lo largo de la línea central de las losas del CRCP. Para pavimentos de concreto con juntas, la carga se debe colocar primero en el centro geométrico de la losa. Para los ensayos a nivel de red, por lo menos el 10% de las losas cubiertas deberán ser probadas también en sus juntas para conocer la deflexión o la eficiencia en la transferencia de carga.
- 8.3** *Ensayos a nivel de proyecto general* – Este nivel de prueba proporciona un análisis más detallado del pavimento, por ejemplo: para el diseño de un refuerzo o una rehabilitación. Las pruebas se deberán hacer a intervalos de 50 a 200 m (164 a 656 pies), dependiendo de las condiciones específicas del pavimento, con un mínimo recomendado de 15 ensayos por cada sección de pavimento uniforme. Como mínimo, la carga para pavimentos de concreto asfáltico o rígidos con refuerzo continuo, se coloca generalmente a lo largo de la trayectoria de la llanta externa o, alternativamente, a lo largo de la línea central de las losas del pavimento con refuerzo continuo. Para pavimentos de concreto simple con juntas, la carga se debe posicionar primero en o cerca del centro geométrico de la losa y luego se debe mover a la junta más cercana y posicionarse a lo largo de la misma línea, generalmente en el lado de salida de la junta. En calles y carreteras, las pruebas en las juntas se hacen generalmente a lo largo de la trayectoria de la llanta externa. Para ensayos a nivel de proyecto general, usualmente no se cubren todas las juntas asociadas con cada losa interior ensayada; sin embargo, se recomienda una tasa mínima de cobertura de juntas del 25%. En pavimentos de concreto simple de aeropuertos se deben tomar medidas de eficiencia de las juntas tanto en las juntas transversales como en las longitudinales.
- 8.4** *Ensayos a nivel de proyecto detallado* – Este nivel de prueba proporciona un análisis altamente detallado y específico del pavimento para propósitos tales como la identificación de áreas de alta deflexión o para detectar vacíos sub-superficiales en pavimentos de concreto, etc. Para pavimentos de concreto

asfáltico (AC) o de concreto con refuerzo continuo, las pruebas se hacen, generalmente, a intervalos de 10 y 50 m (32.8 a 164 pies), según recomiende el ingeniero. En calles y carreteras, la prueba se hace a menudo en ambas huellas de las llantas. Para pavimentos de concreto simple, la carga se deberá posicionar primero en o cerca del centro geométrico de cada losa a lo largo de la longitud de la sección de ensayo y luego moverse a la junta o grieta más cercana a cada losa, ya sea a lo largo de las huellas de la llanta externa o a la esquina de la losa o ambas. En pavimentos de concreto simple de aeropuertos se deben tomar medidas de eficiencia de las juntas tanto en las juntas transversales como en las longitudinales.

9 OTROS DATOS NECESARIOS PREVIOS AL ANÁLISIS DE DEFLEXIONES

- 9.1 Los siguientes datos del sistema de pavimentos pueden ser necesarios para facilitar el análisis de las deflexiones bajo carga: (1) Tipos de materiales y espesores de las diferentes capas del pavimento; (2) profundidad hasta el lecho rocoso o capa rígida; y (3) identificación del proyecto, nombre de la vía y sector.

10 INFORME DE LAS PRUEBAS DE DEFLEXIÓN

- 10.1 Los reportes de campo para cada prueba de deflexión (electrónico e impreso) deben contener, por lo menos, la siguiente información:
- 10.1.1 Propósito de las pruebas de deflexión.
 - 10.1.2 Fecha y hora de las pruebas.
 - 10.1.3 Identificación del operador.
 - 10.1.4 Información del vehículo.
 - 10.1.5 Condiciones climáticas.
 - 10.1.6 Temperaturas del aire y del pavimento.
 - 10.1.7 *Información de la sección* – Usualmente incluye lo siguiente: (1) identificación y localización de la vía sobre la que se realizó el trabajo; (2) tipo de pavimento ensayado; (3) dirección del recorrido, y (4) carril ensayado.

10.2 Datos de carga y de deflexión.

10.2.1 Tipo de dispositivo utilizado para la medida de la deflexión.

10.2.2 Tipo de prueba de deflexión (por ejemplo, el cuenco de deflexión o la transferencia de carga).

10.2.3 Posición de los sensores.

10.2.4 Carga aplicada y frecuencia de carga.

10.2.5 Deflexiones medidas bajo la carga.

11 SOFTWARE PARA ADQUISICIÓN DE DATOS

11.1 Algunos dispositivos para la medida de deflexiones usan sus propios programas para adquirir los datos de carga y de deflexión. Tradicionalmente, las bases de datos de deflexión de la superficie del pavimento han sido estructuradas usando formatos ASCII que son muy dependientes del dispositivo. Aunque el formato ASCII permite a los usuarios un fácil acceso a las bases de datos, se necesita un programa separado para acceder a los archivos de salida de cada tipo de dispositivo de ensayo. Para mitigar este problema, la AASHTO ha desarrollado un formato universal que especifica un intercambio de datos (PDDX) de deflexión superficial del pavimento. Una descripción de esta especificación se encuentra en el reporte AASHTO denominado *Pavement Deflection Data Exchange: Technical Data Guide*, Version 1.0 April 1998.

12 SOFTWARE PARA PROCESO DE DATOS (PARA REFERENCIA)

12.1 Se han desarrollado varios programas de software que hacen retrocálculos para el procesamiento y el análisis de los datos de deflexión. La norma ASTM D 5858 proporciona una discusión sobre algunas de las principales diferencias entre los programas de retrocálculo de mayor utilización. Si se emplean técnicas de retrocálculo, se debe usar la última versión del programa para el retrocálculo de los módulos de las capas de pavimento.

13 PRECISIÓN Y SESGO

13.1 Puesto que esta norma de ensayo comprende el uso de varios dispositivos de ensayos no destructivos sobre cualquier tipo de superficie de pavimento, su precisión y sesgo serán función tanto de las características del pavimento ensayado, como del dispositivo usado. Información sobre la confiabilidad, la exactitud y la repetibilidad de algunos dispositivos vibratorios y de impacto se puede hallar en el experimento adelantado en el Waterways Experiment Station (WES) en Vicksburg, Mississippi, sobre el cual se presenta información en el Sección 14.

14 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

AASHTO T 256 – 01 (2006)

Bentsen, Nazarian, and Harrison, "Reliability Testing of Seven Nondestructive Pavement Testing Devices." Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli, ASTM STP 1026, A.J. Bush, III and G.Y. Baladi, Eds, American Society of Testing and Materials, Philadelphia, 1989, pp. 41-58

MÉTODO PARA MEDIR DEFLEXIONES MEDIANTE UN DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FWD)

INV E – 798 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método se refiere a la medición de deflexiones en superficies pavimentadas o no, con el dispositivo llamado comúnmente deflectómetro de impacto o FWD.
- 1.2 Este método de prueba describe la medición, en deflexiones verticales, de la respuesta de la estructura de la calzada a un impulso de carga aplicado en la superficie. Las deflexiones verticales se miden en el eje de aplicación de la carga y en puntos espaciados a distintas distancias radiales de él.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-798-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Este método de ensayo es una prueba del tipo de placa de carga. La carga es un pulso de fuerza generado por la caída de una masa sobre un sistema amortiguado y es transmitido a través de una placa que descansa sobre la superficie del pavimento. El equipo de ensayo puede ser montado en un vehículo o en un sistema de remolque tirado por un vehículo.
- 2.2 Se detiene el vehículo, posicionando la placa en el lugar del ensayo junto a los sensores de deflexión, hasta que descansen perpendicularmente sobre la superficie. Luego se levanta la masa hasta una altura tal, que al caer libremente aplique al pavimento la fuerza de impacto deseada. Se deja caer la masa y en el momento del impacto se miden los movimientos verticales o deflexiones del pavimento mediante la instrumentación adecuada. Se pueden efectuar varios ensayos a la misma o a diferente altura de caída, antes de levantar el aparato y moverlo al siguiente sitio de prueba.
- 2.3 Las deflexiones máximas del pavimento, resultantes del pulso de fuerza aplicado en cada sitio donde se efectúe la prueba, son registradas en μm , en mm o en mils, como se considere más apropiado.

- 2.4 La carga máxima aplicada por la caída de la masa, es medida por una celda de carga y registrada como fuerza en kN, lbf o esfuerzo promedio (la carga dividida por el área de la placa) en kN/m^2 o lbf/pg^2 , como se considere más apropiado.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Este método sirve para determinar las deflexiones superficiales en un pavimento como resultado de la aplicación de una carga de impacto en la superficie. Las deflexiones se miden en el centro de la carga aplicada y a distintas distancias del lugar de aplicación de la carga. Las deflexiones se pueden correlacionar directamente con el comportamiento del pavimento, o utilizar para determinar in-situ las propiedades de los materiales de las capas que conforman la estructura del pavimento.
- 3.2 Algunas aplicaciones de la información obtenida en el campo incluyen la evaluación estructural que permite estimar la capacidad de carga y la determinación de los espesores requeridos de refuerzo en pavimentos de calles, carreteras y aeropistas.

4 EQUIPO

- 4.1 *Sistema de instrumentación* – Se debe ajustar a los siguientes requerimientos generales:
- 4.1.1 *Instrumentos expuestos a los elementos (por fuera del vehículo)* – Deberán ser operables en el rango de -10 a 50°C (10 a 120°F) y deberán tolerar una humedad relativamente alta, lluvia o rocío, y todas las demás condiciones adversas como el polvo, las sacudidas o las vibraciones que se puedan encontrar normalmente.
 - 4.1.2 *Instrumentos no expuestos a los elementos (dentro del vehículo)* – Deberán ser operables en el rango de 5 a 40°C (40 a 105°F).
- 4.2 *Dispositivo generador de fuerza con un sistema guía (carga de impacto)* – El mecanismo generador de la carga de impacto debe ser capaz de ser levantado a diferentes alturas y luego liberado. El pulso de fuerza resultante que se transmite al pavimento debe ser reproducible de acuerdo con los requisitos establecidos en el numeral 6.1. El pulso de fuerza debe tener una forma

aproximada de seno verso o de medio seno verso y debe poder alcanzar una fuerza máxima de 50 kN (11 000 lbf).

Nota 1: Es práctica común usar pulsos de fuerza con duración de 30 a 60 ms o un tiempo de subida de 10 a 30 ms.

- 4.2.1** *Sistema guía* – Diseñado para operar con mínima fricción o resistencia a la caída de la masa, y de manera que ésta golpee perpendicularmente la superficie del pavimento.
- 4.3** *Placa de carga* – Capaz de distribuir uniformemente la carga en la superficie del pavimento. Los platos típicos tendrán 300 o 450 mm de diámetro, para mediciones en vías convencionales y aeropuertos o pavimentos rígidos. El plato debe permitir la medición de deflexión en el centro de éste.
- 4.4** *Sensores de deflexión* – Deben ser capaces de medir el desplazamiento vertical máximo del pavimento. Deben ir montados de manera que se minimice la rotación angular con respecto a su plano de medida para el máximo movimiento esperado. El número y la separación de los sensores son opcionales y dependerán del objetivo del ensayo y de las características de las capas del pavimento. Normalmente se usa una separación de 300 mm (12") entre uno y otro sensor. Los sensores pueden ser de diferente tipo, como transductores de desplazamiento, transductores de velocidad o acelerómetros.
- 4.5** *Sistema de almacenamiento y procesamiento de datos* – Los datos de carga y deflexión se deben registrar y guardar en un computador personal. Información de apoyo como, por ejemplo, la temperatura del aire, la temperatura de la superficie del pavimento, la distancia entre medidas y la identificación o referencia de cada punto de medida, se pueden registrar manual o automáticamente.
- 4.6** *Celda de carga* – Para medir la carga aplicada en cada impacto. Se debe ubicar de manera que se minimice la masa entre la celda de carga y el pavimento. La celda de carga se debe colocar de manera que no interfiera la lectura de las mediciones de deflexión bajo el centro de la placa de carga. La celda debe ser resistente al agua y a las sacudidas provocadas por los impactos durante el ensayo y/o el traslado del equipo.

5 SEGURIDAD

- 5.1 Tanto el vehículo de ensayo como todos los equipos e instrumental que lo complementan, deben cumplir la legislación vigente. Se deben tomar precauciones más allá de las que impone la ley para garantizar la máxima seguridad del personal de operarios y de los usuarios de la vía.

6 CALIBRACIÓN

- 6.1 *Dispositivo generador de fuerza* – Antes de calibrar los sensores de carga y de deflexión, el dispositivo se debe pre-acondicionar dejando caer la masa por lo menos cinco veces y verificando la diferencia relativa en cada carga. Las cargas no deben variar una de otra en más de 3 %. Si las variaciones exceden esta tolerancia, se deben revisar la altura de caída y la limpieza de la guía, así como cualquier resorte o almohadilla de caucho que se usen para acondicionar la carga. Las partes que no operen en forma apropiada se deben cambiar o reparar antes de la calibración, para minimizar las fuerzas horizontales.
- 6.2 *Plataforma de calibración de la carga* – Teniendo en cuenta que diversos dispositivos de este tipo están disponibles en el mercado, se deben seguir las recomendaciones del fabricante para su calibración.
- 6.3 *Sensores de deflexión* – Se deben calibrar por lo menos una vez al mes o de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- 6.3.1 *Calibración de la deflexión relativa* – El procedimiento para calibrar la deflexión relativa se debe usar para ajustar las medidas de deflexión desde cada sensor de deflexión, de manera que ellos produzcan la misma medida de deflexión (con la precisión establecida en el numeral 7.2). La calibración de la deflexión relativa requiere una torre que sostenga los sensores, la cual debe ser suministrada por el fabricante. La torre debe tener suficientes posiciones para acomodar todos los sensores usados durante el ensayo. La torre debe permitir fijar los sensores uno encima del otro a lo largo de un eje vertical. La base de la torre debe tener un poste sencillo de soporte en el mismo eje vertical. La torre debe tener suficiente rigidez para permitir que todos los sensores experimenten la misma deflexión producida por el mecanismo generador de fuerza. Los sensores se deben colocar en la torre y ubicar tan cerca de la placa de carga como sea posible. La posición de la torre se debe asegurar haciendo una pequeña ranura en

el pavimento o cementando una tuerca en el pavimento para garantizar un punto de contacto sólido para el poste de soporte. La placa de carga debe estar en continuo contacto con la superficie del pavimento mientras se recopila la información de la calibración. Durante la calibración, se deben rotar los sensores de manera que cada sensor ocupe cada uno de los niveles en la torre. En cada posición en la torre, se deben registrar cinco deflexiones para cada sensor. La torre se debe sostener manualmente con una ligera presión hacia abajo mientras se miden las deflexiones. Es deseable que las deflexiones sean de una magnitud aproximada a $400\ \mu\text{m}$ (16 mils). Se debe mantener la misma carga durante la calibración. Se deben determinar relaciones de deflexión para cada sensor, dividiendo la deflexión promedio para todos los sensores por la deflexión promedio de ese sensor. Si alguna de las relaciones resultantes es mayor de 1.003 o menor de 0.997, todos los factores de calibración del sensor se deben reemplazar por el factor de calibración existente multiplicado por la relación. Si alguno de los factores de calibración excede los límites establecidos por el fabricante, el dispositivo se debe reparar y recalibrar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

- 6.3.2** Para asegurar que las deflexiones pequeñas (como es típico encontrar cerca del borde exterior del cuenco de deflexión) sean verificadas con un razonable grado de exactitud, se repite el procedimiento descrito anteriormente a una distancia de 1 a 1.5 m (3 a 5 pies) de la placa de carga. En este caso, es deseable que las deflexiones se encuentren entre 50 y $100\ \mu\text{m}$ (2 y 4 mils). Se debe asegurar que la diferencia promedio entre las lecturas de dos sensores es menor o igual a $2\ \mu\text{m}$ (0.08 mils). Los factores de calibración no se deben alterar. Si en el promedio de las deflexiones se encuentran diferencias superiores a $2\ \mu\text{m}$ (0.08 mils), el dispositivo se debe reparar y recalibrar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Nota 2: Se han desarrollado varios métodos por agencias diferentes al fabricante para calibrar estos dispositivos utilizando celdas de carga o sensores de deflexión. Uno de ellos es el desarrollado por el programa SHRP en desarrollo del LTPP de la Federal Highway Administration (FHWA). Los centros de calibración se han establecido en Pennsylvania, Minnesota, Texas y Nevada. Otro método es un sistema de calibración móvil desarrollado por la Universidad de Texas en El Paso (UTEP) para el Departamento del Transporte de Texas.

7 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL Y DEL SISTEMA DE REGISTRO

- 7.1** Todo el acondicionamiento de la señal y el equipo para el registro deben permitir que la resolución de la lectura cumpla los siguientes requisitos:
- 7.1.1** Las medidas de carga se deben mostrar y almacenar con una resolución de 200 N (50 lbf) o menos.
 - 7.1.2** Las medidas de deflexión se deben mostrar y almacenar con una exactitud de $\pm 1 \mu\text{m}$ (0.04 mils) o mayor.
- 7.2** Las medidas de carga y de deflexión se deben registrar como se especifica en los numerales 7.1.1 y 7.1.2 respectivamente, dentro de un periodo de tiempo o ventana de medición de, al menos, 60 ms, con una exactitud en el momento de medir la carga pico y la deflexión de $\pm 2 \%$, y una precisión en la medida de las deflexiones de $\pm 2 \mu\text{m}$ (0.08 mils).

8 PROCEDIMIENTO PARA UNA MEDICIÓN

- 8.1** Se transporta el dispositivo al sitio de ensayo y se coloca la placa de carga sobre el punto escogido para la prueba. El sitio de la prueba debe estar tan limpio como sea posible de piedras y escombros, con el fin de asegurar que la placa de carga quede completamente asentada. Las superficies de grava o de suelo deberán estar tan lisas como sea posible y se debe retirar todo el material suelto.
- 8.2** Se bajan el plato de carga y los sensores hasta asegurar que reposen sobre una superficie firme y estable.
- 8.3** Se levanta el generador de fuerza a la altura deseada y se deja caer la masa. Se registran las deflexiones superficiales y la carga pico.

Nota 3: Si se produce una deformación permanente significativa bajo la placa de carga, se debe mover el aparato y reducir la fuerza aplicada hasta que la deformación permanente no tenga ninguna importancia para la primera prueba en el sitio de ensayo.

- 8.4** Se llevan a cabo por lo menos dos series de la carga (numeral 8.3) y se compararan sus resultados. Si la diferencia es mayor que 3 % para cualquiera sensor, se debe registrar la variación en el informe. Se pueden ejecutar pruebas adicionales con las mismas o diferentes cargas.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1 *Precisión* – Hasta la fecha, no hay datos de precisión obtenidos de series de pruebas diseñadas estadísticamente con diferentes equipos. Los resultados obtenidos por el mismo o por varios dispositivos pueden variar debido a variaciones en la rigidez del amortiguador o del pavimento. Cada dispositivo, sin embargo, debe ser capaz de reunir los requisitos de exactitud indicados en el numeral 7.2 y los requisitos de calibración establecidos por el fabricante y por SHRP.
- 9.2 *Sesgo* – Hasta la fecha no se ha establecido ningún criterio sobre sesgo para esta prueba.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 4694 – 09

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIA

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ANÁLISIS VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EN CALIENTE

INV E – 799 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma proporciona los procedimientos para llevar a cabo el análisis volumétrico de especímenes compactados de mezcla asfáltica en caliente.
- 1.2 Esta norma presenta métodos para determinar las siguientes características volumétricas:
 - 1.2.1 El porcentaje de volumen de vacíos con aire (V_a) (también se utiliza el término “contenido de vacíos con aire”).
 - 1.2.2 El porcentaje de volumen de vacíos en el agregado mineral (VAM).
 - 1.2.3 Vacíos llenos de asfalto (VFA).
 - 1.2.4 Volumen efectivo de ligante asfáltico (V_{be}).
 - 1.2.5 Contenido de asfalto efectivo, expresado como porcentaje de la masa de la mezcla (P_{be}).
 - 1.2.6 Relación de polvo, o relación llenante/asfalto efectivo ($P_{0.075}/P_{be}$).
- 1.3 Los valores de estas propiedades se calculan a partir de medidas de las gravedades específicas del ligante asfáltico, de los agregados gruesos y finos, de la mezcla asfáltica en caliente compactada y sin compactar, y de las proporciones de la fórmula de trabajo de la mezcla.
- 1.4 Esta práctica es aplicable a tanto especímenes compactados en el laboratorio o en planta, como a núcleos extraídos de capas de pavimento.
- 1.5 Para lograr la precisión adecuada en las propiedades medidas y las cantidades calculadas, solamente se pueden utilizar especímenes cuyo volumen sea igual o mayor de $5.25 \times 10^5 \text{ mm}^3$, equivalente, aproximadamente, a un cilindro de prueba de 100 mm de diámetro y 65 mm de altura.
- 1.6 Esta norma reemplaza la norma INV E-799-07.

2 DEFINICIONES

2.1 *Definiciones aplicables a los agregados* – Los agregados minerales son porosos y pueden absorber agua y asfalto en un grado variable. Los métodos de medida de la gravedad específica de los agregados tienen en cuenta estas variaciones. Las tres gravedades específicas de los agregados que se consideran en el cálculo volumétrico de las mezclas asfálticas son la bulk [llamada también en estas normas gravedad específica seca al horno (SH)], la aparente y la efectiva. Las diferencias entre ellas provienen de las diferentes definiciones del volumen del agregado.

2.1.1 *Gravedad específica bulk del agregado (G_{sb})* – Relación entre la masa en estado seco de una unidad de volumen de agregado, incluyendo los vacíos permeables e impermeables, y la masa de un igual volumen de agua destilada libre de gas, ambos a la misma temperatura establecida. Su valor es adimensional (Ver Figura 799 - 1).

2.1.2 *Gravedad específica aparente del agregado (G_{sa})* – Relación entre la masa en estado seco de una unidad de volumen de la parte impermeable de agregado, y la masa de un igual volumen de agua destilada libre de gas, ambos a la misma temperatura establecida. Su valor es adimensional (Ver Figura 799 - 1).

2.1.3 *Gravedad específica efectiva del agregado (G_{se})* – Relación entre la masa en estado seco de una unidad de volumen de agregado, excluyendo los vacíos permeables al asfalto, y la masa de un igual volumen de agua destilada libre de gas, ambos a la misma temperatura establecida. Su valor es adimensional (Ver Figura 799 - 1).

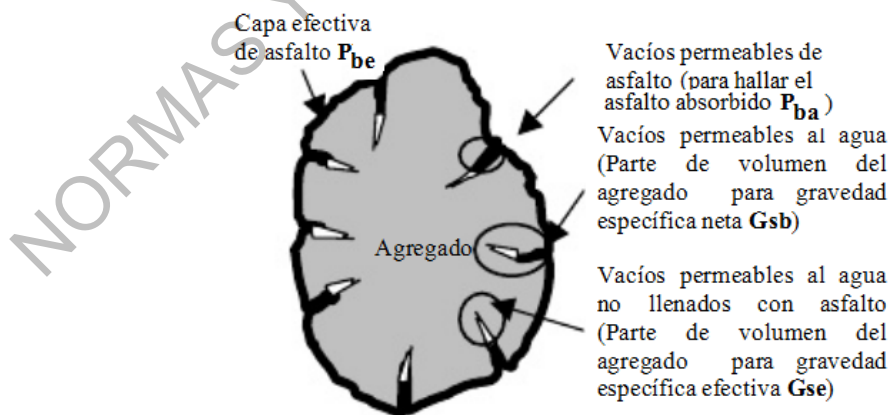


Figura 799 - 1. Diagrama para ilustrar los volúmenes considerados en la determinación de las gravedades específicas del agregado

2.2 Los términos aplicables al análisis volumétrico de la mezcla compactada corresponderán a las siguientes definiciones (Figura 799 - 2):

- 2.2.1** *Vacíos con aire (V_a)* – Son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregados cubiertos con asfalto en una mezcla asfáltica compactada. Se expresan como porcentaje del volumen total del espécimen.
- 2.2.2** *Vacíos en el agregado mineral (VAM)* – Volumen del espacio vacío entre las partículas del agregado de una mezcla asfáltica en caliente compactada. Incluyen los vacíos con aire y el volumen de asfalto efectivo, y se expresan como porcentaje del volumen total del espécimen.
- 2.2.3** *Contenido de asfalto efectivo (P_{be})* – Contenido total de asfalto en la mezcla, menos la fracción de ligante asfáltico absorbida por las partículas del agregado. Se expresa como porcentaje de la masa de la mezcla.
- 2.2.4** *Vacíos llenos de asfalto (VFA)* – Es la fracción de los vacíos en el agregado mineral que contiene ligante asfáltico. Estos representan el volumen de asfalto efectivo presente en la mezcla. Se acostumbra expresar como porcentaje de los VAM.
- 2.2.5** *Gravedad específica máxima (G_{mm})* – En una mezcla sin compactar es la relación entre la masa de una muestra de mezcla (sin tener en cuenta los vacíos que quedan entre las partículas recubiertas con asfalto, $V_a = 0$) y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida. Su valor es adimensional.
- 2.2.6** *Gravedad específica bulk de una mezcla asfáltica compactada (G_{mb})* – Es la relación entre la masa de un volumen de mezcla total compactada (teniendo en cuenta los vacíos que quedan entre las partículas recubiertas con asfalto) y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida. Su valor es adimensional.
- 2.2.7** *Volumen de asfalto absorbido (V_{ba})* – Volumen de ligante asfáltico en una mezcla asfáltica en caliente que ha sido absorbido en los poros de las partículas del agregado. V_{ba} es un volumen de ligante asfáltico en la mezcla que permite calcular el contenido de asfalto efectivo.

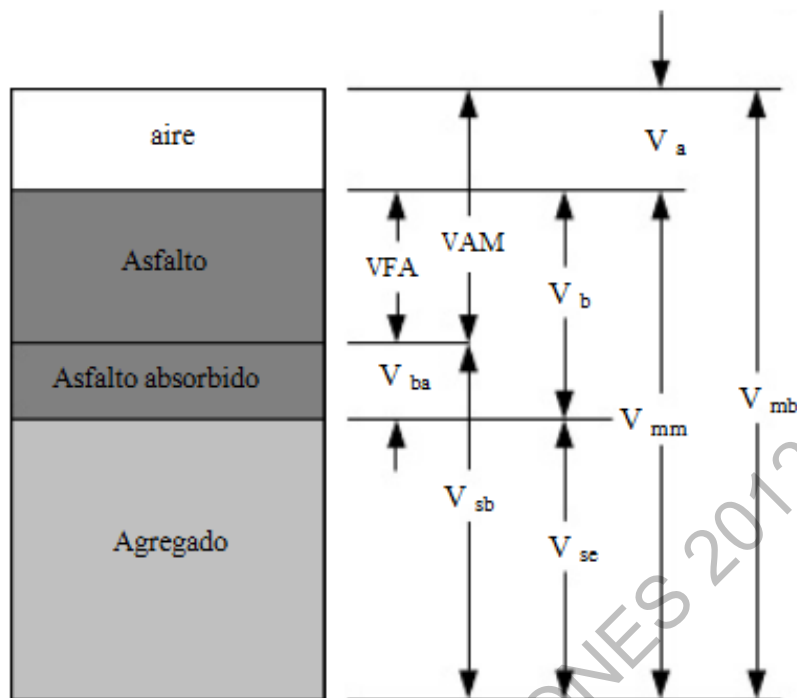


Figura 799 - 2. Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica compactada

2.3 Otras definiciones:

- 2.3.1 Relación de polvo o relación llenante/ligante efectivo ($P_{0.075}/P_{be}$)** – Relación en masa, entre el porcentaje de agregado que pasa el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No. 200), $P_{0.075}$, y el contenido de asfalto efectivo (P_{be}) en una mezcla asfáltica, referidos ambos a la masa total de la mezcla.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Esta norma es apropiada tanto para el diseño como para el control de campo de las mezclas asfálticas en caliente. Los parámetros volumétricos dan una indicación sobre el comportamiento probable del pavimento.
- 3.2** Aunque el método y la energía de compactación, las condiciones de construcción y otros factores, pueden incidir en las comparaciones que se hagan entre los parámetros de las mezclas compactadas en el laboratorio y los de las compactadas en el terreno, se acepta universalmente que el análisis de los vacíos con aire por el método descrito en esta norma es una parte importante del diseño y del control de las mezclas asfálticas en caliente.

4 PROCEDIMIENTO

Nota 1: La exactitud de las determinaciones de las gravedades específicas en el diseño de la mezcla es extremadamente importante. A menos que las gravedades específicas se determinen con tres cifras decimales (cuatro cifras significativas) puede ocurrir un error absoluto en el cálculo de vacíos de aire, tan alto como 0.8 % (por ejemplo, un valor real de 4.2 % puede ser determinado en el rango de 3.4 % a 5.0 %). Por consiguiente, se deben utilizar balanzas de sensibilidad adecuada para determinar las masas requeridas en las pruebas de gravedad específica.

- 4.1** Se determinan los porcentajes, en masa, de cemento asfáltico y agregado pétreo empleados en la elaboración de la mezcla. Si se está diseñando la mezcla, serán los porcentajes en los cuales ellos se están mezclando. Si se trata de mezclas tomadas en planta o en la vía, dichos porcentajes se determinarán de acuerdo con las normas INV E-729 o INV E-732. Los valores obtenidos se designarán como P_b y P_s , y su suma deberá ser igual a 100.
- 4.2** Se determinan las gravedades específicas bulk (gravedades específicas secas al horno-SH) del agregado fino (norma INV E-222) y del agregado grueso (norma INV E-223). Si se incorpora llenante mineral de manera independiente, su gravedad específica se deberá determinar según la norma INV E-128.
- 4.3** Se determina la gravedad específica del cemento asfáltico (norma INV E-707).
- 4.4** Se calcula la gravedad específica bulk del agregado combinado en la mezcla (incluyendo el llenante mineral), según lo establecido en la fórmula de trabajo, con la expresión.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad [799.1]$$

- Donde: G_{sb} : Gravedad específica bulk del agregado combinado;
- P_1, P_2, P_n : Porcentajes individuales de los distintos agregados (y llenante) que intervienen en el agregado combinado;
- G_1, G_2, G_n : Gravedades específicas bulk de las diferentes fracciones del agregado.

Nota 2: Es muy difícil determinar con exactitud la gravedad específica bulk del llenante mineral. Por ello, al aplicar la fórmula se emplea su gravedad específica aparente. El error que se comete es despreciable.

- 4.5** Se mide la gravedad específica máxima de la mezcla (normas INV E-735 o INV E-803).

- 4.5.1** Si se está diseñando la mezcla, se determina la gravedad específica máxima de la mezcla para los diferentes contenidos de cemento asfáltico con los cuales se están elaborando los especímenes de ensayo.
- 4.6** Se determina la gravedad específica bulk de cada espécimen compactado (normas INV E-733, INV E-734 o INV E-802).
- 4.7** Se calcula la gravedad específica efectiva del agregado pétreo, empleando la expresión:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad [799.2]$$

- Donde: G_{se} : Gravedad específica efectiva del agregado combinado;
- G_{mm} : Gravedad específica máxima de la mezcla (numeral 4.5);
- P_{mm} : Porcentaje en masa de la mezcla total suelta = 100;
- G_b : Gravedad específica del cemento asfáltico (numeral 4.3);
- P_b : Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla (numeral 4.1).

Nota 3: El volumen de asfalto absorbido por un agregado es casi invariablemente menor que el volumen de agua absorbida. Por lo tanto, el valor de la gravedad específica efectiva de un agregado se debe encontrar entre sus gravedades específicas bulk y aparente. Si la gravedad específica efectiva se encuentra por fuera de estos límites, se deberá asumir que es incorrecto y será necesario verificar las mediciones y los cálculos para encontrar la fuente del error.

Nota 4: En la norma INV E-244 se describe un procedimiento para determinar la gravedad específica de los agregados en aceite de parafina, el cual se basa en el principio de que la absorción de este aceite por parte de los agregados es similar a su absorción de asfalto. Por lo tanto, si se ha realizado este ensayo sobre el agregado combinado, sería aceptable considerar que esta gravedad específica es similar a la efectiva, lo que evitaría la determinación de la gravedad específica máxima, como paso previo para el cálculo de la absorción de asfalto y de la composición volumétrica verdadera de la mezcla asfáltica compactada.

- 4.8** Como una alternativa al procedimiento descrito en el numeral 4.5.1, la gravedad específica efectiva del agregado pétreo se puede emplear para calcular la gravedad específica máxima de la mezcla para contenidos de asfalto diferentes al usado para determinarla en el paso 4.5, empleando para ello la expresión:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad [799.3]$$

Donde: G_{mm} : Gravedad específica máxima de la mezcla (sin vacíos con aire);

P_{mm} : Porcentaje en masa de la mezcla total suelta = 100;

P_s : Porcentaje de agregado en la mezcla (numeral 4.1);

G_{se} : Gravedad específica efectiva del agregado combinado (numeral 4.7);

P_b : Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla (numeral 4.1);

G_b : Gravedad específica del cemento asfáltico (numeral 4.3).

4.9 Se calcula el asfalto absorbido, P_{ba} , como porcentaje de la masa del agregado, con la siguiente expresión:

$$P_{ba} = 100 \left[\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \right] G_b \quad [799.4]$$

4.10 Se calcula el contenido de asfalto efectivo, P_{be} , como porcentaje de la masa de la mezcla, con la siguiente expresión:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s \quad [799.5]$$

4.10.1 El contenido de asfalto efectivo es el contenido de asfalto incorporado en la mezcla menos la cantidad de asfalto que se pierde por haber sido absorbida por las partículas del agregado pétreo. En otras palabras, es la porción del asfalto incorporado en la mezcla que permanece cubriendo las partículas del agregado y que gobierna el comportamiento de la mezcla (Ver Figura 799 - 1).

4.11 Se calcula el porcentaje de vacíos entre las partículas del agregado mineral (VAM) con respecto al volumen total del espécimen compactado, con la siguiente expresión:

$$VAM = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} P_s \quad [799.6]$$

Donde: G_{mb} : Gravedad específica bulk de la mezcla compactada (numeral 4.6);

G_{sb} : Gravedad específica bulk del agregado combinado (numeral 4.4);

P_s : Porcentaje de agregado en la mezcla (numeral 4.1).

4.12 Se calcula el porcentaje de vacíos de aire con respecto al volumen total del espécimen compactado, V_a , en el espécimen compactado, con la siguiente expresión:

$$V_a = 100 \left[\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right] \quad [799.7]$$

Donde: G_{mm} : Gravedad específica máxima de la mezcla (numerales 4.5 o 4.8);

G_{mb} : Gravedad específica bulk de la mezcla compactada (numeral 4.6).

4.13 Se calcula el porcentaje de vacíos llenos de ligante asfáltico (VFA), como una porción de los vacíos en el agregado mineral (VAM), con la siguiente expresión:

$$VFA = 100 \left[\frac{VAM - V_a}{VAM} \right] \quad [799.8]$$

Donde: VAM: Vacíos en el agregado mineral en la probeta compactada (numeral 4.11);

V_a : Vacíos con aire en la probeta compactada (numeral 4.12).

4.14 Se calcula la relación de polvo o relación llenante/ligante efectivo, con la siguiente expresión:

$$\text{Relación llenante/ligante efectivo} = \frac{P_{0.075}}{P_{be}} \quad [799.9]$$

Nota 5: Como se indica en el numeral 2.3.1, para que la relación sea consistente, los dos valores de la fórmula deben estar referidos a la masa total de la mezcla. Alternativamente, también resulta correcto expresar simultáneamente ambos valores como porcentajes respecto de la masa del agregado pétreo.

5 INFORME

- 5.1** Los resultados de las gravedades específicas se deben reportar redondeados a 0.001 y los porcentajes de vacíos (VAM, VFA y V_a) redondeados a 0.1.

6 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

El contenido de esta norma se basa en el Capítulo 4, "Volumetric Properties of Compacted Paving Mixtures", de la Sexta Edición del Manual MS-2 del Instituto del Asfalto, 1995

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL SOBRE PROBETAS DE 152.4 MILÍMETROS (6 PULGADAS) DE DIÁMETRO

INV E – 800 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento a seguir para determinar la resistencia a la deformación plástica de probetas cilíndricas de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall. El procedimiento se puede emplear tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control de ellas en obra.
- 1.2** El método es aplicable a mezclas elaboradas con cemento asfáltico y agregados pétreos con tamaño máximo nominal menor o igual a 37.5 mm (1 ½").

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 152.4 mm (6") de diámetro y 95.2 mm (3 ¾") de espesor, preparadas como se describe en esta norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y su deformación (flujo).
- 2.2** El procedimiento se inicia con la preparación de las probetas de ensayo, para lo cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría y demás, fijadas para el proyecto. Además, se deberá determinar previamente la gravedad específica bulk de los agregados, así como la gravedad específica del asfalto, y se deberá efectuar un análisis de densidad y vacíos de las probetas compactadas. Para determinar el contenido óptimo de asfalto para una gradación de agregados dada o preparada, se deberá elaborar una serie de probetas con distintos porcentajes de asfalto, de tal manera que al graficar los diferentes valores obtenidos después de haberlas ensayado, se pueda determinar ese valor "óptimo".
- 2.3** La Sección referente al procedimiento de ensayo de esta norma se puede emplear, también, para determinar la estabilidad y el flujo de probetas extraídas de pavimentos construidos o preparadas por otros métodos.

3 EQUIPO Y MATERIALES NECESARIOS

- 3.1** *Dispositivo para moldear probetas* – Consiste en un molde cilíndrico de acero con un collar de extensión y una placa de base plana. El molde deberá tener un diámetro exterior de 165.1 mm (6.5"), un diámetro interior de 152.4 mm \pm 0.2 mm (6 \pm 0.008") y una altura interna aproximada de 114.3 mm (4.5"); la placa de base y el collar de extensión deberán ser intercambiables, es decir ajustables en cualquiera de los dos extremos del molde. Se recomienda disponer, al menos, de tres (3) moldes. Ver Figura 800 - 1.
- 3.2** *Extractor de probetas* – Elemento de acero en forma de disco, con diámetro de 151.1 a 152.1 mm (5.95 a 5.99") y 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde, con la ayuda del collar de extensión. Se requiere un elemento adecuado para transferir la carga a la probeta, de manera que ésta pase suavemente del molde al collar.
- 3.3** *Compactador mecánico* – Con un motor de al menos 250 W (1/3 HP) de potencia, elevador de cadena, marco rígido y un sistema automático de liberación del peso deslizante.
- 3.4** *Martillo de compactación* – Consiste en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 149.4 mm (5.88") de diámetro y un pisón deslizante de 10 210 \pm 10 g (22.5 \pm 0.02 lb) de peso total, montado en forma que proporcione una altura de caída libre de 457.2 \pm 2.5 mm (18 \pm 0.1"), como se ilustra en la Figura 800 - 2.
- 3.5** *Pedestal de compactación* – Consiste en una pieza prismática de madera de base cuadrada, de 203.2 mm de lado y 457.2 mm de altura (8 \times 8 \times 18"), provista en su cara superior de una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado por 25.4 mm de espesor (12 \times 12 \times 1"), firmemente sujeta en ella. La madera será roble, pino u otra clase, cuya densidad seca promedio se encuentre entre 0.67 y 0.77 g/cm³ (42 a 48 lb/pie³). El conjunto se fijará firmemente a una base de concreto, debiendo quedar la platina de acero en posición horizontal.

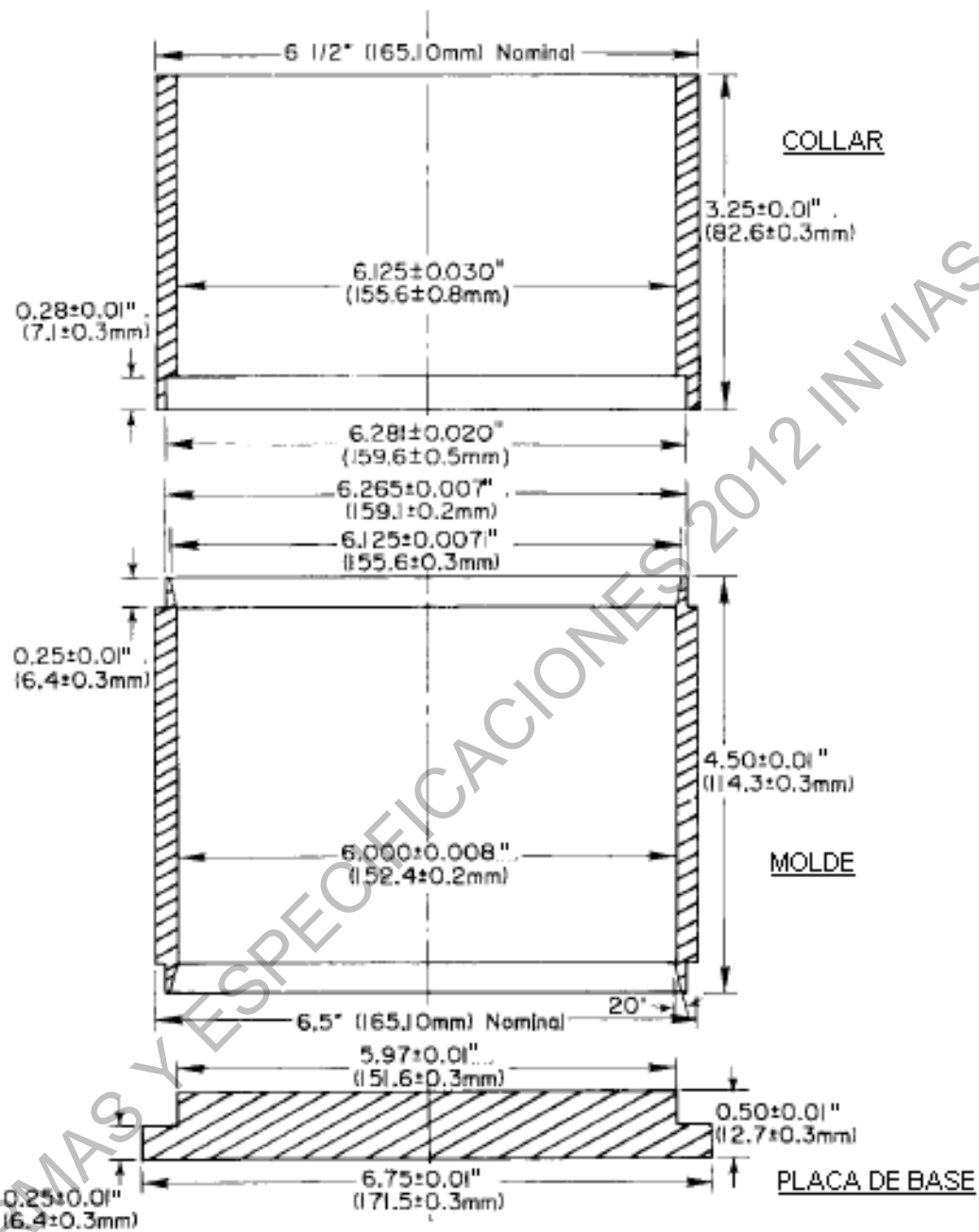


Figura 800 - 1. Molde de compactación

- 3.6 Sujetador para el molde** – Consiste en un dispositivo con resorte de tensión, como el mostrado en la Figura 800 - 3, el cual va montado sobre el pedestal de compactación. Su función es centrar y sostener rígidamente en su posición el molde de compactación, el collar y la placa de base sobre el pedestal, durante el proceso de compactación.

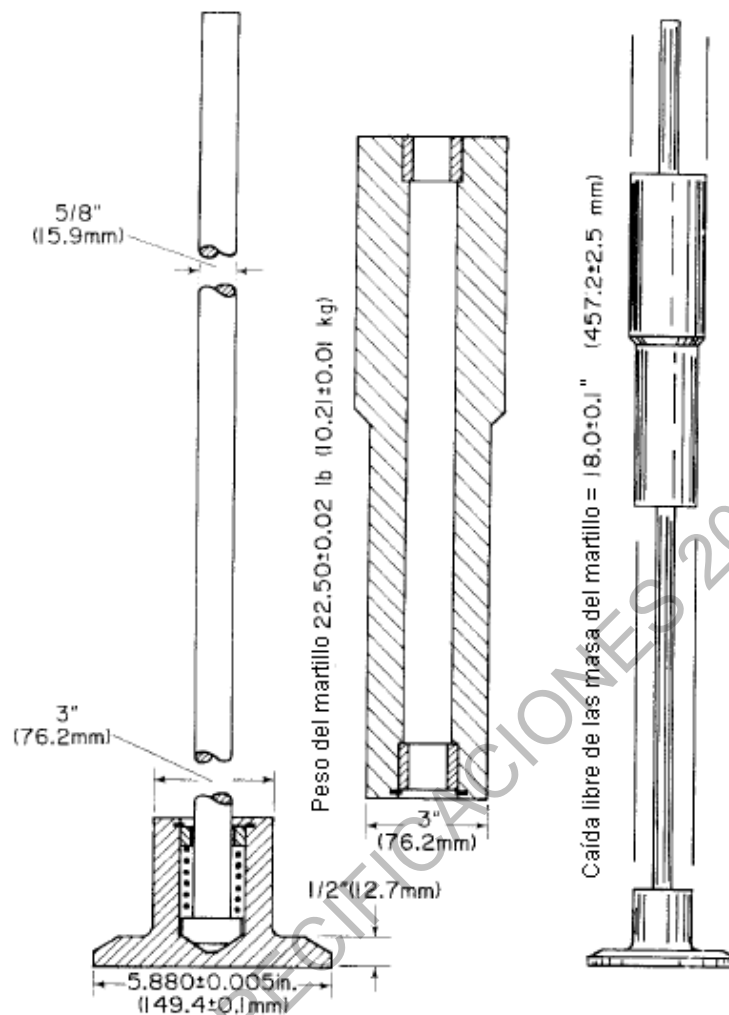


Figura 800 - 2. Martillo de compactación

- 3.7 Mordazas (Figura 800 - 4)** – Las mordazas consisten en dos segmentos cilíndricos de acero, con un radio de curvatura interior de 76.2 mm (3") maquinados con exactitud. La mordaza inferior va montada sobre una base plana, provista de dos varillas perpendiculares a ella, también de acero, las cuales sirven de guía a la mordaza superior. El movimiento de la mordaza superior se debe efectuar sin un rozamiento apreciable. Al colocar entre los dos segmentos un disco metálico de 152.4 mm (6") de diámetro y 100 mm (4") de espesor, los diámetros internos y los espacios entre las mordazas deben estar de acuerdo con lo que muestra la Figura 800 - 4.
- 3.8 Prensa** – Para la rotura de las probetas, se empleará una prensa mecánica o hidráulica como la mostrada en la Figura 800 - 5 o una equivalente, provista de un motor eléctrico capaz de producir una velocidad uniforme de desplazamiento vertical de 50.8 mm por minuto (2"/min.).

3.9 Medidor de deformación – Deformímetro de lectura final fija, con divisiones en 0.25 mm (0.01"). El medidor deberá estar ajustado a cero al ser colocado firmemente en posición sobre las mordazas en el instante de comenzar el ensayo.

Nota 1: En lugar del medidor de deformación descrito, se puede emplear un dial micrométrico o un registrador de esfuerzo-deformación, graduados en 0.025 mm (0.001")

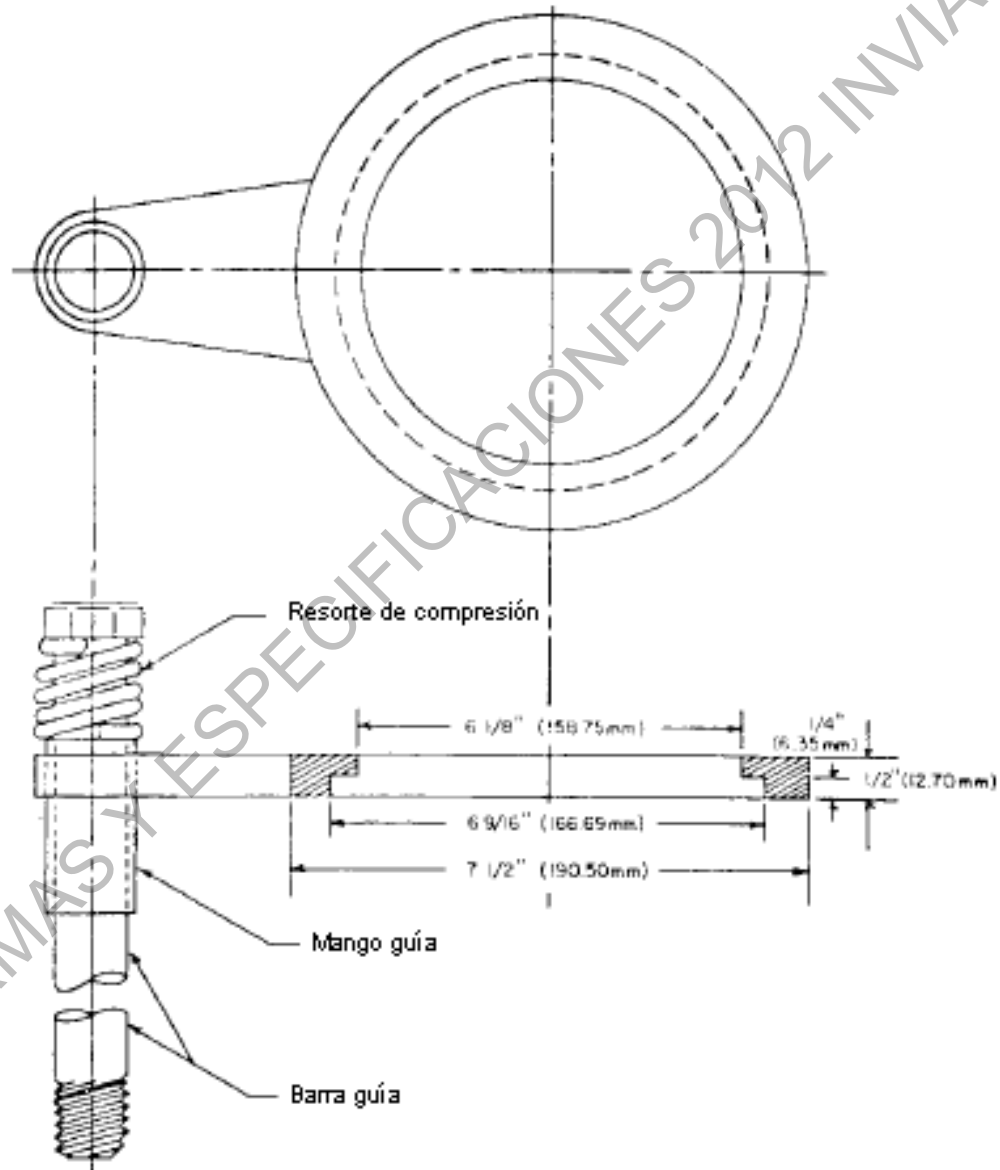


Figura 800 - 3. Sujetador para el molde

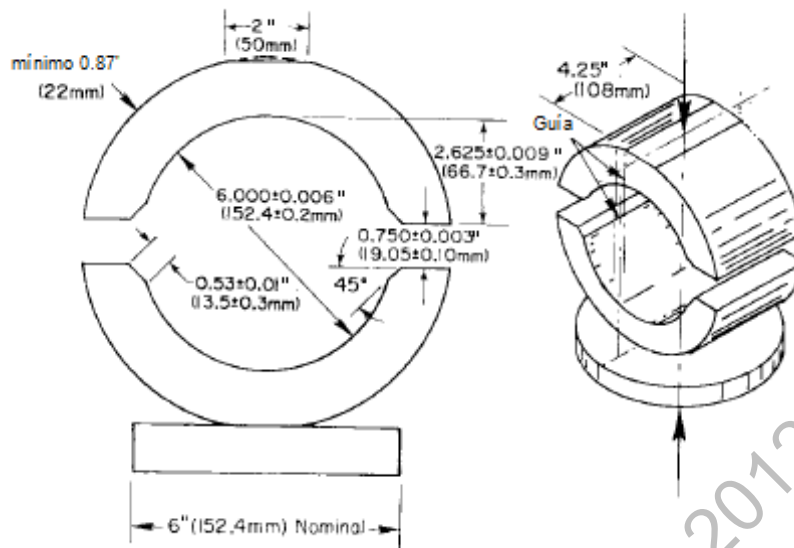


Figura 800 - 4. Mordazas para el ensayo Marshall

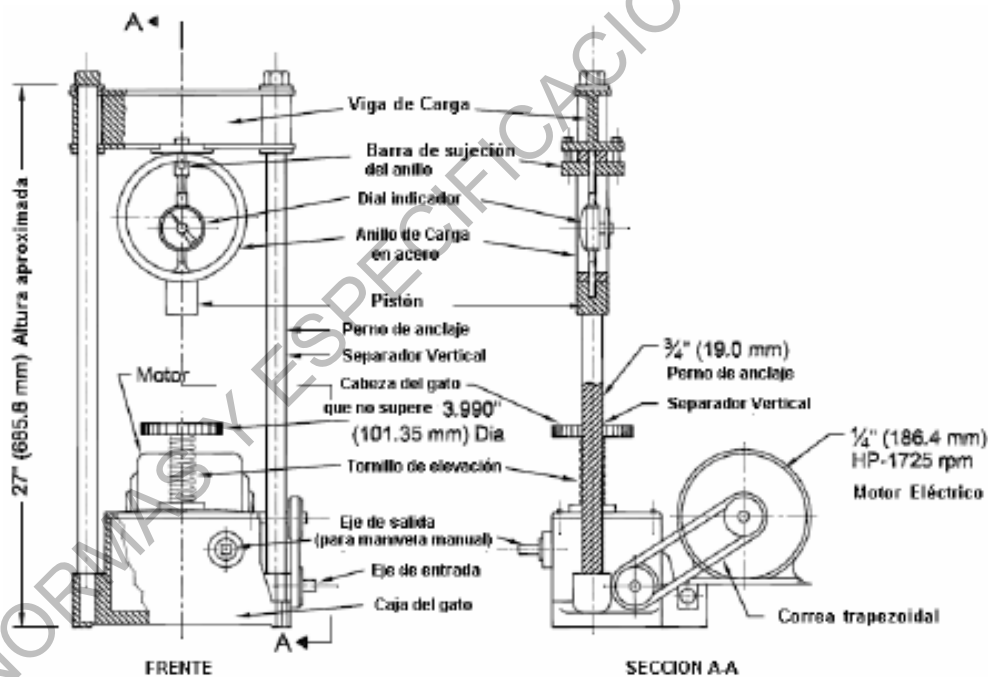


Figura 800 - 5. Máquina para la prueba de compresión

3.10 Medidor de la estabilidad – La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 4536 kgf (10 000 lbf) de capacidad, con una sensibilidad de 4.536 kgf (10 lbf) hasta 453.6 kgf (1000 lbf) y de 11.34 kgf (25 lbf) entre 453.6 y 4536 kgf (1000 y 10 000 lbf). Las

deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.0025 mm (0.0001").

Nota 2: El ensayo Marshall se puede realizar también empleando un registrador de carga-deformación combinado con una celda de carga y un transductor diferencial lineal variable (TDLV) u otro dispositivo de registro automático de la deformación

- 3.11 Elementos de calefacción** – Para calentar los agregados, el material asfáltico, el conjunto de compactación y la muestra, se empleará un horno o placa de calefacción, provisto de control termostático, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 2.8° C (5° F).
- 3.12 Mezcladora** – Se recomienda que la operación de mezclado de los materiales se realice con una mezcladora mecánica capaz de producir, en el menor tiempo posible, una mezcla homogénea a la temperatura requerida. Si el mezclado se realiza a mano, este proceso se debe realizar en un recipiente metálico y colocado sobre una placa de calefacción o estufa, para evitar el enfriamiento de los materiales, tomando las precauciones necesarias para evitar los sobrecalentamientos locales. En cualquier caso, la capacidad del recipiente de mezclado deberá ser suficiente para mezclar con holgura los ingredientes necesarios para la elaboración de cada probeta.
- 3.13 Tanque para agua** – De 228.6 mm (9") de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener la temperatura a $60 \pm 1^\circ \text{C}$ ($140 \pm 1.8^\circ \text{F}$). El tanque deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para sostener las probetas a no menos de 50.8 mm (2") sobre el fondo del mismo.
- 3.14 Tamices** – Los necesarios para reproducir en el laboratorio la granulometría exigida por la especificación a los agregados de la mezcla que se va a diseñar.
- 3.15 Termómetros blindados** – De 9.9 a 204° C (50 a 400° F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 2.8° C (5° F). Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con escala de 20 a 70° C (68 a 158° F), con una sensibilidad de 0.2° C (0.4° F).
- 3.16 Balanzas** – Una de diez (10) kg de capacidad, sensible a un (1) g, para pesar agregados y asfalto; otra de cinco (5) kg de capacidad, sensible a 0.1 g, para pesar las probetas compactadas.
- 3.17 Guantes** – De soldador para manejar equipo caliente, y de caucho para sacar las muestras del baño de agua.
- 3.18 Crayolas** – Para identificar las probetas.

- 3.19 Equipo misceláneo** – Bandejas metálicas de fondo plano para calentar agregados, y cubetas metálicas cilíndricas calentar el asfalto; pala de acero tipo jardín (cuando la mezcla se efectúe manualmente), cucharones, recipientes, espátulas, papel de filtro, etc.

4 PREPARACIÓN DE PROBETAS

4.1 Número de probetas:

- 4.1.1** Para una gradación particular del agregado, original o mezclada, se preparará una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto (con incrementos de 0.5 % en masa entre ellos); de manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indiquen un valor "óptimo" definido, con puntos a cada lado de este valor. Como mínimo, se prepararán tres probetas para cada contenido de asfalto.

4.2 Cantidad de materiales:

- 4.2.1** Un diseño con seis contenidos de asfalto necesitará, entonces, por lo menos dieciocho (18) probetas. Para cada probeta se necesitan aproximadamente 4050 g de ingredientes; por lo tanto, para una serie de muestras de una gradación dada resulta conveniente disponer de unos 77 kg (171 lb) de agregados y alrededor de 5 litros de cemento asfáltico. Se requiere, además, una cantidad extra de materiales para efectuar análisis granulométricos y para la determinación de las gravedades específicas.

4.3 Preparación de los agregados:

- 4.3.1** Los agregados se deberán secar hasta masa constante a una temperatura $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) y se separarán por tamizado en los tamaños deseados. En general, se recomiendan las porciones que se indican a continuación, aunque las fracciones definitivas dependerán de los tamaños disponibles en la planta de producción:

50.0 mm a 37.5 mm (2" a 1 ½")
37.5 mm a 25.0 mm (1 ½" a 1")
25.0 mm a 19.0 mm (1" a ¾")
19.0 mm a 9.50 mm (¾" a 3/8")
9.50 mm a 4.75 mm (3/8" a No. 4)
4.75 mm a 2.36 mm (No. 4 a No. 8)
Pasante de 2.6 mm (No. 8)

4.4 Determinación de las temperaturas de mezcla y de compactación:

- 4.4.1** La temperatura a la cual se debe calentar el cemento asfáltico para las mezclas, será la requerida para producir una viscosidad de 0.17 ± 0.02 Pa·s. La temperatura a la cual se debe calentar el cemento asfáltico para que tenga una viscosidad de 0.28 ± 0.03 Pa·s será la temperatura de compactación.

Nota 3: El criterio mencionado de selección de las temperaturas de mezcla y de compactación puede aplicar o no cuando se emplean asfaltos modificados. En este caso, el usuario deberá contactar al fabricante del ligante, quien deberá indicarle los rangos adecuados de temperatura para la mezcla y la compactación.

4.5 Preparación de las mezclas:

- 4.5.1** En bandejas taradas, separadas para cada fracción de la muestra, se pesarán sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, previamente calculadas de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de cada probeta, de forma que ésta resulte con una altura de 95.2 ± 2.54 mm (3.75 ± 0.10 ") (en total se requieren, aproximadamente, 4050 g). Los agregados se deberán calentar en una plancha de calentamiento o en el horno a una temperatura que no exceda en más de 28° C (50° F) la temperatura de mezcla indicada en el numeral anterior. En seguida, los agregados se transfieren al recipiente de mezclado donde se mezclan en seco y se forma a continuación un cráter en su centro, dentro del cual se vierte la cantidad requerida de asfalto, debiendo encontrarse ambos materiales en ese instante a temperaturas comprendidas dentro de los límites establecidos para el proceso de mezcla en el numeral 4.4. A continuación, se mezclan los materiales lo más rápidamente posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea. Si la mezcla contiene agregados absorbentes, se deberá colocar durante 4 horas en un recipiente cubierto, dentro de un horno mantenido a la temperatura de mezcla.

4.6 Compactación de las probetas:

- 4.6.1** Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de molde, collar, placa de base y la base del martillo de compactación, se limpian y calientan en un baño de agua o en el horno a una temperatura comprendida entre 93.3 y 148.9° C (200 y 300° F). Se arma el conjunto del dispositivo para moldear las probetas y se coloca un papel de filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla. A continuación, se coloca dentro del molde aproximadamente la mitad

de la mezcla recién fabricada y se la golpea vigorosamente con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior. En seguida, se coloca la otra mitad de la mezcla dentro del molde y se repite el procedimiento recién descrito. Se quita el collar y se alisa la superficie de la mezcla hasta obtener una forma ligeramente redondeada. Se coloca otro papel filtro sobre la superficie de la mezcla. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación se deberá hallar dentro de los límites de temperatura de compactación establecidos en el numeral 4.4. Se vuelve a poner el collar y se coloca el conjunto en el sujetador sobre el pedestal de compactación y se aplican 75 o 112 golpes según se especifique de acuerdo con el tránsito de diseño, empleando para ello el martillo de compactación operado mecánicamente con una caída libre de 457.2 mm (18"), manteniendo el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación. Se retiran la placa de base y el collar, se colocan en los extremos opuestos del molde; se vuelve a montar éste en el pedestal y se aplica el mismo número de golpes a la cara invertida de la muestra.

Nota 4: Se ha determinado que la aplicación de 75 y 112 golpes a una muestra que dé lugar a una probeta de 152.4 mm (6") mediante el procedimiento descrito en esta norma de ensayo, produce densidades equivalentes, respectivamente, a las obtenidas con 50 y 75 golpes aplicados a una muestra de 101.6 mm (4") de diámetro, según la norma de ensayo INV E-748.

Nota 5: Cuando las probetas se fabriquen con mezclas tomadas en obra, el proceso general de compactación será el mismo que se describe en este procedimiento cuidando, igualmente, que la temperatura de compactación sea la adecuada. No se deberá emplear una mezcla que haya sido recalentada.

- 4.6.2** Después de la compactación, se deja enfriar al aire el molde con sus aditamentos y con la muestra compactada, antes de que ésta sea extraída del molde, para prevenir que ella sufra alguna deformación. Se pueden utilizar ventiladores de mesa cuando se desee un enfriamiento más rápido, pero en ningún caso agua. Luego del enfriamiento, se retira la placa de base y se saca cuidadosamente la probeta del molde con ayuda del extractor, se la identifica con la crayola, se mide su espesor y se coloca sobre una superficie plana y lisa, donde se deja en reposo durante una noche, lapso después del cual se pesa, se mide su espesor y se somete al ensayo de estabilidad y flujo.

5 ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO

- 5.1** Se colocan las probetas en un baño de agua durante 45 a 60 minutos o en el horno durante 3 horas, manteniendo el baño o el horno a $60 \pm 1^\circ \text{C}$ ($140 \pm 1.8^\circ \text{F}$). Se limpian perfectamente las barras guías y las superficies interiores de las mordazas de ensayo antes de la ejecución de éste, y se lubrican las barras guías de manera que la mordaza superior se deslice libremente. La temperatura de las mordazas se deberá mantener entre 21.1 y 37.8°C (70 a 100°F), empleando un baño de agua cuando sea necesario.
- 5.2** Se retira una probeta del baño de agua u horno y se coloca centrada en la mordaza inferior; se monta la mordaza superior con el medidor de flujo (cuando éste se usa) y se sitúa el conjunto centrado en la prensa. Si se usa un medidor de flujo, se ajusta a cero y se mantiene su vástago firmemente contra la mordaza superior mientras se aplica la carga de ensayo.
- 5.3** Empleando la prensa, se aplica carga sobre la probeta compactada a una rata de deformación constante de 50.8 mm ($2''$) por minuto, hasta que ocurra la falla; es decir, cuando se alcanza la máxima carga y luego disminuye, según se lea en el dial respectivo. Se anota el valor máximo de carga registrado en la máquina de ensayo o, si es el caso, la lectura de deformación del dial indicador, la cual se convierte a carga, multiplicándola por la constante del anillo dinamométrico. El valor total de carga necesaria para producir la falla de la muestra se registrará como su valor de estabilidad Marshall. Si el espesor de la probeta es diferente de 95.2 mm ($3.75''$), el valor registrado de estabilidad Marshall deberá ser corregido, multiplicándolo por el factor que corresponda de la Tabla 800 - 1. Se anota la lectura que marcó el medidor de flujo en el instante de alcanzar la carga máxima. Este será el valor del "flujo" para la probeta, expresado en milímetros con aproximación a 0.25 mm , el cual indica la disminución de diámetro que sufrió la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura. Si el dial se encuentra en unidades inglesas, la lectura se hará en centésimas de pulgada con aproximación a la centésima. El procedimiento completo, desde la remoción de la probeta del baño de agua hasta su falla, se deberá efectuar en un período no mayor de 30 segundos. Cuando se emplee el equipo de ensayo descrito en la nota 2, se detiene el ensayo en el instante en que la celda de carga indica que la velocidad progresiva de carga, la cual se ha dirigido con una rata de deformación constante, ha comenzado a decrecer. En este caso, el flujo Marshall es la deformación total de la probeta desde el punto donde la tangente proyectada de la parte lineal de la curva corta el eje "x" (deformación) hasta el punto donde la curva se comienza a volver horizontal. Como se muestra en la figura 748.13 de la norma INV E-748, la determinación del flujo suele corresponder

al pico de estabilidad; sin embargo, como una alternativa cuando la condición de falla no se puede establecer con precisión, el flujo se puede elegir como el punto sobre la curva que está 1.5 mm (6×10^{-2} pg.) a la derecha de la tangente mencionada. El valor del flujo se acostumbra expresar en milímetros o en 1/100 pulgada (un flujo de 0.12" se reporta como 12). La estabilidad Marshall será la carga correspondiente al flujo. Este procedimiento puede requerir 2 personas para adelantar el ensayo y anotar los resultados, dependiendo del tipo de equipo y de la manera como estén dispuestos los diales indicadores.

- 5.4** El procedimiento indicado en los numerales 5.2 y 5.3 para una probeta, se deberá repetir con todas las probetas elaboradas, según se indicó en el numeral 4.1.
- 5.5** Cuando se ensayen núcleos de un pavimento construido, ellos se someterán a todo el procedimiento descrito en la presente Sección.

Tabla 800 - 1. Factores de corrección de la estabilidad Marshall

ESPESOR APROXIMADO DE LA PROBETA		VOLUMEN DE LA PROBETA (cm ³)	FACTOR DE CORRECCIÓN
mm	pulgadas		
88.9	3 ½	1608 a 1636	1.12
90.5	3 9/16	1637 a 1665	1.09
92.1	3 5/8	1666 a 1694	1.06
93.7	3 11/16	1695 a 1723	1.03
95.2	3 ¾	1734 a 1752	1.00
96.8	3 13/16	1753 a 1781	0.97
98.4	3 7/8	1782 a 1810	0.95
100.0	3 15/16	1811 a 1839	0.92
101.6	4	1840 a 1868	0.90

6 INFORME

- 6.1** El informe contendrá la siguiente información:
- 6.1.1** Tipo de muestra ensayada (muestra de laboratorio o núcleo tomado de un pavimento).
- 6.1.2** Espesor de cada probeta, en milímetros con aproximación a la décima (pulgadas con aproximación a 1/16").

- 6.1.3 Valor promedio de la máxima carga en Newton (lbf) de las probetas elaboradas con el mismo porcentaje de asfalto, corregidos previamente cuando se requiera (ver Tabla 800 - 1).
- 6.1.4 Valor promedio del flujo, en 0.25 mm (0.01") de las mismas probetas.
- 6.1.5 Temperatura de ensayo.

7 PRECISIÓN Y SESGO

- 7.1 *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los valores de estabilidad y flujo obtenidos por este método se presentan en la Tabla 800 - 2. Ellos se obtuvieron ensayando por triplicado, en 12 laboratorios, una mezcla elaborada con un agregado de 37.5 mm (1 ½") de tamaño máximo nominal. Los valores promedio de estabilidad y flujo fueron, respectivamente, 5878 lbf y 0.186".

Tabla 800 - 2. Aceptabilidad de los resultados de ensayos de estabilidad y flujo

ENSAYO Y TIPO DE ÍNDICE	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (% DE LA MEDIA)	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS DE ENSAYO (% DE LA MEDIA)
<i>Precisión de un solo operador:</i> Estabilidad, lbf Flujo, 0.01"	12.3 16.7	34.8 47.2
<i>Precisión multilaboratorio:</i> Estabilidad, lbf Flujo, 0.01"	15.3 23.7	43.3 67.0

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 5581 – 07a

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA DE CEMENTOS ASFÁLTICOS A PARTIR DE LA PENETRACIÓN

INV E – 801 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el cálculo de la viscosidad dinámica de un cemento asfáltico a partir de los resultados del ensayo de penetración ejecutado de acuerdo con la norma de ensayo INV E– 706.
- 1.2** El procedimiento de cálculo presentado en esta norma proviene de un trabajo presentado por R.I. Davis en la reunión de 1981 de la Asociación de Técnicos de la Pavimentación Asfáltica, titulado “*The ASTM Penetration Measures Viscosity*”.

2 PROCEDIMIENTO

- 2.1** Se determina la penetración del cemento asfáltico de acuerdo con la norma INV E–706.
- 2.2** Se calcula la viscosidad del material con la fórmula que corresponda de los numerales 3.1 y 3.2.
- 2.3** En la Sección 4 se presenta un método alternativo para determinar la viscosidad.

3 CÁLCULOS

- 3.1** Se emplea la siguiente ecuación para valores de penetración menores o iguales a 54 (1/10 mm);

$$\mu = \frac{1.559719 \times 10^9 \times \ln \left[\frac{0.0275}{3.94 \times 10^{-6} \times P + 0.000075} \right]}{P^2} \quad [801.1]$$

Donde: μ : Viscosidad, Poises;

P: Penetración, 0.1 mm.

- 3.2 Se emplea la siguiente ecuación para valores de penetración mayores a 54 (1/10 mm):

$$\mu = \frac{1.559719 \times 10^9 \times \ln \left[\frac{0.0275}{0.0005 - \frac{0.0114488}{P}} \right]}{p^2} \quad [801.2]$$

Donde: μ : Viscosidad, Poises;

P: Penetración, 0.1 mm.

4 VALORES TABULADOS

- 4.1 Los datos de la Tabla 801 - 1 se basan en las ecuaciones de la Sección 3 y se pueden usar como alternativa al cálculo por medio de ellas.

Tabla 801 - 1. Viscosidad a partir de la penetración

PENETRACIÓN (0.1 mm)	VISCOSIDAD (10^6 Poises)	PENETRACIÓN (0.1 mm)	VISCOSIDAD (10^6 Poises)	PENETRACIÓN (0.1 mm)	VISCOSIDAD (10^6 Poises)
26	11.64	51	2.76	76	1.18
27	10.74	52	2.65	77	1.15
28	9.95	53	2.54	78	1.12
29	9.24	54	2.44	79	1.09
30	8.59	55	2.34	80	1.06
31	8.02	56	2.25	81	1.03
32	7.49	57	2.17	82	1.01
33	7.02	58	2.09	83	0.98
34	6.59	59	2.02	84	0.96
35	6.19	60	1.95	85	0.93
36	5.83	61	1.88	86	0.91
37	5.50	62	1.81	87	0.89
38	5.19	63	1.75	88	0.87
39	4.91	64	1.70	89	0.85
40	4.65	65	1.64	90	0.83
41	4.41	66	1.59	91	0.81
42	4.19	67	1.54	92	0.79

PENETRACIÓN (0.1 mm)	VISCOSIDAD (10 ⁶ Poises)	PENETRACIÓN (0.1 mm)	VISCOSIDAD (10 ⁶ Poises)	PENETRACIÓN (0.1 mm)	VISCOSIDAD (10 ⁶ Poises)
43	3.98	68	1.49	93	0.77
44	3.79	69	1.45	94	0.76
45	3.61	70	1.40	95	0.74
46	3.45	71	1.36	96	0.72
47	3.29	72	1.32	97	0.71
48	3.15	73	1.28	98	0.69
49	3.01	74	1.25	99	0.68
50	2.88	75	1.21	100	0.67

5 NORMAS DE REFERENCIA

TEX-535--C

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DE LA DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS MEDIANTE EL MÉTODO DE SELLADO AUTOMÁTICO POR VACÍO

INV E – 802 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método de ensayo se refiere a la determinación de la gravedad específica bulk y de la densidad de las mezclas asfálticas compactadas, a partir del método de sellado al vacío.
- 1.2 El método es aplicable tanto para probetas compactadas en el laboratorio como para muestras tomadas de pavimentos.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 Los resultados obtenidos mediante esta prueba se pueden utilizar tanto para determinar el porcentaje de vacíos con aire de mezclas asfálticas compactadas, como para calcular su grado relativo de compactación.
- 2.2 Puesto que la gravedad específica no tiene unidades, se debe convertir en densidad con el fin de realizar los cálculos que requieran unidades. Esta conversión se efectúa multiplicando la gravedad específica a una determinada temperatura por la densidad del agua a la misma temperatura.
- 2.3 El método se puede aplicar tanto sobre probetas cilíndricas de 100 mm (4") y 150 mm (6") de diámetro, como sobre especímenes prismáticos, con el fin de prevenir inconsistencias que se puedan presentar en las determinaciones de las masas de las muestras por otros métodos, motivadas por el eventual escurrimiento de agua de ellas, así como por inexactitudes en la medición de la masa de probetas en condición saturada y superficialmente seca, de mezclas absorbentes gruesas y de gradación abierta. Mezclas tales como las *Stone Matrix Asphalt* (SMA), las drenantes y las de gradación gruesa con textura significativa y con vacíos interconectados, se deben ensayar con el procedimiento indicado en esta norma para determinar su gravedad específica bulk.

Nota 1: La gravedad específica bulk determinada por este método puede ser menor que la obtenida mediante la norma INV E-733. Como resultado de ello, los vacíos con aire determinados a partir de estos

valores de gravedad específica pueden ser mayores que los determinados usando dicha norma. Estas diferencias pueden ser más pronunciadas en el caso de mezclas de gradación gruesa.

- 2.4** Se deben seguir las recomendaciones del fabricante, con el fin de utilizar bolsas de tamaños apropiados cuando las muestras por ensayar tengan forma prismática o irregular.

3 EQUIPO Y ELEMENTOS

- 3.1** *Balanza* - Con capacidad y sensibilidad suficientes para permitir el cálculo de la gravedad específica bulk de las muestras de ensayo con, al menos, cuatro cifras significativas; es decir, al menos tres cifras decimales. Debe estar equipada con un dispositivo adecuado para pesar muestras sumergidas en agua. La balanza debe tener una tolerancia básica de ± 0.1 % y permitir lecturas con una precisión de 0.1 g.

Nota 2: Puesto que no hay más cifras significativas en el cociente (gravedad específica bulk) que las que aparecen tanto en el dividendo (masa de la muestra en el aire) como en el divisor (volumen de la muestra, obtenido mediante la diferencia en masa de la misma en el aire y en el agua), esto significa que la balanza debe tener una sensibilidad capaz de suministrar los valores de masa y volumen, cuando menos, con cuatro cifras.

- 3.2** *Tanque para agua* - Con dimensiones mínimas (longitud \times ancho \times profundidad) de 610 \times 460 \times 460 mm (24 \times 18 \times 18") o un recipiente cilíndrico con un diámetro mínimo de 460 mm (18") y una altura mínima de 460 mm (18"), para sumergir completamente las muestras en agua mientras están suspendidas de la balanza. El tanque debe estar equipado con un orificio de desagüe para mantener constante el nivel del agua y un control térmico que permita mantener la temperatura a $25 \pm 1^\circ$ C ($77 \pm 1.8^\circ$ F).

Nota 3: Es preferible mantener constante la temperatura del agua empleando un calentador controlado. También, para reducir la posibilidad de que la bolsa toque las paredes del tanque de agua, es aconsejable elevarlo hasta un nivel que permita al operador colocar la muestra en el mecanismo de pesaje sin agacharse y que facilite la colocación de la muestra y de la bolsa dentro del tanque de agua.

- 3.3** *Sujetador amortiguado* - Sin bordes agudos, para el desplazamiento de la muestra dentro del agua.

Nota 4: Se ha encontrado que los sujetadores cubiertos de plástico son apropiados para evitar que las bolsas plásticas se perforen accidentalmente dentro del baño de agua.

- 3.4** *Cámara de vacío* - Con una bomba de 0.93 kW (1.25 HP) capaz de evacuar una cámara sellada y hermética a una presión mínima de 10 mm Hg (10 Torr) en menos de 60 segundos, a nivel del mar. La cámara debe tener el tamaño suficiente para permitir el sellado de muestras de 150 mm (6") de ancho por

350 mm (14") de largo y 150 mm (6") de espesor. El dispositivo debe sellar automáticamente la bolsa plástica y expulsar de nuevo el aire dentro de la cámara de manera controlada, para asegurar un contacto apropiado del plástico con la muestra que se ensaya. Los tiempos de operación del escape del aire y del vacío deben ser calibrados en la fábrica antes del uso inicial de la cámara. El sistema de expulsión de aire debe estar calibrado para llevar la cámara a la presión atmosférica en un lapso de 80 a 120 segundos luego de completar la operación de vacío. El sistema de vacío debe estar provisto de un seguro para controlar la apertura de la puerta de la cámara.

- 3.5** *Manómetro indicador de vacío* – Independiente del dispositivo de sellado al vacío, que pueda ser colocado directamente dentro de la cámara para verificar el comportamiento del vacío y la condición del sellado de la puerta de la cámara de la unidad. El manómetro debe ser capaz de leer una presión por debajo de 3 mm Hg (3 Torr) y ser legible a 1 mm Hg (1 Torr).
- 3.6** *Bolsas plásticas* – Para usar con la cámara de vacío. Pueden ser de dos tamaños. Las bolsas pequeñas deben tener una abertura de 241 mm (9.50") como mínimo y de 260 mm (10.25") como máximo, mientras que la abertura de las bolsas grandes se debe encontrar entre 375 mm (14.75") y 394 mm (15.5"). Las bolsas deben ser de un material plástico que no se adhiera a la película de asfalto, resistente a las perforaciones, capaz de soportar temperaturas hasta de 70° C (158° F), impermeable al agua y que no contenga canales de aire que permitan la evacuación del aire de ellas. Las bolsas deben tener un espesor entre 0.100 mm (0.004") y 0.152 mm (0.006"). Con cada despacho, el fabricante deberá informar la gravedad específica aparente de las bolsas, la cual deberá ser tomada en cuenta en los cálculos que la requieran (Ver Sección 7).
- 3.7** *Placa para el deslizamiento de la muestra* – Para emplear dentro de la cámara, con el fin de reducir la fricción sobre las bolsas plásticas.
- 3.8** *Cuchillo para el corte de bolsas* – O tijeras.

4 MUESTREO

- 4.1** Las muestras de prueba pueden ser preparadas en el laboratorio o provenir de un pavimento asfáltico en la vía. Las muestras de campo se deben tomar de acuerdo con la norma INV E-731.

5 MUESTRAS DE ENSAYO

- 5.1 Se recomienda: (1) que el diámetro de las muestras cilíndricas moldeadas en el laboratorio o provenientes de núcleos, o la longitud de los lados de muestras aserradas sea, cuando menos, cuatro veces el tamaño máximo del agregado; y (2) que el espesor de las muestras sea, como mínimo, una y media veces el tamaño máximo del agregado. Las muestras de pavimentos se deben tomar con equipos para la toma de núcleos o mediante el aserrado de bloques.
- 5.2 Se debe tener cuidado con el fin de evitar la distorsión, el pandeo o el agrietamiento de las muestras durante y después de su remoción del pavimento o del molde. Las muestras se deben almacenar en un lugar seguro y fresco.
- 5.3 Las muestras deben estar libres de materiales extraños, tales como riegos de liga, riegos de imprimación, material de la base, suelo, papel, etc. Si alguno de estos materiales es evidente a la vista, deberá ser retirado. Riegos de liga e imprimación o superficies irregulares que puedan aparecer en la bolsa plástica y que no pertenezcan a la muestra se deben remover de ésta aserrando sus caras superior o inferior, o ambas, según corresponda.
- 5.4 Las muestras de ensayo se pueden separar de otras capas de pavimento mediante aserrado u otros medios apropiados.
- 5.5 Se debe usar un cepillo o una lija suave para romper las salientes afiladas que se presenten alrededor de los bordes superior e inferior de la muestra.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Este procedimiento se puede emplear tanto para ensayar muestras tomadas del pavimento como compactadas en el laboratorio. De manera específica, se recomienda cuando la mezcla es absorbente, de acuerdo con lo que determine la norma de ensayo INV E-733, o si es gruesa o de gradación abierta. Cuando se trate de mezclas tales como las *Stone Matrix Asphalt* (SMA), las drenantes y las de gradación gruesa con textura significativa y con vacíos interconectados, se debe seguir el procedimiento indicado en esta Sección para determinar su gravedad específica bulk.
- 6.2 *Masa de la muestra sin sellar:*

6.2.1 *Muestras preparadas en el laboratorio* – Se determina la masa de la muestra luego de que ella alcance la temperatura ambiente. Se designa esta masa como A.

6.2.2 *Muestras que contienen humedad* – Se seca la muestra hasta masa constante y se designa esta masa como A. Se define la masa constante como aquella que presenta una variación inferior a 0.5 % entre intervalos de secado consecutivos de 15 minutos. Se pueden utilizar el secado al vacío según la norma INV E-810, u otro método aprobado para secar la muestra hasta masa constante.

6.3 *Masa de la muestra sellada:*

6.3.1 Se elige un tamaño apropiado de bolsa, de acuerdo con el tamaño de la muestra. Para todas las muestras de 100 mm (4") de diámetro y para las que tengan 150 mm (6") de diámetro y un espesor menor de 50 mm (2"), se utiliza la bolsa de menor abertura especificada en el numeral 3.6. Para muestras de 150 mm (6") con espesor mayor de 50 mm (2"), se deben utilizar las bolsas de mayor abertura. Para muestras que pesen más de 5500 g (12.1 lb) o que tengan formas irregulares, se deben seguir las recomendaciones del fabricante en relación con el tamaño y la configuración apropiados de las bolsas.

Nota 5: Las bolsas se deben proteger durante el almacenamiento. El manejo brusco y el almacenamiento en proximidad de objetos angulosos como herramientas y agregados, pueden dañar las bolsas plásticas. Es necesario remitirse a las recomendaciones del fabricante para el manejo y el almacenamiento seguro de ellas.

6.3.2 Se determina la masa de la bolsa y, en seguida, se coloca dentro de la cámara de vacío, en la parte superior del plato para el deslizamiento de la muestra.

6.3.3 Se abre la bolsa con suavidad y se coloca la muestra dentro de ella en la parte superior del plato, con el cuidado necesario para prevenir su perforación (Figura 802 - 1). Se debe evitar que la bolsa se caiga o se golpee. Se coloca la abertura de la bolsa sobre la barra de sellado, de manera que la abertura quede al menos 25 mm (1") sobre la barra (Figura 802 - 2). A continuación, se cierra la puerta de la cámara (Figura 802 - 3).



Figura 802 - 1. Colocación de la muestra dentro de la bolsa



Figura 802 - 2. Colocación de la abertura de la bolsa sobre la barra de sellado



Figura 802 - 3. Cierre de la puerta de la cámara

- 6.3.4** Se permite que mediante vacío se remueva todo el aire de la cámara y de la bolsa plástica. La cámara de vacío debe sellar automáticamente la bolsa una vez que se remueve el aire.
- 6.3.5** Se expelle el aire dentro de la cámara hasta que se abra la puerta, lo que indica que se alcanzó la presión atmosférica dentro de aquella. Se puede usar el seguro de la puerta de la cámara, para evitar su apertura automática luego de terminar la prueba.
- 6.3.6** Se remueve la muestra sellada de la cámara de vacío y se maneja con extremo cuidado para evitar que la bolsa se perfore (Figura 802 - 4). Se hala cuidadosamente la bolsa y si ella se separa fácilmente de la muestra significa que puede estar rota; en tal caso, se debe repetir el proceso de sellado con una nueva bolsa.
- 6.3.7** Se coloca inmediatamente la muestra sellada dentro del tanque de agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 21^\circ \text{F}$) en el extremo del mecanismo de pesaje y se determina su masa. Esta masa se designa como E.
- 6.3.8** Para asegurar que la bolsa estaba sellada herméticamente, se retira ésta del agua y se corta. Enseguida, se saca la muestra de ella y se determina su masa, la cual se designa como C. Se compara esta masa con la masa seca inicial determinada en los numerales 6.2.1 o 6.2.2 (masa A). Si la masa C es mayor que la masa A en 5 o más gramos, la muestra se deberá secar y volver a ensayar; en caso contrario, se continúa con los cálculos.
- 6.3.9** Se determina la masa de la muestra sellada, en el aire, sumando la masa obtenida en los numerales 6.2.1 o 6.2.2 con la determinada en el numeral 6.3.2. Se designa esta masa como B.



Figura 802 - 4. Muestra sellada

7 CÁLCULOS

7.1 Se calcula la gravedad específica bulk de la muestra con la expresión:

$$\text{Gravedad específica bulk} = \frac{A}{[C + (B - A)] - E - \frac{B - A}{F_T}} \quad [802.1]$$

- Donde: A: Masa de la muestra seca al aire, g;
- B: Masa de la muestra seca sellada, g;
- C: Masa final de la muestra luego de removerla de la bolsa, g;
- E: Masa de la muestra sellada sumergida en agua, g;
- F_T: Gravedad específica aparente del material plástico de la bolsa a 25 ± 1° C (77 ± 1.8° F), suministrada por el fabricante.

7.2 Se calcula la densidad de la muestra con la expresión:

$$\text{Densidad} = \text{Gravedad específica bulk} \times \gamma \quad [802.2]$$

- Donde: γ : Densidad del agua a 25°C (77°F) (997.0 kg/m³, 0.997 g/cm³ o 62.4 lb/pie³).

8 VERIFICACIONES

8.1 *Verificación del sistema:*

- 8.1.1 Se debe verificar la calibración del vacío del aparato una vez cada 3 meses, luego de reparaciones importantes y luego de cada envío o traslado.
- 8.1.2 La verificación se debe realizar con un manómetro de vacío que pueda ser ubicado dentro de la cámara y leer el ajuste de vacío del dispositivo de sellado.
- 8.1.3 Se coloca el manómetro dentro de la cámara y se registra el ajuste. El manómetro debe suministrar registros con una aproximación de 10

mm Hg (10 Torr) o menos. No se debe usar la unidad, si la lectura del manómetro es mayor de 10 mm Hg (10 Torr).

- 8.1.4** El manómetro de vacío usado para la verificación se debe calibrar anualmente.

Nota 6: Los manómetros en línea, aunque son capaces de indicar el comportamiento de vacío de la bomba, no son apropiados para uso dentro de las cámaras de vacío y no miden apropiadamente los niveles de vacío.

8.2 Verificación de la bolsa plástica:

- 8.2.1** Se deben verificar periódicamente los datos suministrados por el fabricante sobre la gravedad específica aparente de las bolsas plásticas.
- 8.2.2** Se elabora una cantidad suficiente de mezcla asfáltica con 6 % de cemento asfáltico y un agregado que pase el tamiz de 4.75 mm (No. 4), para elaborar probetas de 100 mm (4") de diámetro y al menos 60 mm (2.4") de espesor al ser compactadas con un compactador Marshall o giratorio. Las muestras se deben compactar con una energía tal, que dé lugar a un contenido de vacíos con aire entre 4 y 8 %
- 8.2.3** Se toman tres (3) bolsas de cada tamaño y se aplica el mismo procedimiento descrito en la Sección 6 y los cálculos indicados en la Sección 7, para determinar gravedad específica bulk de la muestra de mezcla compactada con agregado que pase el tamiz de 4.75 mm (No. 4), para cada una de las bolsas.
- 8.2.4** Se promedian las gravedades específicas bulk (o densidades) de las mezclas compactadas, obtenidas con las diferentes bolsas.
- 8.2.5** Se determina la gravedad específica bulk de la mezcla compactada, aplicando el procedimiento descrito en la norma INV E-733.
- 8.2.6** La gravedad específica bulk promedio (o densidad) calculada para la muestra, según el numeral 8.2.4, no debe variar más de 0.010 g/cm^3 (0.624 lb/pe^3) con respecto a la gravedad específica bulk (o densidad) determinada por la norma INV E-733 (numeral 8.2.5) para la misma muestra asfáltica.

9 INFORME

9.1 Se debe presentar la siguiente información:

- 9.1.1 Gravedad específica de la bolsa plástica, con tres cifras decimales
- 9.1.2 Gravedad específica bulk de la muestra a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), con cuatro cifras significativas
- 9.1.3 Densidad de la muestra con cuatro cifras significativas

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos de gravedad específica bulk obtenidos mediante este método se presentan en la Tabla 802 - 1.

10.1.1 Las cifras mostradas en la columna 2 corresponden a las desviaciones estándar que se han encontrado apropiadas para las condiciones de ensayo descritas en la columna 1. Las cifras que se muestran en la columna 3 son los límites que no se deben exceder en las diferencias entre los resultados de 2 ensayos adecuadamente realizados.

10.1.2 Los valores de la columna 3 constituyen el rango aceptable para 2 ensayos. Cuando se están evaluando más de 2 resultados, el rango indicado en esta columna se debe incrementar.

10.2 *Sesgo* – Dado que no hay un material adecuado de referencia aceptado para determinar el sesgo del procedimiento para medir la densidad, no se presenta información sobre el sesgo de este método de ensayo.

Tabla 802 - 1. Criterio para juzgar la aceptabilidad de los ensayos para determinar la gravedad específica bulk

TIPO DE ÍNDICE	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS
Precisión de un solo operador	0.0124	0.035
Precisión multilaboratorio	0.0135	0.038

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6752/D6752M – 11

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA Y DE LA DENSIDAD MÁXIMA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE SELLADO AUTOMÁTICO POR VACÍO

INV E – 803 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se refiere a la determinación de la gravedad específica máxima y la densidad máxima de mezclas asfálticas sueltas a 25° C (77° F).

2 DEFINICIONES

- 2.1 Las siguientes definiciones están adaptadas a esta norma de ensayo:

2.1.1 *Densidad* – Masa del material por unidad de volumen a 25° C (77° F).

2.1.2 *Presión residual* – Es la presión dentro de una cámara de vacío cuando éste es aplicado.

2.1.3 *Gravedad específica* – Relación entre la masa del material a 25° C (77° F) y la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 Se coloca una muestra de mezcla asfáltica de masa conocida, secada al horno, en condición suelta y a temperatura ambiente, dentro de una bolsa con un diseño especial acanalado. La bolsa con la muestra se coloca dentro de otra bolsa y se llevan a la cámara de vacío. Se evacúa el aire de la muestra hasta una presión absoluta de 6 mm Hg (6 Torr) y se sella automáticamente. Se retiran de la cámara las bolsas que contienen la muestra y se colocan dentro de un tanque con agua equipado con una balanza para pesar la muestra sumergida en agua. Mientras se encuentra completamente sumergida, la bolsa exterior se corta con unas tijeras, para permitir que el agua entre en ella. Puesto que la muestra estaba bajo un vacío completo, el agua será forzada alrededor de todas las áreas accesibles de ella. La diferencia entre las masas en el aire y sumergido dará el volumen de la muestra, previa una corrección a

causa de la influencia de la bolsa. La masa seca y el volumen se pueden usar, entonces, para calcular la gravedad específica máxima de la muestra.

- 3.2** Este método constituye una técnica rápida para la determinación de la gravedad específica máxima, que minimiza la exposición de las muestras asfálticas al agua durante el ensayo y reduce la posibilidad de que absorban agua.

Nota 1: Si la corrección por absorción de agua no se realiza sobre las gravedades específicas máximas obtenidas sobre agregados porosos al emplear este método de ensayo, los resultados pueden ser mayores que los obtenidos mediante la norma INV E-735. Sin la corrección por la absorción de agua por parte del agregado, los vacíos con aire calculados con base en estos resultados pueden ser mayores.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Las gravedades específicas máximas y las densidades máximas de las mezclas asfálticas son propiedades intrínsecas, cuyos valores son afectados por la composición de la mezcla, en términos de los tipos y cantidades de agregados y de materiales asfálticos.
- 4.2** Las densidades máximas se utilizan para calcular los porcentajes de vacíos con aire en mezclas asfálticas compactadas y brindan valores de referencia para verificar el grado compactación de las mezclas asfálticas en el terreno. También, son esenciales para calcular la cantidad de asfalto absorbido por los poros de las partículas individuales del agregado en una mezcla asfáltica.

5 EQUIPO

- 5.1** *Balanza* – Con bastante capacidad y suficiente sensibilidad para permitir el cálculo de la gravedad específica de muestras con, al menos cuatro cifras significativas; es decir, al menos tres cifras decimales. Deberá estar equipada con un dispositivo apropiado para pesar muestras sumergidas en agua. El alambre de suspensión enganchado a la escala debe romper la superficie del agua en un solo punto y deberá tener un diámetro máximo de 3 mm (0.125"). La balanza debe tener una tolerancia básica de ± 0.1 % y permitir lecturas con aproximación a 0.1 g.

Nota 2: Puesto que no hay más cifras significativas en el cociente (gravedad específica bulk) que las que aparecen tanto en el dividendo (masa de la muestra en el aire) como en el divisor (volumen de la muestra, obtenido mediante la diferencia en masa de la misma en el aire y en el agua), esto significa que la balanza debe tener una sensibilidad capaz de suministrar los valores de masa y volumen, cuando menos, con cuatro cifras.

- 5.2** *Tanque para agua* – Con dimensiones mínimas (longitud × ancho × altura) de 610 × 460 × 460 mm (24 × 18 × 18") o un recipiente cilíndrico con un diámetro mínimo de 460 mm (18") y una altura mínima de 460 mm (18"), para sumergir completamente las muestras en agua mientras están suspendidas de la balanza. El tanque debe estar equipado con un orificio de desagüe para mantener constante el nivel del agua y un control térmico que permita mantener la temperatura a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).

Nota 3: Es preferible mantener la temperatura del agua mediante un calentador controlado. Colocar el tanque para agua a nivel de la cintura permitirá al operario realizar el ensayo mientras está de pie, lo que simplifica de manera significativa las operaciones de pesado.

- 5.3** *Cámara de vacío* – Con una bomba de 0.93 kW (1.25 HP) capaz de evacuar una cámara sellada y hermética con un vacío de 6 mm Hg (6 Torr) a nivel del mar. La cámara debe tener el tamaño suficiente que permita el sellado de muestras de hasta de 2200 gramos (4.85 libras). El dispositivo debe sellar automáticamente la bolsa plástica y expulsar de nuevo el aire dentro de la cámara de manera controlada, para asegurar un contacto apropiado del plástico a la muestra que se ensaya. Los tiempos de operación del escape del aire y del vacío deben ser calibrados en la fábrica antes del uso inicial de la cámara. El sistema de expulsión de aire debe ser calibrado para llevar la cámara a la presión atmosférica en un lapso de 80 a 150 segundos luego de completar la operación de vacío. El sistema de vacío debe estar provisto de un seguro para controlar la apertura de la puerta de la cámara.

- 5.4** *Manómetro indicador de vacío* – Independiente del dispositivo de sellado al vacío y que pueda ser colocado directamente dentro de la cámara para verificar el comportamiento del vacío y la condición del sellado de la puerta de la cámara de la unidad. El manómetro debe ser capaz de leer una presión por debajo de 3 mm Hg (3 Torr) de vacío y ser legible a 1 mm Hg (1 Torr).

- 5.5** *Bolsas plásticas* – Deben ser de dos tipos. Las bolsas que se colocan en el interior deben tener canales dispuestos al azar en uno de sus lados; los tamaños mínimo y máximo de su abertura son 305 mm (12") y 340 mm (13.5"), respectivamente. Las bolsas exteriores, no acanaladas, deben tener una abertura entre 375 mm (14.75") y 394 mm (15.5"). Las bolsas deben ser de un material plástico que no se adhiera a la película de asfalto, resistente a las perforaciones e impermeables al aire. Cada bolsa debe tener un espesor entre 0.100 mm (0.004") y 0.152 mm (0.006"). Con cada despacho, el fabricante deberá informar la gravedad específica aparente de las bolsas.

Nota 4: Las bolsas plásticas se deben proteger adecuadamente durante el almacenamiento. El manejo descuidado, el almacenamiento en proximidad de objetos punzantes, cerca de agregados o dentro de cajones, puede producir su deterioro. Se deben atender las recomendaciones del fabricante en relación con el manejo y el almacenamiento seguro de ellas.

- 5.6 *Sujetador* – Sin bordes agudos, para el desplazamiento de la muestra en el agua.
- 5.7 *Placas de relleno* – Para posicionar la muestra y las bolsas al mismo nivel de la barra de sellado.
- 5.8 *Cuchillo para cortar bolsas* – O tijeras.
- 5.9 *Termómetro* – Con divisiones cada 0.5° C (1° F), para medir la temperatura del baño de agua.
- 5.10 *Horno de laboratorio* – Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

6 MUESTRAS

- 6.1 Las muestras se deben obtener de acuerdo con la norma INV E-731.
- 6.2 El tamaño de cada muestra deberá estar de acuerdo con los requisitos que se indican a continuación. Las muestras de más de 2200 g (4.85 lb) se deben ensayar en porciones de 1500 a 2000 g (3.31 a 4.41 lb).

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO EN LA MEZCLA mm (pg.)	TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA g (lb)
50.0 (2)	6000 (13.23)
37.5 (1.5)	4000 (8.82)
25.0 (1)	2500 (5.51)
19 (0.75)	2000 (4.41)
12.5 (0.5)	1500 (3.31)
9.5 (0.375)	1500 (3.31)
4.75 (0.187)	1500 (3.31)

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1 Se separan manualmente las partículas de la muestra de la mezcla, con suficiente cuidado para evitar su fractura y de manera tal, que las partículas de la porción de agregado fino no sean mayores de 6.3 mm ($\frac{1}{4}$ "). Si la muestra de mezcla no es lo suficientemente blanda como para ser separada a mano, se

coloca sobre un recipiente plano y se calienta en el horno hasta que pueda ser separada como se ha descrito.

- 7.2** A menos que la mezcla haya sido preparada en el laboratorio empleando agregados secados al horno, la muestra se deberá secar en el horno hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Se admite el uso de otros métodos para el secado que permitan que la muestra alcance una masa constante. Esta operación de secado y cualquier calentamiento requerido para la separación de partículas, como el descrito en el numeral 7.1, se deben combinar en una sola operación para minimizar los efectos del recalentamiento.
- 7.3** Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente y se pesa. Este valor se puede anotar en la columna B del formato incluido en el Anexo A.
- 7.4** Se pone a punto la máquina de sellado por vacío de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, para producir un vacío absoluto de 99 % dentro de la cámara por un mínimo de 5 minutos.

Nota 5: Se deberán seguir las recomendaciones del fabricante para el ensayo de mezclas asfálticas que contengan polímeros.

- 7.5** Se pesan una bolsa interna y una externa, luego de verificar que no tengan perforaciones o cortes.
- 7.6** Se anota el peso combinado de las bolsas en la columna A del formato del Anexo A.
- 7.7** Se coloca la muestra en la bolsa interna, asegurándose de que no sufra ninguna pérdida durante la transferencia (Figura 803 - 1).



Figura 803 - 1. Colocación de la muestra en la bolsa interna

- 7.8** Se coloca la bolsa externa vacía, dentro de la cámara de vacío.

- 7.9** La bolsa interna conteniendo la muestra se coloca dentro de la bolsa externa, de manera que su lado acanalado (lado rugoso) quede hacia abajo (Figura 803 - 2). El lado rugoso se coloca bajo la muestra con el fin de protegerla contra aire atrapado y para ayudar en la evacuación del aire de la bolsa.

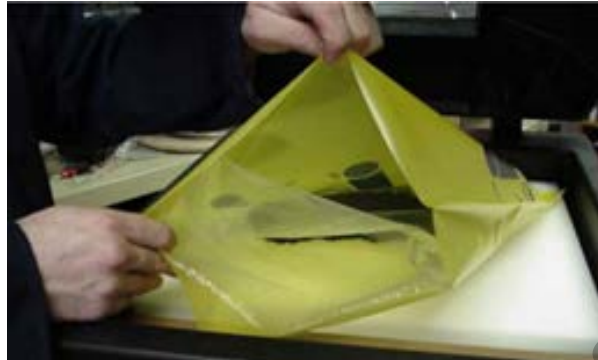


Figura 803 - 2. Colocación de la bolsa interna dentro de la externa

- 7.10** Se esparce cuidadosamente la muestra, de manera que quede uniformemente distribuida dentro de la bolsa interna. La muestra no se debe esparcir sacudiéndola desde la parte exterior de la bolsa.
- 7.11** Se empuja la abertura de la bolsa interna lejos de la abertura de la bolsa externa para prevenir que la abertura de la interna sea sellada. Se verifica que la abertura de la bolsa interna esté lisa y que no esté restringida por un doblar de la bolsa.
- 7.12** Se coloca la abertura de la bolsa externa sobre la barra de sellado, verificando que la bolsa interna no se encuentre sobre dicha barra (Figura 803 - 3).

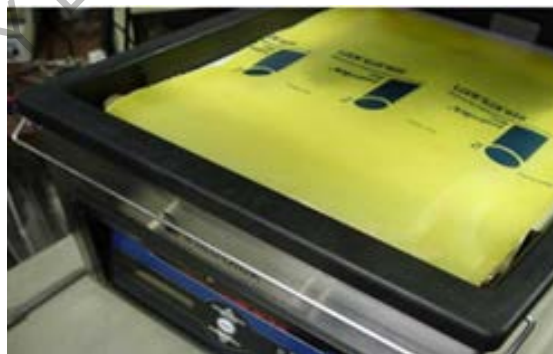


Figura 803 - 3. Colocación de la bolsa externa sobre la barra de sellado

- 7.13** Se cierra la puerta de la cámara.

- 7.14** Se permite que la cámara de vacío remueva el aire de la cámara y de la bolsa plástica. Se deben seguir las recomendaciones del fabricante en relación con la puesta a punto del aparato y con el tiempo requerido para el ciclo de vacío. La cámara de vacío deberá sellar automáticamente la bolsa una vez que el aire es removido.
- 7.15** Se expulsa el aire dentro de la cámara hasta que la puerta de ésta se abra, indicando que la cámara está a la presión atmosférica. Se puede utilizar el seguro de la puerta de la cámara para evitar su apertura automática luego de que la prueba se ha terminado.
- 7.16** Se remueve la muestra sellada de la cámara de vacío; se realiza una inspección visual de la bolsa y se está atento a la ocurrencia de cualquier escape.
- Nota 6: La muestra se debe transferir con el mayor cuidado al tanque con agua, evitando su impacto con superficies duras, lo cual puede originar fugas de la bolsa y permitir la entrada del aire en la muestra.*
- 7.17** Se transfiere inmediatamente la muestra al tanque con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 2^\circ \text{F}$), equipado con la balanza.
- 7.18** Se sumerge completamente la bolsa sellada que contiene la muestra y se abre la bolsa externa con un corte a través de su parte superior, dejando intactos aproximadamente 25 mm (1"). Al cortar la bolsa se comprueba que la porción sellada de ella está sumergida dentro del agua al menos 50 mm (2") y que permanece bajo agua durante todo el proceso.
- 7.19** Se abren ambas bolsas con los dedos y se mantienen abiertas entre 10 y 15 segundos, para permitir que el agua fluya dentro de ellas.
- 7.20** Se suspende la muestra de la balanza, verificando que ni las bolsas ni el equipo de suspensión estén en contacto con los lados o el fondo del tanque de agua y que ninguna parte de la bolsa plástica asoma en la superficie del agua en ningún momento.
- 7.21** Se anota el peso correspondiente en la columna C del formato incluido en el Anexo A.
- 7.22** Se realizan los cálculos de acuerdo con la fórmula que se presenta en la Sección 8 o se utiliza un programa de software para el cálculo automático de la gravedad específica máxima.

8 CÁLCULOS

8.1 Se calcula la gravedad específica máxima de la mezcla con la expresión:

$$\text{Gravedad Específica Máxima} = \frac{B}{A + B - C - \frac{A}{V_c}} \quad [803.1]$$

- Donde: B: Masa en el aire de la muestra seca, g;
- A: Masa combinada de las dos bolsas plásticas (la acanalada y la exterior), g;
- C: Masa de la mezcla y de las bolsas sumergidas, g;
- V_c : Gravedad específica aparente combinada de las dos bolsas plásticas a 25° C (77° F), suministrada por el fabricante;

8.2 Se calcula la densidad de la muestra como sigue:

$$\text{Densidad} = \text{Gravedad específica máxima} \times \gamma \quad [803.2]$$

- Donde: γ : Densidad del agua a 25° C (77° F) (997.0 kg/m³, 0.997 g/cm³ o 62.4 lb/pie³).

9 VERIFICACIÓN

- 9.1 Se debe verificar la calibración del vacío del aparato una vez cada 3 meses, luego de reparaciones importantes y luego de cada envío o traslado.
- 9.2 La verificación se debe realizar con un manómetro de vacío que pueda ser ubicado dentro de la cámara y leer el ajuste de vacío del dispositivo de sellado.
- 9.3 Se coloca el manómetro dentro de la cámara y se registra el ajuste. El manómetro debe indicar una presión de 6.0 mm Hg (6 Torr) o menos. No se debe usar la unidad si la lectura del manómetro es mayor de 8 mm Hg (8 Torr).
- 9.4 El manómetro usado para verificación se debe calibrar anualmente.

Nota 7: Los manómetros en línea, aunque son capaces de indicar el comportamiento de vacío de la bomba, no son apropiados para uso dentro de las cámaras de vacío y no miden apropiadamente los niveles de vacío.

10 INFORME

10.1 Se debe presentar la siguiente información:

10.1.1 Gravedad específica aparente de las bolsas plásticas, con tres cifras decimales.

10.1.2 Gravedad específica máxima de la mezcla a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 2^\circ \text{F}$), con cuatro cifras significativas.

10.1.3 Densidad a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 2^\circ \text{F}$), con cuatro cifras significativas.

11 PRECISIÓN Y SESGO

11.1 *Precisión* – El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos es el siguiente:

TIPO DE ÍNDICE	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS (d2s)
Precisión de un solo operador	0.007	0.020
Precisión multilaboratorio	0.009	0.025

11.1.1 Estas estimaciones se basan en tres mezclas diferentes, con diferencias en la composición de agregados, la granulometría, el tipo de ligante y el contenido de asfalto. Las mezclas utilizadas para la determinación de los valores de precisión fueron elaboradas en planta.

11.2 *Sesgo* – No hay un valor verdadero disponible para la gravedad específica máxima del material. Por lo tanto, no se puede hacer ninguna declaración en relación con el sesgo para las medidas realizadas en el estudio entre laboratorios.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D6857/D6857M – 11

**ANEXO A
(Informativo)****EJEMPLO DE FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS Y EL CÁLCULO DE LA
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA**

MUESTRA No.	A PESO DE LA BOLSA (g)	B PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (g)	C PESO DE LAS BOLSAS Y LA MUESTRA SUMERGIDAS (g)	D VOLUMEN TOTAL EN EL AGUA = (A+B) – C	E VOLUMEN DE LA BOLSA A/V _c	F VOLUMEN DE LA MUESTRA D – E	G GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA B/F

Nota: V_c = Gravedad específica aparente combinada de las dos bolsas plásticas a 25° C (77° F), la cual debe ser suministrada por el fabricante de ellas.

DETERMINACIÓN DE LOS VACÍOS CON AIRE EFECTIVOS DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS

INV E – 804 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se refiere a la determinación de los vacíos con aire efectivos (porosidad efectiva) de mezclas compactadas, mediante el método de sellado al vacío.
- 1.2 Este método se puede emplear tanto sobre muestras de mezclas asfálticas compactadas en el campo como en el laboratorio.
- 1.3 Los resultados de los ensayos realizados mediante este método se pueden emplear para determinar el grado de interconexión de los vacíos con aire en una muestra y se pueden correlacionar con la permeabilidad de muestras de mezclas asfálticas compactadas.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Una muestra de mezcla asfáltica compactada es sometida a vacío, sellada dentro de una bolsa plástica. Se calcula la densidad de la muestra, SG1, empleando el método del desplazamiento de agua con la muestra sellada. La bolsa se corta mientras la muestra se encuentra sumergida. Puesto que la muestra se encontraba bajo vacío y el aire había sido expulsado de los vacíos, el agua es forzada a llenar todos los vacíos accesibles a ella en la muestra compactada. Conocida la masa de la muestra saturada, se puede calcular una densidad aparente máxima, SG2. La diferencia entre SG2 y SG1 es la medida de la cantidad de agua que ha penetrado en la muestra compactada. Esta diferencia se puede emplear para determinar la fracción del total de vacíos que es accesible al agua, fracción que se denomina porosidad efectiva, o vacíos con aire efectivos.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Los resultados que brinda este ensayo sirven para determinar el porcentaje total de vacíos con aire que pueden ser llenado con agua a través de la

superficie o de los canales interconectados dentro de una muestra asfáltica compactada. Por lo general, los vacíos con aire efectivos son menores que el porcentaje total de vacíos con aire.

- 3.2** El ensayo descrito en esta norma se puede llevar a cabo sobre probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") y 152.4 mm (6") de diámetro y sobre muestras prismáticas.

4 EQUIPO

- 4.1** *Balanza* – Con bastante capacidad y suficiente sensibilidad para permitir el cálculo de la gravedad específica de muestras con, al menos cuatro cifras significativas; es decir, al menos tres cifras decimales. Deberá estar equipada con un dispositivo apropiado para pesar muestras sumergidas en agua. El alambre de suspensión enganchado a la escala debe romper la superficie del agua en un solo punto y deberá tener un diámetro máximo de 3 mm (0.125"). La balanza debe tener una tolerancia básica de $\pm 0.1\%$ y permitir lecturas con aproximación a 0.1 g.

Nota 1: Puesto que no hay más cifras significativas en el cociente (gravedad específica bulk) que las que aparecen tanto en el dividendo (masa de la muestra en el aire) como en el divisor (volumen de la muestra, obtenido mediante la diferencia en masa de la misma en el aire y en el agua), esto significa que la balanza debe tener una sensibilidad capaz de suministrar los valores de masa y volumen cuando menos con cuatro cifras.

- 4.2** *Tanque para agua* – Con dimensiones mínimas (longitud \times ancho \times altura) de 610 \times 460 \times 460 mm (24 \times 18 \times 18") o un recipiente cilíndrico con un diámetro mínimo de 460 mm (18") y una altura mínima de 460 mm (18"), para sumergir completamente las muestras en agua mientras están suspendidas de la balanza. El tanque debe estar equipado con un orificio de desagüe para mantener constante el nivel del agua y un control térmico que permita mantener la temperatura a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).

Nota 2: Es preferible mantener constante la temperatura del agua empleando un calentador controlado. También, para reducir la posibilidad de que la bolsa toque las paredes del tanque de agua, es aconsejable elevarlo hasta un nivel que permita al operador colocar la muestra en el mecanismo de pesaje sin agacharse y que facilite la colocación de la muestra y de la bolsa dentro del tanque de agua.

- 4.3** *Sujetador amortiguado* – Sin bordes agudos, para el desplazamiento de la muestra dentro del agua.

Nota 3: Se ha encontrado que los sujetadores cubiertos de plástico son apropiados para evitar que las bolsas plásticas se perforen accidentalmente dentro del baño de agua.

- 4.4** *Cámara de vacío* – Con una bomba de 0.93 kW (1.25 hp) capaz de evacuar una cámara sellada y hermética con un vacío de 6 mm Hg (6 Torr) a nivel del mar. La cámara debe tener el tamaño suficiente para permitir el sellado de muestras de 150 mm (6") de ancho por 350 mm (14") de largo y 150 mm (6") de espesor. El dispositivo debe sellar automáticamente la bolsa plástica y expulsar de nuevo el aire dentro de la cámara de manera controlada, para asegurar un contacto apropiado del plástico a la muestra que se ensaya. Los tiempos de operación del escape del aire y del vacío deben ser calibrados en la fábrica antes del uso inicial de la cámara. El sistema de expulsión de aire debe ser calibrado para llevar la cámara a la presión atmosférica en un lapso de 80 a 125 segundos luego de completar la operación de vacío. El sistema de vacío debe estar provisto de un seguro para controlar la apertura de la puerta de la cámara.
- 4.5** *Manómetro indicador de vacío* – Independiente del dispositivo de sellado al vacío, que pueda ser colocado directamente dentro de la cámara para verificar el comportamiento del vacío y la condición del sellado de la puerta de la cámara de la unidad. El manómetro debe ser capaz de leer una presión por debajo de 3 mm Hg (3 Torr) y ser legible a 1 mm Hg (1 Torr).
- 4.6** *Bolsas plásticas* – Para usar con la cámara de vacío. Pueden ser de dos tamaños. Las bolsas pequeñas deben tener una abertura de 235 mm (9.25") como mínimo y de 260 mm (10.25") como máximo, mientras que la abertura de las bolsas grandes se debe encontrar entre 375 mm (14.75") y 394 mm (15.5"). Las bolsas deben ser de un material plástico que no se adhiera a la película de asfalto, resistente a las perforaciones, capaz de soportar temperaturas hasta de 70° C (158° F), impermeable al agua y que no contenga canales de aire que permitan la evacuación del aire de ellas. Las bolsas deben tener un espesor entre 0.127 mm (0.005") y 0.178 mm (0.007"). Con cada despacho, el fabricante deberá informar la gravedad específica aparente de las bolsas, la cual deberá ser tenida en cuenta en los cálculos que la requieran.
- 4.7** *Placa para el deslizamiento de la muestra* – Para emplear dentro de la cámara, con el fin de reducir la fricción sobre las bolsas plásticas.
- 4.8** *Cuchillo para cortar bolsas* – O tijeras.
- 4.9** *Termómetro* – Con marcaciones cada 1° C (2° F).

5 VERIFICACIÓN

5.1 Verificación del sistema:

- 5.1.1 Se debe verificar la calibración del vacío del aparato una vez cada 3 meses, luego de reparaciones importantes y después de cada envío o traslado.
- 5.1.2 La verificación se debe realizar con un manómetro de vacío que pueda ser ubicado dentro de la cámara y leer el ajuste de vacío del dispositivo de sellado.
- 5.1.3 Se coloca el manómetro dentro de la cámara y se registra el ajuste. El manómetro debe indicar una presión de 6.0 mm Hg (6 Torr) o menos. No se debe usar la unidad, si la lectura del manómetro es mayor de 6 mm Hg (6 Torr).
- 5.1.4 El manómetro de vacío usado para la verificación se debe calibrar cada tres años.

Nota 4: Los manómetros en línea, aunque son capaces de indicar el comportamiento de vacío de la bomba, no son apropiados para uso dentro de las cámaras de vacío y no miden apropiadamente los niveles de vacío.

6 MUESTREO

- 6.1 Las muestras de prueba pueden ser preparadas en el laboratorio o tomadas de pavimentos.
- 6.2 *Muestras de ensayo:*
 - 6.2.1 Se recomienda: (1) que el diámetro de las muestras cilíndricas moldeadas en el laboratorio o provenientes de núcleos, o la longitud de los lados de muestras aserradas sea, cuando menos, cuatro veces el tamaño máximo del agregado; y (2) que el espesor de las muestras sea, como mínimo, una y media veces el tamaño máximo del agregado. Las muestras de pavimentos se deben tomar con equipos para la toma de núcleos o mediante el aserrado de bloques.
 - 6.2.2 Se debe tener cuidado, con el fin de evitar la distorsión, el pandeo o el agrietamiento de las muestras durante y después de su remoción del pavimento o del molde. Las muestras se deben almacenar en un lugar seguro y fresco.

- 6.2.3** Las muestras deben estar libres de materiales extraños, tales como riegos de liga, riegos de imprimación, material de la base, suelo, papel, etc. Si alguno de estos materiales es evidente a la vista, deberá ser retirado. Riegos de liga e imprimación o superficies irregulares que puedan aparecer en la bolsa plástica y que no pertenezcan a la muestra se deben remover de ésta aserrando sus caras superior o inferior, o ambas, según corresponda.
- 6.2.4** Las muestras de ensayo se pueden separar de otras capas de pavimento mediante aserrado u otros medios apropiados.
- 6.2.5** Se debe usar un cepillo o una lija suave para romper las salientes afiladas que se presenten alrededor de los bordes superior e inferior de la muestra.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se ajusta la cámara de vacío para que opere a una presión de 6 mm Hg (6 Torr) por un mínimo de 5 minutos.
- 7.2** *Masa de la muestra sin sellar:*
- 7.2.1** *Muestras preparadas en el laboratorio* – Se determina la masa de la muestra luego de que se ha enfriado a temperatura ambiente. Se designa esta masa como A.
- 7.2.2** *Muestras que contienen humedad* – Se seca la muestra hasta masa constante y se designa esta masa como A. Se define la masa constante como aquella que presenta una variación inferior a 0.5 % entre intervalos de secado consecutivos de 15 minutos.

Nota 5: Para una determinación precisa de la porosidad, la muestra no se debe secar en el horno a temperaturas por encima de 30° C (85° F), pues se deteriora su integridad. El método de secado por vacío para el secado de muestras (Norma INV E-710) es ideal para este método de ensayo.

7.3 *Masa de la muestra sellada:*

- 7.3.1** Se elige un tamaño apropiado de bolsa, de acuerdo con el tamaño de la muestra. Para todas las muestras de 100 mm (4") de diámetro y para las que tengan 150 mm (6") de diámetro y un espesor menor de 50 mm (2"), se utiliza la bolsa de menor abertura especificada en el

numeral 4.6. Para muestras de 150 mm (6") con espesor mayor de 50 mm (2"), se deben utilizar las bolsas de mayor abertura. Para muestras que pesen más de 5500 g (12.1 lb) o que tengan formas irregulares, se deben seguir las recomendaciones del fabricante en relación con el tamaño y la configuración apropiados de las bolsas.

Nota 6: Las bolsas se deben proteger durante el almacenamiento. El manejo brusco y el almacenamiento en proximidad de objetos angulosos como herramientas y agregados, pueden dañar las bolsas plásticas. Es necesario remitirse a las recomendaciones del fabricante para el manejo y el almacenamiento seguro de ellas.

- 7.3.2** Se verifica que la bolsa no tenga orificios ni irregularidades, se determina su masa y se coloca dentro de la cámara de vacío en la parte superior de la placa para el deslizamiento de la muestra.
- 7.3.3** Se abre cuidadosamente la bolsa y se coloca la muestra asfáltica compactada dentro de ella, con el cuidado suficiente para prevenir cualquier deterioro en la bolsa. Se debe evitar la caída o el impacto de la bolsa y seguir las recomendaciones del fabricante para el manejo de ellas y de las muestras.
- 7.3.4** Se permite que mediante vacío se remueva todo el aire de la cámara y de la bolsa plástica. La cámara sellará automáticamente la bolsa luego de que se ha completado el vacío.
- 7.3.5** Se expelle el aire dentro de la cámara hasta que se abra la puerta, lo que indica que se alcanzó la presión atmosférica dentro de aquella. Se puede usar el seguro de la puerta de la cámara, para evitar su apertura automática luego de terminar la prueba.
- 7.3.6** Se retira la muestra sellada de la cámara de vacío, tratándola con el mayor cuidado para prevenir la rotura de la bolsa. Se hala suavemente la bolsa y si ella se separa con facilidad de la muestra significa que está rota, caso en el cual se deberá repetir el proceso de sellado con una nueva bolsa.
- 7.3.7** Se determina la masa de la muestra sellada al aire sumando la masa A y la masa de la bolsa obtenida en el numeral 7.3.2. Se designa esta masa como B.
- 7.3.8** Se coloca la muestra sellada en el tanque de agua y se determina su masa sumergida a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$). Se designa esta masa como E. La bolsa no debe asomar por encima de la superficie del agua ni debe

tocar los lados o el fondo del tanque. Se debe verificar que la temperatura del agua sea $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).

7.3.9 Mientras la muestra y la bolsa están completamente sumergidas, se corta una abertura en ésta con ayuda del cuchillo o de las tijeras. Debido a este corte, el agua es forzada hacia los vacíos de la muestra accesibles a ella.

7.3.10 Se deja la muestra sumergida en el agua durante un periodo de, por lo menos, 4 minutos, después del cual se determina su masa y se designa con la letra C. La bolsa no debe asomar por fuera de la superficie del agua ni debe tocar los lados o el fondo del tanque.

8 CÁLCULOS

8.1 Se calcula la gravedad específica de la muestra con la expresión:

$$\text{Gravedad Específica Bulk} = \text{SG1} = \frac{A}{B - E - \frac{B - A}{F_T}} \quad [804.1]$$

Donde: A: Masa de la muestra seca al aire, g;

B: Masa de la muestra seca sellada, g;

E: Masa de la muestra sellada sumergida en agua, g;

F_T : Gravedad específica aparente del material plástico de la bolsa a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), cuando está sellada, la cual debe ser suministrada por el fabricante.

8.2 Se calcula la gravedad específica aparente de la muestra (gravedad específica con la bolsa abierta), con la expresión:

$$\text{Gravedad Específica Aparente} = \text{SG2} = \frac{A}{B - C - \frac{B - A}{F_{T1}}} \quad [804.2]$$

Donde: C: Masa de la muestra sin sellar bajo agua, g;

F_{T1} : Gravedad específica aparente del material plástico de la bolsa a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), cuando está abierta bajo el agua, la cual debe ser suministrada por el fabricante.

8.3 Se determina el contenido efectivo de vacíos con aire (porosidad efectiva), con la expresión:

$$\text{Contenido efectivo de vacíos con aire (\%)} = \frac{SG2 - SG1}{SG2} \times 100 \quad [804.3]$$

9 INFORME

9.1 Se debe informar lo siguiente:

- 9.1.1** Gravedades específicas aparentes de las bolsas plásticas, con cuatro cifras significativas.
- 9.1.2** Gravedad específica bulk de la muestra compactada a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), con cuatro cifras significativas.
- 9.1.3** Gravedad específica aparente de la muestra compactada a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), con cuatro cifras significativas.
- 9.1.4** Contenido efectivo de vacíos con aire en porcentaje (porosidad efectiva), con tres cifras significativas.

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos realizados de acuerdo con este método son los siguientes:

TIPO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (d2s)
Precisión de un solo operador	0.35 %	1 %

- 10.1.1** Esta estimación se basa en 15 mezclas diferentes, con diferentes composiciones de agregados, granulometrías, tipos y contenidos de asfalto. Seis de las mezclas se compactaron en el laboratorio (4 en el compactador giratorio y 2 por el método Marshall) y nueve fueron mezclas en plantas. Todas las pruebas las realizó el mismo operador, utilizando el mismo equipo de vacío. Cada una de las quince muestras se ensayó por triplicado. Las muestras se secaron entre ensayos consecutivos con un ventilador, para que presentaran una condición de superficie seca; sin embargo, se empleó su masa seca original para el cálculo de las gravedades específicas.
- 10.1.2** La desviación estándar que aparece en la columna 2 fue la que se encontró adecuada para las condiciones de ensayo descritas en la columna 1 de la tabla.
- 10.1.3** El valor mostrado en la columna 3 es el límite que no se debe exceder al establecer la diferencia entre los resultados de dos ensayos bien ejecutados. Cuando se evalúan más de dos ensayos, el rango indicado en esta columna se puede incrementar.
- 10.2** *Sesgo* – No se presenta información en relación con el sesgo de este procedimiento de ensayo, puesto que no se dispone de un valor de referencia que pueda ser aceptado.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D7063/D7063M – 11

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MEDIDA DE LA PERMEABILIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTACIÓN EMPLEANDO UN PERMEÁMETRO DE PARED FLEXIBLE

INV E – 805 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un procedimiento para determinar en el laboratorio la permeabilidad al agua de una muestra saturada de mezcla asfáltica compactada.
- 1.2 El procedimiento se puede aplicar tanto a probetas cilíndricas compactadas en el laboratorio como a núcleos extraídos de pavimentos existentes.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Empleando un permeámetro de carga variable, como el mostrado en la Figura 805 - 1, se determina el flujo de agua a través de una probeta de mezcla asfáltica. Se permite que el agua contenida en un recipiente cilíndrico graduado fluya a través de la muestra saturada, registrándose el tiempo que tarda alcanzar un cambio conocido en la carga hidráulica. Con los datos obtenidos durante el desarrollo de la prueba, se determina el coeficiente de permeabilidad de la muestra, aplicando la ley de Darcy.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 El ensayo brinda una manera de determinar la conductividad del agua en muestras saturadas de mezclas asfálticas. El método considera el flujo laminar unidimensional del agua y asume que la ley de Darcy es aplicable.

4 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1 *Permeámetro* – Un permeámetro de carga variable, como el mostrado en la Figura 805 - 1, cuyas características principales son las siguientes:
 - 4.1.1 Un cilindro calibrado de 31.75 ± 0.5 mm (1.25 ± 0.02 ") de diámetro interior con 500 ml de capacidad y graduado en milímetros.

- 4.1.2** Un tubo sellante, constituido por una membrana de látex flexible de 0.635 mm (0.025") de espesor, capaz de confinar especímenes de concreto asfáltico hasta de 152.4 mm (6.0") de diámetro y 80 mm (3.15") de altura.
- 4.1.3** Un montaje de tapa superior para soportar el cilindro y expandir un empaque contra el tubo sellante. La abertura de la tapa debe tener el mismo diámetro del cilindro calibrado. La parte inferior de la tapa debe estar biselada con un ángulo de $10 \pm 1^\circ$ (ver Figura 805 - 1).
- 4.1.4** Una placa inferior para soportar el espécimen de concreto asfáltico y expandir un empaque contra el tubo sellante. La abertura de la placa debe tener un diámetro mínimo de 18 mm (0.71"). La parte superior de la placa debe estar biselada con un ángulo de $10 \pm 1^\circ$ (ver Figura 805 - 1).
- 4.1.5** Empaques de diámetro y espesor suficientes para mantenerse ajustados contra el tubo sellante.
- 4.1.6** Un montaje de marco y abrazadera que permita suministrar al montaje de tapa superior y al pedestal inferior, la fuerza de compresión necesaria para expandir los empaques.
- 4.1.7** Una bomba de aire capaz de aplicar una presión de 103.42 kPa (15 lbf/pg²) y de aplicar vacío para evacuar el aire del espacio tubo sellante/membrana.
- 4.1.8** Un medidor de presión con un rango de 0 a 103.42 kPa (0 a 15 lbf/pg²), con una precisión de $\pm 2\%$.
- 4.1.9** Línea de presión de conexión rápida, para inflar y evacuar el espacio entre el tubo sellante y la membrana.
- 4.1.10** Tubería de salida para drenar el agua. Debe tener un diámetro interior mínimo de 18 mm (0.71") y una válvula de cierre.

Nota 1: El permeámetro denominado Karol Warner cumple las especificaciones citadas en este numeral.

- 4.2** *Agua* – Se requiere un suministro continuo de agua limpia hacia la parte superior del tubo graduado, preferiblemente por medio de una manguera flexible.

- 4.3** *Termómetro* – Dispositivo capaz de medir la temperatura del agua con una precisión de 0.1° C (0.2° F).
- 4.4** *Vaso de precipitados* – De 600 ml de capacidad, que se emplea durante la medición de la temperatura del agua.
- 4.5** *Cronómetro* – Graduado con divisiones de 0.1 segundo o menos y una aproximación de 0.05 %, cuando se utiliza en intervalos no menores de 15 minutos.
- 4.6** *Dispositivo para medir longitudes* – Adecuado para medir las dimensiones del espécimen con una aproximación de 0.5 mm o menos.
- 4.7** *Sierra* – Equipo adecuado para el corte húmedo del espécimen en el espesor deseado. No se admite el empleo de sierras de corte en seco.
- 4.8** *Agente sellante* – Gelatina de petróleo.
- 4.9** *Espátula* – Para aplicar el agente sellante en el contorno lateral de las muestras compactadas.
- 4.10** *Ventilador* – Ventilador eléctrico para el secado durante el corte húmedo de la muestra.
- 4.11** *Recipiente* – De capacidad suficiente para la saturación de las probetas antes del ensayo.

5 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

- 5.1** El núcleo extraído del pavimento o la probeta compactada en el laboratorio se corta para obtener el espesor deseado. En el caso de los núcleos, su espesor debe ser lo más aproximado que sea posible al espesor real de la capa compactada en el terreno. Las caras superior e inferior de los núcleos y de las probetas de laboratorio deben ser acondicionadas debidamente.
- 5.2** Se lava totalmente la muestra de ensayo para remover cualquier partícula suelta resultante de la operación de corte.
- 5.3** Si el uso posterior de los resultados del ensayo lo hacen necesario, se determina la densidad del espécimen, empleando para ello las normas INV E-733 o INV E-802.

- 5.4** Se miden, con aproximación de 0.5 mm (0.02") o menos, el espesor y el diámetro de la muestra, cada uno de ellos en 3 sitios diferentes. Las 3 lecturas de espesor no deben variar en más de 5 mm (0.2") y el diámetro no debe ser menor de 144 mm (5.67").

Nota 2: Durante la prueba de permeabilidad, la muestra debe alcanzar el estado de saturación descrito en el numeral 6.8. Como ayuda para la saturación y si la disponibilidad de tiempo lo permite, la muestra se coloca en el recipiente mencionado en el numeral 4.11, el cual se llena con una cantidad de agua suficiente para cubrirla, dejándola en remojo durante un lapso de 1 a 2 horas.

- 5.5** Es necesario aplicar con la espátula una capa delgada del agente sellante en el contorno lateral de los especímenes compactados en el laboratorio, con el fin de llenar los vacíos mayores presentes en él, los cuales no son representativos del nivel de compactación en su interior. Si la muestra se encuentra húmeda, se seca su superficie con una toalla para remover el agua libre.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Se evacúa el aire del espacio tubo de sello/membrana.

Nota 3: Se puede ayudar a la evacuación completa del aire, pellizcando la membrana y separándola del adaptador de la manguera a medida que se acciona la bomba.

- 6.2** Se coloca la muestra de ensayo, debidamente centrada, sobre la placa de soporte.

- 6.3** Se coloca el tubo sellante sobre la muestra de ensayo y la placa de soporte, asegurando que el tubo esté orientado de manera que el adaptador de la manguera quede ubicado entre los empaques colocados en la tapa superior y la placa inferior.

- 6.4** Se inserta el ensamble de la tapa superior dentro del tubo sellante hasta que quede perfectamente apoyada sobre la parte superior de la muestra de ensayo.

Nota 4: Se ayuda a la inserción de la tapa superior, si el cilindro graduado ya está insertado en ella, caso en el cual el cilindro puede ser utilizado como manija.

- 6.5** Se instalan 2 abrazaderas en el marco del permeámetro y, ajustándolas uniformemente, se aplica una presión moderada al ensamble de la tapa superior. Esta acción sella los empaques contra la membrana y el tubo sellante.

- 6.6** Se infla la membrana a 68.99 ± 3.4 kPa (10 ± 0.5 lbf/pg²), presión que se debe mantener durante todo el ensayo.
- 6.7** Se llena con agua el cilindro graduado hasta, aproximadamente, la mitad de su altura y se sacude el permeámetro hacia adelante, hacia atrás y hacia los lados, para desalojar de la cavidad superior todo aire que se encuentre atrapado.
- 6.8** Se llena el cilindro graduado hasta un nivel por encima de la marca superior de cronometraje (Ver Figura 805 - 1). Se acciona el cronómetro en el instante en que la parte inferior del menisco de agua alcanza dicha marca y se detiene cuando la parte inferior del menisco alcanza la marca inferior de cronometraje, registrando el tiempo transcurrido con aproximación al segundo. Esta operación se realiza un total de 3 veces, verificando la saturación. Mientras se verifica la saturación no se debe permitir que salga el agua remanente dentro del cilindro, por cuanto ello puede propiciar el reingreso de aire en la muestra. La saturación queda verificada por la repetición del tiempo requerido para que 500 ml de agua atraviesen la muestra de ensayo. Se considera que la muestra está saturada cuando la diferencia de tiempo entre la primera y la tercera prueba no excede de 4 %. Por lo tanto, es necesario realizar sobre cada espécimen un mínimo de 3 pruebas, salvo lo establecido en la nota 6. Lo anterior indica que una muestra puede requerir muchas pruebas antes de lograr el requisito del 4 %. Una técnica que ayuda a alcanzar la saturación, consiste en llenar el cilindro graduado casi en su totalidad y ajustar el flujo de entrada de agua de manera que sea igual al de salida, permitiendo que el agua fluya durante cinco a diez minutos y comenzando en seguida la primera prueba. Cuando se requieren más de 3 pruebas, la verificación del 4 % sólo se realiza sobre las 3 últimas.
- Nota 5: Si luego de la tercera prueba, la operación dura más de diez minutos, el encargado del ensayo debe usar su criterio y considerar el final de ella, usando para el cálculo de la permeabilidad el menor tiempo registrado.*
- Nota 6: Si el tiempo es cercano a 30 minutos durante la primera prueba sin que el nivel de agua alcance la marca inferior de cronometraje, el encargado puede marcar el nivel alcanzado a los 30 minutos, registrando esta marca y el tiempo transcurrido. Luego se realiza una segunda prueba y se registran la marca y el tiempo, usando la marca y tiempo que den lugar al mayor valor de permeabilidad.*
- 6.9** Se toma una muestra de agua del vaso de precipitados y se determina su temperatura con aproximación de 0.1° C (0.2° F).
- 6.10** Alcanzada la saturación y registrados el tiempo y la marca, se libera la presión del recipiente y se evacúa el espacio tubo sellante/membrana. Se remueven las abrazaderas, la tapa superior y la muestra de ensayo. Si se ha usado el

agente sellante, se debe remover todo resto de él que haya quedado adherido a la membrana de látex.

7 CÁLCULOS

7.1 El coeficiente de permeabilidad se determina con la ecuación:

$$k = \frac{aL}{At} \times \ln \frac{h_1}{h_2} \times t_c \quad [805.1]$$

- Donde: k: Coeficiente de permeabilidad, cm/s;
- a: Área interior del cilindro graduado, cm²;
- L: Espesor promedio de la muestra de ensayo, cm;
- A: Sección transversal de la muestra de ensayo, cm²;
- t: Tiempo transcurrido entre las alturas h₁ y h₂, s;
- h₁: Nivel inicial del agua, cm (Figura 805 - 1);
- h₂: Nivel final del agua, cm (Figura 805 - 1);
- t_c: Factor de corrección de la viscosidad del agua por la temperatura (Tabla 805 - 1). La temperatura de referencia es 20° C.

Nota 7: Es recomendable determinar un juego de valores dimensionales constantes para cada permeámetro. Las distancias entre la parte inferior de la tapa superior y las marcas superior e inferior de cronometraje son constantes. Sumando estas distancias al espesor promedio de la probeta, se obtienen los valores h₁ y h₂. Si el ensayo se detiene en un punto diferente a la marca inferior de cronometraje, entonces se añade la diferencia al valor h₂ para llegar al nuevo h₂ para esta muestra. Esto resulta útil para elaborar una hoja electrónica que permita el cálculo automático de estos valores y de la permeabilidad.

7.2 Se calcula el coeficiente de permeabilidad para cada muestra a partir del tiempo y de la marca inferior de cronometraje registradas según se indica en el numeral 6.8. El resultado se debe informar en unidades enteras de cm/s × 10⁻⁵.

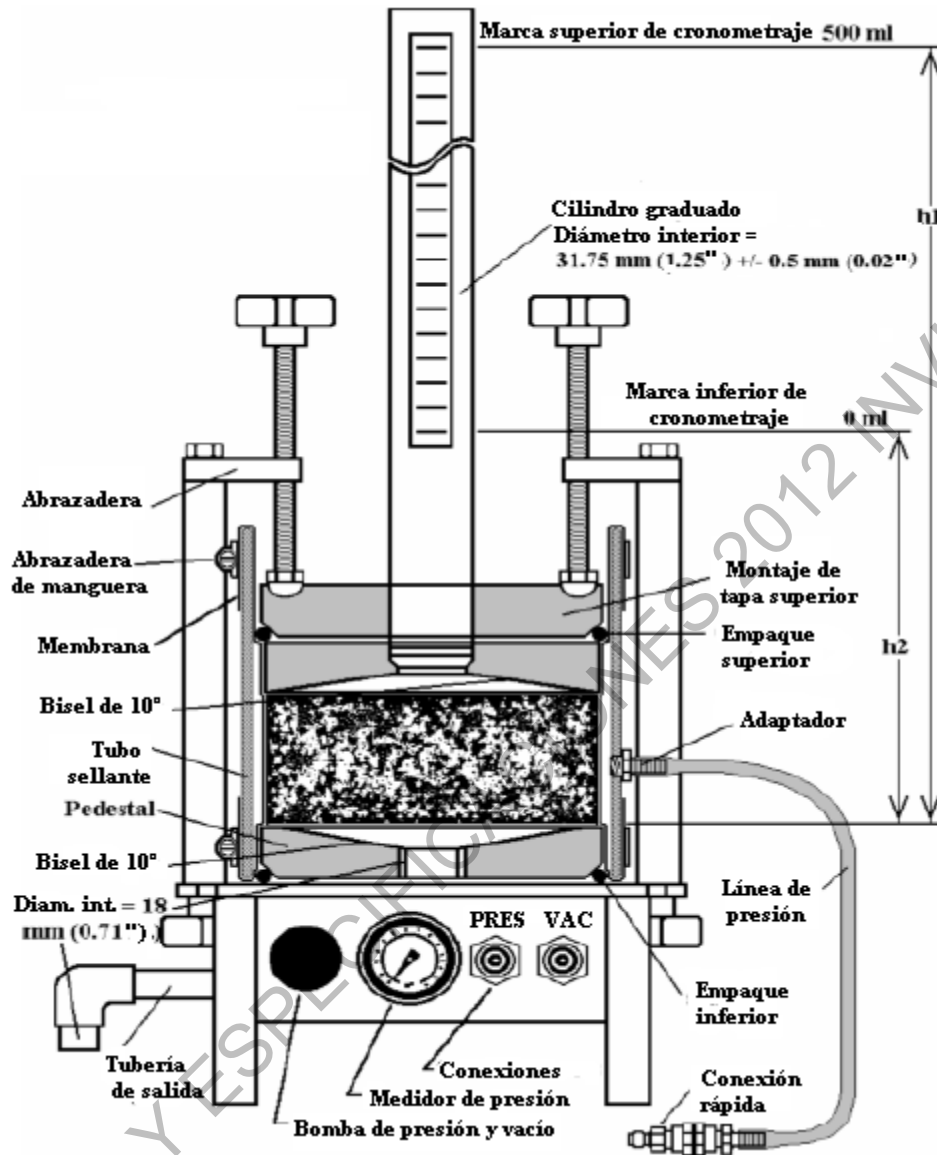


Figura 805 - 1. Esquema del permeámetro

Tabla 805 - 1. Factores de corrección de la viscosidad del agua por efecto de la temperatura

° C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
10	1.30	1.30	1.29	1.29	1.29	1.28	1.28	1.27	1.27	1.27
11	1.26	1.26	1.26	1.25	1.25	1.25	1.24	1.24	1.24	1.23
12	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22	1.21	1.21	1.21	1.20	1.20
13	1.20	1.19	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18	1.17	1.17	1.17
14	1.16	1.16	1.16	1.16	1.15	1.15	1.15	1.14	1.14	1.14
15	1.13	1.13	1.13	1.13	1.12	1.12	1.12	1.11	1.11	1.11
16	1.10	1.10	1.10	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09	1.08	1.08
17	1.08	1.07	1.07	1.07	1.07	1.06	1.06	1.06	1.06	1.05
18	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03	1.03
19	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00
20	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
21	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
22	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93
23	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91
24	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89
25	0.89	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.87	0.87
26	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.85
27	0.85	0.85	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
28	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82
29	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80
30	0.80	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78
31	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77
32	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.75
33	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
34	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.72
35	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.71	0.71	0.71	0.71

8 NORMAS DE REFERENCIA

Florida DOT FM 5-565

CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD IN-SITU DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO

INV E – 806 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma presenta dos ecuaciones para determinar, de manera aproximada, la permeabilidad de una mezcla de concreto asfáltico compactada en el terreno, a partir de los resultados de ensayos rutinarios de contenido de vacíos y de granulometría.

Nota 1: El procedimiento de cálculo presentado en esta norma proviene de un trabajo presentado por F. Sánchez en la revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería, titulado "Sobre la permeabilidad de las mezclas asfálticas densas".

2 PROCEDIMIENTO

- 2.1** Se halla el contenido de vacíos con aire de la mezcla asfáltica compactada, de acuerdo con la norma INV E-736. La densidad de la mezcla compactada debe ser determinada mediante las normas INV E-733 o INV E-802.
- 2.2** Se determina la granulometría representativa de los agregados que componen la mezcla en el sitio donde se midieron sus vacíos con aire, según el procedimiento indicado en la norma INV E-782.

3 CÁLCULOS

- 3.1** Si la densidad de la mezcla compactada fue obtenida mediante el procedimiento descrito en la norma INV E-733, la permeabilidad se calcula con la ecuación:

$$k \text{ (cm/s)} = \frac{2.223 \times 10^{-8} \times (VA)^{6.207} \times P_{9.5}^{2.326} \times P_{0.3}^{2.311}}{P_{2.36}^{3.053} \times P_{0.6}^{1.512} \times P_{0.075}^{2.044}} \quad [806.1]$$

Donde: VA: Vacíos con aire obtenidos a partir de la prueba INV E-736, %;

P_{9.5}: Pasa tamiz de 9.5 mm de abertura (3/8"), %;

P_{2.36}: Pasa tamiz de 2.36 mm de abertura (No. 8), %;

P_{0.6}: Pasa tamiz de 600 μm de abertura (No. 30), %;

P_{0.3}: Pasa tamiz de 300 μm de abertura (No. 50), %;

P_{0.075}: Pasa tamiz de 75 μm de abertura (No. 200), %.

- 3.2** Si la densidad de la mezcla compactada fue determinada mediante el procedimiento descrito en la norma INV E-802, la ecuación por utilizar será la siguiente:

$$k \text{ (cm/s)} = \frac{2.22 \times 10^{-8} \times (\text{VA})^{5.85} \times P_{9.5}^{1.404} \times P_{0.3}^{2.794}}{P_{2.36}^{1.793} \times P_{0.6}^{1.925} \times P_{0.075}^{2.179}} \quad [806.2]$$

- 3.3** Las ecuaciones de los numerales 3.1 y 3.2 se obtuvieron efectuando correlaciones con coeficientes de permeabilidad determinados en el laboratorio sobre núcleos extraídos de capas asfálticas densas compactadas en el terreno, empleando el procedimiento descrito en la Norma INV E-805.

4 PRECISIÓN

- 4.1** La ecuación incluida en el numeral 3.1 presentó un coeficiente de correlación, R², de 0.773, mientras que el R² de la ecuación del numeral 3.2 fue 0.747.

5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

FERNANDO SÁNCHEZ SABOGAL, "Sobre la permeabilidad de las mezclas asfálticas densas", Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Volumen XXI, números 85 y 86, 2012.

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COMPACTABILIDAD DE UNA MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO

INV E – 807 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento para determinar una propiedad intrínseca de las mezclas asfálticas, denominada índice de compactabilidad.

Nota 1: El procedimiento descrito en esta norma proviene de un trabajo presentado por Celestino Ruiz y Boris Dorfman en la Decimoquinta Reunión Anual del Asfalto, titulado "Sobre la medida de la compactación y de la compactabilidad de las mezclas asfálticas de tipo superior" y de otro presentado por Roberto Santángelo en la Vigésima Reunión Anual del Asfalto, titulado "Síntesis de una experiencia sobre compactación de mezclas asfálticas en general. Fundamentos para actualizar las especificaciones".

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Empleando los elementos requeridos para la elaboración de muestras de ensayo con el equipo Marshall, se compactan probetas con el porcentaje óptimo de asfalto empleando dos energías diferentes, probetas a las cuales se les determinan sus respectivas densidades. Con los resultados obtenidos se calcula el "índice de compactabilidad" de la mezcla, definido como el coeficiente angular de la recta que relaciona el aumento de densidad con el incremento del trabajo de compactación.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** El índice de compactabilidad es una característica propia de una mezcla asfáltica que depende de su composición. Como la densidad lograda por un proceso de compactación depende tanto de la compactabilidad de la mezcla como de la eficiencia del proceso aplicado, ello impone expresar y medir ambos de manera separada.

4 EQUIPO

- 4.1** *Equipo para la elaboración de las probetas:*

- 4.1.1** Se debe disponer de los elementos descritos en los numerales 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.13 de la norma INV E-748 (Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall).

Nota 1: Si se requiere preparar probetas de 152.4 mm (6") de diámetro, se necesitarán los elementos mencionados en los numerales 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.11, 3.12, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 y 3.19 de la norma INV E-800 [Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall sobre probetas de 152.4 milímetros (6") de diámetro].

- 4.2** *Equipo para la determinación de la densidad de las probetas:*

- 4.2.1** Según el procedimiento que se elija para determinar la densidad de las probetas, se requerirá el equipo indicado en las Secciones 7 o 10 de la norma INV E-733, en las Secciones 6 o 9 de la norma INV E-734, o en la Sección 3 de la norma INV E-802.

5 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

- 5.1** *Número de probetas* – Se deberán preparar seis (6) probetas con la fórmula de trabajo determinada en el diseño de la mezcla.
- 5.2** *Cantidad de materiales* – Si las probetas van a ser de 101.6 mm (4") de diámetro, la elaboración de cada una requiere aproximadamente 1200 g de ingredientes; por lo tanto, será necesario disponer de unos 7.5 kg (16.5 lb) de agregados y alrededor de 500 ml de cemento asfáltico. Si las probetas van a ser de 152.4 mm (6") de diámetro, la cantidad necesaria de ingredientes para la elaboración de cada probeta es de unos 4050 g, por lo que habrá que disponer del orden de 25 kg (55 lb) de agregados y de, aproximadamente, 1 ½ litros de cemento asfáltico.
- 5.3** *Preparación de los agregados* – Los agregados se deberán preparar según se describe en el numeral 5.3 de la norma INV E-748 o en el numeral 4.3 de la norma INV E-800, según corresponda.
- 5.4** *Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación* – La temperatura a la cual se debe calentar el cemento asfáltico para las mezclas, será la requerida para producir una viscosidad de 0.17 ± 0.02 Pa·s. La temperatura a la cual se debe calentar el cemento asfáltico para que tenga una viscosidad de 0.28 ± 0.03 Pa·s, será la temperatura de compactación.
- 5.5** *Preparación de las mezclas* – Los mezclas se deberán preparar como se indica en el numeral 5.5 de la norma INV E-748 o en el numeral 4.5 de la norma INV E-800, según el tamaño de las probetas por elaborar.

5.6 Compactación de las probetas:

5.6.1 *Probetas de 101.6 mm (4") de diámetro* – Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de molde, collar, placa de base y la base del martillo de compactación, se limpian y calientan en un baño de agua o en el horno a una temperatura comprendida entre 93.3 y 148.9° C (200 y 300° F). Se arma el conjunto del dispositivo para moldear las probetas y se coloca un papel de filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla. A continuación, se coloca toda la mezcla recién fabricada en el molde y se la golpea vigorosamente con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior. Se quita el collar y se alisa la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación se deberá hallar dentro de los límites de temperatura de compactación establecidos en el numeral 5.4. Se vuelve a poner el collar y se coloca el conjunto en el sujetador sobre el pedestal de compactación. Se coloca otro papel filtro sobre la superficie de la mezcla y se aplica el número de golpes especificado para el diseño de la mezcla, de acuerdo con el tránsito de diseño, empleando para ello el martillo de compactación con una caída libre de 457.2 mm (18"), manteniendo el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación. Se retiran la placa de base y el collar, se colocan en los extremos opuestos del molde; se vuelve a montar éste en el pedestal y se aplica el mismo número de golpes a la cara invertida de la muestra.

5.6.2 *Probetas de 152.4mm (6") de diámetro* – Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de molde, collar, placa de base y la base del martillo de compactación, se limpian y calientan en un baño de agua o en el horno a una temperatura comprendida entre 93.3 y 148.9° C (200 y 300° F). Se arma el conjunto del dispositivo para moldear las probetas y se coloca un papel de filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla. A continuación, se coloca dentro del molde aproximadamente la mitad de la mezcla recién fabricada y se la golpea vigorosamente con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior. En seguida, se coloca la otra mitad de la mezcla en el molde y se repite el procedimiento recién descrito. Se quita el collar y se alisa la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá hallarse dentro de los límites de temperatura de compactación establecidos en el numeral 5.4. Se vuelve a poner el collar y se coloca el conjunto en el sujetador

sobre el pedestal de compactación. Se coloca otro papel filtro sobre la superficie de la mezcla y se aplica el número de golpes especificado para el diseño de la mezcla, de acuerdo con el tránsito de diseño, empleando para ello el martillo de compactación con una caída libre de 457.2 mm (18"), manteniendo el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación. Se retiran la placa de base y el collar, se colocan en los extremos opuestos del molde; se vuelve a montar éste en el pedestal y se aplica el mismo número de golpes a la cara invertida de la muestra.

5.6.3 El procedimiento de compactación descrito en el numeral 5.6.1 o en el numeral 5.6.2 se aplica para la elaboración de tres (3) probetas. Las tres (3) restantes se elaboran de manera similar, salvo que la energía aplicada para su compactación deberá ser del orden del 10 % de la empleada para compactar las probetas del primer grupo.

5.6.4 Después de la compactación de cada muestra, se deja enfriar al aire el molde con sus demás aditamentos y la muestra compactada, antes de que ésta sea extraída del molde para prevenir que sufra alguna deformación. Se pueden utilizar ventiladores de mesa cuando se desee un enfriamiento más rápido, pero en ningún caso agua. Luego del enfriamiento, se retira la placa de base y se saca cuidadosamente cada probeta del molde con ayuda del extractor, se identifica con la crayola y se coloca sobre una superficie plana y lisa, donde se deja en reposo durante una noche, lapso después del cual se pesa.

6 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

6.1 La densidad de las seis (6) probetas debe ser determinada de acuerdo con el procedimiento descrito en cualquiera de la normas INV E-733, INV E-734 o INV E-802.

7 CÁLCULOS

7.1 Se determina el valor promedio de la densidad de las 3 probetas compactadas con la energía de compactación especificada para el diseño de la mezcla (D_M). Si alguna de las densidades individuales se aleja manifiestamente de las otras 2, su valor será descartado para el cálculo del promedio.

7.2 Se determina el valor promedio de la densidad de las 3 probetas compactadas con la menor energía de compactación (D_m). Si alguna de las densidades individuales se aleja manifiestamente de las otras 2, su valor será descartado para el cálculo del promedio.

7.3 Se calcula el Índice de Compactabilidad de la mezcla (I_c), con la fórmula:

$$I_c = \frac{\log \frac{n_M}{n_m}}{D_M - D_m} \quad [807.1]$$

Donde: n_M : Número de golpes por cara aplicado al compactar las probetas de densidad promedio D_M ;

n_m : Número de golpes por cara aplicado al compactar las probetas de densidad promedio D_m ;

7.4 Se calcula el Índice de Compactabilidad Generalizado de la mezcla (I_{cg}), con la fórmula:

$$I_{cg} = I_c \times D_M \quad [807.2]$$

8 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

CELESTINO RUIZ & BORIS DORFMAN, "Sobre la medida de la compactación y de la compactabilidad de las mezclas asfálticas de tipo superior", Memorias de la Decimoquinta Reunión Anual del Asfalto, páginas 189-208, Buenos Aires, 1968

ROBERTO SANTÁNGELO, "Síntesis de una experiencia sobre compactación de mezclas asfálticas en general. Fundamentos para actualizar las especificaciones", Memorias de la Vigésima Reunión Anual del Asfalto, Buenos Aires, 1977

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

RESISTENCIA A LA FATIGA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE FLEXIÓN EN DOS PUNTOS SOBRE PROBETAS TRAPEZOIDALES

INV E – 808 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma indica el procedimiento para caracterizar la fatiga de las mezclas compactadas de concreto asfáltico, mediante ensayos de flexión en dos puntos sobre probetas trapezoidales.
- 1.2** El procedimiento se emplea para clasificar las mezclas asfálticas en función de su resistencia a la fatiga, como una guía relativa a su comportamiento en el pavimento, con el fin de disponer de datos para estimar el comportamiento estructural en la carretera y para juzgar los resultados del ensayo de acuerdo con las especificaciones correspondientes a las mezclas asfálticas.

2 DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

Para los fines de esta norma se aplican los siguientes:

2.1 Generalidades:

- 2.1.1** *Fatiga* – Reducción de la resistencia de un material bajo la aplicación repetida de una carga, cuando se compara con la resistencia bajo una aplicación única de esa carga.
- 2.1.2** *Criterio convencional de falla (desplazamiento constante)* – Número de aplicaciones de carga ($N_{f/50}$) que hacen disminuir el módulo complejo de rigidez hasta la mitad de su valor inicial. Es el criterio de falla que se debe utilizar, salvo que se prescriba taxativamente otra cosa.
- 2.1.3** *Módulo complejo de rigidez inicial* – Módulo de rigidez complejo ($S_{mix,0}$) después de 100 aplicaciones de la carga.
- 2.1.4** *Criterio convencional de fatiga (fuerza constante)* – Cuando el desplazamiento de una probeta bajo una fuerza constante aplicada en

su parte superior ha aumentado al doble del valor que tenía al inicio del ensayo.

2.1.5 *Vida de una probeta hasta la fatiga* – Número de ciclos ($N_{i, j, k}$) correspondiente al criterio de falla convencional, para el conjunto de condiciones de ensayo k (temperatura, frecuencia y modo de aplicación de la carga; por ejemplo, nivel de deflexión constante o nivel de fuerza constante y/o cualquier otra condición de aplicación de carga constante).

2.2 *Definiciones y símbolos específicos al ensayo de flexión en dos puntos sobre probetas trapezoidales:*

2.2.1 *Constante relativa a la deformación máxima (K_ϵ)* – Constante que permite convertir el desplazamiento z de la parte superior de la probeta trapezoidal de dimensiones (B, b, e, h) , a la cual se aplica a un nivel de deformación por flexión ϵ , en una deformación máxima.

Nota 1: K_ϵ y su relación con los parámetros mencionados es la siguiente:

$$K_\epsilon \times z = \epsilon \quad [808.1]$$

$$K_\epsilon = \frac{B^2 \times (B - b)^2}{4b \times h^2 \times \left[(b - B) \times (3B - b) + 2B^2 \times \ln\left(\frac{B}{b}\right) \right]} \quad [808.2]$$

2.2.2 *Ensayo de elemento* – Un ensayo de elemento consiste en:

2.2.2.1 La imposición de un desplazamiento sinusoidal de amplitud constante en la parte superior de una probeta trapezoidal isósceles, como muestra la Figura 808 - 1.

2.2.2.2 Durante la imposición de dicho desplazamiento, se registra el cambio que se produce en la amplitud de la fuerza aplicada en la parte superior, debido a la reacción de la probeta.

2.2.2.3 Medición de la vida de la probeta hasta la fatiga, cuando se alcance el criterio de falla.

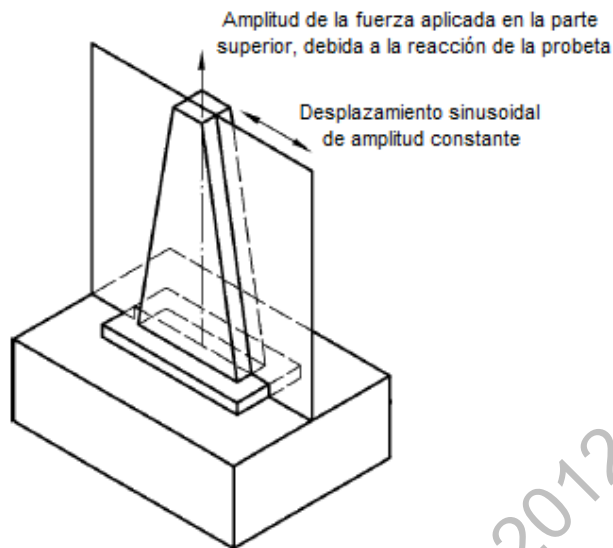


Figura 808 - 1. Desplazamiento sinusoidal en la parte superior de la probeta

2.2.3 Línea de fatiga:

2.2.3.1 Se debe representar la línea de fatiga de los ensayos de elemento de la mezcla, para los diferentes niveles de amplitud del desplazamiento.

2.2.3.2 La línea de fatiga se debe representar en un sistema doble logarítmico como una regresión lineal de la vida hasta la fatiga frente a los niveles de amplitud. Utilizando estos resultados se deben determinar la deformación ϵ_6 correspondiente a un promedio de 10^6 ciclos y la pendiente de la línea de fatiga $1/b$.

2.2.3.3 Se puede calcular, también, la desviación típica de la dispersión residual de la vida hasta la fatiga sN , y el índice de calidad $\Delta\epsilon_6$ relativo a ϵ_6 .

2.2.4 Símbolos – Los símbolos utilizados son los siguientes, aceptándose por convenio que una deformación de 1 microdeformación (1 μ deformación) sea igual a 10^{-6} :

i: Índice de la probeta para un ensayo de elemento (varía de 1 a n);

h_i : Altura, m;

- B_i : Longitud de la base mayor, m;
- b_i : Longitud de la base menor, m;
- e_i : Espesor, m;
- v_i : Contenido de vacíos con aire de la probeta i , %;
- $K_{\epsilon i}$: Constante relativa a la deformación máxima, m^{-1} ;
- z_i : Amplitud del desplazamiento impuesto a la parte superior de la probeta i , m;
- ϵ_i : Deformación relativa máxima de la probeta i , correspondiente al desplazamiento impuesto en la parte superior de la misma;
- N_i : Vida hasta la fatiga convencional de la probeta i ;
- a : Ordenada de la línea de fatiga, de acuerdo con la ecuación: $\log(N) = a + (1/b) \log(\epsilon)$;
- r_2 : Coeficiente de correlación lineal ($\log(N_i)$, $\log(\epsilon_i)$);
- $1/b$: Pendiente de la línea de fatiga;
- $\log(\epsilon)$: Valor medio de $\log(\epsilon_i)$;
- $S_{\log(\epsilon)}$: Desviación estándar de $\log(\epsilon_i)$;
- $S_{\log(N)}$: Desviación estándar de $\log(N_i)$;
- ϵ_6 : Deformación correspondiente a 10^6 ciclos;
- S_N : Estimación de la desviación estándar residual de los logaritmos decimales de las vidas hasta la fatiga;
- $\Delta\epsilon_6$: Índice de calidad del ensayo;
- n : Número de probetas.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Este método caracteriza el comportamiento de mezclas asfálticas sometidas a carga de fatiga, con desplazamiento controlado por flexión en dos puntos, utilizando probetas trapezoidales. El método se puede utilizar para mezclas asfálticas con agregados cuyo tamaño máximo nominal sea hasta 19.5 mm ($\frac{3}{4}$ "), sobre probetas preparadas en el laboratorio u obtenidas de capas de pavimento cuyo espesor sea de 40 mm (1.6") como mínimo. Para mezclas con agregados de tamaño máximo nominal comprendido entre 20 mm (0.8") y 40 mm (1.6"), el ensayo se puede realizar utilizando el mismo principio, pero adaptando los tamaños de las probetas.
- 3.2** Para una frecuencia de desplazamiento sinusoidal dada, el método se debe realizar sobre varios elementos ensayados en una atmósfera ventilada y a una temperatura controlada.

4 EQUIPO

- 4.1** *Máquina de ensayo* – Debe consistir en un sistema que permita aplicar un desplazamiento sinusoidal a la parte superior de la probeta con una frecuencia fija. Durante el ensayo, el desplazamiento debe variar menos de $0.1\mu\text{m}/\text{N}$. La máquina de ensayo debe poder aplicar la carga a las probetas con una frecuencia de $25 \pm 1\text{Hz}$, y a otras frecuencias, con una tolerancia de $\pm 4\%$ si se necesita con un propósito especial.

Nota 2: Si se utiliza una frecuencia diferente de 25 Hz, esta circunstancia se deberá expresar en el informe de ensayo. Es posible que los resultados obtenidos en ensayos realizados a frecuencias diferentes no sean directamente comparables.

- 4.2** *Cámara termostática* –Ventilada y capaz de mantener la temperatura de la base metálica de las probetas y de fijar la temperatura media de la corriente de aire a decenas de milímetros de las probetas, con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$ durante todo el ensayo.

- 4.3** *Equipo de medición:*

- 4.3.1** *Fuerza* – El equipo para medir la fuerza en la parte superior de las probetas debe tener una precisión de $\pm 2\%$ para valores iguales o mayores a 200 N (45 lbf), y una precisión de $\pm 2\text{N}$ para valores de fuerza menores de 200 N (45 lbf).

4.3.2 Desplazamiento – El equipo para medir los desplazamientos en la parte superior de las probetas, utilizando sensores, debe ser capaz de medir por un método estático, con una precisión mínima de $\pm 1,5 \times 10^{-6}$ m. Si la calibración se realiza mediante un método estático, la indicación del desplazamiento en el procedimiento dinámico debe ser igual que en el procedimiento estático menos 2 %.

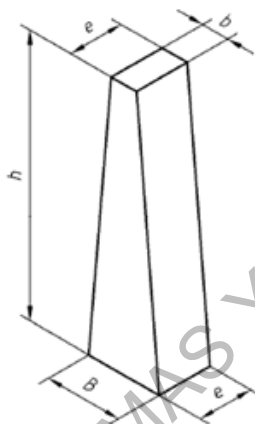
4.4 Sierra para el corte de las probetas.

4.5 Elementos accesorios.

5 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

5.1 Aserrado y almacenamiento:

5.1.1 Las probetas deben tener forma trapezoidal isósceles, de espesor constante, como se muestra en la Figura 808 - 2, con las dimensiones indicadas en la misma figura, las cuales dependen del tamaño máximo nominal (D) del agregado pétreo.



Dimensiones de las probetas

Dimensiones de las probetas	Tipo de mezcla		
	$D \leq 14$ mm	$14 < D \leq 20$ mm	$20 < D \leq 40$ mm
<i>B</i>	56 ± 1 mm	70 ± 1 mm	70 ± 1 mm
<i>b</i>	25 ± 1 mm	25 ± 1 mm	25 ± 1 mm
<i>e</i>	25 ± 1 mm	25 ± 1 mm	50 ± 1 mm
<i>h</i>	250 ± 1 mm	250 ± 1 mm	250 ± 1 mm

Figura 808 - 2. Geometría de las probetas

5.1.2 Las probetas que se sometan a ensayo se deben obtener mediante aserrado, de placas preparadas en el laboratorio, de placas tomadas de capas del pavimento o de núcleos con un diámetro mínimo de 200 mm (0.80") tomados del pavimento. Las placas deben tener dimensiones adecuadas (Ver tabla de la Figura 808 - 2) y su espesor no debe ser menor de 40 mm (1.58").

5.1.3 Las probetas se deben almacenar sobre una superficie plana, protegidas del sol y a una temperatura menor de 30° C (86° F), en condiciones que eviten su distorsión.

5.2 *Características de las probetas:*

5.2.1 Las probetas se deben medir con una precisión de 0.1 mm. La desviación estándar sobre v_i % no debe ser mayor de 0.7 %.

5.3 *Verificación del empotramiento:*

5.3.1 Las probetas se deben empotrar de manera que se cumpla con el procedimiento de verificación del empotramiento. Este procedimiento se debe realizar utilizando una probeta fabricada con aleación de aluminio del tipo EN AW 2017T4, con una sección rectangular de 13.5 ± 1 mm (0.53 ± 0.04 ") por 30 ± 1 mm (1.18 ± 0.04 "), y una longitud mínima de 220 mm (8.66") (la Figura 808 - 3 muestra un ejemplo).

5.3.2 Se fija la probeta metálica sobre la máquina de ensayo.

5.3.3 Se aplica una fuerza de, aproximadamente, 200 N (45 lbf) sobre la parte superior de la probeta y se registran el desplazamiento y la deformación.

5.3.4 La probeta metálica se debe fijar sobre un bastidor de acero en forma de L, de más de 80 mm (3.15") \times 80 mm (3.15") de sección. Sobre la parte superior de la probeta se aplica una fuerza, de manera que la deformación medida sea igual a la deformación registrada en la máquina de ensayo, con una tolerancia de ± 1 %. El desplazamiento no debe diferir en más de 5 % (Ver ejemplo del equipo a utilizar en la Figura 808 - 4).

Nota 3: Se pueden emplear otros procedimientos, siempre que proporcionen los mismos resultados.

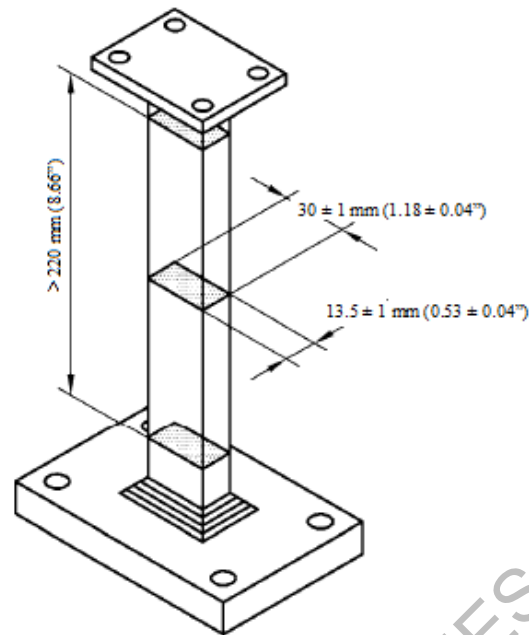


Figura 808 - 3. Probeta de aleación de aluminio

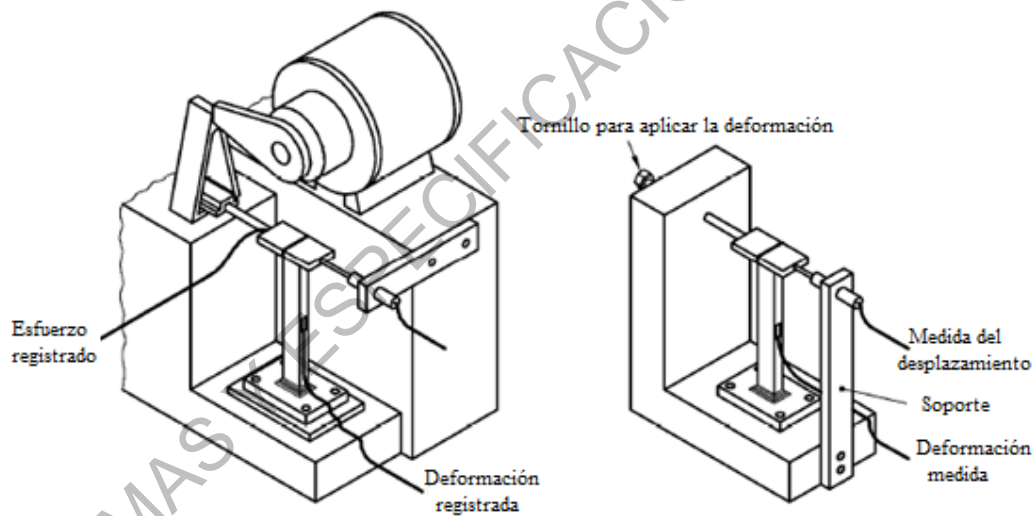


Figura 808 - 4. Equipo para verificar el procedimiento de empotramiento

5.4 *Estabilización de las probetas* – Las probetas se deben ensayar cuando hayan transcurrido entre 2 y 8 semanas desde la fecha de corte.

5.5 *Encolado de los extremos:*

5.5.1 Antes de instalarla en la máquina de ensayo, cada probeta se debe encolar por su base más grande en la acanaladura de profundidad

aproximada de 2 mm (0.08") de una base metálica que tenga un espesor mínimo de 20 mm (0.80") (Figura 808 - 5). Esta operación se debe realizar sobre una base de encolado que permita el posicionamiento de la probeta sobre la base en la que se va a asegurar. La película de cola debe ser tan fina como sea posible. Se pueden utilizar procedimientos de instalación alternativos, con la condición de que se demuestre que no se producen movimientos en la base de la probeta.

Nota 4: Una tapa encolada en la parte superior de la probeta permite que se aplique el desplazamiento.

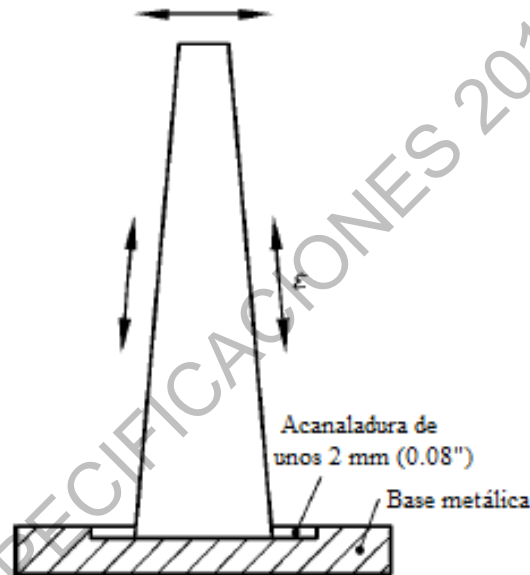


Figura 808 - 5. Fijación de la probeta

6 PROCEDIMIENTO

6.1 Preparación del equipo de ensayo:

- 6.1.1** La cámara termostática y el equipo de aplicación de la carga se deben calentar hasta que alcancen la temperatura de ensayo. Para cada probeta i , se debe calcular el desplazamiento deseado de su parte superior, aplicando la ecuación

$$z_i = \frac{\epsilon_i}{K_i} \quad [808.3]$$

6.1.2 La probeta a ensayar se instala en la máquina de ensayo. El ajuste del desplazamiento debe ser de $\pm 5\mu\text{m}$. Si se utiliza una probeta metálica para ajustar el desplazamiento, ésta debe ser del mismo tipo que la probeta metálica descrita en el numeral 5.3.1. El ensayo de fatiga no debe comenzar hasta que se haya verificado que la probeta ha alcanzado la temperatura de ensayo (si fuese necesario, se utiliza una probeta patrón).

Nota 5: Las probetas no se deben haber sometido a esfuerzos previos, ya que se podrían modificar los resultados.

6.2 Realización del ensayo de fatiga:

6.2.1 Se somete la probeta i a un movimiento sinusoidal en su parte superior con una amplitud de desplazamiento impuesto de $\pm 5\mu\text{m}$, hasta que se haya alcanzado el criterio de falla. Entre 100 y 500 ciclos, se deben registrar las fuerzas de reacción con una tolerancia de $\pm 2\%$ y se debe calcular el valor medio de la fuerza de reacción. Para este ensayo de elemento, se debe medir el desplazamiento z_i y se debe calcular ϵ_i .

6.2.2 El número de ciclos N_i hasta alcanzar el criterio de falla, se debe medir con una precisión de 300 ciclos.

Nota 6: El valor medio de la fuerza de reacción entre 100 y 500 ciclos, se define como el valor inicial de la fuerza de reacción.

Nota 7: Las cargas y las frecuencias de ensayo se deben seleccionar de manera que los resultados se calculen por interpolación y no por extrapolación.

6.3 Elección de la deformación:

6.3.1 Las deformaciones ϵ_i se deben seleccionar de manera que:

- Los valores estén espaciados de forma aproximadamente regular sobre una escala logarítmica, o que;
- Hayan al menos tres niveles de deformación con un número homogéneo de probetas (1 o 2 probetas) en cada nivel. Los valores medios deben estar espaciados de forma aproximadamente regular sobre una escala logarítmica.

6.3.2 Las deformaciones deben ser tales que, al menos, un tercio de los ensayos de elemento proporcione resultados con $N \leq 10^6$ y, al menos, otro tercio de los ensayos de elemento proporcione resultados con $N \geq$

10^6 . Si ello no ocurre, se deben realizar ensayos de elemento adicionales.

6.4 Número de ensayos de elemento:

6.4.1 Para determinar la línea de fatiga se deben realizar, al menos, 18 ensayos de elemento.

7 CÁLCULOS

7.1 Sobre la base de que los resultados representan la vida útil N_i para las deformaciones ϵ_i elegidas, se debe representar gráficamente la línea de fatiga efectuando una regresión lineal entre los logaritmos decimales de N_i y los logaritmos decimales de ϵ_i , de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\log(N) = a + \left(\frac{1}{b}\right) \times \log(\epsilon) \quad [808.4]$$

7.1.1 La Figura 808 - 6 muestra un ejemplo de una línea de fatiga, donde los ejes están colocados de manera inversa a como a menudo se muestran, para que la pendiente sea consistente con lo definido por el ensayo.

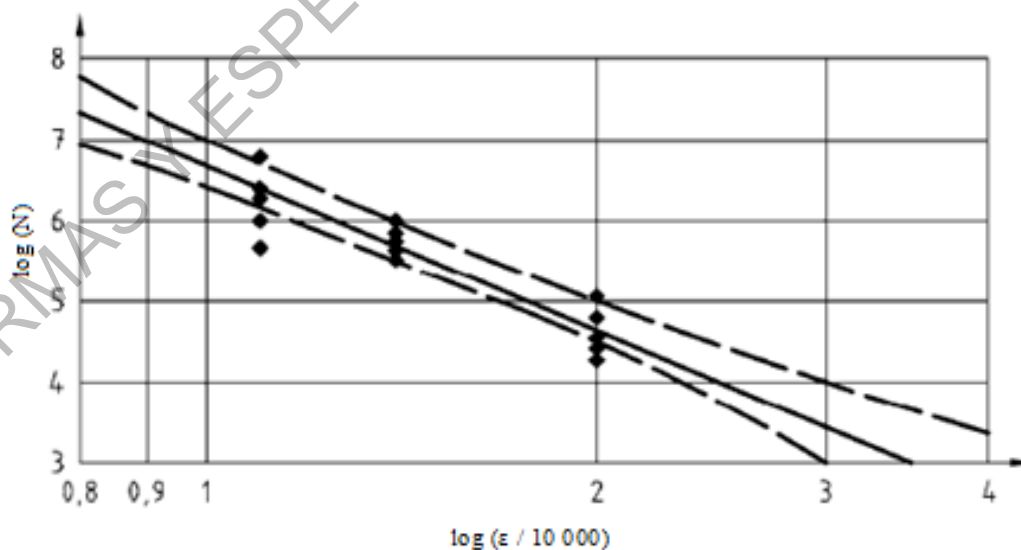


Figura 808 - 6. Ejemplo de una línea de fatiga

7.2 Cálculos para n resultados:**7.2.1** Estimación de la deformación para 10^6 ciclos:

$$\epsilon_6 = 10^{b \times (6 - a)} \quad [808.5]$$

7.2.2 Estimación de la desviación residual típica S_N :

$$S_N = S_{\log(N)} \times \sqrt{\frac{(1 - r_2^2) \times (n - 1)}{(n - 2)}} \quad [808.6]$$

7.2.3 Índice de calidad $\Delta\epsilon_6$:

$$\Delta\epsilon_6 = 0.5 \epsilon_6 \times (10^{-2b \times S_o} - 10^{2b \times S_o}) \quad [808.7]$$

Donde:

$$S_o = S_N \sqrt{\left[\frac{1}{n} + \frac{(\log(\epsilon_6) - \log(\epsilon))^2}{(n - 1) \times S_{\log(\epsilon)}^2} \right]} \quad [808.8]$$

8 INFORME**8.1** El informe de ensayo deberá incluir:**8.1.1** Identificación de la mezcla.**8.1.2** Fecha de ejecución del ensayo.**8.1.3** Contenido promedio de vacíos con aire en la probeta (norma INV E-736).**8.1.4** Método de fabricación o de toma de la muestra.**8.1.5** Condiciones del ensayo de fatiga (temperatura, frecuencia, etc.).**8.1.6** Criterio de falla elegido (en caso de que no sea el criterio de falla convencional).

- 8.1.7 Número medio de ciclos y la desviación estándar obtenida para cada nivel de deformación o de esfuerzo.
- 8.1.8 Representación de la línea de fatiga.
- 8.1.9 Detalles no proporcionados por esta norma.
- 8.1.10 Incidencias que hayan podido afectar los resultados.
- 8.1.11 ϵ_6 .
- 8.1.12 $\Delta\epsilon_6$.
- 8.1.13 La pendiente l/b .
- 8.1.14 La estimación de la desviación estándar residual S_N .
- 8.1.15 El coeficiente de correlación de la línea de fatiga r^2 .

9 PRECISIÓN

9.1 La reproducibilidad y la repetibilidad para el método de ensayo en dos puntos sobre probetas isósceles, fueron determinadas de acuerdo con la Norma Internacional ISO 5725-2 en 11 laboratorios distintos de 3 países europeos, utilizando equipos diferentes. El experimento se realizó en el año 2001, sobre un concreto asfáltico AC 14 a 10° C y a una frecuencia de 25 Hz.

9.1.1 Resultados relativos a ϵ_6 :

- Repetibilidad, desviación estándar $\sigma_r = 1.43 \mu\text{m}$;
- Repetibilidad, límite del 95%, $r = 4.2 \mu\text{m}$;
- Reproducibilidad, desviación estándar $\sigma_r = 1.43 \mu\text{m}$;
- Reproducibilidad, límite del 95%, $R = 8.3 \mu\text{m}$.

9.1.2 Resultados relativos a l/b :

- Repetibilidad, desviación estándar $\sigma_r = 0.0213$;
- Repetibilidad, límite del 95%, $r = 0.0602$;

- Reproducibilidad, desviación típica $\sigma = 0.0227$;
- Reproducibilidad, límite del 95%, $R = 0.0642$.

10 NORMAS DE REFERENCIA

UNE-EN 12697-24:2006+A1

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DENSIDAD DE RECHAZO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL MÉTODO MARSHALL

INV E – 809 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un procedimiento para determinar la máxima densidad que alcanza una mezcla asfáltica al ser sometida un proceso extendido de compactación con el equipo Marshall.
- 1.2 El método coadyuva en el diseño de mezclas que retengan un mínimo de vacíos con aire a causa de la compactación secundaria producida por el tránsito automotor.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Se elaboran mezclas de prueba con diferentes contenidos de asfalto alrededor de aquel que da lugar a un volumen de vacíos con aire de 6 % en el diseño de la mezcla por el método Marshall. Con estas mezclas se fabrican probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2½") de espesor, siguiendo el procedimiento descrito en la norma INV E-748, pero empleando un proceso extendido de compactación, consistente en la aplicación de un número creciente de golpes por cara, hasta que no se obtengan incrementos posteriores de densidad.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 El procedimiento de la densidad de rechazo se usa como suplemento al diseño de mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall.
- 3.2 El diseño convencional de la mezcla se puede complementar adoptando como contenido óptimo de ligante aquel que, dando lugar al cumplimiento de los requisitos corrientes del método Marshall, produce un mínimo de 3 % de vacíos con aire a la densidad de rechazo.

4 EQUIPO

- 4.1** Elementos requeridos para la elaboración y la compactación de mezclas asfálticas – Los indicados en la norma INV E-748.
- 4.2** *Elementos requeridos para determinar la densidad de las probetas* – Los indicados en las normas INV E-733, INV E-734 o INV E-802, según la que se desee aplicar.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Una vez efectuados los cálculos del diseño convencional de la mezcla asfáltica por el método Marshall con probetas compactadas con 75 golpes por cara, se determina el porcentaje de asfalto que ha dado lugar a 6 % de vacíos con aire, en la gráfica que relaciona estos parámetros.
- 5.2** Se preparan mezclas adicionales, con 3 contenidos de asfalto: una con el que dio lugar a 6 % de vacíos con aire y las otras dos con porcentajes 0.5 % por encima y 0.5 % por debajo del anterior.
- 5.3** Usando el contenido de asfalto más bajo, se compactan por duplicado, con el equipo y el procedimiento Marshall, probetas con un número creciente de golpes por cara: por ejemplo 200, 300, 400, etc., hasta que no se logre ningún incremento en la densidad. Generalmente, resulta suficiente un máximo de 500 golpes/cara.

Nota 1: Las mezclas se deben elaborar y compactar dentro de los rangos de temperatura indicados en el numeral 5.4 de la norma INV E-748. Debido al elevado número de golpes por aplicar a cada probeta, es necesario tomar las medidas necesarias para evitar que la temperatura de la mezcla sea inferior a la exigida por la norma durante la compactación.

Nota 2: El número de golpes por cara requerido para producir la condición de máxima densidad (densidad de rechazo) varía de una mezcla a otra.

Nota 3: La compactación excesiva mediante golpes puede producir la rotura de las partículas del agregado. Si ello ocurre de una manera evidente, el procedimiento descrito en esta norma resulta inaplicable, debiendo recurrirse a un sistema de compactación mediante martillo vibratorio.

- 5.4** A las mezclas elaboradas con los otros dos contenidos de asfalto se les aplica el mismo procedimiento indicado en el numeral 5.3.

6 CÁLCULOS

- 6.1** Se determinan las densidades de todas las mezclas compactadas, mediante alguna de las normas INV E-733, INV E-734 o INV E-802 y, a partir de ellas, se calcula su respectivo contenido de vacíos con aire, de acuerdo con la norma INV E-736.

Nota 4: A cada juego de 2 probetas se le debe determinar el contenido medio de vacíos con aire.

- 6.2** Para cada uno de los 3 contenidos de asfalto, se dibuja una curva que relacione el número de golpes por cara aplicado durante la compactación con el porcentaje obtenido de vacíos con aire (ver ejemplo en la Figura 809 - 1). El contenido mínimo de vacíos con aire para cada porcentaje de asfalto corresponde a un estado de máxima densidad que recibe el nombre de densidad de rechazo.

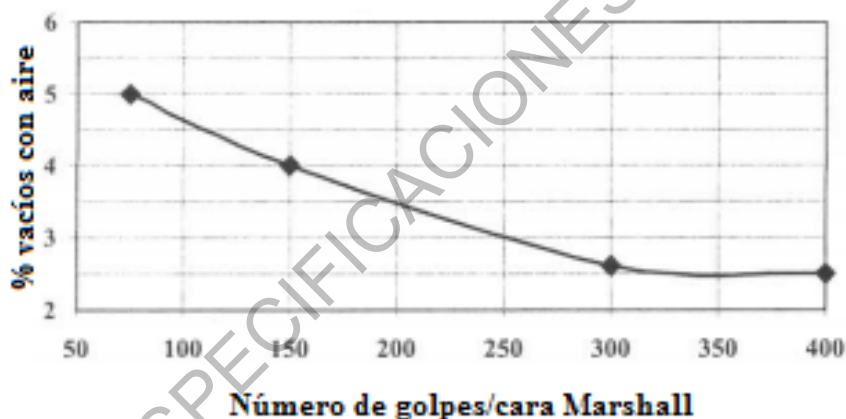


Figura 809 - 1. Ejemplo de la relación energía de compactación – vacíos con aire para un determinado contenido de asfalto

- 6.3** Se dibuja una curva que relacione los vacíos con aire que presenta la mezcla a la densidad de rechazo, con el porcentaje de asfalto. En esta gráfica se determina el contenido de asfalto que da lugar a 3% de vacíos con aire a la densidad de rechazo (ver ejemplo en la Figura 809 - 2). Este valor se debe determinar por interpolación y no por extrapolación. De ser necesario, se deberán elaborar probetas con contenidos de ligante superiores o inferiores a los indicados en el numeral 5.2, según corresponda.
- 6.4** Si el diseño de la mezcla por el método Marshall incluye la exigencia de la densidad de rechazo, se verifican los datos del diseño para asegurar que con el contenido de ligante que ha dado lugar a 3 % de vacíos con aire a la densidad de rechazo, se cumplen todas las exigencias del método. El contenido de

ligante que se elija como óptimo deberá satisfacer los requisitos generales del método y, a la vez, asegurar un mínimo de 3 % de vacíos con aire a la densidad de rechazo.

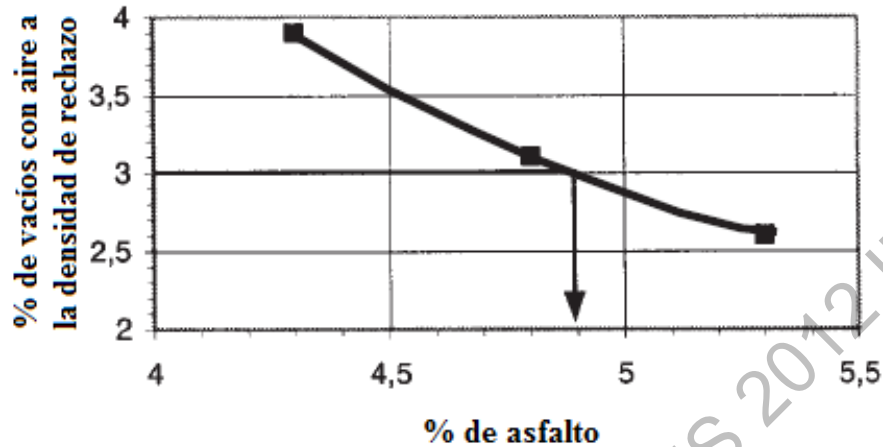


Figura 809 - 2. Ejemplo de la relación porcentaje – vacíos con aire a la densidad de rechazo

7 INFORME

7.1 El informe debe incluir lo siguiente:

- 7.1.1 Tipo e identificación de la mezcla ensayada.
- 7.1.2 Contenido de vacíos a la densidad de rechazo para todas las muestras.
- 7.1.3 Contenido estimado de asfalto que da lugar a 3 % de vacíos con aire a la densidad de rechazo.
- 7.1.4 Descripción de las desviaciones con respecto a este procedimiento.

8 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

TRL Limited, "Overseas Road Note 19. A guide to the design of hot mix asphalt in tropical and sub-tropical countries", Crowthorne, Berkshire, United Kingdom, 2002

TRL Limited, "Overseas Road Note 31. A guide to the structural design of bitumen surfaced roads in tropical and sub-tropical countries", Crowthorne, Berkshire, United Kingdom, 1993

Ministry of Works, The United Republic of Tanzania, "Laboratory Testing Manual 2000" Test 3.20 (Refusal density mix design), Dar es Salaam, June 2000

ANEXO A (Informativo)

EJEMPLO DE MEZCLA DISEÑADA A LA DENSIDAD DE RECHAZO

- A.1** En un diseño Marshall, el contenido de asfalto correspondiente a 6 % de vacíos con aire es 4.8 %. De acuerdo con el procedimiento descrito en esta norma, se prepararon muestras con 4.3, 4.8 y 5.3 % y se compactaron hasta la densidad de rechazo. La Figura 809 - 2 muestra los contenidos de vacíos obtenidos a la densidad de rechazo para los tres porcentajes de asfalto utilizados.
- A.2** Como lo muestra la Figura 809 - 2, el contenido de asfalto que corresponde a 3 % de vacíos con aire es 4.9 %. Este es el contenido máximo de asfalto que puede tener la mezcla, si se diseña de acuerdo con el procedimiento de la densidad de rechazo. Con este porcentaje se deben verificar los resultados del diseño Marshall.
- A.3** El porcentaje óptimo finalmente escogido deberá cumplir los requisitos regulares del método de diseño y dar lugar a un contenido de vacíos de, por lo menos, 3 % a la densidad de rechazo.

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

SECADO RÁPIDO DE PROBETAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO UN APARATO DE SECADO AL VACÍO

INV E – 810 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un procedimiento para secar probetas compactadas de mezcla asfáltica, empleando un aparato de secado al vacío.
- 1.2 Las muestras secadas mediante este procedimiento se mantienen a temperatura ambiente, lo que ayuda a mantener su integridad durante el proceso de secado.
- 1.3 El método es aplicable tanto a probetas cilíndricas y prismáticas compactadas en el laboratorio, como a núcleos tomados de capas de pavimentos.
- 1.4 El procedimiento descrito en esta norma se puede aplicar, también, a otros materiales de construcción como concreto, agregados pétreos, suelos y mezclas asfálticas sueltas.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Se coloca una probeta asfáltica dentro de una cámara de vacío que, después de ser cerrada, inicia el secado, deteniéndose automáticamente cuando la muestra está seca.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 La masa de muestras secas es un parámetro relevante para la determinación precisa de la densidad y para otras pruebas en la construcción vial. El secado al vacío a temperatura ambiente tiene la ventaja sobre otros métodos, de asegurar la integridad y preservar las características de las muestras ensayadas.
- 3.2 Esta norma se refiere al secado de probetas asfálticas en una cámara de vacío que es capaz de conservarlas a temperatura ambiente. Una bomba de vacío reduce la presión dentro de la cámara, permitiendo que el agua se evapore a

baja temperatura. Puesto que la muestra se enfría de manera natural durante el proceso, haciendo que el agua sea más resistente a la evaporación, es importante controlar la temperatura en la cámara de vacío. Los controles automáticos de la unidad permiten que ella se mantenga similar a la del ambiente, al admitir un flujo de aire tibio dentro de la cámara de vacío.

- 3.3** Los ciclos de vacío y de flujo de aire tibio permiten que la muestra se seque en un lapso muy breve. Muestras saturadas con más de 30 g (0.07 lb) de agua retenida se pueden secar en 30 minutos. El tiempo requerido para secar un núcleo no saturado de pavimento asfáltico puede ser inferior a 15 minutos.

Nota 1: El tiempo requerido para el secado depende de la composición de la muestra. Cada ciclo comprende de 30 a 180 segundos de vacío más 30 a 120 segundos de flujo de aire tibio.

- 3.4** Este método de ensayo se puede aplicar sobre probetas prismáticas de mezcla asfáltica y sobre probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") o de 152.4 mm (6") de diámetro.
- 3.5** El método se puede utilizar, también, para secar mezclas asfálticas sueltas, agregados y otras muestras sólidas. Se deberán seguir las instrucciones del fabricante de la cámara de vacío para el secado de muestras diferentes a probetas de mezcla asfáltica.
- 3.6** El método permite determinar la humedad de las muestras, pesándolas antes y después de las operaciones de secado.

4 EQUIPO

- 4.1** *Cámara de vacío* – Con una bomba de 0.93 kW (1.25 hp) capaz de evacuar una cámara sellada y hermética con un vacío de 6 mm Hg (6 Torr) a nivel del mar. La cámara debe tener el tamaño suficiente para acomodar muestras hasta de 152.4 mm (6") de ancho o diámetro y de 177.8 mm (7") de altura. El equipo debe poseer un sistema automático de vacío y elementos para el flujo de aire y el control de la temperatura que permitan el adecuado secado de las muestras a una temperatura próxima a la del ambiente. Los controles automáticos de la unidad deben ser calibrados en la fábrica. El equipo debe disponer de elementos que registren el vacío en la cámara y el número de ciclos vacío–aire tibio.
- 4.2** *Tela absorbente* – O toallas de papel, para secar la humedad superficial de las muestras.

- 4.3** *Placa para la remoción de agua.*
- 4.4** *Trampa electrónica de enfriamiento* – Con una placa divisora del flujo de aire, empleada para atrapar el aire y detener su entrada desde la cámara de vacío.
- 4.5** *Sensor infrarrojo manual* – Para medir la temperatura superficial de las muestras, con una aproximación de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (9°F).

5 MUESTRAS DE ENSAYO

- 5.1** Las muestras de ensayo pueden ser probetas compactadas en el laboratorio o núcleos extraídos de pavimentos.
- 5.2** Para acelerar el proceso de secado, las muestras se deben mantener secas al aire, a una temperatura entre 15 y 30°C (60 a 85°F).

6 PROCEDIMIENTO

6.1 *Prueba cotidiana:*

- 6.1.1** Todos los días, antes de comenzar los ensayos, se deben secar la trampa de enfriamiento y la cámara. Para ello, se pone la unidad en funcionamiento sin muestras en su interior. La lectura de presión debe ser 6 mm Hg (6 Torr) o menos.

Nota 2: Si la lectura de presión es mayor de 6 mm Hg (6 Torr), se debe verificar el sistema, para comprobar si hay elementos que requieran mantenimiento, tales como el nivel y la calidad del aceite, los sellos o la presencia de agua dentro de la cámara, o consultar el manual de operación del equipo.

6.2 *Secado de las muestras:*

- 6.2.1** Con la toalla de papel o la tela absorbente, se elimina todo vestigio de agua libre en la superficie de la muestra.
- 6.2.2** Se verifica con el termómetro infrarrojo que la temperatura de la muestra de ensayo se encuentre entre 15 y 30°C (60 a 85°F). Si está por fuera de este rango, la muestra se deberá colocar en un ambiente que le permita encontrarse dentro de él.

- 6.2.3** Se coloca la muestra sobre la placa de soporte que se encuentra en el interior de la cámara de vacío.
- 6.2.4** Se coloca la tapa de la cámara de vacío, presionándola para asegurar un contacto seguro entre ella y la cámara.
- 6.2.5** Se inicia el proceso de secado oprimiendo el botón adecuado (START).
- 6.2.6** La unidad se detiene automáticamente cuando la muestra está seca, ya que viene calibrada de fábrica para detectar dicha condición. Durante el ensayo, la unidad lee continuamente la presión dentro de la cámara y la verifica contra la presión correspondiente a la “condición de muestra seca”, determinada durante la calibración en la fábrica.

Nota 3: Se considera que la muestra está seca, cuando el peso medido luego del proceso de secado por vacío no difiere en más de 0.2 g (0.0004 lb) del obtenido luego del secado a 50° C (122° F) durante 24 horas.

6.3 Trampa electrónica de enfriamiento:

- 6.3.1** Es posible que se acumule líquido o hielo en la trampa durante el secado las muestras. Por tal motivo, se recomienda que entre uno y otro ensayo se remuevan la tapa de la trampa y la placa divisora del flujo de aire y se seque el agua libre que se encuentre en la trampa. La placa divisora se deberá colocar de nuevo en su sitio, antes de secar la muestra siguiente.

7 INFORME

- 7.1** Al final de cada proceso de secado, se deben informar la presión final en mm Hg (Torr) y el número total de ciclos registrados en la pantalla del dispositivo.

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D7227/D7227M – 11

EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA ENTRE CAPAS DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE UN ENSAYO DE CORTE

INV E – 811 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un procedimiento para determinar la adherencia entre dos capas de mezcla asfáltica o entre una capa de mezcla asfáltica y una de material tratado con un conglomerante hidráulico, constitutivas de un pavimento.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 En un núcleo tomado del pavimento, la sección transversal correspondiente a la interfaz entre dos de sus capas se somete a esfuerzo cortante puro, midiéndose la carga aplicada y la deformación producida.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 El método permite determinar el esfuerzo cortante necesario para separar las dos capas, como parámetro para evaluar la adherencia entre ellas.
- 3.2 El procedimiento se puede utilizar para el control de calidad de los riegos de imprimación y liga, mediante núcleos extraídos del pavimento.

4 EQUIPO

- 4.1 *Cámara termostática o baño de agua* – Capaz de mantener la temperatura a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).
- 4.2 *Calibrador* – Para medir el diámetro de la probeta de ensayo, con aproximación de 0.1 mm.
- 4.3 *Prensa* – Máquina de compresión de funcionamiento mecánico o servo-hidráulico, capaz de proporcionar una carga mínima de 50 kN y de operar con una velocidad uniforme de desplazamiento vertical de 50.8 mm/min.

(2"/min.). Deberá disponer de un dispositivo para el registro de la curva carga vs deformación.

- 4.4** *Dispositivo de corte* – A ser usado en conjunto con la prensa. El dispositivo consta de una mordaza de acero endurecido, de dos cuerpos consistentes en dos segmentos semicilíndricos, superior e inferior, de diámetro interno igual al del núcleo que se ensaya. El segmento inferior está fijado firmemente a la base de la mordaza con su superficie cóncava dispuesta hacia arriba, mientras que el superior se puede desplazar verticalmente por la interacción con la prensa de carga, produciendo el esfuerzo de cizallamiento en la interfaz de las capas del núcleo ensayado. El dispositivo debe permitir el acomodo de probetas de 151.2 mm (6") de diámetro y debe tener un perno de sujeción de 9.52 mm (3/8") para la alineación de los dos segmentos. El espacio vacío entre los dos segmentos debe ser de 4.76 mm (3/16"). En la parte (a) de la Figura 811 - 1 se muestra una vista general del dispositivo de corte, mientras que en las partes (b), (c) y (d) de ella se presentan la sección transversal, la vista lateral y la vista en planta, respectivamente, cada una con sus dimensiones.
- 4.5** *Suplementos de ajuste* – Para emplear cuando la muestra de ensayo tiene un diámetro inferior a 152.4 mm (6.0"). Un ejemplo de ellos se muestra en la Figura 811 - 2.

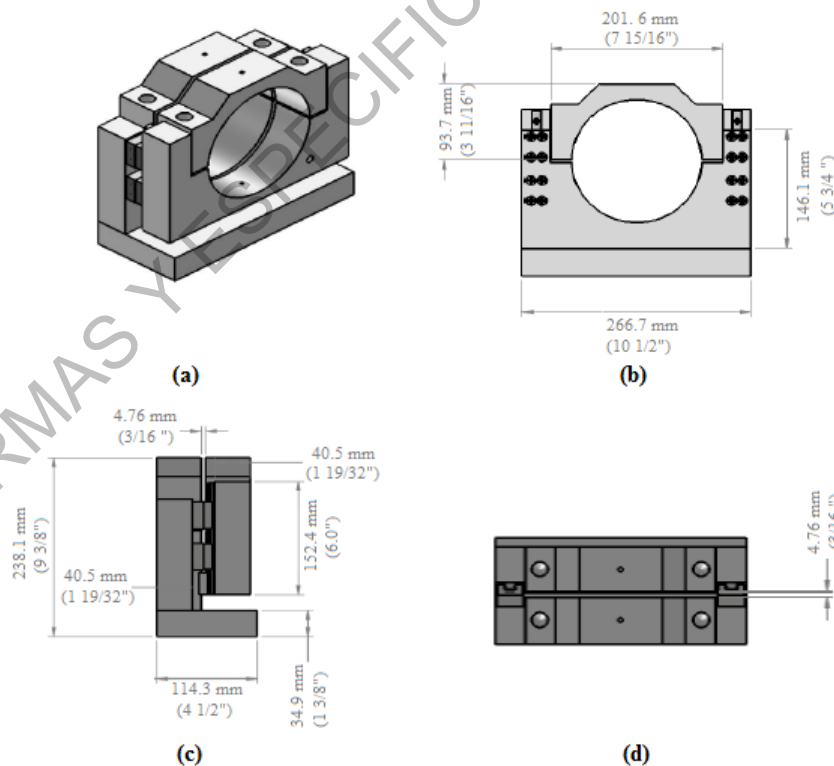


Figura 811 - 1. Aditamento para la medida de la adherencia

5 MUESTRA

- 5.1 *Núcleo de pavimento para ensayo* – De diámetro no menor de 147.3 mm (5.8") ni mayor de 152.4 mm (6.0"). Si el diámetro del núcleo es mayor, no cabrá dentro de las mordazas de ensayo. El diámetro deberá ser constante en toda la longitud y sus superficies laterales no podrán presentar irregularidades que impidan su adecuada colocación en el dispositivo de ensayo. La interfaz entre las dos capas deberá ser perpendicular al eje longitudinal del núcleo, siendo 7.5 mm (0.3") la desviación máxima aceptable respecto del plano normal a dicho eje (Figura 811 - 3).

Nota 1: No se podrán utilizar núcleos en los que el espesor de alguna de las capas sobre las que se pretenda realizar el ensayo sea inferior a 25 mm (1").



Figura 811 - 2. Suplementos para el ajuste de núcleos

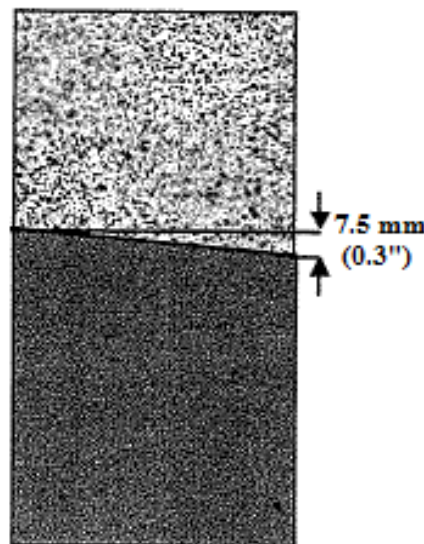


Figura 811 - 3. Desviación máxima admisible en la interfaz

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se extrae del pavimento un núcleo de 152.4 mm (6.0") de diámetro y de una longitud suficiente para que involucre las 2 capas cuya adherencia se va a verificar. El núcleo deberá ser sometido al ensayo de corte en la dirección del tránsito, motivo por el cual ésta se debe marcar en la superficie del pavimento, exactamente en el sitio donde se va a extraer el núcleo.
- 6.2 Se mide, con aproximación a 0.1 mm, el diámetro del núcleo en dos secciones paralelas situadas próximas y una a cada lado de la interfaz de las capas. El valor promedio de estas lecturas se anota como D. No se requiere aserrar los núcleos, pues la máquina de ensayo puede acomodar cualquier longitud.
- 6.3 Se introduce la muestra a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) en la cámara termostática o en el baño de agua durante 3 horas. Si se emplea el baño de agua, la muestra se deberá introducir en una bolsa hermética para impedir su contacto con el agua.
- 6.4 Se alista el dispositivo de corte. El espacio entre los segmentos se deberá ajustar a 4.76 mm (3/16"). Se desaseguran las mitades superiores de cada segmento y se insertan los suplementos de ajuste, de ser necesarios.
- 6.5 Se coloca el núcleo de pavimento dentro de los segmentos de corte, alineando la interfaz entre capas en el centro del espacio libre entre ellos. La dirección del tránsito marcada en la superficie del núcleo (ver numeral 6.1) debe apuntar hacia arriba.
- 6.6 Si el núcleo fue obtenido con una ligera oblicuidad (ver Sección 5), se deberá rotar ligeramente para que ella no afecte los resultados del ensayo.
- 6.7 Se coloca correctamente la mordaza en la prensa, se ajusta ésta a ceros y se pone en funcionamiento para que aplique carga vertical sobre el segmento superior de la mordaza a razón de 50.8 mm/min. (2"/min.). Durante el ensayo, la máquina registra los valores de la carga y del desplazamiento producidos hasta la separación de las capas.
- 6.8 A partir del diagrama carga-deformación se determina el valor de la carga máxima de rotura ($P_{\text{máx.}}$).

7 CÁLCULOS

- 7.1 Se divide la carga por la sección transversal del núcleo, para determinar el esfuerzo de adherencia entre las capas, con la expresión:

$$A = \frac{P_{\text{máx.}}}{\frac{\pi \times D^2}{4}} \quad [811.1]$$

Donde: A: Esfuerzo de adherencia entre las capas de pavimento, MPa (lbf/pg²);

P_{máx.}: Carga máxima de rotura, N (lbf);

D: Diámetro promedio del núcleo, mm (pulgadas).

8 INFORME

- 8.1 Para cada núcleo ensayado, el informe debe incluir:

8.1.1 Identificación completa de la muestra.

8.1.2 Diámetro del núcleo, aproximado a 0.1mm (en sistema inglés se aproximará a 0.01").

8.1.3 Carga máxima de rotura, aproximada a 100 N (en sistema inglés se redondeará a 25 lbf).

8.1.4 Esfuerzo de adherencia entre capas, aproximado a 0.01MPa (en sistema inglés se redondea a 1 lbf/pg²).

9 NORMAS DE REFERENCIA

Fm 5-599 (Florida DOT)

NLT-382/08

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN Y DEL GRADO DEL AGENTE DE RECICLADO EN MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO ELABORADAS EN CALIENTE CON MATERIAL RECICLADO

INV E – 812 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento para determinar el porcentaje y el grado del agente de reciclado requerido para la elaboración de mezclas de concreto asfáltico fabricadas en planta y en caliente.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Pavimento asfáltico recuperado (RAP)* – Materiales de pavimento removidos y/o reprocesados que contienen asfalto y agregados pétreos.
- 2.2 *Material granular recuperado (RAM)* – Materiales de pavimento removidos y/o reprocesados que no contienen agente ligante reutilizable.
- 2.3 *Agente de reciclado* – Material orgánico con características químicas y físicas seleccionadas para devolverle al asfalto las condiciones deseadas.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 El proceso consiste en la evaluación del pavimento asfáltico recuperado (RAP); la caracterización del asfalto extraído de éste; la evaluación del material granular recuperado (RAM) cuando se vaya a utilizar; la definición de la combinación de agregados para la elaboración de una nueva mezcla en caliente que incluya los materiales recuperados, y la determinación del grado y la proporción del agente de reciclado que debe ser añadido al asfalto presente en el RAP y al asfalto nuevo, con el fin de obtener un ligante con la viscosidad apropiada para la elaboración de la mezcla.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** El reciclado de mezclas asfálticas en caliente es una técnica de rehabilitación de pavimentos, que comprende la remoción de un pavimento de concreto asfáltico en servicio y, eventualmente, de materiales granulares del mismo, y la mezcla posterior del material removido con agregados vírgenes y un ligante nuevo, empleando calor.
- 4.2** Se considera que una mezcla reciclada en caliente, adecuadamente diseñada y fabricada, es estructuralmente equivalente a una elaborada con agregados completamente nuevos y tiene las mismas aplicaciones. Por otra parte, el aprovechamiento de materiales existentes en las vías puede representar beneficios técnicos, económicos y ambientales.

5 EQUIPO

- 5.1** Se requieren los elementos necesarios para la ejecución de los ensayos descritos en la normas INV E-213, INV E-717, INV E-732, INV E-759 e INV E-782.

6 MATERIALES

6.1 *Agentes de reciclado:*

- 6.1.1** Los agentes de reciclado son materiales orgánicos, con características químicas y físicas seleccionadas para restaurar el asfalto envejecido a las especificaciones deseadas. Bajo esta definición, pueden ser clasificados como tales los cementos asfálticos blandos y los agentes de reciclado comerciales.
- 6.1.2** Los primeros se pueden emplear cuando se requiere un incremento en el contenido de ligante de la mezcla reciclada y existe en el mercado un grado de cemento asfáltico que puede ser mezclado con el ligante envejecido en el RAP, para obtener un asfalto que cumpla los requisitos de la especificación para elaborar una mezcla nueva. Generalmente, cumplen este propósito los cementos asfálticos 85-100, 120-150 o 200-300 (AC-10, AC-5 o AC-2.5; AR-4000, AR-2000 o AR-1000) (Figura 812 - 1).

Nota 1: Las especificaciones de los asfaltos de los grados AC y AR se encuentran en la norma ASTM D 3381.

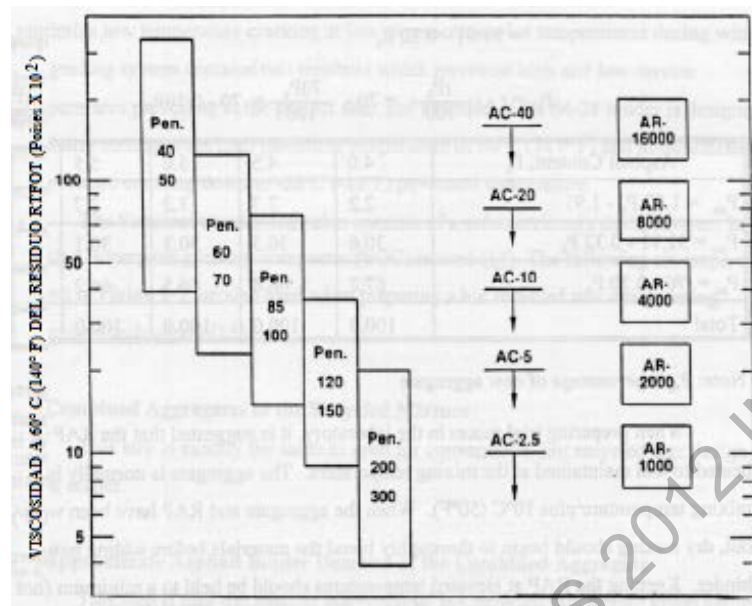


Figura 812 - 1. Comparación de grados de penetración y grados de viscosidad

6.1.3 Cuando el asfalto proveniente del RAP presenta una viscosidad muy alta o el porcentaje de RAP en la mezcla reciclada es muy alto, además del asfalto nuevo, es necesario incorporar un agente comercial de reciclado para modificar el asfalto envejecido, sin alterar el contenido deseado de ligante. La Tabla 812 - 1 presenta las propiedades de los agentes de reciclado comerciales (RA) incluidos en la norma ASTM D 4552. En general, los RA de baja viscosidad se emplean para restaurar asfaltos envejecidos de alta viscosidad y viceversa.

Tabla 812 - 1. Especificaciones para los agentes de reciclado de mezclas asfálticas en caliente

Ensayo	Norma INV	RA 1		RA 5		RA 25		RA 75		RA 250		RA 500	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Viscosidad a 60°C, cSt	E-717	50	175	176	900	901	4500	4501	12500	12501	37500	37501	60000
Punto de inflamación, °C (°F)	E-709	219 (425)	-	219 (425)	-	219 (425)	-	219 (425)	-	219 (425)	-	219 (425)	-
Saturados, % en peso	ASTM D2007	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30
Ensayos sobre el residuo de ensayos INV E-720 o INV E-721 a 163°C (325°F)													
Relación de viscosidades(1)	-	-	3	-	3	-	3	-	3	-	3	-	3
Cambio de masa, ± %	-	-	4	-	4	-	4	-	4	-	4	-	4
Gravedad específica	E-707	Informar											
(1) Relación de viscosidades = $\frac{\text{Viscosidad del residuo de los ensayos INV E-720 o INV E-721 a } 60^{\circ}\text{C (140}^{\circ}\text{F), cSt}}{\text{Viscosidad original a } 60^{\circ}\text{C (140}^{\circ}\text{F), cSt}}$													

7 PROCEDIMIENTO

7.1 Combinación de agregados en la mezcla reciclada:

- 7.1.1** Se obtienen muestras representativas de RAP y de RAM, si este último va a formar parte de la nueva mezcla. Las muestras se tomarán de acuerdo con lo que resulte aplicable de la norma INV E-731. Así mismo, se obtiene una muestra representativa del agregado nuevo que se va a incorporar en la mezcla. Sus cantidades deberán ser suficientes para la ejecución de los ensayos que se mencionan en los numerales 7.1.2, 7.1.3 y 7.2.1.
- 7.1.2** A la muestra proveniente del RAP se le determinan el contenido de asfalto y la granulometría de los agregados, aplicando las normas INV E-732 e INV E-782. El porcentaje de asfalto, en masa, se denomina P_a .
- 7.1.3** A la muestra de agregado nuevo y a la de RAM (si se va a incorporar en la mezcla), se les determinan sus granulometrías, aplicando la norma INV E-213.
- 7.1.4** Mediante tanteos, se definen las proporciones en las que se deben mezclar los diferentes agregados, de manera que el material resultante cumpla el requisito granulométrico exigido por la especificación aplicable al proyecto. La proporción en masa de RAM más agregados nuevos dentro de la mezcla total de agregados se designa con el símbolo "r".

Nota 2: Además de cumplir con la granulometría, se debe verificar que los agregados pétreos satisfacen todos los requisitos de calidad exigidos por la especificación aplicable.

Nota 3: De acuerdo con el Instituto del Asfalto de los Estados Unidos de América, los límites aconsejables de pavimento recuperado – RAP, en una mezcla elaborada en una planta discontinua se encuentran entre 20 y 35 %, mientras el rango práctico para las mezclas con tambor mezclador es entre 20 y 50 %. Ello no implica que no se puedan usar proporciones mayores bajo circunstancias favorables.

7.2 Caracterización del asfalto envejecido:

- 7.2.1** Se recupera el asfalto proveniente de la muestra representativa del RAP de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma INV E-759.
- 7.2.2** Se determina la viscosidad del asfalto recuperado a 60° C, de acuerdo con la norma INV E-717.

7.3 Demanda aproximada de ligante asfáltico en la mezcla con el agregado combinado:

7.3.1 Empleando la granulometría del agregado mezclado (recuperado + virgen), se determina la cantidad aproximada de asfalto en la nueva mezcla, con la fórmula:

$$P_c = 0.04a + 0.07b + 0.12c \quad [812.1]$$

- Donde: P_c : Demanda aproximada de asfalto en la mezcla reciclada, %;
- a: Proporción del agregado combinado, que queda retenida en el tamiz de 2.36 mm (No. 8), %;
- b: Proporción del agregado que pasa el tamiz de 2.36 mm (No. 8) y queda retenido en el de 75 μ m (No. 200), %;
- c: Proporción del agregado que pasa el tamiz de 75 μ m de abertura (No. 200).

7.4 *Determinación del porcentaje requerido de asfalto nuevo para la mezcla reciclada:*

7.4.1 En primer lugar, se calcula el porcentaje de asfalto recuperado presente en la mezcla total combinada (P_s), con la expresión:

$$P_s = \frac{P_a \times P_p}{100} \quad [812.2]$$

- Donde: P_a : Contenido de asfalto en el RAP, %;
- P_p : Proporción en masa del RAP dentro de la mezcla de agregados, %.

7.4.2 A continuación, se determina el porcentaje de asfalto nuevo requerido en la mezcla reciclada (P_r), con la fórmula:

$$P_r = P_c - P_s \quad [812.3]$$

7.4.3 Se calcula la cantidad de asfalto nuevo requerido, como porcentaje del contenido total de ligante requerido, con la expresión:

$$R = \frac{P_r}{P_c} \times 100 \quad [812.4]$$

7.5 Selección del grado del cemento asfáltico nuevo:

7.5.1 Se determina el grado que debe tener el asfalto nuevo, con ayuda del gráfico de la Figura 812 - 2, de la siguiente manera:

- Se representa en la escala vertical izquierda la viscosidad del asfalto envejecido presente en el RAP (punto A).
- Se ubica en la misma escala la viscosidad a la cual se quiere llegar con la combinación de asfaltos.
- Se ubica el valor correspondiente a R en la escala horizontal y desde allí se levanta una vertical, determinando su intersección con la horizontal que representa la viscosidad deseada (punto B).
- Se unen con una recta los puntos A y B, la cual se prolonga hasta encontrar la escala vertical de la derecha (punto C).
- El punto C representa la viscosidad a 60° C (140° F) que debe tener el ligante asfáltico nuevo, para ser mezclado con el asfalto presente en el RAP, con el fin de obtener la viscosidad deseada en la mezcla. En consecuencia, se debe escoger el grado del nuevo ligante asfáltico que tenga un rango de viscosidad dentro del cual se encuentre la que representa el punto C.

Nota 4: Si la intersección en la escala derecha determina una viscosidad inferior a la mínima aceptable del asfalto de grado AC-2.5, será necesario incorporar un agente comercial de reciclado y/o reducir la cantidad de RAP usada en la mezcla reciclada.

Nota 5: Se sugiere que cuando el contenido de RAP exceda de 20 %, se emplee un cemento asfáltico un grado más blando que el especificado para una mezcla totalmente nueva.

7.6 Diseño de la mezcla por tanteos:

7.6.1 El diseño por tanteos de la mezcla reciclada se deberá realizar con el método Marshall. Las fórmulas incluidas en la Tabla 812 - 2 se deberán emplear para proporcionar los diferentes ingredientes: nuevo asfalto (P_r), RAP (P_{sm}) y agregado nuevo y/o RAM (P_{ns}). En dichas fórmulas, P_b representa el contenido total de asfalto en la mezcla reciclada.

Tabla 812 - 2. Fórmulas para la dosificación de materiales en mezclas recicladas en caliente

	PROPORCIONES EN MASA DE LA MEZCLA TOTAL
% Asfalto nuevo, P_r	$\frac{(10000 - rP_a)P_b}{100(100 - P_a)} - \frac{(100 - r)P_a}{100 - P_a}$
% RAP, P_{sm}	$\frac{100(100 - r)}{100 - P_a} - \frac{(100 - r)P_b}{100 - P_a}$
% de agregado nuevo y/o RAM, P_{ns}	$r - \frac{rP_b}{100}$
Total	100
% de asfalto nuevo en relación con el contenido total de asfalto, R	$\frac{100P_r}{P_b}$

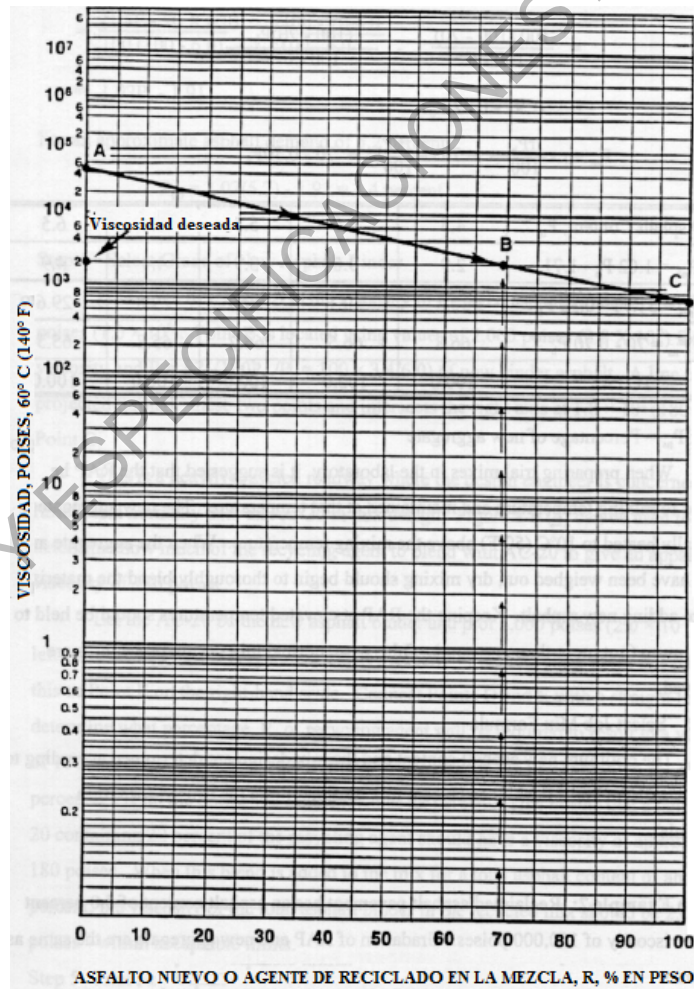


Figura 812 - 2. Diagrama para determinar el grado del asfalto nuevo o del agente de reciclado a partir de su proporción en la mezcla y de la viscosidad del cemento asfáltico recuperado

8 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASPHALT INSTITUTE, "Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types", MS-2 Sixth Edition, Lexington KY, 1995

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, "Hot mix asphalt recycling (materials and mix design), 2006

CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, California Test 377, Sacramento, California, March 2000

ANEXO A (Informativo)

EJEMPLOS

A.1 Ejemplo 1:

Un pavimento asfáltico recuperado (RAP) tiene un contenido de cemento asfáltico de 5.2 % (P_a), con una viscosidad de 46 000 Poises a 60° C (140° F). El grado del asfalto especificado para la elaboración de la nueva mezcla es 60–70, y la viscosidad deseada a 60° C (140° F) es 2000 Poises. Las gradaciones del RAP y del agregado nuevo son las siguientes:

TAMAÑO ABERTURA DE TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA	
	RAP	AGREGADO NUEVO
25.4 mm (1")	100	100
19.0 mm (¾")	98	93
9.5 mm (3/8")	85	53
4.75 mm (No. 4)	65	30
2.36 mm (No. 8)	52	16
300 µm (No. 50)	22	5
75 µm (No. 200)	8	1

A.1.1 *Determinación de la gradación combinada:*

Si la planta a emplear es discontinua, se elige 30 % de RAP para la nueva mezcla (Ver nota 3), obteniéndose la gradación combinada que se muestra a continuación, junto con la gradación especificada:

TAMAÑO TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA			
	30% RAP	70% AGREGADO NUEVO	COMBINADA	ESPECIFICACIÓN
25.4 mm (1")	30.0	70.0	100	100
19.0 mm (¾")	29.4	65.1	94.4	90–100
9.5 mm (3/8")	25.5	37.1	62.6	56–80
4.75 mm (No. 4)	19.5	21.0	40.5	35–65
2.36 mm (No. 8)	15.6	11.2	26.8	23–49
300 µm (No. 50)	6.6	3.5	10.1	5–19
75 µm (No. 200)	2.4	0.7	3.0	2–8

A.1.2 *Demanda aproximada de ligante asfáltico en la mezcla con el agregado combinado:*

$$P_c = 0.04a + 0.07b + 0.12c = 0.04 \times (100 - 26.8) + 0.07 \times (26.8 - 3.0) + 0.12 \times 3.0 = 5.0 \%$$

A.1.3 *Porcentaje requerido de asfalto nuevo en la mezcla reciclada:*

$$P_s = \frac{P_p \times P_a}{100} = \frac{30 \times 5.2}{100} = 1.56 \%$$

$$P_r = P_c - P_s = 5.0 - 1.56 = 3.44 \%$$

$$R = \frac{P_r}{P_c} \times 100 = \frac{3.44}{5.0} \times 100 = 69 \%$$

A.1.4 *Selección del grado del asfalto para reciclado:*

Se determina el grado que debe tener el asfalto requerido, con ayuda del gráfico de la Figura 812 - 2:

- Se representa en la escala vertical de la izquierda la viscosidad del asfalto envejecido presente en el RAP = 46 000 Poises (punto A).
- Se ubica en la misma escala la viscosidad a la cual se quiere llegar con la combinación de asfaltos (2000 Poises).
- Se ubica el valor correspondiente a R (69 %) en la escala horizontal y desde allí se levanta una vertical, determinando su intersección con la horizontal que represente la viscosidad deseada (punto B).
- Se unen con una recta los puntos A y B, la cual se prolonga hasta alcanzar la escala vertical de la derecha, encontrándose que la viscosidad del nuevo ligante debe ser 700 Poises (punto C).
- El punto C representa la viscosidad a 60° C (140° F) que debe tener el nuevo ligante asfáltico, para ser mezclado con el asfalto presente en el RAP, con el fin de obtener la viscosidad deseada del ligante en la mezcla. En consecuencia, se debe escoger un grado de ligante asfáltico nuevo cuyo rango de viscosidad a 60° C (140° F) incluya el valor señalado por el punto C.

Una viscosidad de 700 Poises es intermedia entre las que presentan los asfaltos AC-5 y AC-10, entre los cuales se puede escoger el que se mezclará con el asfalto envejecido, debiéndose verificar que la viscosidad de la mezcla de los dos ligantes a 60° C (140° F) es cercana a 2000 Poises.

A.1.5 Mezclas de prueba para diseño:

Por último, empleando una mezcla de agregados compuesta por 30 % de RAM y 70 % de agregado nuevo, se deben preparar mezclas de prueba, con distintos contenidos de asfalto (en incrementos de 0.5 %), para diseñar la mezcla en el laboratorio mediante el método Marshall. Al efecto, se aplican las fórmulas de la Tabla 812 - 2 de la siguiente manera:

Porcentaje de asfalto nuevo, P_r :

$$P_r = \frac{(10000 - rP_a)P_b}{100(100 - P_a)} - \frac{(100 - r)P_a}{100 - P_a} \quad [812.5]$$

Como $r = 70\%$ y $P_a = 5.2\%$,

$$P_r = \frac{(10000 - 70 \times 5.2)P_b}{100(100 - 5.2)} - \frac{(100 - 70) \times 5.2}{100 - 5.2} = 1.016P_b - 1.646$$

Porcentaje de RAP, P_{sm} :

$$P_{sm} = \frac{100(100 - r)}{100 - P_a} - \frac{(100 - r)P_b}{100 - P_a}$$

$$P_{sm} = \frac{100(100 - 70)}{100 - 5.2} - \frac{(100 - 70)P_b}{100 - 5.2} = 31.65 - 0.316P_b$$

Porcentaje de agregado Nuevo, P_{ns} :

$$P_{ns} = r - \frac{rP_b}{100}$$

$$P_{ns} = 70 - \frac{70 \times P_b}{100} = 70 - 0.7P_b$$

Las proporciones de materiales en las mezclas recicladas de tanteo para los diferentes contenidos totales de asfalto serán:

ASFALTO TOTAL, P_b	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
$P_r = 1.016 P_b - 1.646$	2.92	3.43	3.94	4.45	4.95
$P_{sm} = 31.65 - 0.316P_b$	30.23	30.07	29.91	29.75	29.60
$P_{ns} = 70 - 0.7P_b$	66.85	66.50	66.15	65.80	65.45
Total	100	100	100	100	100

A.2 Ejemplo 2:

El pavimento asfáltico recuperado (RAP) tiene un contenido de cemento asfáltico de 6.5 % (P_a), con una viscosidad de 100 000 Poises a 60° C (140° F). De acuerdo con la gradación del RAP y del agregado nuevo, la demanda aproximada de ligante asfáltico del agregado combinado (P_c) es 5.3 %. La proporción de RAP en la nueva mezcla es del 35 % (P_p). Por las características del proyecto, se desea que el diseño de la mezcla se realice con un asfalto de características equivalentes a un AC-20, con una viscosidad media a 60° C de 2000 Poises.

A.2.1 *Porcentaje requerido de asfalto nuevo en la mezcla reciclada:*

$$P_s = \frac{P_p \times P_a}{100} = \frac{6.5 \times 35}{100} = 2.28 \%$$

$$P_r = P_c - P_s = 5.30 - 2.28 = 3.02\%$$

$$R = \frac{P_r}{P_c} \times 100 = \frac{3.02}{5.30} \times 100 = 57 \%$$

A.2.2 *Selección del grado del asfalto nuevo:*

Se determina el grado que debe tener el asfalto requerido para la mezcla reciclada, con ayuda del gráfico de la Figura 812 - 3:

- Se representa en la escala vertical de la izquierda la viscosidad del asfalto envejecido presente en el RAP = 100 000 Poises (punto A).
- En la misma escala, se ubica la viscosidad a la cual se quiere llegar con la combinación de asfaltos (2000 Poises) (punto D).
- Se localiza el valor correspondiente a R en la escala horizontal (57 %) y, desde allí, se levanta una vertical, determinando su intersección con la horizontal que represente la viscosidad deseada (punto B).
- Se unen con una recta los puntos A y B, la cual se prolonga hasta encontrar la escala vertical de la derecha, hallándose que la viscosidad del nuevo ligante debe ser 180 Poises (punto C).
- El punto C representa la viscosidad a 60° C (140° F) que debe tener el nuevo ligante asfáltico, para ser mezclado con el ligante presente en el RAP, con el fin de obtener la viscosidad deseada en la mezcla. En consecuencia, se debe escoger el grado del nuevo ligante asfáltico que tenga un rango de viscosidad a 60° C (140° F) dentro del cual se encuentre el punto C.

Como la viscosidad de los cementos asfálticos más blandos es superior a 180 Poises, la solución consiste en añadirle al AC-20 que se desea utilizar, un agente comercial de reciclado, cuya viscosidad y cuantía hagan que el producto nuevo presente una viscosidad de 180 Poises.

A.2.3 *Tipo y proporción del agente comercial de reciclado:*

Si se elige, por ejemplo, un agente comercial del tipo RA-1, con una viscosidad a 60° C de 1 Poise, el procedimiento gráfico que se debe aplicar es el siguiente:

- Se ubica en la escala vertical de la derecha la viscosidad del agente de reciclado (punto E).
- Se conectan los puntos D y E con una recta.
- Se determina la proporción de agente comercial de reciclado, AR, requerida para que su mezcla con el asfalto AC-20 presente una viscosidad de 180 Poises. Ello se logra trazando una horizontal desde el punto C, que corte la recta DE. La proyección vertical del punto de corte, indica la proporción que debe tener el agente de reciclado en su mezcla con el asfalto nuevo (22 %). Esto significa que un tanque que contenga una mezcla de 78 % de asfalto nuevo AC-20 y 22 % del agente RA-1, debe tener una viscosidad aproximada de 180 Poises. Cuando este producto se añada a la mezcla reciclada cuyo contenido total de asfalto sea 5.3 %, la viscosidad del asfalto combinado allí presente debería ser del orden de 2000 Poises.

A.2.4 *Mezclas de prueba para diseño:*

Los tanteos para el diseño de la mezcla en el laboratorio se realizan como en el Ejemplo 1.

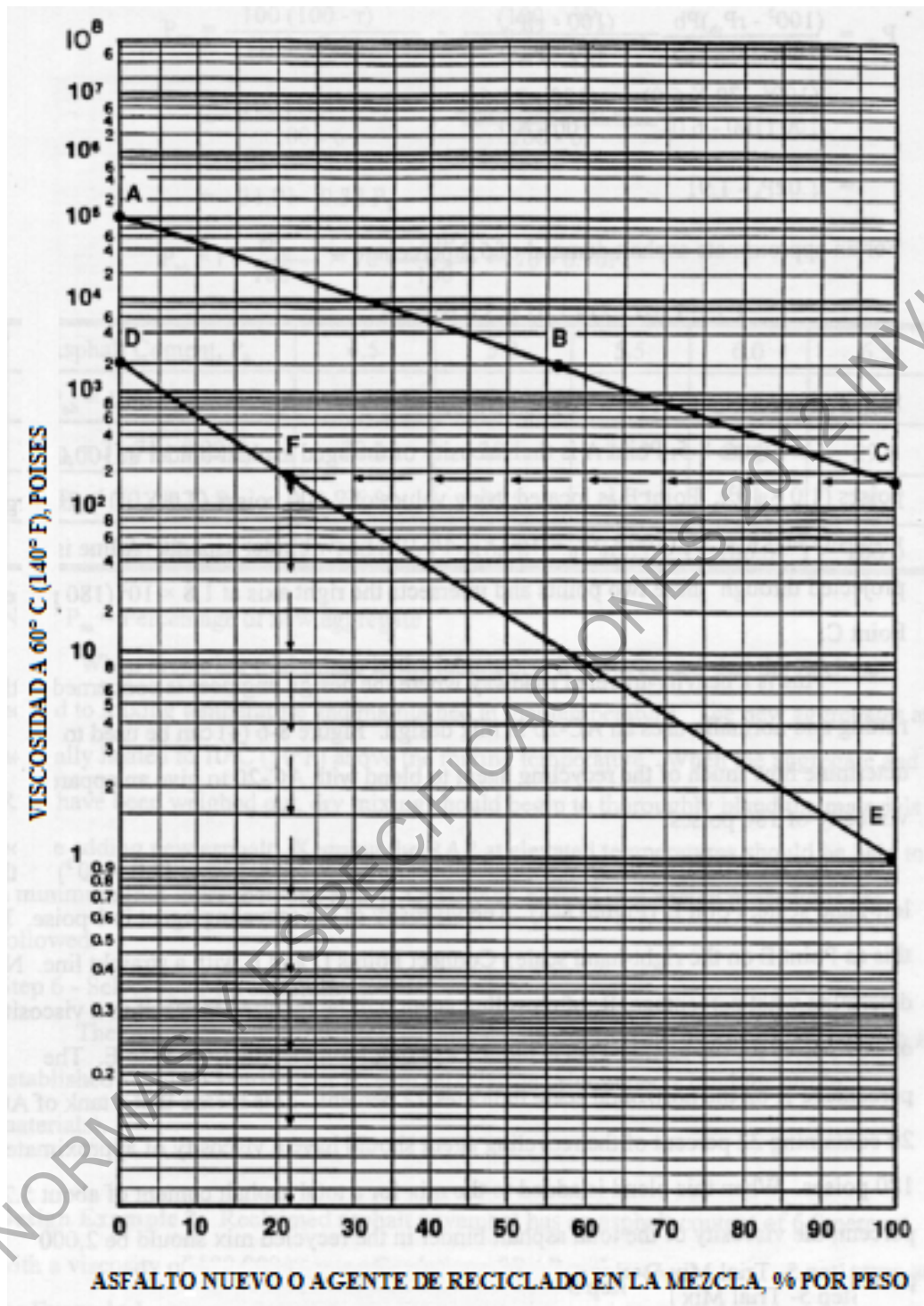


Figura 812 - 3. Diagrama para la combinación de cemento asfáltico recuperado y el asfalto nuevo o el agente de reciclado (Ejemplo 2)

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL MÉTODO VIZIR

INV E – 813 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se refiere a la determinación de la condición de un pavimento asfáltico, a partir de la inspección visual de su superficie, empleando el método VIZIR.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 La metodología planteada en esta norma para la clasificación y la cuantificación de los deterioros de los pavimentos flexibles de carreteras considera dos categorías de deterioros: los deterioros del Tipo “A”, que caracterizan la condición estructural del pavimento y los deterioros del Tipo “B”, en su mayoría de tipo funcional, originados en deficiencias constructivas y en condiciones locales que el tránsito ayuda a poner en evidencia. Las Tablas 813 - 1 y 813 - 2 presentan un listado de los deterioros relevantes de cada tipo, cada uno de ellos con un código de identificación y con la unidad de medida a considerar durante el inventario.

Tabla 813 - 1. Deterioros del tipo A

NOMBRE DEL DETERIORO	CÓDIGO	UNIDAD DE MEDIDA
Ahuellamiento	AH	m
Depresiones o hundimientos longitudinales	DL	m
Depresiones o hundimientos transversales	DT	m
Fisuras longitudinales por fatiga	FLF	m
Fisuras piel de cocodrilo	FPC	m
Bacheos y parcheos	B	m

Tabla 813 - 2. Deterioros del tipo B

NOMBRE DEL DETERIORO	CÓDIGO	UNIDAD DE MEDIDA
Fisura longitudinal de junta de construcción	FLJ	m
Fisura transversal de junta de construcción	FTJ	m
Fisuras de contracción térmica	FCT	m
Fisuras parabólicas	FP	m
Fisura de borde	FB	m
Ojos de pescado	O	unidad
Desplazamiento, abultamiento o ahuellamiento de la mezcla	DM	m
Pérdida de la película de ligante	PL	m
Pérdida de agregados	PA	m
Descascaramiento	D	m ²
Pulimento de agregados	PU	m
Exudación	EX	m
Afloramiento de mortero	AM	m
Afloramiento de agua	AA	m
Desintegración de los bordes del pavimento	DB	m
Escalonamiento entre calzada y berma	ECB	m
Erosión de las bermas	EB	m
Segregación	S	m

- 2.2 Se debe establecer el nivel de gravedad de cada deterioro, según las guías que se presentan en las Tablas 813 - 3 y 813 - 4.

Tabla 813 - 3. Niveles de gravedad de los deterioros del Tipo A

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD		
	①	②	③
Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales	Sensible al usuario, pero poco importante Prof. < 20 mm	Deformaciones importantes. Hundimientos localizados o ahuellamientos. 20 mm ≤ Prof. ≤ 40 ≤ mm	Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y la seguridad de los usuarios. Prof. > 40 mm
Grietas longitudinales por fatiga	Grietas finas en la huella de rodamiento. <6 mm	Grietas abiertas y a menudo ramificadas.	Grietas muy ramificadas, y/o muy abiertas. Bordes de grietas ocasionalmente degradados.
Piel de cocodrilo	Piel de cocodrilo formada por mallas (> 500 mm) con grietas finas, sin pérdida de materiales.	Mallas más densas (< 500mm), con pérdidas ocasionales de materiales, desprendimientos y ojos de pescado en formación.	Mallas con grietas muy abiertas y con fragmentos separados. Las mallas son muy densas (<200 mm), con pérdida ocasional o generalizada de materiales.
Bacheos y parcheos	Intervención de superficie ligada a deterioros tipo B.	Intervenciones ligadas a deterioros tipo A	
		Comportamiento satisfactorio de la reparación.	Ocurrencia de fallas en las zonas reparadas.

2.3 El tramo de pavimento por evaluar se divide en secciones de 100 m. Se determinan el tipo, la gravedad y la extensión de los deterioros existentes en la sección, mediante inspección visual. Los datos obtenidos en relación con los deterioros del tipo A se emplean para calcular un índice de fisuración, I_f , y un índice de deformación, I_d , a partir de los cuales se determina un índice global, denominado Índice de deterioro superficial, I_s , representativo de cada sección de pavimento.

Tabla 813 - 4. Niveles de gravedad de los deterioros del Tipo B

DETERIORO		NIVEL DE GRAVEDAD				
		①	②		③	
Grietas longitudinales de junta de construcción		Fina y única (< 10 mm)	– Ancha (≥ 10 mm) sin desprendimiento o – Fina ramificada		Ancha con desprendimientos o ramificada	
Grietas de contracción térmica.		Grietas finas	Anchas sin desprendimiento, o finas con desprendimientos o fisuras ramificadas		Anchas con desprendimientos	
Grietas parabólicas.		Grietas finas	Anchas sin desprendimientos		Anchas con desprendimientos	
Grietas de borde		Grietas finas	Anchas sin desprendimientos		Anchas con desprendimientos	
Abultamientos		$h < 20$ mm	$20 \text{ mm} \leq h \leq 40$ mm		$h > 40$ mm.	
Ojos de pescado* (por cada 100 m)	Cantidad.	< 5	5 a 10	< 5	> 10	5 a 10
	Diámetro (mm)	≤ 300	≤ 300	≤ 1000	≤ 300	≤ 1000
Desprendimientos: – Pérdida de película de ligante. – Pérdida de agregado		Pérdidas aisladas	Pérdidas continuas		Pérdidas generalizadas y muy marcadas	
Descascaramiento	Prof.(mm)	≤ 25	≤ 25	> 25	> 25	
	Área(m ²)	≤ 0.8	> 0.8	≤ 0.8	> 0.8	
Pulimento agregados		No se definen niveles de gravedad				
Exudación		Puntual, área específica	Continúa sobre las trayectorias por donde circulan las ruedas del vehículo.		Continua y muy marcada, en diversas aéreas.	
Afloramientos: – De mortero – De agua		Localizados y apenas perceptibles	Intensos		Muy intensos	
Desintegración de los bordes del pavimento		Inicio de la desintegración, sectores localizados	La calzada ha sido afectada en un ancho de 500 mm o más.		Erosión extrema que conduce a la desintegración del revestimiento asfáltico	
Escalonamiento entre calzada y berma		Desnivel entre 10 y 50 mm	Desnivel entre 50 y 100 mm		Desnivel superior a 100 mm	
Erosión de las bermas		Erosión incipiente	Erosión pronunciada		La erosión pone en peligro la estabilidad de la calzada y la seguridad de los usuarios.	
Segregación**		No se definen niveles de gravedad				

* Cuando el número de ojos de pescado supere el número y el tamaño descritos en la tabla, se deberán enfrentar como deterioros tipo A

** la segregación no está incluida como deterioro por el método VIZIR. Sin embargo, para los efectos de la aplicación de la presente norma, se sugiere considerarla

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** La aplicación de procedimientos para el mantenimiento y la rehabilitación de las estructuras de pavimentos asfálticos involucra una serie de actividades, dentro de las cuales juegan un papel importante la clasificación, la cuantificación y la evaluación de los diferentes deterioros.
- 3.2** El índice de deterioro superficial, I_s , es un indicador numérico que valora la condición superficial del pavimento, a partir del tipo, la gravedad y la intensidad de los deterioros que presenta su superficie.
- 3.3** El I_s no mide la capacidad estructural ni suministra información directa sobre la resistencia al deslizamiento o la rugosidad de la calzada. Tampoco considera algunos deterioros de un pavimento asfáltico que no están ligados directamente al comportamiento del mismo y de la subrasante. Simplemente, proporciona una base racional para determinar las necesidades y las prioridades generales de mantenimiento y de reparación. De todas maneras, entre mayor sea el valor de I_s , mayores deterioros presentará el pavimento, menor será su vida residual y mayores serán las necesidades de rehabilitación.
- 3.4** Los deterioros del tipo B no conducen a ningún índice de calificación. Se considera que, cuando ellos se presentan, la solución de mantenimiento se deriva del simple reconocimiento de su existencia, no siendo necesario apelar a otros parámetros para realizar un diagnóstico.

4 EQUIPO

- 4.1** *Planilla* – Para registrar la información obtenida en el terreno.
- 4.2** *Rueda odométrica manual* – Que lea con aproximación a 10 mm ($\frac{1}{4}$ ").
- 4.3** *Cinta métrica* – O flexómetro, con marcas a separaciones de 1.0 mm ($\frac{1}{32}$ ").
- 4.4** *Regla de 3 metros (3 pies)*.
- 4.5** *Cuña o regla* – Plástica o de madera, para medir la profundidad de los ahuellamientos.
- 4.6** *Máquina fotográfica o video grabadora*.
- 4.7** *Elementos varios de seguridad* – Para proteger al personal durante los trabajos de inspección en la carretera, incluyendo cascos, chalecos y conos reflectivos, así como señales informativas del trabajo que se está realizando.

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Convención para la numeración de carriles:

5.1.1 Para efectos del registro de la información, los carriles se deben numerar de la siguiente manera: (1) para las vías de dos carriles se asignarán los códigos 1 y 2, considerando la numeración de izquierda a derecha en el sentido en que aumenta el abscisado (PR), y (2) para las vías con 2 o más carriles por calzada se asignarán los códigos 1, 2, 3, 4, y así sucesivamente, considerando la numeración de izquierda a derecha en el sentido en que aumenta el abscisado (PR), como se muestra en la Figura 813 - 1.

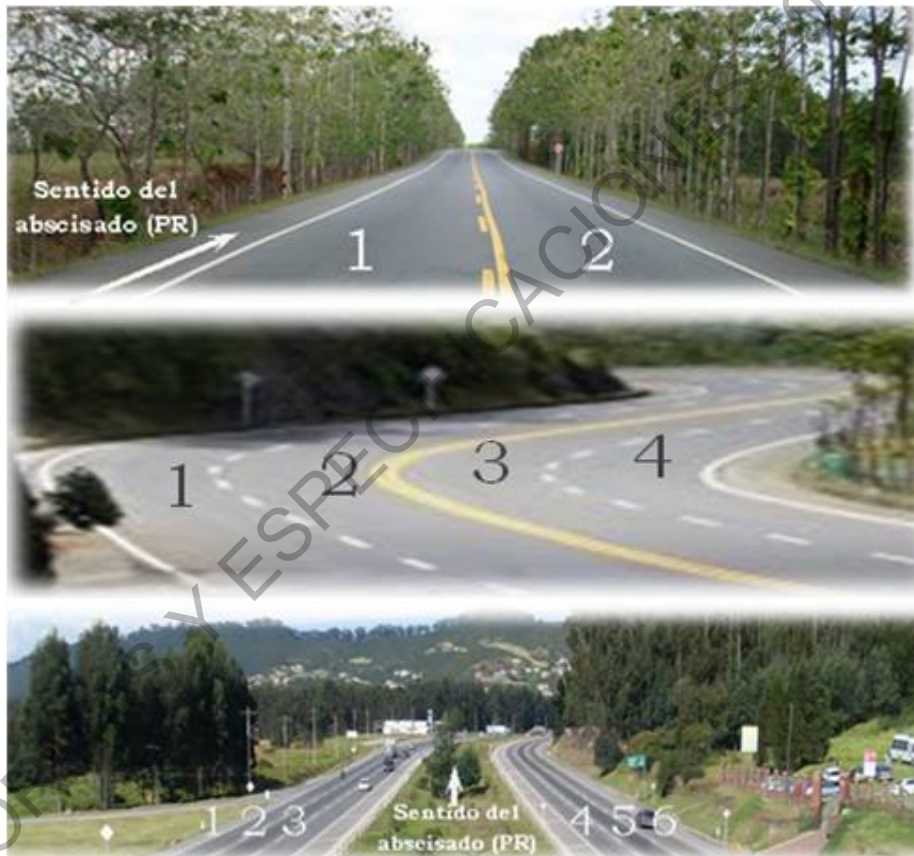


Figura 813 - 1. Convención numérica de carriles

5.2 Criterios para el levantamiento y la medición de los deterioros:

5.2.1 Se debe realizar el inventario de los deterioros de manera continua, para cada 100 metros de longitud de calzada, los cuales definen la sección de medición. Donde la carretera sea de doble calzada, el

inventario se deberá hacer de manera independiente por calzada, manteniendo como unidad de inventario los mismos 100 metros.

- 5.2.2** El inventario de los deterioros se debe referenciar a partir del punto inicial de referencia escogido, garantizando siempre que la sección inventariada (100 m) coincida con un PR múltiplo de 100. En los casos donde esta condición no se cumpla, por ejemplo, que el PR de inicio sea PR 2+025, la primera longitud por inventariar será de 75 metros (PR 2+025 al PR 2+100). A partir de este punto, se continuará con el inventario de los deterioros cada 100 metros en el sentido de avance del abscisado.
- 5.2.3** El levantamiento de los deterioros involucra su calificación, a partir de su identificación, su extensión y su gravedad.
- 5.2.3.1** Para la identificación del deterioro se deberán seguir las indicaciones que al respecto se presentan en el Anexo A de esta norma, donde se describen los deterioros típicos de los pavimentos asfálticos de las carreteras nacionales.
- 5.2.3.2** La medición de los deterioros, que corresponde básicamente a la extensión para los deterioros del tipo A y para la mayoría de los casos de deterioros del tipo B, está dada por el porcentaje de la longitud de la sección (100 metros) que se encuentra afectada por el deterioro respectivo, salvo en los casos en los cuales se indica una unidad de medida diferente.
- 5.2.3.3** La gravedad indica el grado de severidad del deterioro. Su valoración está dada en una escala de uno (1) a tres (3), donde 3 indica la mayor severidad, 2 una severidad moderada y 1 la menor severidad, con los criterios presentados en las Tablas 813 - 3 y 813 - 4.
- 5.2.3.4** Para adelantar esta actividad se deberá diligenciar el Formato B.1 (Ver Anexo B), el cual contiene la información básica necesaria para registrar los deterioros presentes en el pavimento asfáltico, así como el esquema gráfico de la disposición y los tipos de deterioros en una sección.
- 5.2.4** El ahuellamiento se debe medir en los carriles izquierdo y derecho, cada 5 metros. Para las carreteras de doble calzada o con más de dos carriles, se deberá medir en cada carril. Se asignará el mayor valor de

ahuellamiento obtenido cada 10 metros, así como el mayor valor obtenido en la sección evaluada (100 m), como valor representativo de ésta.

- 5.2.5** El ángulo relativo de los rayos del sol que se proyectan sobre la superficie de la carretera puede tener un impacto significativo en la observación visual de algunos de los deterioros del pavimento. Teniendo en cuenta lo anterior, el evaluador se debe asegurar de observar la superficie del pavimento en más de una dirección. Como norma general, los agrietamientos son visibles con mayor facilidad cuando el evaluador realiza la inspección con el sol enfrente de él. En la Figura 813 - 2 se muestra un ejemplo de la incidencia que tienen los rayos del sol sobre la observación de las fisuras y grietas en los pavimentos asfálticos. En la fotografía de la izquierda se aprecia una grieta longitudinal, mientras que ella no se advierte en la fotografía derecha, tomada en el mismo sitio, en sentido opuesto.



Figura 813 - 2. Incidencia de los rayos solares en la observación visual de las grietas en un pavimento flexible

5.3 Algunos deterioros no contemplados por el sistema:

- 5.3.1** La calificación por el sistema VIZIR no considera algunos deterioros de un pavimento asfáltico que no están ligados directamente al comportamiento del mismo y de la subrasante. Es el caso, por ejemplo, de los agrietamientos longitudinales o en forma de media luna que se presentan en los taludes exteriores de secciones de pavimento a media ladera, causados por la inestabilidad de éstos; los agrietamientos, acompañados o no de levantamientos de la calzada, cuando ésta alcanza a ser afectada por un movimiento rotacional de un talud de corte; las deformaciones y agrietamientos excesivos de terraplenes construidos sobre suelos de muy limitada capacidad portante o de

exageradas características expansivas y contráctiles; las deformaciones y los agrietamientos generados por inestabilidades locales y regionales, etc. (Figura 813 - 3).



Figura 813 - 3. Falla de un terraplén bajo un pavimento

5.4 Consolidación de la información:

5.4.1 La información obtenida en cada sección debe ser consolidada, en función de la extensión y gravedad de los deterioros relevantes. Para el cálculo del Índice de Deterioro Superficial "Is", sólo se tienen en cuenta los deterioros del tipo A.

5.4.2 Como es posible que uno o más deterioros se presenten en una sección de 100 metros con distintos niveles de gravedad, el nivel representativo se debe establecer cómo un promedio ponderado, mediante la expresión

$$G = \frac{l_1 + 2l_2 + 3l_3}{l_1 + l_2 + l_3} \quad [813.1]$$

Donde: l_i : Longitud ocupada por el deterioro con gravedad "i" dentro de la sección (100m).

Como la gravedad es un número entero (1, 2 o 3), el valor obtenido al realizar la ponderación se deberá redondear de acuerdo con el siguiente criterio:

Si $G < 1.5$ se toma 1

Si $1.5 \leq G < 2.5$ se toma 2

Si $G \geq 2.5$ se toma 3

5.5 Determinación del índice de fisuración (I_f):

5.5.1 El I_f es un valor numérico entero, entre 1 y 5, que depende de la extensión y de la gravedad de las grietas de origen estructural presentes en la sección, el cual se determina con ayuda de la Tabla 813 - 5. Se deberán efectuar cálculos separados para las grietas longitudinales de fatiga y para las de piel de cocodrilo, adoptándose el mayor de los dos valores obtenido.

Tabla 813 - 5. Determinación del índice de fisuración

Índice de Fisuración I_f	Extensión			
	Gravedad	0 a 10 %	10 a 50 %	> 50 %
1	1	2	3	
2	2	3	4	
3	3	4	5	

5.6 Determinación del índice de deformación (I_d):

5.6.1 El I_d es un valor numérico entero, entre 1 y 5, que depende de la extensión y de la gravedad de las deformaciones de origen estructural presentes en la sección, el cual se determina con ayuda de la Tabla 813 - 6.

Tabla 813 - 6. Determinación del índice de deformación

Índice de Deformación I_d	Extensión			
	Gravedad	0 a 10 %	10 a 50 %	> 50 %
1	1	2	3	
2	2	3	4	
3	3	4	5	

5.7 Determinación del Índice de deterioro superficial (I_s):

5.7.1 La combinación de los índices de fisuración y de deformación da lugar a un índice de deterioro superficial preliminar, que es un número entero entre 1 y 7, el cual debe ser corregido en función de la extensión y de la calidad de los trabajos de parcheo y bacheo que haya en la sección. Efectuada esta corrección, cuando corresponda, se obtiene el índice de

Deterioro Superficial, Is, de la sección evaluada, como lo muestra la Figura 813 - 4.

Nota 1: Un valor de Is igual a 1 es indicativo de un pavimento en buena condición, mientras que un valor igual a 7 representa un pavimento fallado.

Nota 2: Cuando el índice de deterioro superficial preliminar es igual a 7, se omite la corrección por reparaciones.

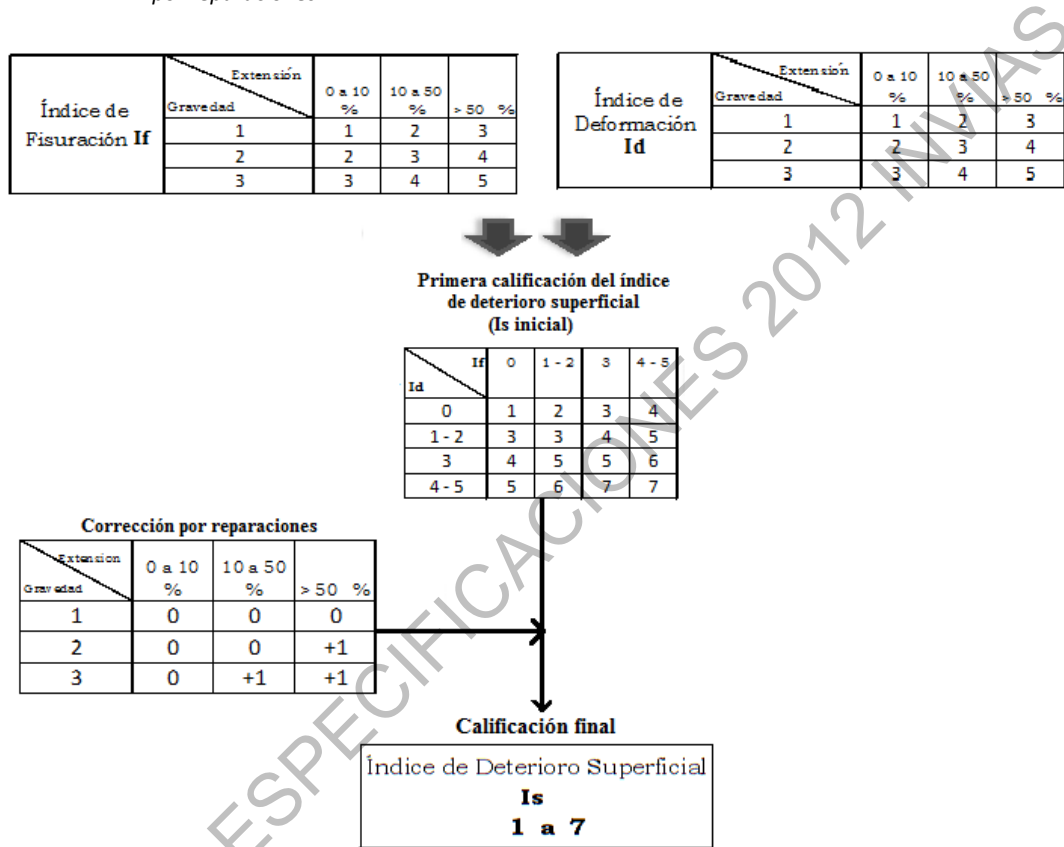


Figura 813 - 4. Determinación del índice de deterioro superficial (Is)

6 INFORME

6.1 Se debe informar lo siguiente para cada sección de pavimento, discriminando por calzada si la vía es de doble calzada:

6.1.1 Índice de fisuración, If.

6.1.2 Índice de deformación, Id.

6.1.3 Índice de deterioro superficial, Is.

7 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

LCPC, "VIZIR, Méthode assistée par ordinateur pour l'estimation des besoins de entretien d'un réseau routier", Paris, Décembre, 1991

CALTRANS, "Common distresses on flexible pavements"

ANEXO A (Informativo)

TIPOS DE DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS DE CARRETERAS

A.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS DEL TIPO A:

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

A.1.1 Ahuellamiento (AH)

Depresión longitudinal continua en zonas localizadas, generalmente en la trayectoria de circulación de las llantas del vehículo, la cual puede generar levantamientos en las zonas adyacentes a lo largo de la depresión.

<p style="text-align: center;">①</p> <p style="text-align: center;">Profundidad < 20 mm</p>	
<p style="text-align: center;">②</p> <p style="text-align: center;">Profundidad entre 20mm y 40 mm</p>	
<p style="text-align: center;">③</p> <p style="text-align: center;">Profundidad > a 40 mm</p>	

Las causas más probables de este tipo de deterioro son: cargas de tránsito superiores en magnitud y frecuencia a las utilizadas para el diseño de la estructura de pavimento; espesor de pavimento insuficiente; compactación o calidad deficiente de la capa de base.

A.1.2 Depresiones o hundimientos longitudinales (DL) y transversales (DT)

Depresiones localizadas de la superficie del pavimento. Este tipo de deterioro puede estar orientado longitudinal o transversalmente.

<p>①</p> <p>Profundidad < 20 mm</p>	
<p>②</p> <p>Profundidad entre 20mm y 40 mm</p>	
<p>③</p> <p>Profundidad > a 40 mm</p>	

Este tipo de deterioro está asociado a diferentes causas, dentro de las cuales se encuentran: asentamiento localizado de la subrasante; deficiencias en el proceso constructivo como, por ejemplo, mala compactación; deficiente compactación en rellenos para estructuras hidráulicas y de servicios; deficiencia del drenaje subsuperficial.

A.1.3 *Grietas longitudinales por fatiga (FLF)*

Corresponden a fisuras predominantemente paralelas al eje de la vía y localizadas en áreas sujetas al tránsito vehicular (huellas del tránsito). El agrietamiento se inicia en la superficie de las capas asfálticas y evoluciona en sentido descendente.

<p style="text-align: center;">①</p> <p>Grietas finas en la huella de rodamiento < 10 mm</p>	
<p style="text-align: center;">②</p> <p>Grietas abiertas y, con cierta frecuencia, ramificadas.</p>	
<p style="text-align: center;">③</p> <p>Grietas muy ramificadas y/o muy abiertas. Ocasionalmente sus bordes se encuentran degradados</p>	

Las causas más comunes de este tipo de deterioro son los altos esfuerzos horizontales de tensión producidos por las llantas de los vehículos pesados, así como una baja rigidez de la capa asfáltica superior, a causa de las altas temperaturas superficiales.

A.1.4 *Grietas del tipo piel de cocodrilo (FPC)*

Corresponde a una serie de fisuras interconectadas que forman polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente localizadas en las áreas sujetas al tránsito vehicular. El agrietamiento se inicia en la parte inferior de las capas asfálticas donde los esfuerzos y las deformaciones de tensión producidas por las cargas repetidas de tránsito, alcanzan su mayor magnitud.

<p style="text-align: center;">①</p> <p>Formación de mallas grandes (> 500 mm), con fisuras finas, sin pérdida de material</p>	
<p style="text-align: center;">②</p> <p>Presencia de mallas más densas (< 500 mm), con pérdida ocasional de material, desprendimiento y ojos de pescado en formación</p>	
<p style="text-align: center;">③</p> <p>Presencia de mallas densas con fisuras muy abiertas y fragmentos separados (< 200 mm), con pérdida ocasional y/o generalizada de material.</p>	

La causa principal de estas fisuras es el agotamiento de las capas asfálticas sometidas a repeticiones de cargas en un número superior al admisible. Otra causa, puede ser la insuficiencia estructural del pavimento.

A.1.5 Bacheos y parcheos (Reparaciones) (B)

Son áreas donde se ha realizado la remoción y el reemplazo del pavimento, por materiales generalmente similares a los del pavimento original. La intervención puede ser sólo al nivel de la capa asfáltica mediante parcheo, o involucrando capas subyacentes (bacheo).

<p style="text-align: center;">①</p> <p>Intervención superficial ligada a deterioro Tipo B</p>	
<p style="text-align: center;">②</p> <p>Intervenciones ligadas a deterioros Tipo A. Comportamiento satisfactorio de la reparación.</p>	
<p style="text-align: center;">③</p> <p>Intervenciones ligadas a deterioros Tipo A. Ocurrencia de fallas en la zona reparada.</p>	

Las causas pueden estar asociadas a deficiencias en el drenaje subterráneo produciendo retención de agua en estas áreas; deficiencias en el proceso constructivo (contaminación de materiales; mala compactación); así como deterioro progresivo y permanente, producto de una inadecuada intervención en parcheos y bacheos anteriores.

A.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS DEL TIPO B**A.2.1 Grieta longitudinal de junta de construcción (FLJ) y transversal de junta de construcción (FTJ).**

Corresponde a grietas en sentido longitudinal y transversal, coincidentes con juntas de construcción.

<p>①</p> <p>Fina y única < 10 mm</p>	
<p>②</p> <p>• Ancha sin desprendimiento • Fina y ramificada.</p>	
<p>③</p> <p>Ancha con desprendimientos o ramificada</p>	

La causa principal de este deterioro es un proceso constructivo deficiente de la junta longitudinal y/o transversal, el cual puede involucrar falta de ligante en las paredes de la junta, o deficiencia en la compactación de la mezcla asfáltica. También, puede obedecer al reflejo de las juntas de un pavimento de concreto hidráulico subyacente.

A.2.2 *Grietas de contracción térmica (FCT)*




Esta forma de deterioro involucra diversos tipos de grietas, principalmente de tipo transversal y en bloque, que aparecen en diversas áreas de la superficie del pavimento. Se diferencian de otros deterioros, como FLF y FPC, porque se presentan en zonas donde no hay repeticiones permanentes de carga, aun cuando es evidente que éstas pueden aumentar su nivel de deterioro.

<p style="text-align: center;">①</p> <p>Grietas finas < 10 mm</p>	
<p style="text-align: center;">②</p> <p>Grietas</p> <ul style="list-style-type: none"> •Anchas ≥ 10 mm sin desprendimientos, o •Finas con desprendimientos, o •Ramificadas 	
<p style="text-align: center;">③</p> <p>Grietas anchas, ≥ 10 mm con desprendimientos o ramificada</p>	

Este deterioro se presenta principalmente por la contracción térmica de las capas asfálticas, debido a los ciclos diarios de temperatura. También, por el uso de un tipo de asfalto inadecuado para las características climáticas de la zona.

A.2.3 Fisuras parabólicas (FP)




Fisuras en forma de parábola, que se presentan por el frenado, giro o circulación a baja velocidad de cargas pesadas que hacen deslizar y deformar la capa superior del pavimento.

<p>①</p> <p>Grietas finas < 10 mm</p>	
<p>②</p> <p>Grietas anchas ≥ 10 mm sin desprendimientos</p>	
<p>③</p> <p>Grietas anchas ≥ 10 mm con desprendimientos</p>	

Este deterioro se presenta generalmente en mezclas asfálticas de baja estabilidad y, en algunos casos, en sectores donde no hay adecuada liga (adherencia) entre las capas asfálticas y las capas subyacentes. Este deterioro se evidencia más en zonas donde el pavimento experimenta elevados esfuerzos tangenciales (curvas) y en tramos de alta pendiente longitudinal, así como en zonas de frenado y aceleración de los vehículos.

A.2.4 Grietas de borde (FB)

Este tipo de grietas generalmente son continuas y con tendencia longitudinal, que se localizan paralelas y cerca al borde externo del pavimento.

<p style="text-align: center;">①</p> <p style="text-align: center;">Grietas finas < 10 mm</p>	
<p style="text-align: center;">②</p> <p style="text-align: center;">Grietas anchas ≥ 10 mm con desprendimientos</p>	
<p style="text-align: center;">③</p> <p style="text-align: center;">Grietas anchas ≥ 10 mm con desprendimientos</p>	

Sus causas son variadas. Una de las principales es la ausencia de berma, lo que se traduce en falta de confinamiento lateral de la estructura. Otras causas son: deficiencias en la compactación en el borde del pavimento; aplicación de cargas muy cerca del borde de la calzada; abertura de una junta de ampliación de calzada y cambios volumétricos de los suelos de subrasante por modificación estacional de la humedad.

A.2.5 Ojos de pescado (O)

Cavidades de forma aproximadamente redondeada, las cuales resultan del desprendimiento, ocasionado por el tránsito, de trozos de carpeta afectados por el agrietamiento del tipo “piel de cocodrilo”, por depresiones o por desintegraciones localizadas de la mezcla asfáltica.

<p style="text-align: center;">①</p> <p>Cantidad: < 5 Diámetro: $\leq 300\text{mm}$</p>	
<p style="text-align: center;">②</p> <p>Cantidad: 5 a 10 Diámetro: $\leq 300\text{mm}$</p> <p>Cantidad: < 5 Diámetro: $\leq 1000\text{mm}$</p>	
<p style="text-align: center;">③</p> <p>Cantidad: > 10 Diámetro: $\leq 300\text{mm}$</p> <p>Cantidad: 5 a 10 Diámetro: $\leq 1000\text{mm}$</p>	

Su origen puede estar asociado al avance de otro tipo de deterioros, como las fisuras tipo piel de cocodrilo. También, se pueden producir por espesores insuficientes de las capas asfálticas, así como por retención de agua en áreas fisuradas y/o deformadas.

A.2.6 Desplazamiento, abultamiento o ahuellamiento de la rodadura (DM)

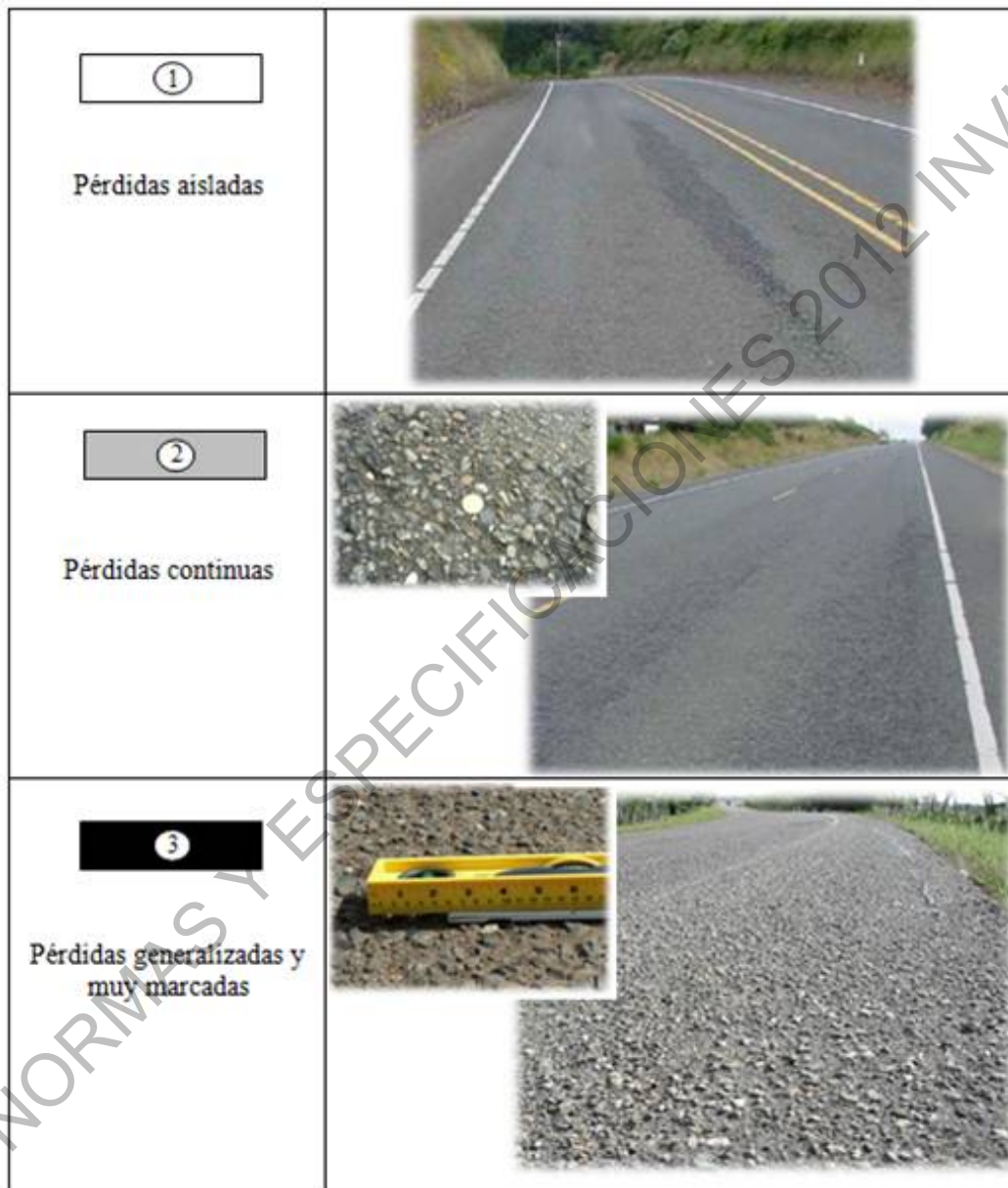
Deformaciones que se producen exclusivamente en las capas asfálticas.

<p style="text-align: center;">①</p> <p style="text-align: center;">Profundidad < 20 mm</p>	
<p style="text-align: center;">②</p> <p style="text-align: center;">Profundidad $20 \text{ mm} \leq F \leq 40 \text{ mm}$</p>	
<p style="text-align: center;">③</p> <p style="text-align: center;">Profundidad $F > 40 \text{ mm}$</p>	

Este tipo de deterioro se origina por la deficiencia de estabilidad de la mezcla asfáltica, por el uso de agregados redondeados, por una dosificación de asfalto en exceso o por el empleo de asfaltos blandos.

A.2.7 Pérdida de la película de ligante (PL)

Este deterioro corresponde al desprendimiento progresivo de la película de ligante bituminoso que envuelve los agregados pétreos, el cual evoluciona con la acción del tránsito y de los agentes climáticos.



La causa principal de este deterioro es la hidrofilia de los agregados. Otras causas pueden estar asociadas con la calidad del asfalto, así como con la contaminación de los agregados (sucios) y los efectos de agentes agresivos (agua y solventes, entre otros).

A.2.8 Pérdida de agregados (PA)

Este deterioro corresponde al desprendimiento progresivo de los agregados pétreos, desintegrando la capa de rodadura.

<p style="text-align: center;">①</p> <p>Pérdidas aisladas</p>	
<p style="text-align: center;">②</p> <p>Pérdidas continuas</p>	
<p style="text-align: center;">③</p> <p>Pérdidas generalizadas y muy marcadas</p>	

Este tipo de deterioro es común y casi exclusivo de los tratamientos superficiales, debido a deficiencias en el proceso de constructivo.

A.2.9 Descascaramiento (D)

Corresponde a la pérdida de fragmentos de la capa asfáltica superior, sin llegar a afectar las capas subyacentes.

<p>①</p> <p>Profundidad : ≤ 25 mm</p> <p>Área: ≤ 0.8 m²</p>	
<p>②</p> <p>Profundidad: ≤ 25 mm</p> <p>Área: > 0.8 m²</p> <p>Profundidad: > 25 mm</p> <p>Área: ≤ 0.8 m²</p>	
<p>③</p> <p>Profundidad: > 25 mm</p> <p>Área: > 0.8 m²</p>	

Este deterioro suele ocurrir por una deficiente adherencia entre la capa asfáltica y la capa subyacente, así como por un espesor insuficiente de la capa de rodadura.

A.2.10 Pulimento de agregados (PU)

Este deterioro se evidencia por la presencia de agregados expuestos con caras pulimentadas en la superficie del pavimento, generando superficies lisas que pueden afectar la resistencia al deslizamiento. Este deterioro está relacionado íntimamente con la seguridad vial frente a accidentes de tránsito, por la deficiencia de fricción en el contacto entre el neumático y el pavimento.

En el método VIZIR no se definen niveles de gravedad para el pulimento de agregados. Sin embargo, para los efectos de la aplicación de esta norma se sugieren los siguientes niveles de gravedad:

Nivel de gravedad 1: longitud comprometida $< 10\%$ de la sección (100 metros) en una calzada, áreas aisladas muy locales. Se debe mantener en continua observación.

Nivel de gravedad 2: Longitud comprometida $\geq 10\%$ a $< 50\%$ de la sección (100 metros) en una calzada, áreas aisladas y continuas.




Nivel de gravedad 3: Longitud comprometida $\geq 50\%$ de la sección (100 metros) en una calzada, áreas continuas.



La causa de este deterioro es la utilización de agregados pétreos de alta susceptibilidad al pulimento en condiciones de servicio, tal el caso de los agregados calizos.

A.2.11 Exudación (EX)

Corresponde a la presencia de una película de asfalto libre en la superficie del pavimento, la cual presenta un aspecto brillante y pegajoso que, bajo condición de superficie húmeda, produce importantes pérdidas de fricción.

<p>①</p> <p>Se presenta de forma puntual en un área específica.</p>	
<p>②</p> <p>Se presenta continua sobre el área o trayectoria por donde circula la rueda del vehículo.</p>	
<p>③</p> <p>Se presenta continua y muy marcada en diversas áreas de la superficie del pavimento.</p>	

La exudación se debe, principalmente, a defectos en la manufactura de la mezcla, asociados con una cantidad excesiva de asfalto o un contenido muy bajo de vacíos con aire.

A.2.12 Afloramiento de mortero (AM)

Corresponde al afloramiento de agua infiltrada, junto con materiales finos de la capa de base. La presencia de manchas o de material acumulado en la superficie del borde de las grietas indica la existencia de este fenómeno.

<p style="text-align: center;">①</p> <p>Localizados y apenas perceptibles</p>	
<p style="text-align: center;">②</p> <p>Intensos</p>	
<p style="text-align: center;">③</p> <p>Muy intensos</p>	

La ausencia o un inadecuado sistema de drenaje interno resulta ser la causa principal de este tipo de deterioro, el cual se presenta en zonas fisuradas no tratadas a tiempo por donde se registra la expulsión, hacia la superficie, de agua mezclada junto con material fino de la base.

A.2.13 Afloramiento de agua (AA)

Se manifiesta por la presencia del líquido en la superficie del pavimento en instantes en los cuales no hay lluvia. El afloramiento se presenta por las fisuras y por las áreas segregadas del pavimento.

<p>①</p> <p>Localizados y apenas perceptibles</p>	
<p>②</p> <p>Intensos</p>	
<p>③</p> <p>Muy intensos</p>	

La carencia de un adecuado sistema de drenaje interno resulta ser la causa principal de este tipo de deterioro.

A.2.14 Desintegración de los bordes del pavimento (DB)

Este deterioro se presenta cuando las bermas no son revestidas y los vehículos se estacionan frecuentemente en ellas o circulan muy cerca del borde de la calzada.

<p style="text-align: center;">①</p> <p style="text-align: center;">Inicio de la desintegración, sectores localizados</p>	
<p style="text-align: center;">②</p> <p style="text-align: center;">La calzada ha sido afectada en un ancho de 500 mm o más</p>	
<p style="text-align: center;">③</p> <p style="text-align: center;">Erosión extrema que conduce a la desaparición del revestimiento asfáltico</p>	

La principal causa de este deterioro está asociada con el tránsito repetido de vehículos por los bordes del pavimento.

A.2.15 Escalonamiento entre calzada y berma (ECB)

Corresponde al desnivel que presentan las bermas con respecto a la calzada.

<p>①</p> <p>Desnivel entre 10 mm y 50 mm</p>	
<p>②</p> <p>Desnivel entre 50 mm y 100 mm</p>	
<p>③</p> <p>Desnivel superior a 100 mm</p>	

El desnivel se puede presentar debido a la consolidación de las capas que conforman la estructura de la berma. Otra causa puede estar asociada con el arrastre de material que genera la circulación de vehículos sobre bermas no revestidas. En muchos casos, el escalonamiento se debe, simplemente, al hecho de que la construcción se realizó dejando una diferencia de nivel entre la calzada y la berma.

A.2.16 Erosión de las bermas (EB)

Corresponde a la destrucción de bermas revestidas y no revestidas.

<p style="text-align: center;">①</p> <p>Erosión incipiente</p>	
<p style="text-align: center;">②</p> <p>Erosión pronunciada</p>	
<p style="text-align: center;">③</p> <p>Erosión extrema que pone en peligro la estabilidad de la calzada y la seguridad de los usuarios</p>	

La causa de este deterioro es un inadecuado sistema de drenaje superficial.

A.2.17 Segregación (S)

La segregación granulométrica en una mezcla asfáltica se puede definir como la distribución no uniforme de los agregados finos y gruesos, la cual da lugar a una falta de homogeneidad en las propiedades y características de la mezcla, de tal magnitud que provoca un acortamiento sensible de su durabilidad.

En el método VIZIR no se considera la segregación. Para los efectos de la aplicación de esta norma se sugieren los siguientes niveles de gravedad:

Nivel de gravedad 1: longitud comprometida < 10% de la sección (100 metros) en una calzada, áreas aisladas muy locales. Se debe mantener en continua observación.

Nivel de gravedad 2: longitud comprometida \geq 10% a < 50% de la sección (100 metros) en una calzada, áreas aisladas y continuas.

Nivel de gravedad 3: longitud comprometida \geq 50% de la sección (100 metros) en una calzada, áreas continuas.



Este tipo de deterioro está asociado con problemas de producción de la mezcla asfáltica y/o deficiencias en la construcción (carga, transporte, colocación o compactación).

ANEXO B (Informativo)

PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE LOS DATOS EN EL TERRENO

- B.1** La Figura 813B - 1 presenta un modelo de formato para el registro en el terreno de los deterioros de un pavimento asfáltico de carretera. El formato incluye una parte para la anotación de los datos y otra para la representación gráfica de los deterioros, con lo cual se podrá tener una visión clara del comportamiento que presenta el pavimento a nivel superficial; de igual forma, la información registrada puede ser utilizada en el procesamiento y en el diagnóstico de los deterioros presentes en el pavimento asfáltico.
- B.2** La metodología de recolección de datos involucra un recorrido a pie, realizando la inspección visual del estado del pavimento, paralelamente al cual se deberá realizar el diligenciamiento del Formato B.1. El registro gráfico en este formato se deberá realizar mediante un croquis, con las simbologías asociadas a cada tipo de defecto superficial, que se muestran en la Figura 813B - 2. El formato consta de 4 partes, las cuales se deben diligenciar como se describe a continuación.
- B.2.1** *Parte 1* – Corresponde a la parte superior, donde se debe diligenciar la información correspondiente a la identificación de la carretera objeto de la evaluación, el nombre del proyecto y el tipo de carretera, el cual hace referencia a la red vial principal (primaria y secundaria) y red terciaria nacional, que en la actualidad administra el INVÍAS. En el campo “*código de la carretera*” debe ir el número de la ruta y el número asignado al tramo. Por su parte, en el campo “*PR al PR*” se debe indicar el tramo de carretera objeto de la inspección (PR inicial y PR final). De igual forma, se debe registrar el tipo de sección vial (corte, terraplén o sección mixta), el número de carriles que constituyen la sección vial, el carril inspeccionado y, finalmente, si existen árboles en el costado de la carretera.
- B.2.2** *Parte 2* – Es el lado izquierdo del formato, el cual incluye la calificación del nivel de gravedad o severidad del deterioro, la longitud, área y, en algunos casos, la profundidad. El registro se debe realizar de manera secuencial, siguiendo el registro del abscisado de la parte superior, el cual debe representar una sección de 100 metros de longitud, abscisada cada 10 metros. El formato incluye el registro de los

deterioros de los tipos A y B, claramente separados. De igual forma, presenta un campo específico para cada tipo de deterioro y abscisa, donde se debe registrar en la parte superior el nivel de gravedad (1, 2 o 3) y en la parte inferior la longitud, profundidad, área o unidad, según sea el caso. En la Figura 813B - 3 se presentan cuatro posibilidades en el registro de los deterioros.

B.2.3 Parte 3 – Corresponde a la parte derecha del formato, donde se registra de forma gráfica en un tramo de 100 metros (sección), el esquema de los deterioros con las simbologías asociadas a cada uno de ellos, en acuerdo con los símbolos de la Figura 813B - 2.

B.2.4 Parte 4 – En este espacio se deben registrar las observaciones que el ingeniero considere de interés sobre el levantamiento de los deterioros en la sección de pavimento asfáltico objeto de la inspección.

FORMATO B1. REGISTRO DE CAMPO. INVENTARIO DE DETERIOROS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE CARRETERAS

Nombre de la carretera: _____ Proyecto: _____
 Código de la carretera: _____ PR: _____ Fecha: (dd/mm/aa): _____ Levantado por: _____
Planil de gravedad: (10000) [L A B] Tipo de vía: _____ Tipo de Sección: _____ Hoja: _____ de _____
 Longitud (m), Área (m²) y/o profundidad (mm) Ancho de calzada (m): _____ Bermo: SI NO
 Descarrocamiento: ** Absorbente: () Número de Carriles: _____ Carril Ancho: _____ Existencia de Árboles: SI NO

PR	Abscisa (m)				
Deterioro Tipo A condición estructural	Abuelamiento AH				
	Depresiones o hundimientos longitudinales DL				
	Depresiones o hundimientos transversal DT				
	Fisuras longitudinales FL				
	Fisuras piel de cocodrilo FPC				
	Bacheos y parcheos B				
	Deterioro Tipo B condición funcional	Fisura longitudinal junta de construcción FLJ			
		Fisura transversal junta de construcción FTJ			
		Fisura de contracción térmica FCT			
		Fisuras parabólicas FP			
Fisuras de Borde FB					
Ojo de pescado O					
Desplazamiento o abultamiento o abuelamiento de mezcla DM					
Pérdida de la película de ligante PL					
Pérdida de agregado PA					
Descarrocamiento D					
Rafamiento de agregados RA					
Erodación ER					
Alfaramiento de mortero AM					
Alfaramiento de agua AA					
Desintegración de bordes de pavimento DB					
Escalonamiento entre calzada y bermo ECB					
Erosión de las bermas EB					
Segregación S					

Observaciones: _____

Parte 4

FORM 01 - FEB 00

Figura 813B - 1. Formato para el registro de deterioros en pavimentos flexibles




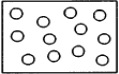

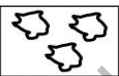
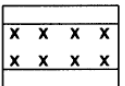
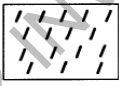
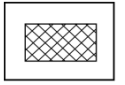
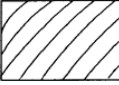
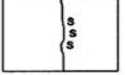





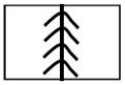

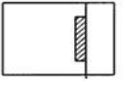

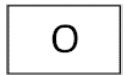

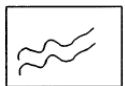
Ahuellamiento		Pérdida de película de ligante	
Depresiones o hundimiento longitudinal		Pérdida de agregado	
Depresiones o hundimiento transversal		Descascaramiento	
Fisuras piel de cocodrilo		Pulimento de agregados	
Bacheos y parcheos		Exudación	
Fisuras longitudinales de junta de construcción		Afloramiento de mortero	
Fisuras transversal de junta de construcción		Afloramiento de agua	
Fisura de contracción térmica		Desintegración de los bordes del pavimento	
Fisuras parabólicas		Escalonamiento entre calzada y berma	
Fisuras de borde		Erosión de bermas	
Ojos de pescado		Segregación	
Abultamiento o desplazamiento de la mezcla			

Figura 813B - 2. Símbolos para el registro de los deterioros en pavimentos asfálticos para carreteras

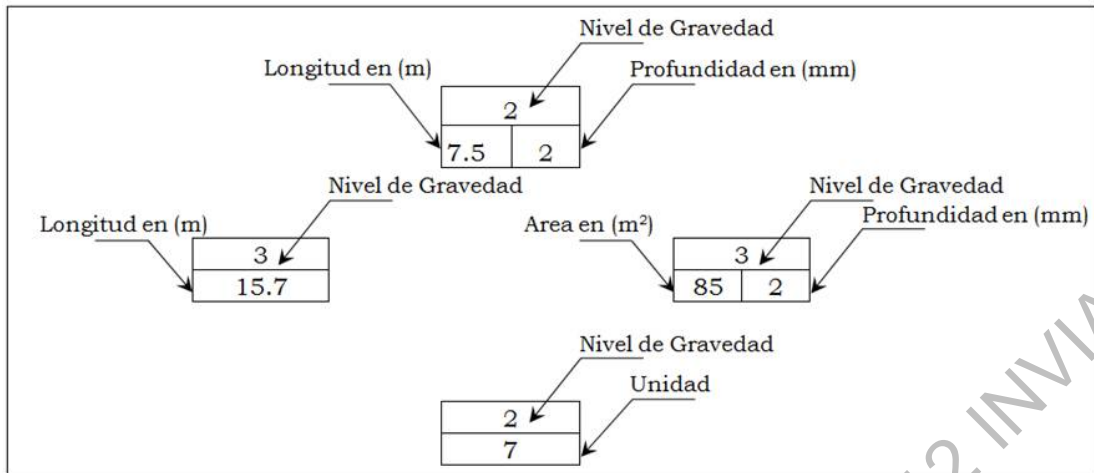


Figura 813B - 3. Ejemplo de registro de deterioros

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MEDIDA DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO EMPLEANDO UN PERFILÓMETRO PIVOTANTE DE ALTA PRECISIÓN

INV E – 814 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe la obtención de perfiles en calles y carreteras utilizando un perfilómetro pivotante de alta precisión con una distancia fija entre sus puntos de contacto con la superficie.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Un perfilómetro pivotante de manejo manual, que se apoya sobre dos patas, mide y registra las diferencias de cota entre dos puntos sucesivos, separados por una distancia fija, a medida se hace avanzar mediante giros de 180° sobre la superficie que se está evaluando.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Con las medidas realizadas de acuerdo con esta norma, se pueden obtener perfiles de líneas cuya traza haya sido marcada previamente sobre el pavimento. A partir de los perfiles se puede determinar el índice de rugosidad superficial del pavimento (IRI).

4 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1 *Perfilómetro pivotante de alta precisión* – Consiste en una carcasa o caja en cuyo interior va situado un inclinómetro con su correspondiente equipo electrónico y las baterías que suministran la energía al sistema. El aparato mide la diferencia de cotas entre dos puntos separados por una distancia fija, que es la que existe entre sus dos puntos de contacto con el pavimento. En la parte superior de la caja existen dos pantallas electrónicas, una a cada lado, que muestran la diferencia de cotas que se obtiene en cada momento.

- 4.1.1** La carcasa tiene en su parte inferior dos patas que constituyen sus puntos de apoyo sobre la superficie del pavimento. La unión de las patas a la carcasa es del tipo rótula, permitiendo el giro del conjunto sobre cada una de ellas. Estas patas consisten en placas circulares con superficies de alto rozamiento. La distancia entre los centros de las patas es de 25 cm. A la parte superior de la carcasa va sujeto un mango o bastón que permite el manejo del aparato. Sujeta a dicho bastón y en conexión con la carcasa, va un computador portátil que almacena y procesa los datos tomados por el equipo.
- 4.2** *Material auxiliar* – Cinta métrica, cordel para marcar líneas rectas sobre el pavimento, tiza, computador para efectuar los cálculos del perfil, y programas informáticos para obtener un perfil a partir de las diferencias de cotas medidas por el perfilómetro.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** *Modos de actuación* – Existen tres modos de efectuar el ensayo:

- 5.1.1** Tomando los datos a lo largo de una línea abierta, es decir cuyo punto final es distinto que el inicial, en la que no se conocen las cotas de sus extremos. En este caso, no se puede calcular el error acumulado en la medición.
- 5.1.2** Tomando los datos a lo largo de una línea abierta, en la que se conocen las cotas de sus extremos. En este caso, sí se puede calcular el error acumulado.
- 5.1.3** Tomado los datos a lo largo de una línea cerrada, es decir, en la que coinciden el punto inicial y el final. En este caso, también se puede calcular el error acumulado a lo largo de la línea.

Nota 1: Cuando se realice el ensayo a lo largo de una línea cerrada, conviene disponer el tramo inicial sobre una de las huellas de la circulación vehicular y el tramo de retorno sobre la huella contigua, para poder disponer así del perfil de ambas huellas.

- 5.2** *Marca de líneas sobre el pavimento:*

- 5.2.1** Antes de efectuar la medición, se deben marcar sobre la superficie de ensayo las líneas cuyo perfil se desea obtener. Estas líneas se podrán pintar con tiza, señalarse extendiendo un cordel tenso a lo largo de la línea de medida, o mediante cualquier otro procedimiento adecuado.

- 5.2.2** Si se desea conocer el error acumulado en la medición, se marcarán líneas cerradas sobre la superficie del pavimento. Para conseguir que el punto final coincida exactamente con el inicial, se trazará una circunferencia con centro en el punto inicial y radio igual a la distancia fija de separación entre las patas del equipo. En el penúltimo paso, se hará que la pata delantera pise dicha circunferencia, con lo que en el siguiente paso se conseguirá el objetivo perseguido.
- 5.3** *Puesta en marcha* – Conviene que el sistema funcione durante unos 4 minutos antes de comenzar a tomar datos o poner el equipo en ceros.
- 5.4** *Puesta en ceros* – Cada vez que se vaya a utilizar el equipo, se deberá realizar su puesta en ceros. El objeto de ello es ajustarlo de manera que proporcione idénticas diferencias de cotas entre dos puntos en una determinada posición, y en otra obtenida intercambiando las dos patas mediante un giro de 180°.
- 5.5** *Toma de datos:*
- 5.5.1** Colocado el aparato con una de sus patas sobre el punto inicial y la otra sobre la línea cuyo perfil se desea obtener, se obtendrá el primer dato de diferencia de cotas entre los dos puntos de contacto con la superficie. A continuación, se gira el aparato 180° alrededor de la pata delantera, de tal manera que la otra pase a ser la nueva pata delantera, y se va repitiendo el giro sucesivamente. De esta forma, se va moviendo el aparato a lo largo de la línea previamente marcada sobre el pavimento.
- 5.5.2** Los datos se van almacenando en el computador portátil. En el caso de carecer de este elemento, los datos se van leyendo en la ventana superior delantera de la carcasa y anotando a mano en una hoja o grabando a través de la voz en una cinta magnética.
- 5.5.3** Los datos se pueden tomar de dos formas distintas:
- 5.5.3.1** *Automáticamente* – El propio aparato determina cuál es el momento de efectuar la lectura del dato o diferencia de cotas, sin intervención del operador.
- 5.5.3.2** *Semiautomáticamente* – En esta modalidad existe un disparador que, pulsado por el operador, acelera la lectura del dato correspondiente.

5.6 Cálculo de las cotas del perfil:

- 5.6.1** La cota del punto inicial puede ser conocida o asignársele un valor arbitrario. A continuación, se van sumando ordenadamente las diferencias de cotas tomadas por el aparato, para obtener todas las cotas del perfil correspondiente a la línea ensayada.
- 5.6.2** En los modos de actuación 5.1.2 y 5.1.3 se puede calcular el error de cierre, restando la cota del punto inicial de la del punto final. Asumiendo que el error se debe a múltiples errores sistemáticos, iguales en cada paso de medida, se divide proporcionalmente el error de cierre por el número de pasos, para obtener el error producido en cada una de las lecturas. Restando, a continuación, este último error de todas las cotas, exceptuando la del punto inicial, se obtienen las cotas corregidas.

Nota 2: Cabe señalar que cuando se gira el perfilómetro para tomar el siguiente dato, se produce un error debido a la interacción entre las patas del perfilómetro y el pavimento. Este fenómeno se debe al hecho de que el aparato gira siempre alrededor de la pata que queda en posición atrasada cuando se toma el dato. La superficie de contacto de dicha pata se acomoda al pavimento antes de que se tome el dato, lo que no ocurre con la pata que ocupa la posición delantera. El resultado es un error positivo en cada paso, lo cual produce un perfil situado por encima del perfil real. Dicho error es del orden de 0.025 mm a 0.05 mm en cada paso, y aunque produce un efecto acumulativo en las cotas del perfil, no influye en el cálculo de su regularidad.

6 INFORME

- 6.1** Las cotas se informarán con una aproximación de 0.1 mm. Dado que los intervalos entre puntos son constantes e iguales a la separación de las patas del perfilómetro, para la definición del perfil bastará con dar las cotas de cada punto en su orden secuencial, empezando en el punto inicial y terminando en el punto final.
- 6.2** Se deberá indicar cuál de los modos citados en el numeral 5.1 fue el utilizado.
- 6.3** Una vez obtenido el perfil deseado, aplicando los algoritmos correspondientes se pueden calcular índices de evaluación de la regularidad superficial. En el caso concreto de desear obtener el índice de rugosidad internacional (IRI), se puede aplicar la norma INV E-794 u otro programa de cómputo apropiado.

7 PRECISIÓN Y SESGO

- 7.1** *Precisión* – La resolución del perfilómetro será de 0.1 mm. Colocado el perfilómetro sobre una superficie de control, y repetida la medida en la misma posición, la desviación estándar de las medidas deberá ser menor de 0.1 mm.
- 7.2** *Sesgo* – Colocado el perfilómetro sobre una superficie de control, y repetida la medida en la misma posición, la diferencia entre el valor correcto de la medida y la media de todas las medidas deberá ser menor de 0.1 mm.

8 NORMAS DE REFERENCIA

NLT 331– 98

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIA

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MEDIDA DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO DE PAVIMENTOS Y OTRAS SUPERFICIES SOMETIDAS A TRÁNSITO, EMPLEANDO UN DISPOSITIVO DE RUEDA PARCIALMENTE BLOQUEADA CON GRADO DE DESLIZAMIENTO FIJO

INV E – 815 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se refiere a la medida de la resistencia al deslizamiento de una superficie sometida a tránsito vehicular, empleando un equipo de rueda parcialmente bloqueada con grado de deslizamiento fijo.
- 1.2 El método cubre medidas de rueda bloqueada obtenidas con menos de 100 % de deslizamiento. No considera medidas de fuerza lateral.
- 1.3 Este método de ensayo proporciona un registro de la resistencia al deslizamiento en toda la longitud de una trayectoria de la superficie de ensayo y permite obtener promedios para los segmentos de ensayo especificados.
- 1.4 Este método se emplea para medir la resistencia al deslizamiento sobre una amplia gama de superficies y bajo una gran variedad de circunstancias. Consecuentemente, hay muchos tipos de diseños de aparatos de rueda parcialmente bloqueada con grado de deslizamiento fijo (*Continuous reading, Fixed-Slip Measuring Equipment – CFME*) y, también, muchos procedimientos para su operación.
- 1.5 Esta norma no intenta detallar los diferentes equipos y procedimientos, sino que solo pretende exponer los principios esenciales que son comunes a todos ellos.
- 1.6 Los CFMEs funcionan creando y midiendo una fuerza friccional entre una rueda de ensayo operando con un grado de deslizamiento seleccionado y la superficie de ensayo. Los diferentes tipos de equipos no crean necesariamente la misma fuerza friccional entre su rueda particular y la superficie de ensayo, y no usan necesariamente el mismo método para medir esta fuerza friccional.
- 1.7 Las medidas de los CFMEs se obtienen a una velocidad constante seleccionada para el ensayo, la cual puede variar de acuerdo con la aplicación prevista para los resultados.

- 1.8 La superficie de ensayo se puede encontrar limpia y seca o estar contaminada. Si está limpia y seca, se debe aplicar sobre ella una cantidad preestablecida de agua en frente de la rueda de ensayo.
- 1.9 El aparato de medida puede estar incorporado a un vehículo, puede encontrarse en un remolque que es tirado por un vehículo o puede ser empujado manualmente.

Nota 1: Algunos equipos de medida de resistencia al deslizamiento que operan bajo el principio descrito en esta norma son el TRT, el Skiddometer BV-8, el GripTester y los portátiles T2GO y VTI (Figura 815 - 1).



Figura 815 - 1. Equipos de medida con rueda parcialmente bloqueada con grado de deslizamiento fijo

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Fuerza de frenado* – Fuerza friccional dinámica que actúa instantáneamente sobre la rueda de ensayo.
- 2.2 *Coefficiente de fuerza de frenado (CFF)* – Promedio apropiadamente filtrado de un número de lecturas de fricción instantánea sobre una determinada distancia.
- 2.3 *Fricción por deslizamiento debido al frenado* – Fuerza tangencial generada entre la rueda de ensayo y la superficie que se ensaya.

- 2.4** *Relación frenado/deslizamiento* – Relación entre la velocidad circunferencial relativa de deslizamiento a causa del frenado y la velocidad circunferencial de la misma rueda cuando no es sometida a frenado, expresada en porcentaje. Una definición equivalente sería la relación entre la velocidad relativa del deslizamiento al frenar y la velocidad horizontal del eje de la rueda.
- 2.5** *Equipo de rueda parcialmente bloqueada con grado de deslizamiento fijo (CFME)* – Aparato que se puede desplazar sobre la superficie de ensayo a la velocidad escogida y que consta de una rueda de ensayo, un sistema para frenarla e instrumentos para medir la fuerza friccional resultante entre la rueda y la superficie que se ensaya.
- 2.6** *Sistema de rueda parcialmente bloqueada con grado de deslizamiento fijo* – Sistema de frenado que fuerza a la rueda de ensayo a girar con un deslizamiento constante o una reducción fija, en relación con el giro que tendría en condiciones de libertad.
- 2.7** *Fuerza friccional* – Resistencia generada cuando una fuerza se mueve con relación a otra con la cual se encuentra en contacto.
- 2.8** *Fricción instantánea* – Fuerza de frenado dividida por la fuerza de carga.
- 2.9** *Fuerza de carga* – Fuerza vertical dinámica instantánea que actúa sobre la rueda de ensayo.
- 2.10** *Espesor nominal de la película de agua* – Espesor de la película que el sistema de aplicación de agua está diseñado para aplicar en frente de la rueda de ensayo, sobre una superficie totalmente lisa.
- 2.11** *Espesor nominal normalizado de la película de agua* – Espesor nominal de la película de agua, asociado con las medidas de CFME para un tipo particular de aplicación de ensayo, con el fin de facilitar comparaciones entre los resultados de diferentes ensayos.
- 2.12** *Rata de flujo de agua* – Rata a la cual se aplica el agua a la superficie en frente de la rueda de ensayo.
- 2.13** *Velocidad normalizada de ensayo* – Velocidad continua de ensayo, asociada con las medidas del CFME para un tipo particular de aplicación de ensayo, con el fin de facilitar las comparaciones entre los resultados de diferentes ensayos.
- 2.14** *Velocidad de ensayo* – Velocidad constante asociada con las medidas del CFME.

- 2.15** *Sistema de aplicación de agua* – Sistema que deposita una cantidad dada de agua en frente de la rueda de ensayo, de manera que pase entre el área de contacto de la rueda y la superficie que se ensaya.
- 2.16** *Calibración para certificación* – Verificación del equipo de ensayo, del equipo de calibración, de los procedimientos de calibración y de la operación del equipo, que se recomienda efectuar anualmente.
- 2.17** *Calibración de campo* – Calibración de la fuerza, que lleva a cabo antes de cada serie de ensayos un operador entrenado, usando el equipo de calibración suministrado por el fabricante.
- 2.18** *Ensayo operacional de fricción*– Medida de la fricción de una superficie en respuesta a una necesidad operacional y bajo cualquier condición existente en la superficie en el instante del ensayo, incluyendo contaminación con hielo, nieve, lodo o agua. Los ensayos operacionales no incluyen la aplicación de agua.
- 2.19** *Ensayo rutinario de fricción* – Medida de fricción en una superficie bajo condiciones de ensayo debidamente estandarizadas, que incluyen normalmente una velocidad normalizada y una tasa de flujo de agua que da lugar a un espesor normalizado de película de agua.
- 2.20** *Rueda de ensayo* – Rueda normalizada para el ensayo de fricción sobre el pavimento. Las ruedas para los ensayos rutinarios de fricción deben ser lisas (sin labrado).

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** El sistema de ensayo es desplazado sobre la superficie a ensayar a la velocidad de ensayo seleccionada, con la rueda de ensayo forzada a girar con un grado particular de deslizamiento.
- 3.2** En ensayos rutinarios (numeral 2.19), la tasa de flujo de agua se ajusta a la velocidad de la prueba, de manera de obtener el espesor escogido de película nominal.
- 3.3** Se miden la fuerza de frenado o el torque, y la carga se mide, se calcula o se asume que es igual al peso muerto del equipo.
- 3.4** Se calcula la fricción instantánea (numeral 2.8).

- 3.5** O se registra la fricción instantánea o se calcula y registra el coeficiente de fuerza de frenado (numeral 2.2), para cada longitud evaluada.
- 3.6** Se anotan la velocidad de ensayo, la rata de flujo de agua y los demás datos esenciales de soporte para el informe.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Los equipos cobijados por esta norma se emplean para medir la resistencia al deslizamiento en pistas de aterrizaje, carreteras, calles y otros tipos de superficies sometidas a tránsito. Las pruebas pueden comprender ensayos operacionales realizados para obtener una evaluación inmediata de la resistencia al deslizamiento bajo las condiciones actuales (numeral 2.18), o ensayos de rutina en condiciones normalizadas que incluyen la aplicación de agua en frente de la rueda de ensayo (numeral 2.19).
- 4.2** Las velocidades de ensayo y los espesores normalizados de película de agua están de acuerdo con estándares nacionales e internacionales, con el tipo de equipo y con la utilización que se vaya a dar a los resultados. En el Anexo A se presentan algunos ejemplos de aplicaciones típicas.

5 EQUIPO

5.1 *Características básicas:*

- 5.1.1** El aparato de ensayo debe estar equipado con un transductor que proporcione una medida directa de la fuerza de frenado o un transductor de torque que mida el par sobre la rueda de ensayo generado por esta fuerza, o ambos.
- 5.1.2** El diseño del aparato debe asegurar que la fuerza promedio de carga actuante sobre la rueda de ensayo permanezca dentro de 1 % de la carga estática de la rueda sobre toda la longitud ensayada. En caso contrario, el aparato deberá estar equipado con un transductor de fuerza para medir la fuerza de carga.
- 5.1.3** El aparato debe incluir un mecanismo para medir la velocidad y la distancia recorrida.

5.1.4 Salvo que el equipo se use solo para ensayos operacionales, deberá incluir un mecanismo para aplicar y medir la tasa de flujo de agua.

5.2 *Tolerancias para condiciones adversas:*

5.2.1 Las partes del sistema que quedan expuestas al ambiente deben tolerar una humedad relativa de 100 % y cualquier otra condición desfavorable, tal el caso de químicos descongelantes, polvo, y los golpes y vibraciones que se puedan producir en el tipo de ensayo para el cual está diseñado el equipo. El sistema de suspensión deberá minimizar la influencia de las irregularidades normales del pavimento sobre la exactitud y la fidelidad del acopio de datos.

5.3 *Exactitud, resolución y estabilidad del sistema de medición:*

5.3.1 A temperaturas ambiente exteriores entre -40 y 45° C, el sistema de medida deberá tener una exactitud global de ± 1.5 % del máximo de escala.

5.3.2 La calibración para certificación o la calibración de estabilidad en cualquier otro instante, no se requieren a intervalos inferiores a un año, salvo que el sistema sufra algún daño que implique su reparación.

5.3.3 Si hay un transductor de fuerza que suministre una medida directa de la fuerza de frenado, deberá hacerlo con un mínimo de efectos inerciales. Es recomendable que este transductor suministre datos de salida directamente proporcionales a la fuerza, con una histéresis inferior al 1 % de la carga aplicada. El montaje del transductor de medida de la fuerza de frenado deberá ser tal, que los efectos de la carga transversal o de la carga de torque sean menores del 1 % de la carga aplicada. El transductor de la fuerza de frenado deberá estar instalado de manera que experimente una rotación angular menor de 1° con respecto a su plano longitudinal de medición a la máxima carga esperada.

5.3.4 Si hay un transductor de torque que mida sobre la rueda de ensayo el torque generado por la fuerza de frenado, este transductor debe suministrar datos de salida directamente proporcionales al torque, con una histéresis inferior al 1 % de la carga aplicada y una no linealidad hasta la máxima carga esperada, menor al 1 % de la carga aplicada. La sensibilidad a cualquier carga transversal deberá ser menor del 1 % de la carga aplicada. Las medidas del transductor de torque incluyen los

efectos inerciales de la rueda en movimiento, los cuales deben ser compensados para todas las velocidades de ensayo.

5.3.5 Si se mide la fuerza de carga, la exactitud de la medida deberá estar de acuerdo con las exigencias del numeral 5.3.3. Si se asume que la fuerza de carga es constante, debe ser posible demostrar que la carga dinámica de la rueda que se ha asumido, se encuentra en un intervalo de ± 2.0 % en relación con la carga dinámica real de la rueda.

5.3.6 La distancia recorrida se deberá medir con una resolución de 0.1 % y con una exactitud de ± 0.5 %, y deberá ser registrada de manera continua.

5.3.7 La velocidad se deberá medir con una resolución de 2 km/h (1 mph) y con una exactitud de ± 1 km/h (± 0.5 mph), siendo recomendable que se pueda registrar de manera continua.

5.4 *Grado de deslizamiento:*

5.4.1 El aparato de ensayo debe ser tal, que el grado de deslizamiento fijo escogido se pueda mantener dentro del ± 3.0 % de la escala total, a través de la longitud ensayada, a la velocidad de ensayo elegida (por ejemplo, si el grado de deslizamiento elegido es 15 %, su valor se deberá mantener entre 12 y 18 %)

5.5 *Velocidad de prueba* – Con la rueda de ensayo operando con el grado de deslizamiento fijo escogido, el aparato deberá ser capaz de mantener la velocidad de ensayo con un rango de variación de ± 3.0 % durante la duración de la auscultación.

5.6 *Rueda de ensayo* – Deberá estar de acuerdo con la especificación aplicable al equipo que se utilice. Las normas ASTM incluyen especificaciones para diversos tipos de ruedas.

5.7 *Sistema de aplicación de agua:*

5.7.1 El agua se deberá aplicar sobre la superficie justo en frente de la rueda de ensayo, de manera de que el suministro sea el correspondiente al espesor nominal de película escogido. La aplicación se deberá producir a través de todo el ancho de la rueda y a cualquier velocidad de ensayo.

- 5.7.2** El sistema debe estar protegido contra la acción del viento cruzado, bien sea mediante el uso de una boquilla colocada muy cerca de la superficie o bien colocando un escudo que proteja adecuadamente la boquilla. También, se puede emplear un chorro de agua con una velocidad horizontal igual y opuesta a la velocidad del ensayo, aplicado en un ancho ligeramente mayor al ancho de la banda de rodadura de la rueda.
- 5.7.3** El agua usada en el ensayo debe ser razonablemente limpia. No podrá contener químicos tales como agentes de mojado o detergentes y se deberá aplicar a una temperatura no mayor de 30° C (86° F).
- 5.7.4** El espesor nominal de la película de agua deberá estar de acuerdo con lo que recomiende el manual del fabricante del equipo y la aplicación que vayan a tener los resultados del ensayo.
- 5.7.5** Se debe medir continuamente la rata de aplicación de agua, siendo recomendable registrar los valores medidos.
- 5.7.6** La rata de aplicación de agua se deberá regular en un rango de ± 10.0 %.
- 5.8** *Sistemas de acondicionamiento de la señal y de registro:*
- 5.8.1** Todos los equipos de acondicionamiento de la señal y de registro deben proporcionar una salida lineal y permitir que la resolución en la lectura de datos satisfaga los requisitos indicados en el numeral 5.3. Todos los sistemas, con excepción del filtro de suavización mencionado en el numeral 5.8.3 deben dar un ancho de banda mínimo de, al menos, 0 a 20 Hz (plano en ± 1.0 %).
- 5.8.2** Las medidas se deben registrar en fase y todas las señales de fuerza se deben referenciar a una base única de tiempo y se deben pasar a través del mismo filtro.
- 5.8.3** En el circuito de acondicionamiento de la señal se deberá instalar un filtro electrónico de paso bajo, típicamente entre un polo de 4.8 Hz/3dB/4 y uno de 10 Hz/3dB/8.
- 5.8.4** La relación entre la señal estática y el ruido debe ser al menos de 100 a 1 a plena escala, sobre todos los canales de registro.

6 RIESGOS

- 6.1** El equipo de ensayo debe cumplir todas las leyes y regulaciones aplicables. Es necesario tomar todas las medidas de prevención, para garantizar la seguridad del personal operativo y de terceros.
- 6.2** Ningún ensayo que involucre el humedecimiento de la superficie se deberá realizar a menos de 2° C (35° F), por el riesgo de que el agua se pueda congelar sobre la superficie del pavimento.

7 PREPARACIÓN DEL EQUIPO

- 7.1** La calibración de campo se deberá realizar de acuerdo con el manual del fabricante.
- 7.2** La velocidad de ensayo y la tasa de aplicación de agua se deben escoger de acuerdo con el sitio de la auscultación y el manual del fabricante.
- 7.3** Se debe prestar especial atención a la condición en que se encuentre la rueda de ensayo.
- 7.3.1** Una rueda nueva no se deberá usar hasta que haya sido acondicionada para rodar con grado de deslizamiento fijo a la presión de inflado normal, para lograr que su banda de rodamiento sea lisa y libre de cualquier producto de curado. Para ruedas sin acondicionar y ensayadas por el proveedor, el operador deberá proceder a su acondicionamiento rodando la rueda en seco por 30 m (100 pies) y, en seguida, por 300 m (1000 pies) sobre una superficie húmeda. El operador deberá tener presente que estas longitudes son típicas y que, si la superficie es muy agresiva, la rueda no deberá ser rodada en seco tanto como 30 m (100 pies) y que, si la superficie es muy lisa, el acondicionamiento puede requerir una longitud mayor.
- 7.3.2** No se deberá emplear una rueda de ensayo que presente daño, partes aplanadas u otras irregularidades que puedan afectar los resultados.
- 7.3.3** Tampoco se podrá emplear una rueda que presente un desgaste excesivo que no permita la ejecución completa de los ensayos de una misma serie. Los criterios para determinar el desgaste de las ruedas de caucho se presentan en las normas relacionadas con ellas (Ver, por

ejemplo, especificaciones ASTM E 501, E 524, E 1551 y E 1884) y los catálogos de los fabricantes.

- 7.3.4** Para todas las ruedas de ensayo se deberán respetar las limitaciones sobre almacenamiento indicadas en las respectivas especificaciones.
- 7.3.5** Inmediatamente antes de cada serie de ensayos, la rueda deberá ser preparada para operar, rodando el equipo en el modo y las condiciones de ensayo, de acuerdo con el manual del fabricante. Se deberá verificar que la presión de inflado sea la apropiada.

8 CALIBRACIÓN

- 8.1** La calibración de campo de los transductores de fuerza o de torque se debe adelantar antes de cada ensayo. La señal de calibración debe estar, al menos, a 50 % de la carga vertical normal, y el proceso de calibración deberá ser tal, que los efectos de la carga transversal o de la carga de torque sean inferiores al 1 % de la carga aplicada.
- 8.2** La calibración de certificación se realiza anualmente y luego de alguna reparación de importancia.
- 8.3** La calibración de los sistemas de medida de distancia y de velocidad se debe llevar a cabo de manera que se cumplan las exigencias plasmadas en los numerales 5.3.6 y 5.3.7.

9 PROCEDIMIENTO

- 9.1** El punto de partida del ensayo, tanto en sentido longitudinal como transversal, se deberá definir en el sitio de prueba.
- 9.2** Se establece un tramo de previo de asentamiento de suficiente longitud, con el fin de que la velocidad de ensayo y la rata de aplicación de agua escogidas se puedan alcanzar antes del punto de inicio de la prueba.
- 9.3** Si existe la posibilidad de una demora entre el final del proceso descrito en el numeral 7.3.5 y el inicio de la prueba, la longitud del tramo de asentamiento se deberá aumentar, para lograr que la rueda alcance su condición estable de ensayo.

10 ENSAYOS DEFECTUOSOS

10.1 Los ensayos defectuosos se deben tratar estadísticamente como atípicos. Dentro de las razones para considerar defectuoso un ensayo, se encuentran:

10.1.1 Velocidad incorrecta durante el ensayo.

10.1.2 Tasa incorrecta de aplicación de agua.

10.1.3 Puntos incorrectos de inicio o terminación.

10.1.4 Trayectoria de ensayo incorrecta (normalmente definida por la distancia al eje longitudinal de la vía).

10.1.5 La rueda no fue llevada a las condiciones de operación antes de iniciar el ensayo.

10.1.6 Al final del ensayo, la rueda presenta un desgaste que excede los límites admisibles.

10.1.7 Incorrecta presión de inflado de la rueda.

10.1.8 Condiciones superficiales inapropiadas (por ejemplo, concentración de agua de ensayos previos).

10.1.9 Resultados anómalos.

11 DATOS DEL ENSAYO

11.1 Las mediciones hechas con estos equipos tiene poco valor, si no cuentan con información de respaldo. Los datos de soporte pueden ser colectados manualmente por el operador o recolectados de manera automática y escritos en el archivo del computador.

11.2 Dentro de los datos esenciales de soporte se encuentran los siguientes:

11.2.1 Suficientes referencias sobre la ubicación del ensayo, sobre todo si se requiere que los datos de medida de fricción se analicen en conjunto con otros datos referenciados con su ubicación.

11.2.2 Tipo y número de serie del equipo.

- 11.2.3** Velocidad de ensayo (proyectada y real). Se recomienda que se registre la velocidad real para cada longitud donde se evalúe la fricción.
- 11.2.4** Rata de flujo de agua (proyectada y real). Se recomienda que se registre la rata real para cada longitud donde se evalúe la fricción. Si se está realizando un ensayo operacional, la rata de agua debe ser cero.
- 11.2.5** Condición de la superficie antes del ensayo.
- 11.2.6** Fecha del ensayo.
- 11.2.7** Tipo de rueda, número de serie y presión de inflado.
- 11.3** Otros datos de apoyo que no son esenciales pero resultan recomendables, son los siguientes:
- 11.3.1** Temperaturas de la superficie, del ambiente y de la rueda de ensayo.
- 11.3.2** Condiciones ambientales en el momento del ensayo.
- 11.3.3** Hora de inicio del ensayo.
- 11.3.4** Nombre del operador.
- 11.3.5** Tipo de superficie ensayada.

12 INFORME

- 12.1** El informe de ensayo debe incluir todos los ítems mencionados en el numeral 11.2, siendo recomendable que incluya también los listados en el numeral 11.3.

13 PRECISIÓN Y SESGO

- 13.1** *Precisión* – Las medidas hechas de acuerdo con esta norma corresponden a la fuerza friccional entre la superficie del pavimento y una rueda de ensayo operando con un determinado grado de deslizamiento fijo. Son muchos los parámetros que pueden producir variaciones en esta fuerza friccional y, por lo tanto, los resultados obtenidos con los diferentes equipos, o a diferentes

velocidades, o con diferentes flujos de agua, no concuerdan necesariamente unos con otros.

- 13.2** *Sesgo* – No hay estándares o referencias contra los cuales se puedan comparar los resultados de este ensayo.

14 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM E 2340/E 2340M – 11

ANEXO A (Informativo)

PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

- A.1** Los CFMEs se usan para medir la resistencia al deslizamiento en una gran variedad de superficies y bajo una amplia gama de situaciones. Consecuentemente, hay muchos procedimientos que gobiernan su utilización.
- A.2** *Carreteras:*
- A.2.1** En carreteras no se acostumbra la ejecución de ensayos operacionales (numeral 2.18).
- A.2.2** Los ensayos rutinarios se realizan usualmente sobre la banda de rodamiento izquierda de cada carril. La longitud del ensayo puede ser tan corta como 100 m (300 pies) o tan larga como 50 km (30 millas). Las velocidades usuales de ensayo varían entre 20 y 80 km/h (12 a 50 mph), dependiendo del tipo de equipo y de la aplicación que vayan a tener los resultados. Los espesores nominales de la película de agua son, típicamente, 0.25, 0.50 y 1.00 mm (0.01, 0.02 y 0.04"), dependiendo del tipo de equipo y de la aplicación que vayan a tener los resultados.
- A.3** *Otras superficies:*
- A.3.1** En vías peatonales y en helicubiertas, donde el equipo debe ser empujado con la mano, se ha establecido una velocidad estándar de ensayo de 5 km/h (3 mph) y un espesor nominal de película de agua entre 1.0 y 0.5 mm (0.04 y 0.02").

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

CUANTIFICACIÓN DE LAS GRIETAS EN LA SUPERFICIE DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO

INV E – 816 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma presenta un procedimiento para cuantificar el agrietamiento en las superficies de los pavimentos asfálticos tanto en las bandas de rodadura de los vehículos como en las áreas no transitadas por éstos. No se incluyen especificaciones detalladas en relación con el equipo o los instrumentos necesarios para realizar las medidas; por lo tanto, se considera aceptable cualquier equipo que pueda cuantificar las grietas con la exactitud estipulada en la presente norma y cuya información pueda ser validada adecuadamente.

Nota 1: La normalización produce estimaciones consistentes de la condición del pavimento en los sistemas de administración de pavimentos a nivel de red. Como alternativa, el usuario puede definir y recolectar otros datos, tales como el agrietamiento de bordes, las grietas en el eje y las grietas transversales. Esta norma se ha diseñado para ser empleada principalmente con equipo automático; sin embargo, se pueden hacer arreglos para utilizarla empleando métodos manuales.

- 1.2** Las siguientes evaluaciones son aceptables para la recolección de datos tanto de manera automática como de manera manual:

1.2.1 *Evaluaciones automatizadas* – Se usa un vehículo que transite a la velocidad normal de circulación en la carretera y recolecte datos sobre toda la longitud de ésta (muestra de 100 %).

1.2.2 *Evaluaciones manuales* – Se observan los deterioros y se registran los datos sobre una muestra estadísticamente confiable del carril que se está evaluando. El nivel de confiabilidad de los resultados de cada sección deberá exceder de 85 %. La evaluación de una película continua de la vía en la oficina se considera una evaluación manual.

- 1.3** El procedimiento descrito en esta norma no aplica para la determinación del índice de fisuración del método VIZIR, descrito en la norma INV E-813.

2 DEFINICIÓN Y ESTIMACIÓN DEL AGRIETAMIENTO

- 2.1** *Guías generales* – Cada agencia deberá establecer los carriles y las direcciones de viaje a ser evaluados a partir de principios sanos de la ingeniería y de las necesidades de la administración de pavimentos de la entidad. Se

recomiendan las siguientes guías como mínimos para proporcionar uniformidad a largo plazo:

- 2.1.1** Se evalúa una franja de 2.50 m (8 pies) de ancho en el carril exterior, como se muestra en la Figura 816 - 1. Como alternativa, se puede evaluar el ancho total del carril de 3.65 m (12 pies).
 - 2.1.2** Para carreteras de una sola calzada, se evalúa una dirección.
 - 2.1.3** Para carreteras de doble calzada se evalúa el carril exterior en ambas direcciones.
 - 2.1.4** Es deseable que para cada ciclo de evaluación se utilicen las mismas direcciones de viaje y los mismos carriles.
- 2.2** *Definición y tipos de agrietamiento* – Una grieta es una discontinuidad en la superficie del pavimento con dimensiones mínimas de 1 mm (1/25") de ancho y 25 mm (1") de longitud. Las grietas pueden ser longitudinales, transversales e interconectadas. La intención de esta norma es cuantificar y diferenciar entre las grietas asociadas con las cargas del tránsito (fatiga) y las que no están asociadas con él (debidas a temperatura, reflexión, etc.)
- 2.2.1** Para los efectos de esta norma, el hecho de que la intensidad del agrietamiento en las franjas por las que circulan las ruedas de los vehículos sea mayor que en las áreas no sometidas a ellas, se asume asociado a la acción de las cargas del tránsito (fatiga).
 - 2.2.2** El agrietamiento no asociado con las cargas, se cuantifica midiéndolo en las áreas no sometidas a la circulación continua de las ruedas de los vehículos.
 - 2.2.3** Las grietas selladas no deberán ser cuantificadas en las evaluaciones manuales. El equipo de evaluación automática no cuantificará ninguna discontinuidad mayor de 25 mm (1") de ancho.
- 2.3** *Estimación del agrietamiento por tipo:*
- 2.3.1** *Valoración de las grietas en las huellas de circulación* – Se deberá determinar tanto en la huella interior como en la exterior, como se muestra en la Figura 816 - 1.
 - 2.3.2** *Valoración de las grietas entre las huellas de circulación* – Se deberá determinar en el área comprendida entre las dos huellas, como se muestra en la Figura 816 - 1.

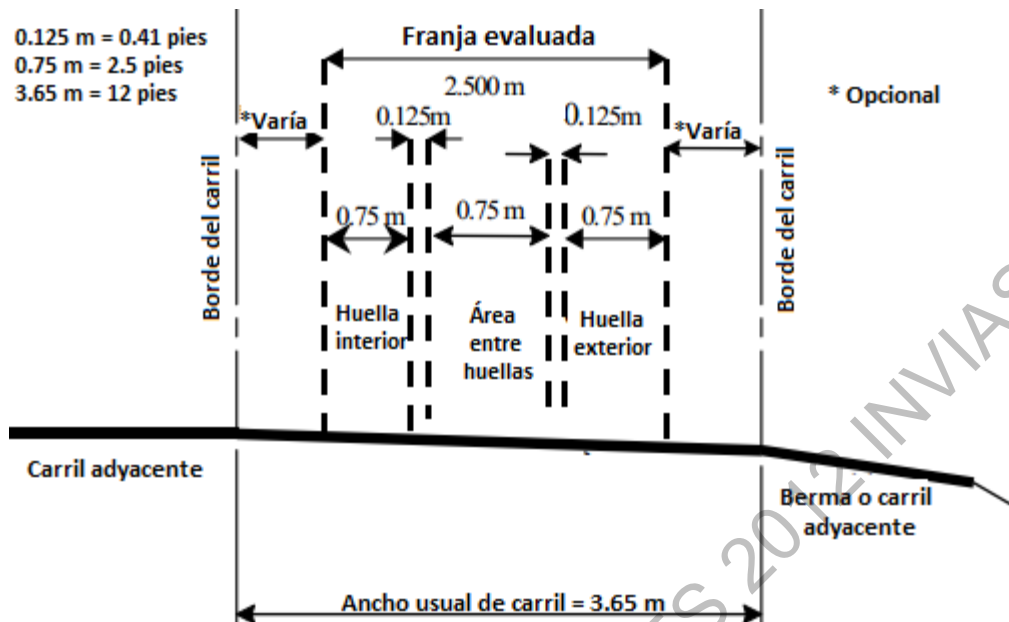


Figura 816 - 1. Sección transversal de un carril mostrando las zonas de circulación de las ruedas y el área comprendida entre ellas

2.3.3 La determinación de cualquier agrietamiento que se presente fuera de la huella en el resto del ancho del carril es opcional, y deberá ser definida por la entidad.

2.3.4 El agrietamiento se deberá clasificar por severidad e intensidad, como se indica a continuación.

2.3.4.1 *Severidad nivel 1* – Grietas con ancho menor de 3 mm (< 1/8").

2.3.4.2 *Severidad nivel 2* – Grietas con ancho mayor de 3 mm (> 1/8") y menor de 6 mm (< 1/4").

2.3.4.3 *Severidad nivel 3* – Grietas con ancho mayor de 6 mm (> 1/4").

2.3.5 La intensidad del agrietamiento en cada nivel se deberá cuantificar como la longitud total de grietas por unidad de área (m/m^2) para cada franja de evaluación definida como se muestra en la Figura 816 - 1.

Nota 2: El área de la muestra es función de la longitud que escoja la agencia, como se indica en la Sección 3.

3 REGISTRO DE LOS DATOS

- 3.1 Evaluaciones automatizadas** – Se deberá evaluar la longitud total del pavimento (muestra de 100 %). Los datos se deben resumir en intervalos de 100 m (0.062 millas).
- 3.2 Evaluaciones manuales** – El número de muestras para una determinada sección de pavimento homogénea se establece a partir del nivel de confiabilidad deseado y de la varianza de las muestras. El intervalo de confianza mínimo de 85 % de la media no deberá ser mayor que el 10 % de su valor. Cada sección deberá de tener, por lo menos, 4 muestras. Para los fines del establecimiento del nivel de confianza, la longitud total agrietada considerando todos los niveles de severidad dentro de la franja de evaluación deberá ser sumada como un conjunto. La Tabla 816 - 1 muestra los niveles de confiabilidad en función del número de muestras y de la desviación estándar de ellas. Se da por entendido que las muestras deben estar distribuidas a través de toda la sección.

Tabla 816 - 1. Intervalos de confianza

NÚMERO DE MUESTRAS	85 % DE CONFIABILIDAD	95 % DE CONFIABILIDAD
5	1.034s	1.802s
10	0.691s	1.204s
20	0.476s	0.829s

Nota: s es la desviación estándar de las muestras

- 3.2.1 Sección de recolección de información** – Deberá ser una sección relativamente homogénea del pavimento, determinada a partir de la construcción visible y de su condición general. Su longitud se puede determinar a partir de registros históricos de datos o de marcas colocadas en la vía durante la recolección de la información. Entre más homogénea sea la sección, se requerirá un menor número de muestras para alcanzar la confiabilidad requerida.

- 3.2.2 Muestra de recolección de información** – La longitud exacta de cada muestra de recolección de información deberá ser determinada por la entidad y se debe encontrar entre 0.3 km (0.02 millas) y 1.0 km (0.62 millas). Las muestras de mayor longitud tienden a presentar menor variación.

Nota 3: Las entidades deberán realizar experimentos sobre el tamaño de la muestra, el número y la definición de las secciones, para minimizar el esfuerzo necesario para recolectar la información logrando la confiabilidad requerida.

4 INFORME

4.1 La Tabla 816 - 2 presenta un ejemplo del informe.

Tabla 816 - 2. Ejemplo de informe

NIVEL DE SEVERIDAD	HUELLA EXTERNA m/m ²	HUELLA INTERNA m/m ²	ENTRE HUELLAS m/m ²	ÁREAS OPCIONALES Y DETERIOROS		
				GRIETAS DE BORDE	JUNTAS	GRIETAS TRANSVERSALES
1	12	19	5	Definidas por el usuario		
2	25	10	2			
3	10	12	4			

4.2 Como mínimo, se debe reportar la siguiente información:

Nota 4: Para efectos del informe, "muestra" en el modo manual es equivalente a "intervalo" para el modo automatizado.

4.2.1 *Identificación de la sección* – Para cada sección de recolección de información, se deberá hacer una lista con toda la información necesaria para ubicar la sección dentro del sistema de referenciación de la entidad.

4.2.2 Longitud de la sección de recolección de información, km (millas).

4.2.3 Longitud de la muestra, en m (pies) si no corresponde al 100 %.

4.2.4 *Localización de la muestra* – Ubicación del punto de inicio de la muestra.

4.2.5 Longitud dentro de la muestra para cada nivel de severidad del agrietamiento en las huellas del tránsito, m (pies).

4.2.6 Longitud dentro de la muestra para cada nivel de severidad del agrietamiento en la zona no afectada por la circulación del tránsito, m (pies).

4.2.7 Fecha de la evaluación.

5 NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO PP 44 – 01 (2007)

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS A LA SEGREGACIÓN

INV E – 817 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma especifica un método para la determinación de la calidad del mezclado y de la tendencia a la segregación granulométrica de las mezclas asfálticas en caliente.
- 1.2 Este método de ensayo es adecuado tanto para el diseño y el control de las mezclas, como para información del cliente

2 DEFINICIONES

- 2.1 Las siguientes definiciones aplican de manera específica a esta norma de ensayo:
 - 2.1.1 *Calidad de la mezcla* – Homogeneidad en la composición de la mezcla asfáltica inmediatamente después de terminado el mezclado.
 - 2.1.2 *Segregación* – Variabilidad de la granulometría del agregado y del contenido de ligante en una mezcla asfáltica bien elaborada, debido a movimientos diferenciales de las partículas de los agregados grueso y fino durante el manejo de la mezcla.
 - 2.1.3 *Valor de segregación* – Diferencia en el contenido de ligante o en el resultado del tamizado entre las partes gruesa y fina de una mezcla segregada.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 Se coloca una muestra de la mezcla asfáltica en una tolva cónica caliente. Se abre la placa deslizante del fondo de la tolva y la mezcla cae sobre una plataforma, formándose una pila. Se abre una trampa que tiene la plataforma bajo el centro de la pila y la fracción fina interior de la pila fluye a través de la abertura de la trampa. Luego, se expande la abertura, lo que hace fluir la

fracción intermedia de la mezcla. Se determinan el contenido de ligante y la gradación de la fracción fina y la de la parte gruesa que quedó en la plataforma.

- 3.2 El valor de segregación del ligante se calcula como la diferencia entre el contenido de ligante de la fracción fina interior y el de la fracción gruesa remanente.
- 3.3 El valor de segregación del agregado se calcula por tamiz, para los tamices del agregado grueso, como la diferencia del resultado del tamiz entre las fracciones fina y gruesa.
- 3.4 El valor de calidad del mezclado se calcula como la diferencia del contenido de ligante entre la sub-fracción de mástico de la fracción fina y el de la fracción gruesa.
- 3.5 Si se desea información más detallada, se puede analizar la fracción intermedia para calcular, de la misma manera, las diferencias entre las tres fracciones.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 La homogeneidad de un pavimento asfáltico está determinada, entre otras, por la homogeneidad en la composición de las mezclas asfálticas colocadas. La homogeneidad de una mezcla asfáltica es afectada por la calidad del mezclado durante la producción y por su segregación durante el manejo posterior. Esta última se encuentra influenciada por la composición de la mezcla, en términos del tipo y de la cantidad de agregados y ligante. Alguna segregación es inherente a la naturaleza de los materiales bituminosos. La segregación indebida es causada, por ejemplo, por un mezclado inapropiado, una carga inadecuada en la tolva en caliente o por deficiencias en las descargas, el transporte y la extensión de la mezcla.
- 4.2 Este método de ensayo brinda información útil sobre la calidad de la homogeneidad de una mezcla asfáltica. Los datos del ensayo suministran información sobre la eficacia del procedimiento de mezclado y sobre la sensibilidad de la mezcla a la segregación granulométrica durante el manejo, con el fin de que se puedan tomar medidas para minimizarla siempre que se considere necesario.

5 EQUIPO

- 5.1** *Segregador (Figura 817 - 1)* – Dispositivo mecánico con una placa deslizante en su fondo.

Nota 1: Se aconseja que el segregador sea desarmable, para calentar únicamente la tolva de almacenamiento.

- 5.2** *Recipientes metálicos* – Por lo menos tres, con un diámetro mínimo de 500 mm (20").
- 5.3** *Balanza* – Con capacidad suficiente para pesar la muestra y las fracciones de ensayo y con una sensibilidad de 1 g.
- 5.4** *Elemento de calentamiento* – Para calentar la tolva de almacenamiento del segregador; que sea capaz de mantener temperaturas hasta de 200° C con una exactitud de $\pm 2^\circ$ C. Puede ser un horno eléctrico en el cual quepa la tolva, o cables eléctricos para calentarla.
- 5.5** *Cronómetro.*
- 5.6** *Termómetro* – Metálico o digital, que permita medir la temperatura de las mezclas asfálticas en el rango de 150 a 200° C, con una exactitud de $\pm 2^\circ$ C.

6 MUESTRA DE ENSAYO

- 6.1** La muestra de ensayo puede provenir de una muestra de mezcla producida en el laboratorio o de una planta asfáltica.
- 6.2** En caso de que sea producida en la planta, es preferible tomarla del mezclador, o lo más cerca del mezclador que sea posible. La masa de la muestra de la planta deberá ser de, por lo menos, 30 kg.
- 6.3** La muestra global se reduce al tamaño de la porción de ensayo, de acuerdo con la norma INV E-776. La porción de ensayo deberá ser de 10 ± 1 kg.
- 6.4** La porción de mezcla para ensayo se deberá encontrar a la temperatura apropiada en el momento de la prueba, según la relación viscosidad – temperatura del ligante utilizado en su elaboración.

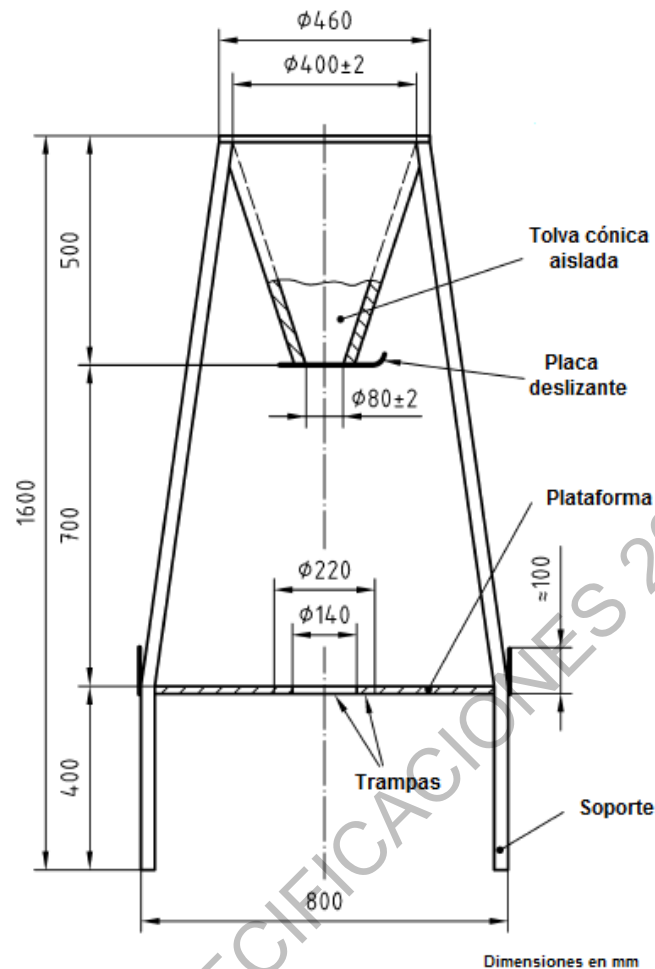


Figura 817 - 1. Segregador (tolerancias de ± 5 mm, excepto si se especifica otro valor)

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1 La tolva se deberá encontrar limpia y libre de productos lubricantes. Se calienta entre 160 y 170° C.
- 7.2 Se arma el segregador y se procede de inmediato con la secuencia que se indica a continuación.
- 7.3 Se coloca la porción de ensayo en la tolva y se mide la temperatura de la mezcla.
- 7.4 Se abre rápidamente la placa deslizante del fondo de la tolva y la porción de ensayo cae, aproximadamente, 700 mm sobre la plataforma formando una pila.

- 7.5** Se determina el tiempo, en segundos, que tarda la porción de ensayo en salir de la tolva.
- 7.6** Se coloca el primer recipiente metálico dentro del espacio del soporte y se abre mecánicamente la trampa interna (de 140 mm de diámetro). Se colecta en el recipiente la fracción fina de la porción de ensayo que cae de la pila.
- 7.7** Se coloca el segundo recipiente metálico dentro del espacio del soporte y se abre mecánicamente la trampa externa (de 220 mm de diámetro). Se colecta en el recipiente la fracción intermedia de la porción de ensayo que cae de la pila.
- 7.8** Se coloca en el tercer recipiente metálico la fracción gruesa de la porción de ensayo, la cual quedó en la plataforma.
- 7.9** Se determina el contenido de ligante (normas INV E-732 o INV E-743) y la granulometría (norma INV E-782) de las fracciones fina y gruesa. Se deberá analizar la totalidad de cada fracción.

Nota 2: No se requiere el análisis de la fracción intermedia para la determinación de la sensibilidad a la segregación. Sin embargo, se puede analizar cuando se considere necesario confirmar que el contenido de ligante de esta fracción se encuentra entre los de las otras dos fracciones.

8 CÁLCULOS

8.1 Valor de segregación del ligante (VSL):

8.1.1 Se calcula con la expresión:

$$VSL = B_f - B_g \quad [817.1]$$

Donde: VSL: Valor de segregación del ligante, % por masa;

B_f : Contenido de ligante de la fracción fina, % por masa;

B_g : Contenido de ligante de la fracción gruesa, % por masa.

Nota 3: Los porcentajes por masa se deben expresar con aproximación a 0.1 %.

8.2 Valor de segregación del agregado (VSA):

8.2.1 Se calcula para los tamices deseados del agregado grueso y obligatoriamente para el de 2 mm (No. 10), con la expresión:

$$VSA_n = S_{fn} - S_{gn} \quad [817.2]$$

Donde: VSA_n : Valor de segregación del agregado para el tamiz n, % por masa;

S_{fn} : Pasante de agregado de la fracción fina sobre el tamiz n, % por masa;

S_{gn} : Pasante de agregado de la fracción gruesa sobre el tamiz n, % por masa.

Nota 3: Los porcentajes por masa se deben expresar con aproximación a 0.1 %.

8.3 Valor de calidad de la mezcla (VCM):

8.3.1 Se calcula el contenido de ligante de la sub-fracción mástico de la fracción fina, con la ecuación:

$$B_{fm} = \frac{B_f}{S_{f2}} \times 100 \quad [817.3]$$

Donde: B_{fm} : Contenido de ligante de la sub-fracción mástico de la fracción fina, % por masa;

B_f : Contenido de ligante de la fracción fina, % por masa;

S_{f2} : Pasante de agregado de la fracción fina sobre el tamiz de 2 mm (No. 10), % por masa.

8.3.2 Se calcula el contenido de ligante de la sub-fracción mástico de la fracción gruesa, con la ecuación:

$$B_{gm} = \frac{B_g}{S_{g2}} \times 100 \quad [817.4]$$

Donde: B_{gm} : Contenido de ligante de la sub-fracción mástico de la fracción gruesa, % por masa;

B_g : Contenido de ligante de la fracción gruesa, % por masa;

S_{g2} : Pasante de agregado de la fracción gruesa sobre el tamiz de 2 mm (No. 10), % por masa.

8.3.3 Se calcula el valor de calidad de la mezcla con la ecuación:

$$VCM = B_{fm} - B_{gm} \quad [817.5]$$

Nota 4: Todos porcentajes por masa se deben expresar con aproximación a 0.1 %.

9 INFORME

9.1 El informe debe incluir lo siguiente:

9.1.1 Identificación del laboratorio.

9.1.2 Identificación de la muestra.

9.1.3 Masa total de la muestra, kg.

9.1.4 Masa de cada fracción, kg (redondeada a 0.01 kg).

9.1.5 Contenido de ligante de cada fracción, % por masa (redondeado a 0.1 %).

9.1.6 Valores de VSL, VSA y VCM, % por masa (redondeados a 0.1 %).

10 PRECISIÓN

10.1 Los datos de precisión informados para este método de ensayo, son los siguientes:

10.2 *Repetibilidad:*

10.2.1 VSL = 0.4 %.

10.2.2 VSA = 1.0 %.

10.2.3 VCM = 0.6 %.

10.3 Reproducibilidad:**10.3.1** VSL = 0.7 %.**10.3.2** VSA = 1.4 %.**10.3.3** VCM = 1.0 %.**11 NORMAS DE REFERENCIA**

BS EN 12697-15:2003

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA TASA DE APLICACIÓN DE ASFALTO POR MEDIO DE UN CARROTANQUE DISTRIBUIDOR

INV E – 818 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma expone el procedimiento para determinar en el terreno la tasa real de aplicación de una emulsión asfáltica o un asfalto líquido por un distribuidor de asfalto aprobado.

Nota 1: Antes del ensayo, se debe calibrar el distribuidor de asfalto a presión y se deben realizar todos los ajustes necesarios para aplicar la tasa deseada. La altura de la barra rociadora sobre la superficie del pavimento se debe ajustar para asegurar la uniformidad de la distribución del material asfáltico sin defectos.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Se escoge un tramo de ensayo de longitud y ancho determinados y se verifica el volumen del producto asfáltico dentro del distribuidor antes y después de la aplicación. Se determina la tasa de aplicación, aplicando una corrección de volumen por efecto de la temperatura.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** La finalidad de esta norma de ensayo es verificar si la cantidad de ligante asfáltico aplicado cumple lo establecido por las especificaciones para la partida de trabajo que se está controlando.

4 EQUIPO

- 4.1** *Nivel de carpintero* – De 1.2 m (48") de longitud.
- 4.2** *Varilla graduada* – Para indicar el nivel del producto asfáltico dentro del distribuidor.
- 4.3** *Certificado de calibración del tanque.*

Nota 2: La mayoría de las varillas graduadas suministradas por los fabricantes de distribuidores están calibradas en incrementos de 95 a 189 litros (25 a 50 galones), dependiendo del tamaño del tanque; sin

embargo, es necesario verificar el contenido del tanque con mayor precisión. Por lo tanto, se debe preparar una curva de calibración a partir de las medidas con la varilla, de manera que el contenido del tanque se pueda medir con una aproximación de 20 a 40 litros (5 a 10 galones).

5 PREPARACIÓN

- 5.1 El tanque distribuidor se debe encontrar a nivel en los instantes de verificación del volumen de ligante en su interior.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se coloca el nivel de carpintero sobre la superficie superior del tanque. Podrá ser necesario levantar o descender las ruedas delanteras o traseras del distribuidor para lograr la nivelación tanto en sentido longitudinal como transversal.

- 6.2 Empleando la varilla graduada se mide el nivel del producto asfáltico en el tanque y se calcula su contenido en litros (galones) (Q_1), empleando la tabla de calibración (numeral 4.3 y nota 2). De ser necesario, se interpolan las cantidades (nota 3).

Nota 3: Para obtener mayor exactitud en la determinación, el tanque se deberá encontrar casi lleno o casi vacío.

Nota 4: Se puede usar otro procedimiento para verificar el volumen de emulsión dentro del tanque, si se demuestra que es tanto o más exacto que el descrito en el numeral 6.2.

- 6.3 Se elige una longitud de franja de vía para realizar la medición, de acuerdo con la Tabla 818 - 1, y se aplica el producto asfáltico con la barra rociadora a la tasa de aplicación supuesta, teniendo en cuenta la temperatura.

Tabla 818 - 1. Longitud de la franja de ensayo

TASA DE APLICACIÓN DEL LIGANTE, L/m ² (gal/yd ²)	LONGITUD DE LA FRANJA DE ENSAYO, m (pies)
≤ 0.45 (0.10)	300 (1000)
> 0.45 (0.10)	150 (500)

- 6.4 Se nivela de nuevo el tanque y se determina el nivel del producto asfáltico en su interior empleando la varilla graduada. Se calcula el contenido remanente

del producto asfáltico, en litros (galones) (Q_2), empleando la tabla de calibración (numeral 4.3 y nota 2). De ser necesario, se interpolan las cantidades.

- 6.5** Se corrige el volumen medido por efecto de la temperatura del ligante, empleando la Tabla 818 - 2 (emulsión asfáltica) o la Tabla 818 - 3 (asfalto líquido).

7 CÁLCULOS

- 7.1** Se calcula la tasa de distribución del ligante, con la expresión:

$$G = \frac{Q_1 - Q_2}{L \times W} \quad [818.1]$$

- Donde: G: Tasa de distribución del material asfáltico (L/m^2);
- Q_1 : Cantidad de material asfáltico dentro del tanque antes de la aplicación, litros;
- Q_2 : Cantidad de material asfáltico dentro del tanque después de la aplicación, litros;
- L: Longitud de la franja de ensayo, m;
- W: Ancho de la franja de ensayo, m.

- 7.2** Si se emplea el sistema inglés, el cálculo se hará con la expresión:

$$G = \frac{9 (Q_1 - Q_2)}{L \times W} \quad [818.2]$$

- Donde: G: Tasa de distribución del material asfáltico (gal/yd^2);
- Q_1 : Cantidad de material asfáltico dentro del tanque antes de la aplicación, galones;
- Q_2 : Cantidad de material asfáltico dentro del tanque después de la aplicación, galones;
- L: Longitud de la franja de ensayo, pies;

W: Ancho de la franja de ensayo, pies.

8 INFORME

8.1 Se debe presentar la siguiente información:

- 8.1.1** Localización exacta del sitio de ensayo.
- 8.1.2** Tipo de producto asfáltico utilizado.
- 8.1.3** Temperatura del producto asfáltico en el momento del ensayo.
- 8.1.4** Longitud del tramo de ensayo.
- 8.1.5** Lectura inicial y lectura final de la varilla graduada y volúmenes correspondientes del producto asfáltico dentro del tanque.
- 8.1.6** Tasa de aplicación del ligante, L/m^2 (gal/yd^2), redondeada a $0.01 L/m^2$ ($0.001 gal/yd^2$).

9 NORMAS DE REFERENCIA

PA Test Method No. 747 – 2003 (Pennsylvania DOT)

Tabla 818 - 2. Correcciones temperatura – volumen para emulsiones asfálticas

°C	°F	M	°C	°F	M	°C	°F	M
10.0	50	1.0025	35.0	95	0.9912	60.0	140	0.9800
10.6	51	1.0022	35.6	96	0.9910	60.6	141	0.9797
11.1	52	1.0020	36.1	97	0.9907	61.1	142	0.9795
11.7	53	1.0017	36.7	98	0.9905	61.7	143	0.9792
12.2	54	1.0015	37.2	99	0.9902	62.2	144	0.9790
12.8	55	1.0012	37.8	100	0.9900	62.8	145	0.9787
13.3	56	1.0010	38.3	101	0.9897	63.3	146	0.9785
13.9	57	1.0007	38.9	102	0.9895	63.9	147	0.9782
14.4	58	1.0005	39.4	103	0.9892	64.4	148	0.9780
15.0	59	1.0002	40.0	104	0.9890	65.0	149	0.9777
15.6	60	1.0000	40.6	105	0.9887	65.6	150	0.9775
16.1	61	0.9997	41.1	106	0.9885	66.1	151	0.9772
16.7	62	0.9995	41.7	107	0.9882	66.7	152	0.9770
17.2	63	0.9992	42.2	108	0.9880	67.2	153	0.9767
17.8	64	0.9990	42.8	109	0.9877	67.8	154	0.9765
18.3	65	0.9987	43.3	110	0.9875	68.3	155	0.9762
18.9	66	0.9985	43.9	111	0.9872	68.9	156	0.9760
19.4	67	0.9982	44.4	112	0.9870	69.4	157	0.9757
20.0	68	0.9980	45.0	113	0.9867	70.0	158	0.9755
20.6	69	0.9977	45.6	114	0.9865	70.6	159	0.9752
21.1	70	0.9975	46.1	115	0.9862	71.1	160	0.9750
21.7	71	0.9972	46.7	116	0.9860	71.7	161	0.9747
22.2	72	0.9970	47.2	117	0.9857	72.2	162	0.9745
22.8	73	0.9967	47.8	118	0.9855	72.8	163	0.9742
23.3	74	0.9965	48.3	119	0.9852	73.3	164	0.9740
23.9	75	0.9962	48.9	120	0.9850	73.9	165	0.9737
24.4	76	0.9960	49.4	121	0.9847	74.4	166	0.9735
25.0	77	0.9957	50.0	122	0.9845	75.0	167	0.9732
25.6	78	0.9955	50.6	123	0.9842	75.6	168	0.9730
26.1	79	0.9952	51.1	124	0.9840	76.1	169	0.9727
26.7	80	0.9950	51.7	125	0.9837	76.7	170	0.9725
27.2	81	0.9947	52.2	126	0.9835	77.2	171	0.9722
27.8	82	0.9945	52.8	127	0.9832	77.8	172	0.9720
28.3	83	0.9942	53.3	128	0.9830	78.3	173	0.9717
28.9	84	0.9940	53.9	129	0.9827	78.9	174	0.9715
29.4	85	0.9937	54.4	130	0.9825	79.4	175	0.9712
30.0	86	0.9935	55.0	131	0.9822	80.0	176	0.9710
30.6	87	0.9932	55.6	132	0.9820	80.6	177	0.9707
31.1	88	0.9930	56.1	133	0.9817	81.1	178	0.9705
31.7	89	0.9927	56.7	134	0.9815	81.7	179	0.9702
32.2	90	0.9925	57.2	135	0.9812	82.2	180	0.9700
32.8	91	0.9922	57.8	136	0.9810	82.8	181	0.9697
33.3	92	0.9920	58.3	137	0.9807	83.3	182	0.9695
33.9	93	0.9917	58.9	138	0.9805	83.9	183	0.9692
34.4	94	0.9915	59.4	139	0.9802	84.4	184	0.9690
						85.0	185	0.9687

M = factor multiplicador para corregir los volúmenes a la base de 15.6° C (60° F)

Tabla 818 - 3. Correcciones temperatura – volumen para asfaltos líquidos

°C	°F	M	°C	°F	M	°C	°F	M
21.1	70	0.9960	46.1	115	0.9783	71.1	160	0.9609
21.7	71	0.9956	46.7	116	0.9779	71.7	161	0.9605
22.2	72	0.9952	47.2	117	0.9775	72.2	162	0.9601
22.8	73	0.9948	47.8	118	0.9771	72.8	163	0.9597
23.3	74	0.9944	48.3	119	0.9767	73.3	164	0.9593
23.9	75	0.9940	48.9	120	0.9763	73.9	165	0.9589
24.4	76	0.9936	49.4	121	0.9760	74.4	166	0.9585
25.0	77	0.9932	50.0	122	0.9756	75.0	167	0.9582
25.6	78	0.9929	50.6	123	0.9752	75.6	168	0.9578
26.1	79	0.9925	51.1	124	0.9748	76.1	169	0.9574
26.7	80	0.9921	51.7	125	0.9744	76.7	170	0.9570
27.2	81	0.9917	52.2	126	0.9740	77.2	171	0.9566
27.8	82	0.9913	52.8	127	0.9736	77.8	172	0.9562
28.3	83	0.9909	53.3	128	0.9732	78.3	173	0.9559
28.9	84	0.9905	53.9	129	0.9728	78.9	174	0.9555
29.4	85	0.9901	54.4	130	0.9725	79.4	175	0.9551
30.0	86	0.9897	55.0	131	0.9721	80.0	176	0.9547
30.6	87	0.9893	55.6	132	0.9717	80.6	177	0.9543
31.1	88	0.9889	56.1	133	0.9713	81.1	178	0.9539
31.7	89	0.9885	56.7	134	0.9709	81.7	179	0.9536
32.2	90	0.9881	57.2	135	0.9705	82.2	180	0.9532
32.8	91	0.9877	57.8	136	0.9701	82.8	181	0.9528
33.3	92	0.9873	58.3	137	0.9697	83.3	182	0.9524
33.9	93	0.9869	58.9	138	0.9693	83.9	183	0.9520
34.4	94	0.9865	59.4	139	0.9690	84.4	184	0.9517
35.0	95	0.9861	60.0	140	0.9686	85.0	185	0.9513
35.6	96	0.9857	60.6	141	0.9682	85.6	186	0.9509
36.1	97	0.9854	61.1	142	0.9678	86.1	187	0.9505
36.7	98	0.9850	61.7	143	0.9674	86.7	188	0.9501
37.2	99	0.9846	62.2	144	0.9670	87.2	189	0.9498
37.8	100	0.9842	62.8	145	0.9666	87.8	190	0.9494
38.3	101	0.9838	63.3	146	0.9662	88.3	191	0.9490
38.9	102	0.9834	63.9	147	0.9659	88.9	192	0.9486
39.4	103	0.9830	64.4	148	0.9655	89.4	193	0.9482
40.0	104	0.9826	65.0	149	0.9651	90.0	194	0.9478
40.6	105	0.9822	65.6	150	0.9647	90.6	195	0.9475
41.1	106	0.9818	66.1	151	0.9643	91.1	196	0.9471
41.7	107	0.9814	66.7	152	0.9639	91.7	197	0.9467
42.2	108	0.9810	67.2	153	0.9635	92.2	198	0.9463
42.8	109	0.9806	67.8	154	0.9632	92.8	199	0.9460
43.3	110	0.9803	68.3	155	0.9628	93.3	200	0.9456
43.9	111	0.9799	68.9	156	0.9624	93.9	201	0.9452
44.4	112	0.9795	69.4	157	0.9620	94.4	202	0.9448
45.0	113	0.9791	70.0	158	0.9616	95.0	203	0.9444
45.6	114	0.9787	70.6	159	0.9612	95.6	204	0.9441
						96.1	205	0.9437

M = factor multiplicador para corregir los volúmenes a la base de 15.6° C (60° F)

ANEXO A (Informativo)

EJEMPLO

A.1 Para verificar la aplicación de emulsión asfáltica en un riego de liga se tomó un tramo de ensayo de 300 m (984 pies) (Tabla 818 - 1). El ancho de aplicación fue 3.65 m (12 pies). De acuerdo con las lecturas inicial y final del nivel de emulsión dentro del tanque, se determinó que se emplearon 318 litros (84.0 galones). La temperatura de la emulsión en el tanque fue 65.6° C (150° F).

A.2 Se corrige el volumen de emulsión por efecto de la temperatura, con el factor apropiado de la Tabla 818 - 2:

$$318 \times 0.97750 = 310.8 \text{ litros}$$

$$84.0 \times 0.97750 = 82.1 \text{ galones}$$

A.3 De acuerdo con las fórmulas de los numerales 7.1 y 7.2, la tasa de aplicación de emulsión fue:

$$G = \frac{Q_1 - Q_2}{L \times W} = \frac{310.8}{300 \times 3.65} = 0.28 \text{ L/m}^2$$

$$G = \frac{9(Q_1 - Q_2)}{L \times W} = \frac{9 \times 82.1}{984 \times 12} = 0.063 \text{ gal/yd}^2$$

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA TASA DE APLICACIÓN DE AGREGADOS EN LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

INV E – 819 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma expone el procedimiento para determinar en el terreno la tasa real de aplicación de agregados pétreos en la construcción de tratamientos superficiales. El ensayo es aplicable al agregado que se distribuye en estado suelto sobre la superficie de la vía.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 La finalidad de esta norma de ensayo es verificar si la cantidad de agregado pétreo aplicado cumple lo establecido por las especificaciones para la partida de trabajo que se está controlando.

3 EQUIPO

- 3.1 *Bandeja metálica* – Cuadrada, aproximadamente de 500 × 500 mm de lado y 75 mm de profundidad. Debe poseer la rigidez suficiente para que su forma no se vea alterada durante los ensayos.
- 3.2 *Balanza* – De capacidad adecuada y con una exactitud de 10 g en el intervalo de utilización.
- 3.3 *Elementos accesorios* – Bolsas para recolección de muestras, regla o flexómetro, etiquetas de identificación, etc.

4 PREPARACIÓN

- 4.1 Se determina la densidad bulk del agregado en estado suelto (M), de acuerdo con el procedimiento de la norma INV E-217.
- 4.2 Se miden los dos lados del fondo de la bandeja con aproximación a 1 mm y se calcula su área (A) en m², con aproximación a 0.01 m².

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Se coloca la bandeja sobre la superficie donde se va realizar el ensayo, justo antes de que pase el vehículo que esparce el agregado. La bandeja se debe colocar en un punto de la sección transversal de la calzada, que garantice que el vehículo distribuidor de agregado pasará sobre ella sin tocarla.
- 5.2 Se verifica que el vehículo distribuidor de agregado continúa su marcha a la misma velocidad de distribución a la cual pasó sobre la bandeja.
- 5.3 Se levanta la bandeja sin permitir ninguna pérdida del material contenido en ella.
- 5.4 Se vacía el contenido de la bandeja en una bolsa, identificando adecuadamente la muestra y el sitio donde ella se tomó.
- 5.5 Se determina la masa del agregado retenido en la bandeja (W), con aproximación a 0.01 kg.

6 CÁLCULOS

- 6.1 Se calcula la tasa de distribución del agregado, con la expresión:

$$R = \frac{W}{A} \quad [819.1]$$

Donde: R: Tasa de distribución del agregado (kg/m^2);

W: Masa del agregado retenido en la bandeja, kg con aproximación a 0.01 kg (numeral 5.5);

A: Área del fondo de la bandeja, m^2 con aproximación a 0.01 m^2 (numeral 4.2).

- 6.2 Se calcula la tasa real de distribución del agregado (H_A), redondeada a 1 m^2/m^3 , con la expresión:

$$H_A = \frac{M}{R} \quad [819.2]$$

Donde: M: Densidad bulk del agregado en estado suelto, kg/m^3 (numeral 4.1).

7 INFORME

7.1 Se debe presentar la siguiente información:

7.1.1 Localización exacta del sitio de ensayo.

7.1.2 Tipo y tamaño máximo nominal de agregado pétreo.

7.1.3 Tasa de distribución del agregado, en kg/m^2 y en m^2/m^3 .

8 NORMAS DE REFERENCIA

NSW GOVERNMENT TEST METHOD T274 – Abril 2012

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MEDIDA DE LA PROFUNDIDAD DE LAS ESTRÍAS DE TEXTURIZADO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS Y TABLEROS DE PUENTES

INV E – 820 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un procedimiento para el muestreo y la medición de la profundidad de las estrías de texturizado en los tableros de puentes y los pavimentos rígidos, empleando un calibrador para medir la profundidad de labrado de neumáticos.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Se eligen al azar los sitios para el ensayo y, con ayuda de un calibrador para medir la profundidad de labrado de neumáticos, se mide la profundidad media de las estrías dispuestas en la superficie de los tableros y en los pavimentos de concreto.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 El texturizado mediante estrías es una técnica apropiada para reducir el hidroplaneo, mejorar la resistencia al deslizamiento y reducir las distancias de frenado en las superficies de concreto.
- 3.2 El procedimiento descrito en esta norma se puede utilizar para verificar si la textura brindada a una superficie de concreto mediante estriado, se ajusta a los requisitos establecidos por las especificaciones de construcción.

4 EQUIPO

- 4.1 *Calibrador para medir la profundidad del labrado* – De lectura digital, con un rango de medida de 0 a 13.5 mm (0 a ½") o más amplio, con una precisión mínima de 0.1 mm (0.004").
- 4.2 *Equipo misceláneo* – Escoba pequeña o brocha, odómetro y cinta métrica.

5 MUESTREO

5.1 *Tamaño del lote:*

- 5.1.1 En el caso de tableros de puentes, será la longitud de una luz por el ancho de los carriles de circulación en una dirección.
- 5.1.2 En el caso de pavimentos rígidos será el establecido en la especificación de construcción. Si ella no lo establece, se tomarán 500 metros en el ancho de los carriles de circulación en una dirección. Si la extensión de la obra es menor, el lote será el número de m² de pavimento construido.
- 5.1.3 Un lote estará constituido, aproximadamente, por cinco sub-lotes. La elección de los puntos de ensayo en cada sub-lote se hará al azar, de acuerdo con lo indicado en la norma INV E-730.

Nota 1: Si un punto de ensayo cae en un sitio singular del pavimento (junta transversal, cruce de línea férrea, pozo de inspección, etc.), se deberá mover 8 m (o 25 pies) hacia adelante o hacia atrás. El sentido del movimiento se determinará al azar (por ejemplo, lanzando una moneda al aire). Si el sitio así determinado cae fuera del sub-lote, el movimiento se efectuará en el sentido inverso. Si el sitio cae en una junta transversal, se desplazará 30 cm hacia un lado u otro, eligiendo el sentido al azar.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se retira, mediante barrido, todo material suelto presente en las áreas seleccionadas para la medición.
- 6.2 Se realizan medidas en diez estrías consecutivas, a partir de cada punto elegido al azar, según lo indicado en el numeral 5.1.3. Para realizar la medida, se coloca el calibrador sobre la estría a ser medida y se presiona con firmeza, asegurando que la punta de la aguja cae en la mitad de la estría.
- 6.3 Se retira la presión y determina la profundidad en el lector del calibrador.
- 6.4 El procedimiento indicado en los numerales 6.2 y 6.3 se repite en las nueve estrías restantes del sub-lote.

7 CÁLCULOS

7.1 Se calcula la profundidad promedio de las estrías en cada uno de los sub-lotes.

7.2 Se calcula la profundidad promedio de las estrías en el lote.

8 INFORME

8.1 Se informa la profundidad promedio del lote, redondeada a 0.1 mm (0.004")

9 NORMAS DE REFERENCIA

ALDOT – 248 (Alabama Department of Transportation)

ANEXO A (Informativo)

DETERMINACIÓN DE LOS SITIOS PARA LA MEDIDA DE LA PROFUNDIDAD DE TEXTURA

A.1 *Ejemplo:*

A.1.1 Se deben establecer los sitios para la medición de la textura en un lote de 500 metros (1640 pies) de longitud que tiene 2 carriles de circulación por sentido de 3.65 m (12 pies) de ancho cada uno (total 7.30 m o 24 pies), lote que comienza en el PR 4 + 260.

A.1.2 El lote se divide en cinco sub-lotes de 100 m (328 pies) cada uno.

A.1.3 Se determinan los sitios de ensayo empleando la tabla de números al azar (Tabla 730 - 2 de la norma INV E-730). Para determinar qué valores aleatorios se deben usar, se entra a la tabla en una fila escogida al azar. Para elegir el primer valor se puede seleccionar, por ejemplo, la fila que corresponda a los últimos dos números de la placa del primer automóvil que se vea, los dos primeros de una de las loterías que jugaron el día anterior, o cualquier otro evento aleatorio. Los valores subsiguientes de "X" (abscisas) para los siguientes sub-lotes del mismo

lote se deberán tomar de las filas que siguen en la tabla. A cada valor de "X" corresponde uno de "Y" que ayuda a definir el sitio de ensayo en sentido transversal.

A.1.4 Si, por ejemplo, la placa del primer automóvil que pasa por el lugar termina en 74, en la tabla 2 de la norma INV E-730 se encuentra que "X" = 0.330 y "Y" = 0.42, se tiene que:

- Incremento de la longitud del sub-lote = $100 \times 0.330 = 33.0$ m (108.3 pies)
- Desplazamiento a lo ancho = $7.30 \times 0.42 = 3.07$ m (10.1 pies) del borde derecho del pavimento
- Por lo tanto, el sitio para realizar la primera medición en el sub-lote es: $(4 + 260) + 33.0 = \text{PR } 4 + 293.0$, a 3.07 m (10.1 pies) del borde derecho del pavimento.

A.1.5 Las mediciones en las siguientes nueve estrías del sub-lote, se realizarán a la misma distancia del borde del pavimento

MÉTODO DE LAS DIFERENCIAS ACUMULADAS PARA LA DELIMITACIÓN DE UNIDADES HOMOGÉNEAS

INV E – 821 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma presenta un procedimiento para establecer la extensión de tramos homogéneos mediante el procedimiento de las “diferencias acumuladas”.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 El procedimiento, de tipo estadístico, se basa en el hecho matemático simple de que cuando la variable Z_x (definida para un parámetro dado, como la diferencia entre el área bajo la curva de respuesta a cualquier distancia “ x ” y el área total desarrollada por la respuesta promedio de todo el proyecto hasta esa misma distancia) se dibuja como función de la distancia a lo largo del proyecto, los límites de los tramos homogéneos ocurren en los puntos donde la pendiente de la línea que representa la variación de Z_x con la longitud, cambia de signo.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Para la evaluación estructural de un pavimento resulta necesario determinar tramos que presenten comportamientos homogéneos, con el fin de evaluarlos mediante parámetros estadísticos que los representen (promedios, percentiles, etc.). En el caso de las evaluaciones deflectométricas, por ejemplo, cada parámetro medido puede ser indicativo del comportamiento de la estructura, con la posibilidad de efectuar con él un análisis de homogeneidad, cuya ejecución requiere el uso de herramientas estadísticas para determinar la extensión de los tramos homogéneos.

4 PROCEDIMIENTO

- 4.1 La Tabla 821 - 1 ilustra los pasos necesarios para el cálculo de la variable Z_x .
- 4.2 La Tabla 821 - 2 presenta un ejemplo a través del cual se realiza un análisis de las deflexiones bajo el centro de aplicación de la carga a lo largo de un sector de pavimento flexible, cuya representación gráfica en la parte inferior de la

Figura 821 - 1 permite detectar las extensiones de los tramos donde las deflexiones indican que el comportamiento de la estructura es homogéneo.

5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

AASHTO, "AASHTO guide for design of pavement structures", Appendix J, Washington, 1993

Tabla 821 - 1. Solución tabulada para el método de las diferencias acumuladas

(1) Estacion (km)	(2) Valor de Respuesta del pavimento (r _i)	(3) Numero de Intervalo (n)	(4) Distancia del intervalo (Δx _i)	(5) Distancia acumulada (ΣΔx _i)	(6) Valor de respuesta Promedio (\bar{r}_i)	(7) Area del Intervalo Real (a _i)	(8) Area Acumulada (Σa _i)	(9) Z _x Z _x = (8) - F*(5)
1	r ₁	1	Δx ₁	Δx ₁	$\bar{r}_1 = r_1$	a ₁ = r ₁ · Δx ₁	a ₁	Z _{x1} = a ₁ - F*Δx ₁
2	r ₂	2	Δx ₂	Δx ₁ + Δx ₂	$\bar{r}_2 = (r_1+r_2) / 2$	a ₂ = r ₂ · Δx ₂	a ₁ + a ₂	Z _{x2} = (a ₁ +a ₂) - F*(Δx ₁ + Δx ₂)
3	r ₃	3	Δx ₃	Δx ₁ + Δx ₂ + Δx ₃	$\bar{r}_3 = (r_2+r_3) / 2$	a ₃ = r ₃ · Δx ₃	a ₁ + a ₂ + a ₃	⋮
L _p	r _n	N _t	Δx _{nt}	Δx ₁ + ⋯ + Δx _{nt}	$\bar{r}_{nt} = (r_{n1}+r_n) / 2$	a _{nt} = r _{nt} · Δx _{nt}	a ₁ + ⋯ + a _{nt}	Z _{xn} = (a ₁ +⋯+a _{nt}) - F*(Δx ₁ + ⋯ + Δx _{nt})

$$A_t = \sum_{i=1}^{nt} a_i$$

$$F = A_t / L_p$$

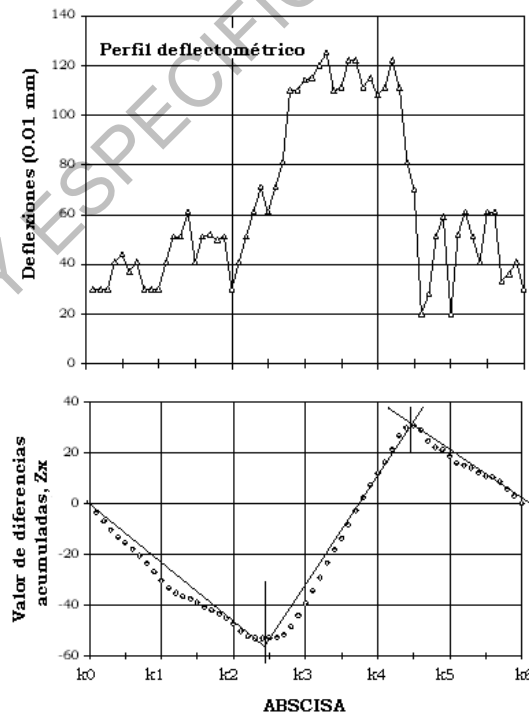


Figura 821 - 1. Delimitación de unidades homogéneas por el método de las diferencias acumuladas para el caso del ejemplo de la Tabla 821 - 2

Tabla 821 - 2. Ejemplo de cálculo

ESTACIÓN (km)	DEFLEX. 0.01mm	NÚMERO DE INTERVALO	DISTANCIA INTERVALO (km)	DISTANCIA ACUMULADA (km)	DEFLEXIÓN PROMEDIO 0.01 mm	ÁREA DEL INTERVALO real	ÁREA ACUMULADA	Zx
0+100	30	1	0.10	0.10	30.0	3.00	3.00	-3.49
0+200	30	2	0.10	0.20	30.0	3.00	6.00	-6.97
0+300	30	3	0.10	0.30	30.0	3.00	9.00	-10.46
0+400	41	4	0.10	0.40	35.5	3.55	12.55	-13.40
0+500	44	5	0.10	0.50	42.5	4.25	16.80	-15.36
0+600	37	6	0.10	0.60	40.5	4.05	20.85	-18.07
0+700	41	7	0.10	0.70	39.0	3.90	24.75	-20.66
0+800	30	8	0.10	0.80	35.5	3.55	28.30	-23.59
0+900	30	9	0.10	0.90	30.0	3.00	31.30	-27.08
1+000	30	10	0.10	1.00	30.	3.00	34.30	-30.57
1+100	41	11	0.10	1.10	35.5	3.55	37.85	-33.50
1+200	51	12	0.10	1.20	46.0	4.60	42.45	-35.39
1+300	51	13	0.10	1.30	51.0	5.10	47.55	-36.78
1+400	61	14	0.10	1.40	56.0	5.60	53.15	-37.66
1+500	41	15	0.10	1.50	51.0	5.10	58.25	-39.05
1+600	51	16	0.10	1.60	46.0	4.60	62.85	-40.94
1+700	52	17	0.10	1.70	51.5	5.15	68.00	-42.27
1+800	50	18	0.10	1.80	51.0	5.10	73.10	-43.66
1+900	51	19	0.10	1.90	50.5	5.05	78.15	-45.10
2+000	30	20	0.10	2.00	40.5	4.05	82.20	-47.53
2+100	41	21	0.10	2.10	35.5	3.55	85.75	-50.47
2+200	51	22	0.10	2.20	46.0	4.60	90.35	-52.36
2+300	61	23	0.10	2.30	56.0	5.60	95.95	-53.24
2+400	71	24	0.10	2.40	66.0	6.60	102.55	-53.13
2+500	61	25	0.10	2.50	66.0	6.60	109.15	-53.02
2+600	71	26	0.10	2.60	66.0	6.60	115.75	-52.90
2+700	81	27	0.10	2.70	76.0	7.60	123.35	-51.79
2+800	110	28	0.10	2.80	95.5	9.55	132.90	-48.23
2+900	110	29	0.10	2.90	110.0	11.00	143.90	-44.21
3+000	114	30	0.10	3.00	112.0	11.20	155.10	-39.50
3+100	115	31	0.10	3.10	114.5	11.45	166.55	-35.54
3+200	120	32	0.10	3.20	117.5	11.75	178.3	-29.27
3+300	125	33	0.10	3.30	122.5	12.25	190.55	-23.51
3+400	110	34	0.10	3.40	117.5	11.75	202.30	-18.25
3+500	111	35	0.10	3.50	110.5	11.05	213.35	-13.68
3+600	122	36	0.10	3.60	116.5	11.65	225.00	-8.52
3+700	122	37	0.10	3.70	122.0	12.20	237.20	-2.81
3+800	111	38	0.10	3.80	116.5	11.65	248.85	2.36
3+900	115	39	0.10	3.90	113.0	11.3	260.15	7.17
4+000	108	40	0.10	4.00	111.5	11.15	271.30	11.83
4+100	111	41	0.10	4.10	109.5	10.95	282.25	16.30
4+200	122	42	0.10	4.20	116.5	11.65	293.90	21.46
4+300	111	43	0.10	4.30	116.5	11.65	305.55	26.62
4+400	81	44	0.10	4.40	96.0	9.60	315.15	29.74
4+500	70	45	0.10	4.50	75.5	7.55	322.70	30.80
4+600	20	46	0.10	4.60	45.0	4.50	327.20	28.81
4+700	28	47	0.10	4.70	24.0	2.40	329.60	24.73
4+800	51	48	0.10	4.80	39.5	3.95	333.55	22.19
4+900	59	49	0.10	4.90	55.0	5.50	339.05	21.20
5+000	20	50	0.10	5.00	39.5	3.95	343.00	18.67
5+100	52	51	0.10	5.00	36.0	3.60	346.60	15.78
5+200	61	52	0.10	5.20	56.5	5.65	352.25	14.94
5+300	51	53	0.10	5.30	56.0	5.60	357.85	14.06
5+400	41	54	0.10	5.40	46.0	4.60	362.45	12.17
5+500	61	55	0.10	5.50	51.0	5.10	367.55	10.78
5+600	61	56	0.10	5.60	61.0	6.10	373.65	10.40
5+700	33	57	0.10	5.70	47.0	4.70	378.35	8.61
5+800	36	58	0.10	5.80	34.5	3.45	381.80	5.57
5+900	41	59	0.10	5.90	38.5	3.85	385.65	2.94
6+000	30	60	0.10	6.00	35.5	3.55	389.20	0.00

$A_t = 389.20$

$F = A_t / L_p = 389.20/6 = 64.87$

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE DOS JUEGOS DE DATOS

INV E – 822 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se puede emplear para determinar si los resultados de dos juegos de ensayos representan una misma población (el mismo material).

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Población* – Totalidad de elementos que caracterizan una propiedad física de una clase de individuos o de objetos. El término población implica integridad. Algunos ejemplos de una población son: las alturas de las personas de una ciudad o de un país, los porcentajes de asfalto de todas las amasadas en un proyecto de pavimentación, etc.
- 2.2 *Muestra* – Generalmente, es imposible o poco práctico medir una población entera, de manera que se emplea una pequeña parte del universo, llamada muestra o un grupo de datos, para hacer una inferencia estadística acerca de algunas características de la población. La inferencia estadística es una decisión, estimación, predicción o generalización acerca de la población, basada en la información de la muestra. Algunos ejemplos de muestras son: las alturas de 1000 personas de una ciudad, espesores de 10 núcleos de un kilómetro de pavimento, etc. Generalmente, entre más grande sea la muestra, más representativos de la población resultan sus estadísticos. Usualmente, es suficiente una muestra de 30 o más datos para obtener estadísticos representativos de la población.
- 2.3 *Distribución normal* – Como resultado de muchas investigaciones, se ha concluido que numerosas medidas que se realizan durante la construcción vial, y en la naturaleza en general, se distribuyen simétricamente alrededor de un valor medio, con la mayoría de los valores agrupados cerca de ese medio y con un número cada vez menor de valores a medida que se alejan de él. Esto describe la distribución normal, que es la más importante distribución de probabilidad para los materiales y la construcción de carreteras. La distribución normal es útil en el análisis de los datos adquiridos y en la provisión de inferencias acerca de la población, a partir de los datos de muestras.

- 2.3.1** La distribución normal está definida por dos parámetros: la media y la desviación estándar. La media determina la localización del eje-x de la distribución normal y la desviación estándar determina la altura y el ancho de la distribución normal.

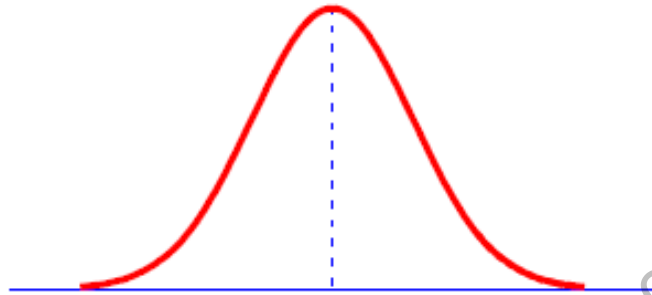


Figura 822 - 1. Distribución normal típica

- 2.4** *Media* – Mide la tendencia central del juego de observaciones. Se usa para un valor típico representativo de un grupo de datos. La media es un valor tal, que la suma de las desviaciones de las observaciones es cero. La media es la suma de los valores de las observaciones, dividida por el número de observaciones, y se calcula con la ecuación.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad [822.1]$$

Donde: \bar{x} : Valor medio;
 x_i : Una observación individual;
 n : Número de observaciones.

- 2.5** *Varianza, s^2* – Es la medida fundamental de la dispersión en un juego de datos. Es una medida de la variabilidad (dispersión) de un juego de datos. Una varianza pequeña indica un ajuste estricto de los datos, con poca variabilidad. Una varianza grande es indicativa de un juego de datos muy amplio, con alta variabilidad. La varianza se calcula con la ecuación:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad [822.2]$$

- Donde: s^2 : Varianza;
- \bar{x} : Valor medio;
- x_i : Una observación individual;
- n : Número de observaciones.

- 2.6** *Desviación estándar, s* – Es la raíz cuadrada de la varianza. Es la medida unitaria de la variabilidad, así como el metro es la medida unitaria de la longitud. La desviación estándar tiene siempre las mismas unidades que las medidas reales. Se calcula con la ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad [822.3]$$

- Donde: s : Desviación estándar;
- \bar{x} : Valor medio;
- x_i : Una observación individual;
- n : Número de observaciones.

- 2.7** *Grados de libertad, ν* – Es el número de observaciones independientes en la muestra (n) menos el número de parámetros de la población (k) que se deben estimar a partir de las observaciones de la muestra. En símbolos, $\nu = n - k$.

- 2.8** *Prueba F* – Una prueba estadística usada para determinar si las varianzas de dos juegos de datos (muestras) son equivalentes a un nivel dado de significación.

- 2.9** *Prueba t* – Una prueba estadística usada para determinar si los promedios de dos juegos de datos (muestras) son equivalentes a un nivel dado de significación.

- 2.10** *Nivel de significación, α* – Probabilidad máxima con la que en el ensayo de una hipótesis, ésta se rechaza cuando debía ser aceptada. Es la probabilidad de decidir incorrectamente que dos juegos de datos (muestras) son diferentes cuando ellos provienen de la misma población. En la práctica, se acostumbran

utilizar niveles de significación de 0.05 o 0.01, lo cual indica que hay un 5 % (5 ocasiones de 100) ó 1 % (1 ocasión de 100) de probabilidad de decidir que dos muestras son de diferentes poblaciones, cuando en la realidad provienen de la misma población.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Esta norma brinda un método para comparar estadísticos muestrales (promedio y desviación estándar) de dos juegos de datos. Este tipo de análisis se puede hacer para verificar que dos juegos de resultados de ensayos son del mismo material y que el muestreo y el ensayo se están realizando correctamente.
- 3.2** El usuario de este procedimiento de ensayo debe ser consciente de que puede haber otras razones para detectar una diferencia aparente entre dos juegos de datos. Si los dos juegos de datos se obtuvieron con diferentes dispositivos de medida (por ejemplo, determinaciones de densidad con densímetros nucleares y a partir de medidas sobre núcleos), o si los ensayos fueron realizados por dos operadores con niveles marcadamente diferentes de habilidad o de experiencia, es posible que ello pueda producir una diferencia significativa aparente, cuando en realidad no hay diferencia en los materiales. Los procedimientos estadísticos son ciegos a influencias como estas, de manera que se debe tener mucho cuidado para aplicarlos correctamente.

4 TEORÍA

- 4.1** Para comparar dos poblaciones normalmente distribuidas, cuyas propiedades se han inferido a través de muestras diferentes, es necesario comparar sus valores medios (ubicación en el eje-x de las distribuciones) y sus varianzas o desviaciones estándar (extensión y altura de la distribución). Si las dos distribuciones tiene la misma media y la misma desviación estándar, entonces son equivalentes.
- 4.2** La prueba F brinda un medio para comparar la variabilidad, comparando las varianzas de los dos juegos de datos. Las diferencias en las medias se ensayan con una prueba t. Estos tipos de pruebas se conocen como pruebas de hipótesis. La suposición de que en verdad no hay una diferencia se llama "hipótesis nula". Los estadísticos apropiados se calculan a partir de los juegos de datos y se comparan con los valores que se encuentran en tablas estándar. Siempre que un valor calculado exceda el valor de la tabla, se rechaza la

hipótesis nula y se considera que las dos muestras provienen de poblaciones (materiales) diferentes.

5 EQUIPO E INSUMOS

- 5.1** *Equipo requerido* – Una calculadora portátil, un lápiz y una copia de esta norma para realizar los cálculos manualmente. Alternativamente, se puede emplear un programa de cómputo apropiado.
- 5.2** *Datos* – Se requieren dos juegos de datos obtenidos de manera aleatoria. Los dos juegos de datos deben haber sido muestreados durante el mismo período de tiempo, empleando el mismo procedimiento de muestreo y el mismo método de ensayo. En cada juego debe haber, como mínimo, dos resultados de ensayos.

6 PROCEDIMIENTO

6.1 *Prueba F para la varianza de muestras:*

6.1.1 Los valores usados en la prueba t dependen de si las varianzas son o no iguales en los dos juegos de datos. Por lo tanto, es necesario ensayar las varianzas de los resultados de los ensayos antes de ensayar las medias. El propósito es determinar si la diferencia en la variabilidad de los dos juegos de resultados de ensayos es mayor de lo que se pudiera esperar de la casualidad si ellos vinieran de la misma población. En este caso, no importa cuál varianza es mayor. Luego de comparar los resultados del ensayo, se llega a una de las siguientes conclusiones:

- Los dos juegos de datos tiene varianzas diferentes, debido a que la diferencia entre los dos juegos de los resultados de los ensayos es mayor de lo que es probable que ocurra debido al azar si sus varianzas son realmente iguales.
- No hay razón para creer que las varianzas sean diferentes, puesto que la diferencia no es tan grande como para hacer improbable que hayan ocurrido debido al azar si sus varianzas son realmente iguales.

6.1.2 Se calcula la varianza para el primer juego de datos, s_a^2 , y para el segundo juego de datos, s_b^2 .

- 6.1.3** Se calcula F , donde $F = s_a^2 / s_b^2$ o $F = s_b^2 / s_a^2$. La mayor de las dos varianzas debe estar siempre en el numerador.
- 6.1.4** Se escoge el nivel de significación, α , para el ensayo. Se recomienda un nivel de significación de 0.01 (1 %).
- 6.1.5** Se determina un valor crítico de F ($F_{\text{crít}}$) en la Tabla 822 - 9 o en la Tabla 822 - 10, usando los grados de libertad asociados con cada juego de resultados de ensayos. Para el juego de datos asociado con s_a^2 , si el número de ensayos es n_a , entonces el número de grados de libertad, ν_a , es $(n_a - 1)$. Para el juego de datos asociado con s_b^2 , si el número de ensayos es n_b , entonces el número de grados de libertad, ν_b , es $(n_b - 1)$. Los valores de las Tablas 822 - 9 y 822 - 10 se tabulan, para ensayar si hay una diferencia (grande o pequeña) entre las dos estimaciones de la varianza. Esto se conoce como un ensayo de dos colas (bilateral). Se debe tener mucho cuidado al usar otras tablas para la distribución F , ya que ellas están tabuladas usualmente con base en un ensayo de una cola (unilateral), es decir, ensayando específicamente si una varianza es mayor que la otra.
- 6.1.6** Una vez que el valor $F_{\text{crít}}$ se ha determinado de las Tablas 822 - 9 o 822 - 10 (se deben usar los grados de libertad apropiados para el numerador y el denominador, al obtener el valor de las Tablas 822 - 9 o 822 - 10), se llega a las siguientes conclusiones:
- Si $F \geq F_{\text{crít}}$, entonces los dos juegos de datos tienen variabilidades significativamente diferentes.
 - Si $F < F_{\text{crít}}$, entonces no hay razón para creer que las variabilidades son significativamente diferentes.

6.2 Prueba t para medias muestrales:

- 6.2.1** Una vez que se han ensayado las varianzas y se ha determinado si son iguales o no, se ensayan las medias para determinar si difieren o si se pueden asumir iguales. La intención es establecer si es razonable asumir que los dos juegos de resultados de ensayos provenían de la misma población (material). El ensayo t se usa para comparar medias muestrales.
- 6.2.2** Se requieren dos aproximaciones para la prueba t :

- Si se ha determinado que las varianzas son iguales, entonces la prueba t se realiza sobre las dos muestras usando una estimación combinada de la varianza y una combinación de los grados de libertad.
- Si se asume que las varianzas muestrales son diferentes, entonces la prueba t se conduce empleando varianzas muestrales individuales, los tamaños de las muestras individuales y los grados de libertad efectivos (estimados de las varianzas muestrales y de los tamaños muestrales).

6.2.3 En cualquiera de los casos descritos en el numeral 6.2.2, se toma una de las siguientes decisiones:

- Los dos juegos de datos tienen medias diferentes, porque la diferencia entre las medias muestrales es mayor de lo que es probable que ocurra debido al azar si sus medias son realmente iguales.
- No hay razón para creer que las medias son diferentes, puesto que la diferencia entre las medias muestrales no es tan grande como para hacer improbable que hayan ocurrido debido al azar si sus medias son realmente iguales.

6.2.4 *Varianzas muestrales asumidas iguales:*

6.2.4.1 La varianza combinada, la cual es el promedio ponderado usando como factor de ponderación los grados de libertad para cada muestra, se calcula a partir de las varianzas muestrales empleando la ecuación:

$$s_p^2 = \frac{s_a^2(n_a - 1) + s_b^2(n_b - 1)}{n_a + n_b - 2} \quad [822.4]$$

- Donde:
- s_p^2 : Estimativo combinado de la varianza;
 - s_a^2 : Varianza del juego de datos de la muestra A;
 - s_b^2 : Varianza del juego de datos de la muestra B;

n_a : Número de resultados de ensayos sobre la muestra A;

n_b : Número de resultados de ensayos sobre la muestra B.

6.2.4.2 La siguiente ecuación se usa para calcular el valor t a partir del cual se toma la decisión:

$$t = \frac{|\bar{x}_a - \bar{x}_b|}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_a} + \frac{s_p^2}{n_b}}} \quad [822.5]$$

Donde: \bar{x}_a : Media del juego de datos de la muestra A;

\bar{x}_b : Media del juego de datos de la muestra B;

s_p^2 : Estimativo combinado de la varianza;

n_a : Número de resultados de ensayos sobre la muestra A;

n_b : Número de resultados de ensayos sobre la muestra B.

6.2.4.3 Se escoge el nivel de significación, α , para la prueba. Se recomienda un nivel de significación de 0.01 (1 %).

6.2.4.4 Se calculan los grados de libertad combinados (u_p), usando la fórmula:

$$u_p = n_a + n_b - 2 \quad [822.6]$$

Donde: u_p : Grados de libertad combinados;

n_a : Número de resultados de ensayos sobre la muestra A;

n_b : Número de resultados de ensayos sobre la muestra B.

- 6.2.4.5** Se determina en la Tabla 822 - 11 el valor t crítico (t_{crit}) para un nivel de significación, α , igual a 0.01 (1 %) y para los grados de libertad combinados (u_p).
- 6.2.4.6** Una vez que el valor t crítico (t_{crit}) se ha determinado en la Tabla 822 - 11, se concluye:
- Si $t \geq t_{crit}$, entonces los dos juegos de datos tienen medias significativamente diferentes.
 - Si $t < t_{crit}$, entonces no hay razón para creer que las medias sean significativamente diferentes.
- 6.2.5** *Varianzas muestrales asumidas no iguales:*
- 6.2.5.1** Si las varianzas de las muestras no se asumen como iguales, entonces se usan las varianzas de las muestras individuales y no las combinadas, para calcular t. En este caso, los grados de libertad usados para determinar t_{crit} son un valor estimado de grados de libertad efectivos, u_e , más bien que los grados de libertad combinados.
- 6.2.5.2** Se usa la siguiente ecuación para calcular el valor el valor t a partir del cual se toma la decisión:

$$t = \frac{|\bar{x}_a - \bar{x}_b|}{\sqrt{\frac{s_a^2}{n_a} + \frac{s_b^2}{n_b}}} \quad [822.7]$$

- Donde:
- \bar{x}_a : Media del juego de datos de la muestra A;
 - \bar{x}_b : Media del juego de datos de la muestra B;
 - s_a^2 : Varianza del juego de datos de la muestra A;
 - s_b^2 : Varianza del juego de datos de la muestra B;

n_a : Número de resultados de ensayos sobre la muestra A;

n_b : Número de resultados de ensayos sobre la muestra B.

6.2.5.3 Se escoge el nivel de significación, α , para la prueba. Se recomienda un nivel de significación de 0.01 (1 %).

6.2.5.4 Se calculan los grados efectivos de libertad (u_e), usando la fórmula:

$$v_e = \frac{\left(\frac{s_a^2}{n_a} + \frac{s_b^2}{n_b} \right)^2}{\left[\frac{\left(\frac{s_a^2}{n_a} \right)^2}{n_a + 1} + \frac{\left(\frac{s_b^2}{n_b} \right)^2}{n_b + 1} \right]} - 2 \quad [822.8]$$

Donde: u_e : Grados de libertad efectivos;

s_a^2 : Varianza del juego de datos de la muestra A;

s_b^2 : Varianza del juego de datos de la muestra B;

n_a : Número de resultados de ensayos sobre la muestra A;

n_b : Número de resultados de ensayos sobre la muestra B.

6.2.5.5 Se determina en la Tabla 822 - 11 el valor crítico t (t_{crit}) para un nivel de significación, α , igual a 0.01 (1 %) y para los grados de libertad efectivos (u_e).

6.2.5.6 Una vez que se ha determinado en la Tabla 822 - 11 el valor crítico de t (t_{crit}), entonces:

- Si $t \geq t_{crit}$, entonces los dos juegos tienen medias significativamente diferentes.

- Si $t < t_{\text{crít}}$, entonces no hay razón para creer que las medias son significativamente diferentes.

7 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS Y CÁLCULOS

7.1 *Recolección de los resultados de los ensayos:*

7.1.1 Se obtienen los dos juegos de resultados de ensayos que se van a analizar. Con el fin de que el análisis sea significativo, las muestras se deben obtener a través de un sistema de muestreo aleatorio (ver norma INV E-730). Los dos juegos deben haber sido muestreados en el mismo período, y empleando los mismos procedimientos para el muestreo y para el ensayo. Al menos, cada juego deberá estar constituido por dos resultados de ensayos para poder usar este procedimiento. Puede haber más resultados en un juego que en el otro.

7.2 *Cálculos de muestras con varianzas iguales:*

7.2.1 Los 21 resultados de ensayos mostrados en la Tabla 822 - 1 son contenidos de asfalto tomados por un laboratorio sobre una mezcla específica. Los 8 resultados de la Tabla 822 - 2 fueron obtenidos por otro laboratorio sobre la misma mezcla, durante el mismo período, empleando los mismos sistemas de muestreo y ensayo. ¿Es posible que los ensayos provengan de la misma población?

Tabla 822 - 1. Resultados de ensayos sobre la muestra A

Tabla 822 - 2. Resultados de ensayos sobre la muestra B

x_{ai}	$\sum (x_{ai} - \bar{x}_a)^2$	x_{bi}	$\sum (x_{bi} - \bar{x}_b)^2$
6.4	0.0625	5.4	0.0576
6.2	0.0025	5.8	0.0256
6.0	0.0225	6.2	0.3136
6.6	0.2025	5.4	0.0576
6.1	0.0025	5.4	0.0576
6.0	0.0225	5.8	0.0256
6.3	0.0225	5.7	0.0036
6.1	0.0025	5.4	0.0576
5.9	0.0625	5.4	0.0576
5.8	0.1225	5.8	0.0256
6.0	0.0225	5.7	0.0036
5.7	0.2025	5.4	0.0576
6.3	0.0225	5.8	0.0256
6.5	0.1225	5.7	0.0036
6.4	0.0625	5.4	0.0576
6.0	0.0225	5.8	0.0256
6.2	0.0025	5.7	0.0036
6.5	0.1225	5.4	0.0576
6.0	0.0225	5.8	0.0256
5.9	0.0625	5.7	0.0036
6.3	0.0225	5.4	0.0576
Σ(x _{ai}) = 129.2	Σ(x _{ai} - \bar{x}_a) ² = 1.2125	Σ(x _{bi}) = 45.1	Σ(x _{bi} - \bar{x}_b) ² = 0.5988

7.2.1.1 Se calcula el valor medio para cada muestra, \bar{x}_a y \bar{x}_b :

$$\bar{x}_a = \frac{\sum x_{ai}}{n_a} = \frac{129.2}{21} = 6.15$$

$$\bar{x}_b = \frac{\sum x_{bi}}{n_b} = \frac{45.1}{8} = 5.64$$

7.2.1.2 Se calcula la varianza para cada muestra, s_a^2 y s_b^2 :

$$s_a^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ai} - \bar{x}_a)^2}{n_a - 1} = \frac{1.2125}{21 - 1} = 0.0606$$

$$s_b^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{bi} - \bar{x}_b)^2}{n_b - 1} = \frac{0.5988}{8 - 1} = 0.0855$$

7.2.1.3 Se calcula F, colocando la mayor varianza en el numerador:

$$F = \frac{s_b^2}{s_a^2} = \frac{0.0855}{0.0606} = 1.41$$

7.2.1.4 Se determinan los grados de libertad para el numerador (u_b) y para el denominador (u_a):

$$u_b = n_b - 1 = 8 - 1 = 7$$

$$u_a = n_a - 1 = 21 - 1 = 20$$

7.2.1.5 En la Tabla 822 - 9, para un nivel de significación, α , de 0.01 (1 %), para los valores de u_b y u_a ; se obtiene que $F_{\text{crít}} = 4.2569$

7.2.1.6 Puesto que $F = 1.41 < F_{\text{crít}} = 4.2569$, no hay razón para creer que los dos juegos de resultados de ensayos tienen variabilidades diferentes. Esto significa que ellos pueden provenir de la misma población (material). Puesto que las varianzas se pueden asumir iguales, se puede usar la varianza combinada para determinar el estadístico t, y los grados de libertad combinados se pueden emplear para calcular el valor t crítico ($t_{\text{crít}}$).

7.2.1.7 Se calcula la varianza combinada, s_p^2 , usando las varianzas de las muestras (s_a^2 y s_b^2):

$$s_p^2 = \frac{s_a^2(n_a - 1) + s_b^2(n_b - 1)}{n_a + n_b - 2} = \frac{0.0606(21 - 1) + 0.0855(8 - 1)}{21 + 8 - 2} = 0.067$$

7.2.1.8 Se calcula el estadístico de la prueba t:

$$t = \frac{|\bar{x}_a - \bar{x}_b|}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_a} + \frac{s_p^2}{n_b}}} = \frac{|6.15 - 5.64|}{\sqrt{\frac{0.067}{21} + \frac{0.067}{8}}} = 4.742$$

7.2.1.9 Se calculan los grados de libertad combinados (u_p), con la fórmula:

$$u_p = n_a + n_b - 1 = 21 + 8 - 1 = 27$$

7.2.1.10 En la Tabla 822 - 11, para un nivel de significación, α , de 0.01 (1 %), y para los grados de libertad combinados ($\nu_p = 27$); se obtiene que $t_{\text{crít}} = 2.7707$

7.2.1.11 Puesto que $t = 4.742 > t_{\text{crít}} = 2.7707$, las medias muestrales no son iguales. Es posible que los dos juegos de datos no provengan de la misma población (material).

7.3 Cálculos de muestras con varianzas diferentes:

7.3.1 Los 25 resultados de ensayos mostrados en la Tabla 822 - 3 se obtuvieron en un laboratorio sobre un material específico. Los 10 resultados de la Tabla 822 - 4 fueron obtenidos por otro laboratorio sobre el mismo material, durante el mismo período, empleando los mismos sistemas de muestreo y ensayo. ¿Es posible que los ensayos provengan de la misma población?

Tabla 822 - 3. Resultados de ensayos sobre la muestra A

Tabla 822 - 4. Resultados de ensayos sobre la muestra B

x_{ai}	$\sum (x_{ai} - \bar{x}_a)^2$	x_{bi}	$\sum (x_{bi} - \bar{x}_b)^2$
21.4	1.6384	34.7	201.3561
20.2	0.0064	16.8	13.7641
24.5	19.1844	16.2	18.5761
24.2	16.6464	27.7	51.6961
23.1	8.8804	20.3	0.0441
22.7	6.6564	16.8	13.7641
23.5	11.4244	20.0	0.2601
15.5	21.3444	19.0	2.2801
17.9	4.9284	11.3	84.8241
24.1	15.8404	22.3	3.2041
18.6	2.3104		
15.9	17.8084		
17.0	9.7344		
20.0	0.0144		
24.0	16.6464		
14.6	30.4704		
19.7	0.1764		
16.0	16.9744		
23.1	8.8804		
20.8	0.4624		
14.6	30.4704		
16.4	13.8384		
22.0	3.5344		
18.7	2.0164		
24.2	16.6464		
$\Sigma (x_{ai}) = 502.9$	$\Sigma (x_{ai} - \bar{x}_a)^2 = 276.5340$	$\Sigma (x_{bi}) = 205.1$	$\Sigma (x_{bi} - \bar{x}_b)^2 = 389.7690$

7.3.1.1 Se calcula el valor medio para cada muestra, \bar{x}_a y \bar{x}_b :

$$\bar{x}_a = \frac{\sum x_{ai}}{n_a} = \frac{502.9}{25} = 20.12$$

$$\bar{x}_b = \frac{\sum x_{bi}}{n_b} = \frac{205.1}{10} = 20.51$$

7.3.1.2 Se calcula la varianza para cada muestra, s_a^2 y s_b^2 :

$$s_a^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ai} - \bar{x}_a)^2}{n_a - 1} = \frac{276.5340}{25 - 1} = 11.5223$$

$$s_b^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{bi} - \bar{x}_b)^2}{n_b - 1} = \frac{389.7690}{10 - 1} = 43.3077$$

7.3.1.3 Se calcula F, colocando la mayor varianza en el numerador:

$$F = \frac{s_b^2}{s_a^2} = \frac{43.3077}{11.5223} = 3.76$$

7.3.1.4 Se determinan los grados de libertad para el numerador (u_b) y para el denominador (u_a):

$$u_b = n_b - 1 = 10 - 1 = 9$$

$$u_a = n_a - 1 = 25 - 1 = 24$$

7.3.1.5 En la Tabla 822 - 9, para un nivel de significación de 0.01 (1 %), para los valores de u_b y u_a ; se obtiene que $F_{crit} = 3.6949$

7.3.1.6 Puesto que $F = 3.76 > F_{crit} = 3.6949$, hay razón para creer que los dos juegos de resultados de ensayos tienen variabilidades diferentes. Esto significa que es probable que ellos provengan de poblaciones (materiales) con diferentes variabilidades. Puesto que las varianzas no se pueden asumir iguales, se deben usar las varianzas individuales para determinar el estadístico de la prueba t, y se estiman los grados de libertad efectivos para calcular el valor t crítico (t_{crit}).

7.3.1.7 Se calcula el estadístico de la prueba t:

$$t = \frac{|\bar{x}_a - \bar{x}_b|}{\sqrt{\frac{s_a^2}{n_a} + \frac{s_b^2}{n_b}}} = \frac{|20.12 - 20.51|}{\sqrt{\frac{11.5223}{25} + \frac{43.3077}{10}}} = 0.178$$

7.3.1.8 Se calculan los grados de libertad efectivos (u_e), con la fórmula que se indica a continuación. El valor calculado se debe redondear al entero.

$$v_e = \frac{\left(\frac{s_a^2}{n_a} + \frac{s_b^2}{n_b}\right)^2}{\left[\frac{\left(\frac{s_a^2}{n_a}\right)^2}{n_a + 1} + \frac{\left(\frac{s_b^2}{n_b}\right)^2}{n_b + 1}\right]} - 2 = \frac{\left(\frac{11.5223}{25} + \frac{43.3077}{10}\right)^2}{\left[\frac{\left(\frac{11.5223}{25}\right)^2}{25 + 1} + \frac{\left(\frac{43.3077}{10}\right)^2}{10 + 1}\right]} - 2 = \frac{22.960}{1.713} - 2 = 11.4 \Rightarrow 11$$

7.3.1.9 En la Tabla 822 - 11, para un nivel de significación, α , de 0.01 (1 %), y para los grados de libertad efectivos ($u_e = 11$); se obtiene que $t_{crit} = 3.1058$

7.3.1.10 Puesto que $t = 0.180 < t_{crit} = 3.1058$, no hay razón para asumir que las medias muestrales no sean iguales. Puesto que las varianzas son diferentes, es razonable asumir que los dos juegos de resultados provienen de diferentes poblaciones (materiales) con la misma media.

8 INFORME

8.1 Se pueden extraer varias conclusiones luego de realizar las pruebas F y t:

8.1.1 $F \geq F_{crit}$ y $t \geq t_{crit}$ – Esto indicaría que los dos juegos de datos tienen tanto variabilidades como medias significativamente diferentes (Figura 822 - 2). Es improbable que los dos juegos de resultados provengan de la misma población (material).

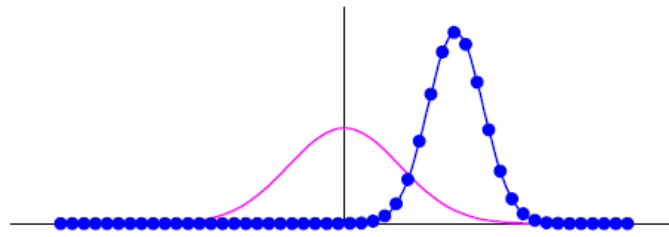


Figura 822 - 2. Dos poblaciones con medias y variabilidades diferentes

- 8.1.2** $F \geq F_{crit}$ y $t < t_{crit}$ – Esto indicaría que los dos juegos de datos tienen variabilidades significativamente diferentes e iguales medias (Figura 822 - 3). Es probable que los dos juegos de resultados provengan de dos poblaciones (materiales) con la misma media.

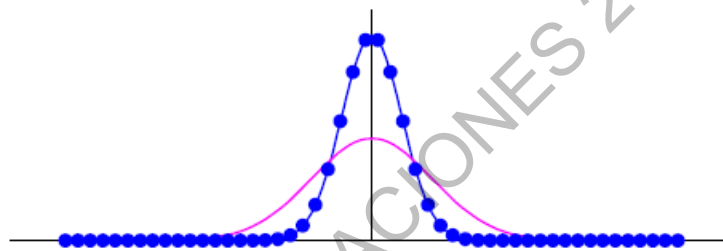


Figura 822 - 3. Dos poblaciones con medias similares y diferentes variabilidades

- 8.1.3** $F < F_{crit}$ y $t \geq t_{crit}$ – Esto indicaría que los dos juegos de datos tienen variabilidades iguales y medias significativamente diferentes (Figura 822 - 4). Es probable que los dos juegos de resultados provengan de dos poblaciones (materiales) con la misma variabilidad y diferentes medias.

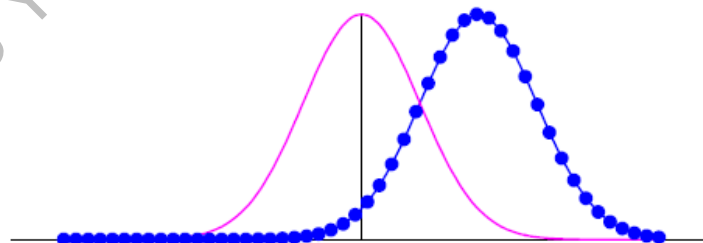


Figura 822 - 4. Dos poblaciones con medias diferentes y variabilidades similares

- 8.1.4** $F < F_{crit}$ y $t < t_{crit}$ – Esto indicaría que los dos juegos de datos tienen variabilidades iguales y medias iguales (Figura 822 - 5). Es probable que los dos juegos de resultados provengan de la misma población (material), con la misma variabilidad y la misma media.

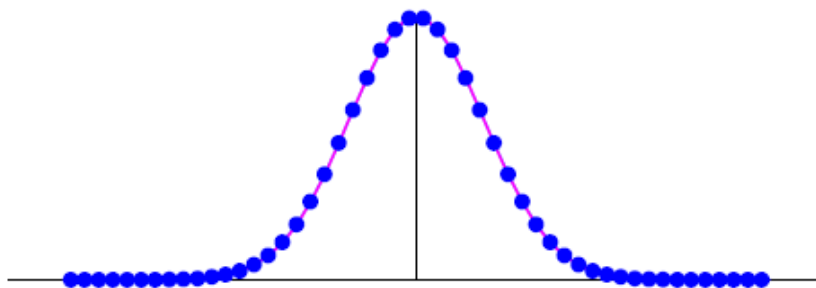


Figura 822 - 5. Dos poblaciones con similares medias y variabilidades

9 CALIBRACIONES, CORRECCIONES Y REPETIBILIDAD

9.1 Fuentes de error:

9.1.1 El empleo un nivel de significación, α , igual a 1 % para determinar los valores de F (F_{crit}) y t (t_{crit}), implica que aun existe una probabilidad pequeña (1 en 100) de llegar a una conclusión errónea cuando se usen estos ensayos.

9.1.2 El usuario de este procedimiento de ensayo debe ser consciente de que puede haber otras razones para detectar una aparente diferencia entre dos juegos de datos. Si los dos juegos de medidas se hicieron con diferentes dispositivos de medida (por ejemplo, lecturas con densímetros nucleares y medidas de densidad sobre núcleos), o si los ensayos fueron realizados por dos operadores con niveles marcadamente diferentes de habilidad o de experiencia, es posible que ello pueda producir una diferencia significativa aparente, cuando en realidad no hay ninguna diferencia en los materiales. Los procedimientos estadísticos son ciegos a influencias como éstas, de manera que se debe tener mucho cuidado para aplicarlos correctamente.

9.1.3 Hay una posibilidad de hacer una determinación incorrecta, si: (1) los dos juegos de resultados de los ensayos no fueron obtenidos aleatoriamente, (2) los dos juegos de resultados de los ensayos no fueron obtenidos durante el mismo período, (3) se usaron diferentes procedimientos de muestreo y ensayo para obtener los dos juegos de datos.

9.1.4 Como resultado de muchas investigaciones, se ha concluido que numerosas medidas que se realizan durante la construcción vial siguen

la distribución normal. Esta es la suposición que sirve de base a este procedimiento. Si los juegos de datos están cerca de una distribución normal, no se introducirá demasiado error en el análisis. Si los juegos de datos no se asimilan a la distribución normal, la suposición básica no es válida y el procedimiento puede conducir a resultados erróneos. Si se sospecha que los datos no están distribuidos normalmente, existen algunas técnicas que se pueden aplicar para normalizarlos.

- 9.1.5** Las Tablas 822 - 5 a 822 - 8 ilustran la efectividad de este procedimiento para identificar correctamente las diferencias entre juegos de datos bajo diferentes condiciones. El tamaño de la muestra y el nivel de significación tienen el mayor efecto sobre la capacidad de detectar correctamente una diferencia verdadera. Por ejemplo, en la Tabla 822 - 5 (Aptitud del procedimiento con iguales tamaños de muestras e iguales desviaciones estándar de la población) se puede ver que para tamaños de muestras $N_A = N_B = 10$ y un nivel de significación de 0.01 ($\alpha = 0.01$), la diferencia verdadera en las desviaciones estándar se debe aproximar a 2.0 antes de que haya una fuerte probabilidad (0.93) de que se pueda detectar la diferencia. Si, por ejemplo, esto se aplicara a dos juegos de contenidos de asfalto que tengan desviaciones estándar de 0.2 %, entonces se requeriría una diferencia en las medias de las poblaciones de 0.4 %, con el fin de que este procedimiento tenga una posibilidad realmente buena de detectar la diferencia. Si el nivel de significación se incrementa a 0.05 ($\alpha = 0.05$), una diferencia verdadera de 2 desviaciones estándar sería detectada casi con seguridad (0.99), pero en este caso habría un 5 % de posibilidades de detectar una diferencia falsa cuando en realidad no la hay.
- 9.1.6** Usualmente, es posible hallar una combinación de tamaños de muestras y un nivel de significación que dé lugar a riesgos adecuadamente balanceados. Estas tablas proporcionan un conocimiento de las características de operación del procedimiento y un retrato claro tanto de sus posibilidades como de sus limitaciones. Este conocimiento se requiere para asegurar la correcta aplicación del procedimiento.

Tabla 822 - 5. Aptitud del procedimiento con iguales tamaños de muestras e iguales desviaciones estándar de la población

Diferencia en las medias de las poblaciones, en unidades de desviación estándar	PROBABILIDAD DE DETECTAR DIFERENCIAS PARA TAMAÑOS DE MUESTRAS Y NIVELES DE SIGNIFICACIÓN SELECCIONADOS								
	$N_A = 5, N_B = 5$			$N_A = 10, N_B = 10$			$N_A = 15, N_B = 15$		
	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$
0.0	0.01	0.06	0.10	0.01	0.06	0.11	0.01	0.06	0.10
0.5	0.03	0.11	0.19	0.06	0.18	0.28	0.11	0.26	0.38
1.0	0.10	0.30	0.43	0.30	0.56	0.69	0.51	0.76	0.85
1.5	0.24	0.54	0.69	0.68	0.90	0.94	0.89	0.98	0.99
2.0	0.45	0.80	0.89	0.93	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00
2.5	0.69	0.93	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

VALORES DE PROBABILIDAD OBTENIDOS MEDIANTE SIMULACIÓN POR COMPUTADOR CON 1000 RÉPLICAS $\sigma_A = \sigma_B$

Tabla 822 - 6. Aptitud del procedimiento con diferentes tamaños de muestras e iguales desviaciones estándar de la población

Diferencia en las medias de las poblaciones, en unidades de desviación estándar	PROBABILIDAD DE DETECTAR DIFERENCIAS PARA TAMAÑOS DE MUESTRAS Y NIVELES DE SIGNIFICACIÓN SELECCIONADOS								
	$N_A = 10, N_B = 5$			$N_A = 20, N_B = 5$			$N_A = 20, N_B = 10$		
	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$
0.0	0.01	0.06	0.10	0.02	0.06	0.11	0.01	0.06	0.10
0.5	0.04	0.15	0.24	0.06	0.16	0.27	0.09	0.24	0.35
1.0	0.19	0.42	0.56	0.25	0.48	0.60	0.46	0.71	0.82
1.5	0.44	0.70	0.80	0.57	0.79	0.87	0.88	0.97	0.98
2.0	0.74	0.91	0.95	0.86	0.95	0.98	0.99	1.00	1.00
2.5	0.91	0.99	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00

VALORES DE PROBABILIDAD OBTENIDOS MEDIANTE SIMULACIÓN POR COMPUTADOR CON 1000 RÉPLICAS $\sigma_A = \sigma_B$

Tabla 822 - 7. Aptitud del procedimiento con iguales tamaños de muestras y diferentes desviaciones estándar de la población

Diferencia en las medias de las poblaciones, en unidades de desviación estándar	PROBABILIDAD DE DETECTAR DIFERENCIAS PARA TAMAÑOS DE MUESTRAS Y NIVELES DE SIGNIFICACIÓN SELECCIONADOS								
	$N_A = 5, N_B = 5$			$N_A = 10, N_B = 10$			$N_A = 15, N_B = 15$		
	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$
0.0	0.02	0.06	0.10	0.01	0.04	0.09	0.01	0.06	0.11
0.5	0.03	0.11	0.19	0.06	0.18	0.28	0.08	0.25	0.36
1.0	0.12	0.29	0.43	0.26	0.50	0.63	0.44	0.69	0.81
1.5	0.23	0.51	0.66	0.60	0.81	0.88	0.84	0.96	0.98
2.0	0.44	0.72	0.83	0.88	0.98	0.99	0.99	1.00	1.00
2.5	0.63	0.88	0.94	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

VALORES DE PROBABILIDAD OBTENIDOS MEDIANTE SIMULACIÓN POR COMPUTADOR CON 1000 RÉPLICAS $\sigma_A = 2\sigma_B$

Tabla 822 - 8. Aptitud del procedimiento con diferentes tamaños de muestras y diferentes desviaciones estándar de la población

Diferencia en las medias de las poblaciones, en unidades de desviación estándar	PROBABILIDAD DE DETECTAR DIFERENCIAS PARA TAMAÑOS DE MUESTRAS Y NIVELES DE SIGNIFICACIÓN SELECCIONADOS								
	$N_A = 10, N_B = 5$			$N_A = 20, N_B = 5$			$N_A = 20, N_B = 10$		
	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$
0.0	0.01	0.04	0.08	0.01	0.04	0.08	0.01	0.05	0.09
0.5	0.03	0.10	0.17	0.04	0.14	0.21	0.10	0.26	0.38
1.0	0.13	0.34	0.49	0.24	0.49	0.63	0.46	0.74	0.83
1.5	0.39	0.68	0.82	0.56	0.80	0.89	0.87	0.98	0.99
2.0	0.72	0.90	0.95	0.82	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00
2.5	0.90	0.99	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

VALORES DE PROBABILIDAD OBTENIDOS MEDIANTE SIMULACIÓN POR COMPUTADOR CON 1000 RÉPLICAS $\sigma_A = 2\sigma_B$

Tabla 822 - 9. Distribución F para $\alpha = 0.01$ (Parte 1)

DISTRIBUCIÓN F												
Nivel de significación	1.00%											
Numerador Grados de libertad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Denominador Grados de libertad	Values of F											
1	16,212.4634	19,997.3583	21,614.1343	22,500.7534	23,055.8217	23,439.5266	23,715.1980	23,923.8143	24,091.4524	24,221.6375	24,333.5962	24,426.7285
2	198.5027	199.0120	199.1575	199.2448	199.3030	199.3321	199.3612	199.3758	199.3903	199.3903	199.4194	199.4194
3	55.5519	49.8003	47.4683	46.1951	45.3911	44.8381	44.4343	44.1250	43.8813	43.6848	43.5248	43.3865
4	31.3321	26.2844	24.2599	23.1539	22.4563	21.9752	21.6223	21.3522	21.1385	20.9666	20.8238	20.7046
5	22.7847	18.3136	16.5301	15.5560	14.9394	14.5133	14.2004	13.9607	13.7716	13.6179	13.4914	13.3846
6	18.6346	14.5442	12.9166	12.0276	11.4637	11.0731	10.7857	10.5656	10.3914	10.2500	10.1327	10.0345
7	16.2354	12.4037	10.8826	10.0504	9.5220	9.1554	8.8853	8.6779	8.5138	8.3803	8.2696	8.1764
8	14.6883	11.0426	9.5965	8.8053	8.3019	7.9519	7.6941	7.4958	7.3387	7.2107	7.1045	7.0149
9	13.6138	10.1068	8.7171	7.9558	7.4710	7.1338	6.8849	6.6902	6.5411	6.4172	6.3142	6.2273
10	12.8266	9.4269	8.0809	7.3428	6.8724	6.5447	6.3026	6.1159	5.9676	5.8467	5.7462	5.6614
11	12.2263	8.9121	7.6004	6.8808	6.4217	6.1016	5.8648	5.6821	5.5368	5.4183	5.3195	5.2363
12	11.7543	8.5097	7.2257	6.5211	6.0711	5.7571	5.5245	5.3451	5.2021	5.0854	4.9884	4.9063
13	11.3737	8.1864	6.9258	6.2334	5.7910	5.4819	5.2529	5.0761	4.9351	4.8200	4.7240	4.6429
14	11.0604	7.9217	6.6804	5.9983	5.5622	5.2579	5.0313	4.8566	4.7173	4.6034	4.5085	4.4281
15	10.7980	7.7007	6.4761	5.8029	5.3722	5.0708	4.8473	4.6743	4.5363	4.4236	4.3294	4.2497
16	10.5796	7.5138	6.3034	5.6378	5.2116	4.9134	4.6920	4.5206	4.3839	4.2719	4.1785	4.0993
17	10.3842	7.3537	6.1557	5.4968	5.0745	4.7789	4.5594	4.3893	4.2535	4.1424	4.0495	3.9709
18	10.2182	7.2148	6.0278	5.3747	4.9561	4.6628	4.4448	4.2760	4.1410	4.0304	3.9382	3.8599
19	10.0727	7.0934	5.9160	5.2680	4.8526	4.5613	4.3449	4.1770	4.0428	3.9329	3.8410	3.7631
20	9.9440	6.9865	5.8177	5.1743	4.7615	4.4721	4.2569	4.0900	3.9564	3.8470	3.7555	3.6779
21	9.8294	6.8915	5.7304	5.0911	4.6808	4.3931	4.1789	4.0128	3.8799	3.7709	3.6798	3.6024
22	9.7270	6.8064	5.6524	5.0168	4.6088	4.3225	4.1093	3.9440	3.8116	3.7030	3.6122	3.5350
23	9.6347	6.7300	5.5823	4.9500	4.5441	4.2591	4.0469	3.8822	3.7502	3.6420	3.5515	3.4745
24	9.5513	6.6609	5.5190	4.8898	4.4856	4.2019	3.9905	3.8264	3.6949	3.5870	3.4967	3.4199
25	9.4753	6.5982	5.4618	4.8351	4.4326	4.1500	3.9394	3.7758	3.6447	3.5370	3.4470	3.3704
26	9.4060	6.5410	5.4091	4.7852	4.3843	4.1027	3.8928	3.7297	3.5989	3.4916	3.4017	3.3252
27	9.3423	6.4886	5.3611	4.7396	4.3402	4.0594	3.8501	3.6875	3.5570	3.4499	3.3602	3.2840
28	9.2837	6.4404	5.3170	4.6977	4.2996	4.0197	3.8110	3.6488	3.5186	3.4117	3.3222	3.2460
29	9.2298	6.3968	5.2764	4.6591	4.2621	3.9831	3.7749	3.6131	3.4832	3.3765	3.2871	3.2110
30	9.1798	6.3546	5.2388	4.6234	4.2276	3.9493	3.7415	3.5801	3.4505	3.3440	3.2547	3.1787
35	8.9763	6.1879	5.0865	4.4787	4.0876	3.8123	3.6067	3.4466	3.3161	3.2123	3.1235	3.0480
40	8.8278	6.0664	4.9758	4.3738	3.9860	3.7129	3.5088	3.3498	3.2220	3.1167	3.0284	2.9531
50	8.6256	5.9016	4.8259	4.2317	3.8486	3.5785	3.3764	3.2189	3.0921	2.9875	2.8997	2.8247
60	8.4947	5.7950	4.7290	4.1399	3.7600	3.4918	3.2911	3.1345	3.0083	2.9042	2.8166	2.7418
70	8.4026	5.7204	4.6613	4.0758	3.6980	3.4313	3.2315	3.0755	2.9498	2.8460	2.7587	2.6840
80	8.3346	5.6652	4.6113	4.0285	3.6524	3.3867	3.1876	3.0320	2.9066	2.8031	2.7159	2.6413
90	8.2823	5.6228	4.5728	3.9922	3.6173	3.3524	3.1538	2.9987	2.8735	2.7701	2.6830	2.6085
100	8.2407	5.5892	4.5424	3.9634	3.5895	3.3252	3.1271	2.9722	2.8472	2.7439	2.6570	2.5825
120	8.1789	5.5393	4.4972	3.9207	3.5482	3.2849	3.0875	2.9329	2.8083	2.7052	2.6183	2.5439
140	8.1350	5.5040	4.4652	3.8905	3.5191	3.2565	3.0594	2.9053	2.7808	2.6778	2.5910	2.5167
150	8.1177	5.4899	4.4525	3.8785	3.5075	3.2452	3.0483	2.8942	2.7698	2.6670	2.5802	2.5059
1,000,000	7.8794	5.2984	4.2794	3.7151	3.3500	3.0913	2.8969	2.7444	2.6211	2.5188	2.4325	2.3583

Tabla 822 - 10. Distribución F para $\alpha = 0.01$ (Parte 2)

DISTRIBUCIÓN F												
Nivel de significación	1.00%											
Numerador Grados de libertad	15	20	25	30	40	50	60	100	120	200	500	1,000,000
Denominador Grados de libertad	Values of F											
1	24.631.6195	24.836.5104	24.959.4450	25.041.4014	25.145.7095	25.212.7647	25.253.7429	25.339.4246	25.358.0511	25.399.0293	25.436.2822	25.466.0845
2	199.4340	199.4486	199.4486	199.4777	199.4777	199.4777	199.4777	199.4777	199.4922	199.4922	199.5068	199.5068
3	43.0846	42.7790	42.5898	42.4661	42.3097	42.2115	42.1496	42.0223	41.9896	41.9241	41.8668	41.8295
4	20.4382	20.1671	20.0025	19.8916	19.7515	19.6669	19.6105	19.4968	19.4686	19.4113	19.3595	19.3249
5	13.1463	12.9035	12.7557	12.6556	12.5297	12.4537	12.4023	12.2996	12.2736	12.2218	12.1750	12.1436
6	9.8139	9.5888	9.4510	9.3582	9.2409	9.1695	9.1218	9.0258	9.0013	8.9529	8.9090	8.8794
7	7.9676	7.7539	7.6229	7.5345	7.4224	7.3544	7.3087	7.2166	7.1932	7.1466	7.1043	7.0761
8	6.8144	6.6082	6.4817	6.3960	6.2876	6.2216	6.1773	6.0875	6.0650	6.0195	5.9781	5.9506
9	6.0325	5.8319	5.7084	5.6248	5.5186	5.4539	5.4104	5.3224	5.3001	5.2553	5.2148	5.1875
10	5.4706	5.2740	5.1527	5.0705	4.9660	4.9022	4.8592	4.7721	4.7501	4.7058	4.6656	4.6385
11	5.0488	4.8552	4.7356	4.6543	4.5508	4.4877	4.4450	4.3586	4.3367	4.2926	4.2525	4.2255
12	4.7213	4.5300	4.4115	4.3309	4.2281	4.1654	4.1230	4.0366	4.0150	3.9710	3.9308	3.9039
13	4.4599	4.2703	4.1528	4.0727	3.9704	3.9079	3.8656	3.7795	3.7577	3.7136	3.6736	3.6465
14	4.2468	4.0585	3.9416	3.8619	3.7600	3.6975	3.6553	3.5692	3.5474	3.5032	3.4630	3.4358
15	4.0698	3.8826	3.7662	3.6868	3.5850	3.5225	3.4803	3.3941	3.3722	3.3279	3.2875	3.2603
16	3.9205	3.7342	3.6182	3.5388	3.4372	3.3747	3.3324	3.2460	3.2240	3.1795	3.1390	3.1115
17	3.7929	3.6073	3.4916	3.4124	3.3108	3.2482	3.2059	3.1192	3.0971	3.0524	3.0115	2.9839
18	3.6827	3.4977	3.3822	3.3031	3.2014	3.1387	3.0962	3.0092	2.9871	2.9422	2.9010	2.8732
19	3.5866	3.4020	3.2867	3.2076	3.1058	3.0430	3.0004	2.9131	2.8908	2.8456	2.8042	2.7762
20	3.5020	3.3178	3.2026	3.1234	3.0215	2.9586	2.9159	2.8282	2.8058	2.7603	2.7187	2.6904
21	3.4270	3.2431	3.1279	3.0487	2.9468	2.8837	2.8408	2.7528	2.7302	2.6845	2.6425	2.6140
22	3.3600	3.1764	3.0612	2.9821	2.8799	2.8166	2.7736	2.6852	2.6625	2.6165	2.5742	2.5455
23	3.2999	3.1165	3.0013	2.9221	2.8197	2.7563	2.7132	2.6243	2.6016	2.5552	2.5126	2.4837
24	3.2456	3.0624	2.9472	2.8679	2.7654	2.7018	2.6585	2.5692	2.5463	2.4997	2.4568	2.4276
25	3.1964	3.0133	2.8981	2.8187	2.7160	2.6523	2.6088	2.5191	2.4961	2.4492	2.4059	2.3765
26	3.1515	2.9685	2.8533	2.7738	2.6709	2.6070	2.5634	2.4733	2.4501	2.4029	2.3593	2.3297
27	3.1104	2.9275	2.8123	2.7327	2.6296	2.5655	2.5217	2.4312	2.4079	2.3604	2.3165	2.2867
28	3.0727	2.8899	2.7746	2.6949	2.5916	2.5273	2.4833	2.3925	2.3690	2.3213	2.2771	2.2470
29	3.0379	2.8551	2.7398	2.6600	2.5565	2.4920	2.4480	2.3566	2.3331	2.2850	2.2405	2.2102
30	3.0057	2.8230	2.7076	2.6278	2.5241	2.4594	2.4152	2.3234	2.2998	2.2514	2.2066	2.1760
35	2.8756	2.6930	2.5772	2.4969	2.3921	2.3266	2.2816	2.1880	2.1637	2.1139	2.0677	2.0359
40	2.7811	2.5984	2.4823	2.4015	2.2958	2.2295	2.1838	2.0884	2.0636	2.0125	1.9647	1.9318
50	2.6531	2.4702	2.3533	2.2717	2.1644	2.0967	2.0499	1.9512	1.9254	1.8719	1.8214	1.7863
60	2.5705	2.3872	2.2698	2.1874	2.0789	2.0100	1.9622	1.8609	1.8341	1.7785	1.7256	1.6885
70	2.5127	2.3291	2.2112	2.1283	2.0187	1.9488	1.9002	1.7966	1.7691	1.7116	1.6565	1.6176
80	2.4700	2.2862	2.1678	2.0845	1.9739	1.9033	1.8540	1.7484	1.7203	1.6611	1.6041	1.5634
90	2.4373	2.2532	2.1344	2.0507	1.9394	1.8681	1.8182	1.7109	1.6822	1.6216	1.5627	1.5204
100	2.4113	2.2270	2.1080	2.0239	1.9119	1.8400	1.7896	1.6809	1.6516	1.5897	1.5291	1.4853
120	2.3727	2.1881	2.0686	1.9839	1.8709	1.7981	1.7469	1.6357	1.6055	1.5413	1.4778	1.4311
140	2.3454	2.1606	2.0407	1.9556	1.8418	1.7683	1.7163	1.6032	1.5723	1.5063	1.4401	1.3909
150	2.3346	2.1496	2.0295	1.9444	1.8302	1.7563	1.7042	1.5901	1.5590	1.4921	1.4248	1.3744
1,000,000	2.1668	1.9999	1.8771	1.7891	1.6692	1.5898	1.5325	1.4017	1.3638	1.2764	1.1705	1.0052

Tabla 822 - 11. Distribución t

DISTRIBUCIÓN t STUDENT												
Nivel de significación	0.1%	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%	4.5%	5.0%	10.0%
Grados de libertad	Values of t											
1	638.5778	127.3211	63.8559	42.4334	31.8210	25.4519	21.2051	18.1707	15.8945	14.1235	12.7062	8.3137
2	31.5998	14.0892	9.9250	8.0728	6.9645	6.2054	5.6428	5.2039	4.8487	4.5534	4.3027	2.9200
3	12.9244	7.4532	5.8408	5.0473	4.5407	4.1765	3.8961	3.6700	3.4819	3.3216	3.1824	2.3534
4	8.6101	5.5975	4.6041	4.0880	3.7469	3.4954	3.2978	3.1355	2.9985	2.8803	2.7785	2.1318
5	6.8985	4.7733	4.0321	3.6338	3.3649	3.1634	3.0029	2.8699	2.7565	2.6579	2.5708	2.0160
6	5.9587	4.3168	3.7074	3.3723	3.1427	2.9687	2.8289	2.7123	2.6122	2.5247	2.4469	1.9432
7	5.4081	4.0294	3.4995	3.2031	2.9979	2.8412	2.7148	2.6083	2.5168	2.4363	2.3646	1.8946
8	5.0414	3.8325	3.3554	3.0851	2.8965	2.7515	2.6338	2.5347	2.4490	2.3735	2.3060	1.8595
9	4.7809	3.6896	3.2498	2.9982	2.8214	2.6850	2.5738	2.4798	2.3984	2.3266	2.2622	1.8331
10	4.5868	3.5814	3.1693	2.9316	2.7638	2.6338	2.5275	2.4375	2.3593	2.2902	2.2281	1.8125
11	4.4369	3.4966	3.1058	2.8789	2.7181	2.5931	2.4907	2.4037	2.3281	2.2612	2.2010	1.7959
12	4.3178	3.4284	3.0545	2.8363	2.6810	2.5600	2.4607	2.3763	2.3027	2.2375	2.1788	1.7823
13	4.2209	3.3725	3.0123	2.8010	2.6503	2.5326	2.4358	2.3535	2.2816	2.2178	2.1604	1.7709
14	4.1403	3.3257	2.9768	2.7714	2.6245	2.5096	2.4149	2.3342	2.2638	2.2012	2.1448	1.7613
15	4.0728	3.2860	2.9467	2.7462	2.6025	2.4899	2.3970	2.3178	2.2485	2.1870	2.1315	1.7531
16	4.0149	3.2520	2.9208	2.7245	2.5835	2.4729	2.3815	2.3036	2.2354	2.1747	2.1199	1.7459
17	3.9651	3.2224	2.8982	2.7056	2.5669	2.4581	2.3681	2.2911	2.2238	2.1639	2.1098	1.7396
18	3.9217	3.1966	2.8784	2.6889	2.5524	2.4450	2.3562	2.2802	2.2137	2.1544	2.1009	1.7341
19	3.8833	3.1737	2.8609	2.6742	2.5395	2.4334	2.3457	2.2705	2.2047	2.1460	2.0930	1.7291
20	3.8496	3.1534	2.8453	2.6611	2.5280	2.4231	2.3362	2.2619	2.1967	2.1385	2.0860	1.7247
21	3.8193	3.1352	2.8314	2.6493	2.5178	2.4138	2.3278	2.2541	2.1894	2.1318	2.0796	1.7207
22	3.7922	3.1188	2.8188	2.6387	2.5083	2.4055	2.3202	2.2470	2.1829	2.1256	2.0739	1.7171
23	3.7676	3.1040	2.8073	2.6290	2.4999	2.3979	2.3132	2.2408	2.1770	2.1201	2.0687	1.7139
24	3.7454	3.0905	2.7970	2.6203	2.4922	2.3910	2.3069	2.2348	2.1715	2.1150	2.0639	1.7109
25	3.7251	3.0782	2.7874	2.6123	2.4851	2.3846	2.3011	2.2295	2.1666	2.1104	2.0595	1.7081
26	3.7067	3.0669	2.7787	2.6049	2.4786	2.3788	2.2958	2.2246	2.1620	2.1061	2.0555	1.7056
27	3.6895	3.0565	2.7707	2.5981	2.4727	2.3734	2.2909	2.2201	2.1578	2.1022	2.0518	1.7033
28	3.6739	3.0470	2.7633	2.5918	2.4671	2.3685	2.2864	2.2159	2.1539	2.0986	2.0484	1.7011
29	3.6595	3.0380	2.7564	2.5860	2.4620	2.3638	2.2822	2.2120	2.1503	2.0952	2.0452	1.6991
30	3.6460	3.0298	2.7500	2.5806	2.4573	2.3596	2.2783	2.2084	2.1470	2.0920	2.0423	1.6973
35	3.5911	2.9961	2.7238	2.5584	2.4377	2.3420	2.2622	2.1936	2.1332	2.0791	2.0301	1.6896
40	3.5510	2.9712	2.7045	2.5420	2.4233	2.3289	2.2503	2.1825	2.1229	2.0695	2.0211	1.6839
45	3.5203	2.9521	2.6896	2.5294	2.4121	2.3189	2.2411	2.1741	2.1150	2.0621	2.0141	1.6794
50	3.4960	2.9370	2.6778	2.5193	2.4033	2.3109	2.2338	2.1673	2.1087	2.0562	2.0086	1.6759
100	3.3905	2.8707	2.6259	2.4751	2.3642	2.2757	2.2015	2.1374	2.0809	2.0301	1.9840	1.6602
1,000,000	3.2905	2.8070	2.5758	2.4324	2.3264	2.2414	2.1701	2.1084	2.0538	2.0047	1.9600	1.6449

10 NORMAS DE REFERENCIA

STP 304-2

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

GUÍA PARA EL USO DE CIFRAS SIGNIFICATIVAS Y EL REDONDEO EN LA VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN

INV E – 823 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma brinda un procedimiento para el redondeo de las cifras significativas usadas en los valores observados o calculados que se informan con el fin verificar el cumplimiento de los límites de una especificación de construcción.

2 TERMINOLOGÍA

- 2.1** *Valor observado* – Valor obtenido al hacer una observación.
- 2.2** *Cifra significativa (dígito significativo)* – Cualquiera de los números entre 0 y 9 que denote una cantidad numérica, excepto ceros al comienzo y algunos ceros finales en una fracción decimal, que se usan con su lugar para denotar una cantidad numérica con una aproximación deseada.
- 2.3** *Uso de ceros* – El dígito cero puede indicar un valor específico o indicar un lugar solo, en acuerdo con las siguientes guías:
- 2.3.1** Ceros al comienzo antes del primer dígito diferente de cero de un número, indican solo orden de magnitud y no son dígitos significativos. Por ejemplo, el número “0.0054”, tiene dos cifras significativas.
- 2.3.2** Ceros finales tras el último dígito diferente de cero, para números representados con un punto decimal, son cifras significativas. Por ejemplo, “1370.” y “25.00”, tienen cuatro cifras significativas.
- 2.3.3** El significado de ceros finales en números representados sin el uso de un punto decimal, solo puede ser identificado a partir del conocimiento de la procedencia del valor. Por ejemplo, un módulo resiliente de “140 000 Pa” puede tener desde dos hasta seis cifras significativas. Para eliminar la ambigüedad, se debe emplear una notación exponencial. Así, “ 1.40×10^5 Pa” indica que el módulo se

debe reportar al más cercano “ 0.01×10^5 Pa” o “1000 Pa”. Se recomienda el uso de prefijos del sistema internacional (SI) para reducir la necesidad de ceros finales de significación desconocida. Así “140 kPa” (sin el punto decimal) puede indicar que el módulo se ha reportado con aproximación a 10 o a 1 kPa, lo que resulta ambiguo con respecto al número de cifras significativas. Sin embargo, “0.140 MPa” indica claramente que el módulo se informa al más cercano “1 kPa”, mientras “0.14 MPa” indica claramente que el módulo se informa al más cercano “10 kPa”.

- 2.4** *Resultado de ensayo* – Valor de una característica, obtenido al aplicar un método de ensayo especificado.
- 2.5** *Condiciones de repetibilidad* – Condiciones bajo las cuales los resultados de ensayos independientes se obtienen empleando el mismo método sobre muestras idénticas en el mismo laboratorio, por medio del mismo operador y empleando el mismo equipo, dentro de un período de tiempo reducido.
- 2.6** *Desviación estándar de la repetibilidad (s_r)* – La desviación estándar de los resultados de los ensayos obtenidos bajo condiciones de repetibilidad.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** El procedimiento descrito en esta norma aplica a todos los límites especificados en las especificaciones. Para los propósitos de determinar el cumplimiento de los límites especificados, un valor calculado u observado debe ser redondeado a la unidad más cercana en el último dígito de la derecha usado para expresar el límite de la especificación. El valor calculado u observado se debe redondear de acuerdo con el procedimiento descrito en la Sección 5 de esta norma.
- 3.2** El método del redondeo aplica cuando se intenta que un número limitado de dígitos en un valor observado o calculado sean considerados significativos con el propósito de determinar la conformidad con las especificaciones.
- 3.3** Con el método de redondeo, un valor observado o calculado se debe redondear a la unidad más próxima en el lugar señalado de cifras según lo establezca la norma o especificación como, por ejemplo, “al kPa más cercano”, “con aproximación a 0.1 %”, etc. Entonces, el valor redondeado se deberá comparar con el límite especificado, y la conformidad o no conformidad con la especificación se basará en esta comparación.

4 MANERA DE EXPRESAR EL REDONDEO

- 4.1** Si el método del redondeo se va a aplicar en todos los límites especificados en una norma o especificación, y si todos los dígitos expresados en el límite de la especificación se van a considerar significativos, esto se puede indicar incluyendo una declaración de este tipo en la norma o especificación: *“Lo siguiente aplica a todos los límites establecidos en esta norma o especificación: Para los fines de determinar la conformidad con estas especificaciones, un valor calculado u observado se deberá redondear “a la unidad más cercana” en el último dígito de la derecha usado para expresar el límite de la especificación, en acuerdo con el método del redondeo de la norma INV E-823”, para determinar la conformidad con las especificaciones”.*
- 4.2** Si el método del redondeo se aplica solamente a los límites especificados para determinados requerimientos, esto se puede indicar incluyendo una declaración de este tipo en la norma o especificación: *“Lo siguiente aplica a los límites establecidos en esta norma o especificación en relación con (resistencia a la tensión),(alargamiento) y (...) en (número de la sección o numeral donde aplica) de esta norma o especificación: Para los fines de determinar la conformidad con estas especificaciones, un valor calculado u observado se deberá redondear al 1 kPa más cercano (resistencia a la tensión), al 0.1 % más cercano,(alargamiento) y (...),en acuerdo con el método del redondeo de la norma INV E-823”, para determinar la conformidad con las especificaciones”.*
- 4.3** Si el método del redondeo aplica a todos los límites especificados en una tabla, esto se puede indicar mediante una nota al pie de la manera que se muestra en los siguientes ejemplos:

4.3.1 Ejemplo 1 – Mismos dígitos significativos para todos los ítems:

MATERIAL	COMPOSICIÓN QUÍMICA % POR MASA
Cobre	4.5 ± 0.5
Hierro	1.0 máx.
Sílice	2.5 ± 0.5
Otros constituyentes (magnesio + zinc + manganeso)	0.5 máx.
Aluminio	el resto

Nota: Con el fin de determinar la conformidad con estas especificaciones, un valor observado o calculado se debe redondear al 0.1 % más cercano, de acuerdo con el método de redondeo de la norma INV E-823

4.3.2 Ejemplo 2 – Los dígitos significativos no son los mismos para todos los ítems. Los requerimientos son similares:

MATERIAL	COMPOSICIÓN QUÍMICA, % POR MASA	
	MÍNIMO	MÁXIMO
Níquel	57	-
Cromo	14	18
Manganeso	-	3
Sílice	-	0.40
Carbono	-	0.25
Azufre	-	0.03
Hierro	el resto	

Nota: Con el fin de determinar la conformidad con estas especificaciones, un valor observado o calculado se debe redondear a la unidad más cercana en el último dígito significativo usado a la derecha para expresar el valor límite, de acuerdo con el método de redondeo de la norma INV E-823

4.3.3 Ejemplo 3 – Los dígitos significativos no son los mismos para todos los ítems. Los requerimientos son diferentes:

PARÁMETRO	REQUERIMIENTOS DE TENSIÓN
Resistencia a la tensión, lbf/pg ²	60 000 a 72 000
Punto de fluencia mínimo, lbf/pg ²	33 000
Alargamiento en 2", % mínimo	22

Nota: Con el fin de determinar la conformidad con estas especificaciones, un valor observado o calculado se debe redondear a 1000 lbf/pg² para la resistencia a la tensión y el punto de fluencia y al 1 % más cercano, de acuerdo con el método de redondeo de la norma INV E-823

5 PROCEDIMIENTO DEL REDONDEO

- 5.1** Cuando el dígito siguiente a la última cifra a ser retenida sea menor de 5, no se deberá cambiar el dígito ubicado en el último sitio a ser retenido. Por ejemplo, si un resultado de ensayo es "5.14 %" y se debe reportar con aproximación a "0.1 %", como 4 es menor que 5, el resultado se reportará como "5.1 %".
- 5.2** Cuando el dígito siguiente a la última cifra a ser retenida sea mayor de 5, el dígito ubicado en el último sitio a ser retenido se deberá incrementar en una

unidad. Por ejemplo, si un resultado de ensayo es “5.16 %” y se debe reportar con aproximación a “0.1 %”, como 6 es mayor que 5, el resultado se reportará como “5.2 %”.

- 5.3** Cuando el dígito siguiente a la última cifra a ser retenida sea igual a 5 y no haya dígitos con posterioridad a él, o solamente haya ceros, el dígito ubicado en el último lugar a ser retenido se aumentará en una unidad si es impar, o se mantendrá si es par. Por ejemplo, si un resultado de ensayo es “5.150 %” y se debe reportar con aproximación a “0.1 %”, como el “1” es un número impar, el resultado se reportará como “5.2 %”, mientras que si el resultado del ensayo es “5.250 %” y se debe reportar con aproximación a “0.1 %”, como el “2” es un número par, el resultado se reportará también como “5.2 %”.
- 5.4** Cuando el dígito siguiente a la última cifra a ser retenida es “5”, y hay dígitos más allá de este 5, se deberá incrementar una unidad el dígito ubicado en el último lugar a ser retenido. Por ejemplo, si un resultado de ensayo es “5.151 %” y se debe reportar con aproximación a “0.1 %”, el resultado se reportará como “5.2 %”.
- 5.5** El procedimiento de redondeo indicado en los numerales 5.1 a 5.4 se puede plantear de esta manera general: Cuando se redondee un número en uno que tenga un número especificado de cifras significativas, se escoge aquel que sea más próximo. Si se presentan dos opciones o si los dígitos por eliminar sean un 5 o un 5 seguido de ceros, se escoge aquel que termine en un dígito par. La Tabla 823 - 1 presenta ejemplos de aplicación de este procedimiento de redondeo.
- 5.6** El valor redondeado se debe obtener en un solo paso por redondeo directo del valor disponible más preciso y no en dos o más redondeos sucesivos. Por ejemplo, “89 490 Pa” redondeado a los “1000 Pa” más cercanos es “89 000 Pa”. Es incorrecto hacer un primer redondeo a “100 Pa” para obtener “89 500 Pa” y luego redondear a “1000 Pa” para obtener “90 000 Pa”.
- 5.7** Si la especificación indica que los valores se deben redondear al más cercano 50, 5, 0.5, 0.05, etc., el valor observado o registrado se debe duplicar y redondear al más cercano 100, 10, 1, 0.1 etc., de acuerdo con los procedimientos descritos en los numerales anteriores. A continuación, el número redondeado se divide por 2 y se reporta. *Ejemplos:* (1) para redondear “6025” a los “50” más cercanos, se duplica “6025”, obteniéndose “12 050”. Este número se convierte en “12 000” al ser redondeado a los 100 más cercanos (empleando el numeral 5.3). Al dividir 12 000 por 2, se obtiene “6000”, que será el valor redondeado de “6025”; (2) Para redondear “6075” a

la unidad "50", se duplica 6075, obteniéndose "12 150". Este número se convierte en "12 200" al ser redondeado a los 100 más cercanos (empleando el numeral 5.3). Al dividir 12 200 por 2, se obtiene "6100", que será el valor redondeado de "6075".

Tabla 823 - 1. Ejemplos de redondeo A

LÍMITE ESPECIFICADO	VALOR OBSERVADO O CALCULADO	SE DEBE REDONDEAR AL MÁS CERCANO	VALOR REDONDEADO A SER USADO CON FINES DE DETERMINAR CONFORMIDAD	CONFORMIDAD CON EL LÍMITE ESPECIFICADO
Punto de fluencia, 36 000 lbf/pg ² mínimo	35 940	100 lbf/pg ²	35 900	No
	35 950	100 lbf/pg ²	36 000	Sí
	35 960	100 lbf/pg ²	36 000	Sí
Níquel, 57 %, masa, mínimo	56.4	1 %	56	No
	56.5	1 %	56	No
	56.6	1 %	57	Sí
Conductividad, 40 ms/m, máximo	40.4	1 ms/m	40	Sí
	40.5	1 ms/m	40	Sí
	40.6	1 ms/m	41	No
Bicarbonato de sodio, 0.5 % máximo, masa	0.54	0.1 %	0.5	Sí
	0.55	0.1 %	0.6	No
	0.56	0.1 %	0.6	No

^A El único propósito de estos ejemplos es ilustrar las reglas del redondeo y no reflejan necesariamente el número de dígitos asociado con los respectivos métodos de ensayo

5.8 En algunos métodos de ensayo puede existir un requerimiento de redondeo diferente a los indicados en los numerales precedentes como, por ejemplo, aproximaciones a 0.02, 0.25, 0.3, etc. en estos casos, se puede usar el siguiente procedimiento para redondear al intervalo requerido:

5.8.1 Se divide el resultado por el valor del incremento o intervalo de redondeo deseado.

5.8.2 El resultado obtenido al aplicar el numeral 5.8.1 se redondea al número entero más cercano, siguiendo el procedimiento que corresponda de los descritos en los numerales 5.1 a 5.4.

5.8.3 El resultado obtenido según 5.8.2 se multiplica por el incremento o intervalo de redondeo deseado.

5.8.4 *Ejemplos:* (1) Si se deber redondear “0.07” al “0.02 más cercano”, se divide 0.07 por 0.02, obteniéndose “3.5”. El redondeo de este valor al entero más cercano da un valor de “4” según el numeral 5.3. Se multiplica “4” por 0.02, obteniéndose “0.08”, que será el 0.07 redondeado al 0.02 más cercano. (2) Si se deber redondear “0.09” al “0.02 más cercano”, se divide 0.09 por 0.02, obteniéndose “4.5”. El redondeo de este valor al entero más cercano da un valor de “4” según el numeral 5.3. Se multiplica “4” por 0.02, obteniéndose “0.08”.

5.9 *Registro de valores observados* – A menos que se especifique de otra manera en la norma aplicable, se deberá aplicar lo siguiente cuando se registren medidas directamente en un cilindro graduado, dial o regla: Se deberán anotar todos los dígitos conocidos con exactitud del dispositivo de medición más un dígito, el cual es incierto debido a la estimación. Por ejemplo, si un cilindro está graduado en incrementos de 0.1 ml, entonces una observación será registrada como 9.76 ml si el nivel del líquido se observa entre las marcas 9.7 y 9.8 y se estima que está a seis décimas de camino entre las dos marcas. Si el dispositivo tiene una escala tipo nonio, el último dígito a registrar deberá ser el del nonio.

5.9.1 El número de dígitos significativos suministrado por una pantalla o por la impresora de un instrumento, debe ser igual o mayor que los dados por la regla para reportar los resultados de los ensayos, según se indica en el numeral 5.11.

5.10 *Cálculos de resultados de ensayos a partir de valores observados o calculados* – Al calcular el resultado de un ensayo a partir de datos obtenidos en desarrollo del mismo, se debe evitar el redondeo de cantidades intermedias. Hasta donde sea posible con el aparato u hoja de cálculo usados, los cálculos se deben adelantar con los datos exactos del ensayo y redondear solamente al final.

5.10.1 *Ejemplo:*

5.10.1.1 Datos:

- Contenido de cemento asfáltico (P_b) = 5.142 %.
- Límite de la especificación para el cemento asfáltico = 5.3 ± 0.3 %;

- Gravedad específica bulk de la mezcla (G_{mb}) = 2.186;
- Gravedad específica bulk del agregado (G_{sb}) = 2.6359;
- Vacíos admisible en los agregados minerales (VAM admisibles) = 14.5 % mínimo.

$$5.10.1.2 \text{VAM} = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} (100 - P_b) = 100 - \frac{2.186}{2.6359} (100 - 5.142) = 21.33252855 \%$$

5.10.1.3 El contenido de cemento asfáltico se calculó exactamente como 5.142 %. Con el fin de comparar este valor contra el límite de la especificación, el cual es significativo al 0.1 % más cercano (por ejemplo 5.3 %), el contenido de asfalto se debe redondear al 0.1 % más cercano y se reportará como 5.1 % (Ver numerales 3.1 y 5.1).

5.10.1.4 Los VAM calculados son, exactamente, 21.33252855 %. Con el fin de comparar este valor contra el límite de la especificación, el cual es significativo a 0.1 %, el valor calculado de VAM se debe redondear al 0.1 % más cercano y reportar como 21.3 % (Ver numerales 3.1 y 5.1). Se puede ver que el valor de contenido de asfalto usado en el cálculo fue el valor exacto y no el redondeado. Esto se debe a que el cálculo del contenido de asfalto es intermedio en la determinación de los VAM. De acuerdo con el numeral 5.10, los valores intermedios no se deben redondear. Solo el valor final se redondeará y se comparará con los límites de la especificación.

5.11 *Reporte de los resultados de los ensayos* – Una regla sugerida, relaciona los dígitos significativos del resultado de un ensayo con la precisión de la medida, expresada por medio de la desviación estándar, σ . La desviación estándar aplicable es la desviación estándar de repetibilidad. El intervalo de redondeo para los resultados de los ensayos no debe ser mayor de 0.5σ ni menor de 0.05σ , pero tampoco puede ser mayor que la unidad en la especificación (Ver numeral 3.3). Si solamente se dispone de un estimativo de la desviación estándar (σ), se permite el uso de dicho estimativo. Por ejemplo, si el resultado de un ensayo es 1.45729 y la desviación estándar del método de ensayo se estima en 0.0052, el redondeo se hace a 1.457 o al más aproximado 0.001, ya que esta unidad de redondeo, 0.001, se encuentra entre $0.05\sigma = 0.00025$ y $0.5\sigma = 0.0026$.

5.11.1 Cuando no se conoce ninguna estimación de la desviación estándar, se pueden usar las siguientes reglas para la retención de dígitos

significativos de cantidades calculadas, para derivar el número de dígitos significativos a ser reportados, con base en los dígitos significativos de los datos de ensayo.

5.11.1.1 Al sumar o restar datos de ensayo, el resultado no debe contener cifras significativas más allá del lugar del último dígito significativo de cualesquiera de los datos.

Ejemplos:

$11.24 + 9.3 + 3.62 = 26.9$, puesto que el último dígito significativo del número "9.3" es el primero que sigue al punto decimal decimal. El valor 26.9 se obtiene redondeando el valor de la suma exacta "26.86" a un decimal (numeral 5.2).

$926 - 923.4 = 3$, porque el último dígito significativo de "926" es el último dígito o el "1 más cercano". El valor 3 se obtiene redondeando la diferencia exacta "2.6" al "1 más cercano" (numeral 5.2).

$140\ 000 + 91\ 460 = 231\ 000$, si se sabe que el número "140 000" era un valor redondeado al millar más cercano. El valor 231 000 se obtiene redondeando al millar el resultado de la operación, "231 460" (numeral 5.1).

5.11.1.2 Cuando se multiplique o se divida, el resultado no debe contener más cifras significativas que el valor con la menor cantidad de cifras significativas.

Ejemplos:

$11.38 \times 4.3 = 49$, puesto que el factor "4.3" tiene dos cifras significativas. El resultado exacto es "48.934", el cual se redondea y reporta con dos cifras significativas (numeral 5.2).

$(926 - 923.4)/4.3 = 0.6$. En este caso solo una cifra es significativa, porque la diferencia en el numerador sólo tiene una cifra significativa (numeral 5.11.1.1, segundo ejemplo). Como resultado, el cociente exacto "0.6046511628" se redondea y reporta con un dígito significativo (numeral 5.1).

5.11.1.3 Cuando se usen logaritmos, los dígitos de $\ln(x)$ y de $\log_{10}(x)$ son significativos a través del lugar "n" luego del decimal, cuando "x" tiene "n" cifras significativas. Cuando se usen exponentes, el número de cifras significativas de e^x o 10^x es igual al lugar del último dígito significativo en x, después del decimal.

Ejemplos:

$\ln(3.46) = 1.241$, ya que 3.46 tiene 3 dígitos significativos. El valor exacto "1.241268589" se redondea y reporta con tres lugares después del decimal (numeral 5.1).

$103.46 = 2900$, puesto que "3.46" tiene dos dígitos significativos luego del decimal. El valor exacto "2884.031503" se redondea y reporta con dos dígitos significativos (numeral 5.2).

5.11.1.4 La regla para los números que representan cantidades exactas o constantes matemáticas, es que ellos se deben tratar como si tuvieran un número infinito de dígitos significativos.

Ejemplos:

$1 - x/2 = 1 - 0.23/2 = 0.88$. En este caso, "1" y "2" son constantes exactas y 0.23 es una cantidad medida con dos dígitos significativos. Habrá dos dígitos significativos en el cociente (numeral 5.11.1.2, segundo ejemplo) y en la diferencia (numeral 5.11.1.1, segundo ejemplo). Como resultado, el valor exacto "0.885" se redondea y reporta con dos dígitos significativos (numeral 5.3).

Una cantidad de 50 piezas con un espesor medido de 0.124 mm es $50 \times 0.124 = 6.20$ mm, puesto que el factor 0.124 tiene 3 cifras significativas y la cantidad 50 tiene un número infinito de cifras significativas. El producto exacto "6.2" se redondea y registra con 3 cifras significativas (numeral 5.11.1.2, primer ejemplo).

Una medida de 1.634" se convierte en mm. El resultado es $1.634 \times 25.4 = 51.50$ mm, puesto que el factor "1.634" tiene cuatro cifras significativas y la constante "25.4" se considera que tiene un número infinito de cifras significativas. El producto exacto "41.5036", se redondea y reporta con cuatro dígitos significativos (numeral 5.1 y numeral 5.11.1.2, primer ejemplo).

5.12 *Límites de la especificación* – Cuando se va a aplicar el método del redondeo a unos límites especificados dados, es deseable que los dígitos significativos estén de acuerdo con la precisión del ensayo siguiendo la regla del numeral 5.11. Esto es, la unidad de redondeo para los límites de la especificación debe estar entre 0.05 y 0.5 veces la desviación estándar del ensayo.

5.13 *Promedios y desviaciones estándar* – Cuando se reporten el promedio y la desviación estándar de medidas replicadas o de muestras repetidas de un material, una regla que se sugiere para la mayoría de los casos consiste en redondear la desviación estándar con dos dígitos significativos y redondear el promedio al mismo último lugar de dígitos significativos. Cuando el número de

observaciones es grande (más de 15 si el dígito inicial de la desviación estándar es 1, más de 50 si el primer dígito es 3, más de 100 en otros casos), puede ser conveniente un dígito adicional.

5.13.1 Aproximaciones alternativas para los promedios incluyen el reporte de \bar{x} entre 0.05 y 0.5 veces la desviación estándar del promedio σ/\sqrt{n} , o aplicando reglas para retener dígitos significativos para el cálculo de \bar{x} .

Nota 1: El fundamento para la regla sugerida viene de la incertidumbre de una desviación estándar calculada, "s". La desviación estándar de "s", basada en el muestreo a partir de una distribución normal con n observaciones es, aproximadamente, $\sigma/\sqrt{2n}$. Reportar "s" dentro de 0.05 y 0.5 este valor y seguir la regla del numeral 5.11, conduce a dos dígitos significativos para la mayoría de los valores de σ cuando el número de observaciones es 100 o menos.

Ejemplo:

El análisis de seis especímenes dio los siguientes valores para uno de sus constituyentes: 3.56, 3.88, 3.95, 4.07, 4.21 y 4.47. El promedio y la desviación estándar son, respectivamente, 4.0233 y 0.3089. Según la regla sugerida, el promedio (\bar{x}) se debe reportar como 4.02 y la desviación estándar (s) como 0.31.

6 NORMAS DE REFERENCIA

STP 303 – 1

ASTM E29 – 08

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 IMPRIMIDAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO ELABORADAS CON ASFALTO-CAUCHO

INV E – 824 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere al diseño de mezclas de concreto asfáltico empleando asfalto-caucho como ligante, y utilizando los moldes Marshall de 101.6 mm (4") de diámetro para la fabricación de las probetas de ensayo.

2 EQUIPO

- 2.1** Se requiere el equipo descrito en la norma INV-748, *Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall*, más el necesario para obtener los diferentes datos adicionales requeridos para realizar los cálculos del diseño.

Nota 1: El uso de una mezcladora mecánica para la elaboración de las mezclas con asfalto-caucho es obligatorio.

3 PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES

- 3.1** *Preparación de los agregados pétreos* – Los agregados, individualmente y en conjunto, deberán satisfacer los requisitos de calidad exigidos por la especificación de construcción aplicable.

- 3.2** *Preparación del llenante mineral* – La mezclas con asfalto-caucho requieren la incorporación de un llenante mineral de aporte, que puede ser cemento hidráulico o cal hidratada. Deberá satisfacer los requisitos de calidad exigidos por la especificación de construcción aplicable.

- 3.3** *Determinación de la gradación compuesta:*

- 3.3.1** La gradación combinada se determina usando los porcentajes de cada componente basados en el análisis granulométrico por lavado. Las mezclas de diseño se deben desarrollar con base en materiales de pilas o tolvas, según se vayan a emplear en la fabricación de la mezcla. La gradación compuesta deberá cumplir la exigencia de la especificación de construcción aplicable.

3.4 Gravedad específica:

3.4.1 Se determina la gravedad específica bulk (gravedad específica seca al horno) del agregado fino de acuerdo con la norma INV E-222 y la del agregado grueso según la norma INV E-223. Asimismo, se determina la gravedad específica del llenante mineral aplicando la norma INV E-128.

3.4.2 Determinadas las gravedades específicas individuales, se calcula la gravedad específica del agregado combinado (incluyendo el llenante mineral) con la expresión:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad [824.1]$$

Donde: G_{sb} : Gravedad específica bulk del agregado combinado;

P_1, P_2, P_n : Porcentajes individuales de los distintos agregados (y llenante) que intervienen en el agregado combinado;

G_1, G_2, G_n : Gravedades específicas bulk de las diferentes fracciones del agregado.

3.5 Preparación del material bituminoso – El material bituminoso empleado para el diseño deberá ser asfalto-caucho, del mismo tipo a emplear en la elaboración de la mezcla a escala industrial, el cual deberá cumplir los requerimientos de la especificación de construcción aplicable. Su gravedad específica se deberá determinar de acuerdo con la norma INV E-707

4 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

4.1 Número de probetas – Para una gradación particular del agregado, original o mezclada, se deberá preparar una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto, de manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indiquen un contenido "óptimo" definido, con puntos de cada lado de este valor. Normalmente, un rango de tres contenidos de ligante, con incrementos de 1 %, suministra la información necesaria para definir el óptimo, aunque, en

algunos casos, puede resultar necesario preparar juegos adicionales con otros contenidos de ligante (Ver numeral 9.3). Los contenidos de ligante generalmente utilizados, en relación con la masa de la mezcla, son 6.0 %, 7.0 % y 8.0 %, o 6.5 %, 7.5 % y 8.5 %. Se deberán preparar tres probetas para cada contenido de asfalto-caucho.

Nota 2: Generalmente, se requieren 3000 g de agregados combinados para elaborar tres probetas de altura aceptable. Si la cantidad resulta insuficiente, la masa se puede ajustar de acuerdo con la ecuación:

$$\text{Masa ajustada del agregado} = \frac{\text{Gravedad específica del agregado combinado}}{2.65} \times 3000 \quad [824.2]$$

4.2 La mezcla de agregados más el llenante mineral de aporte se deben calentar a $160 \pm 2^\circ \text{C}$ ($325 \pm 3^\circ \text{F}$) y se debe mantener a esta temperatura hasta el momento de la elaboración de la mezcla con el asfalto-caucho.

4.3 Antes de la elaboración de cada amasada, el asfalto-caucho se debe colocar en un recipiente cubierto con la tapa floja y mantener durante unas 2 horas en un horno de ventilación forzada a una temperatura de $165 \pm 3^\circ \text{C}$ ($330 \pm 5^\circ \text{F}$). Una vez retirado del horno, el asfalto-caucho se agita perfectamente empleando una espátula de hoja blanda de unos 25 mm (1") de ancho y 3 mm ($1/8$ ") de espesor, y de longitud suficiente para alcanzar el fondo del recipiente (Como alternativa a esta espátula, se puede emplear una barra plana que cumpla los requisitos dimensionales). Se deben aplicar movimientos combinados circulares, verticales y de rotación para distribuir uniformemente las partículas de caucho en el ligante, antes de proceder a la adición de éste a la mezcla de agregados. Si se presenta alguna demora en el mezclado con el agregado, el asfalto-caucho se deberá volver a agitar inmediatamente antes de su incorporación al agregado.

Nota 3: Para evitar el daño del asfalto-caucho, no se deben emplear una placa caliente o una llama abierta para calentarlo. Una vez que se ha alcanzado en el horno la temperatura de $165 \pm 3^\circ \text{C}$ ($330 \pm 5^\circ \text{F}$), el recipiente se puede trasladar muy brevemente a una placa caliente por un período no mayor de 5 min, para conservar la temperatura. Si se usa la placa, el asfalto-caucho se debe agitar constantemente para evitar el apelmazamiento del caucho. El asfalto-caucho no se debe calentar más de lo necesario (no más de tres horas) para evitar su deterioro.

Nota 4: Antes de elaborar cada amasada, se deben calentar a $160 \pm 2^\circ \text{C}$ ($325 \pm 3^\circ \text{F}$) el recipiente de mezcla y el elemento mezclador. También, se deberá calcular la cantidad de asfalto-caucho por añadir.

4.4 La mezcla de agregados y asfalto-caucho se debe elaborar tan rápidamente como sea posible, con el fin de mantener una temperatura de mezclado de $160 \pm 2^\circ \text{C}$ ($325 \pm 3^\circ \text{F}$), hasta lograr un cubrimiento homogéneo. El mezclado mecánico es obligatorio (nota 1).

Nota 5: Luego del mezclado mecánico, se puede mezclar manualmente para mejorar el cubrimiento del agregado.

- 4.5** Inmediatamente después del mezclado, cada amasada se coloca sobre una lona o un papel grueso y se somete a un proceso de enrollado (empleando la lona o el papel), seguido por su extensión en forma de círculo. La masa circular se corta en seis segmentos iguales. Se toman segmentos opuestos para cada espécimen individual y se utiliza toda la amasada para elaborar los tres especímenes.
- 4.6** Cada espécimen de mezcla se extiende en una bandeja grande en un espesor igual al tamaño máximo nominal del agregado. Hasta donde sea posible, se debe evitar que las partículas se apelmacen. Se somete el espécimen a curado en el horno durante dos horas a $150 \pm 3^\circ \text{C}$ ($300 \pm 5^\circ \text{F}$).
- 4.7** Se calientan a $160 \pm 2^\circ \text{C}$ ($325 \pm 3^\circ \text{F}$) el conjunto de moldeo (molde propiamente dicho, placa de base y collar) y la base del martillo de compactación.
- 4.8** Se arma el conjunto de moldeo y, antes de verter la mezcla, se coloca en el fondo del molde un disco de papel de tamaño ajustado al área interna del molde. A continuación, se coloca toda la porción de mezcla dentro del molde y se la golpea vigorosamente con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior. Se redondea ligeramente la superficie de la mezcla.
- Nota 6: Para la fácil remoción de los papeles luego de la compactación, ellos se pueden rociar con una ligera aplicación de aerosol a base de aceite vegetal.*
- 4.9** Antes de la compactación, se coloca el molde con la muestra dentro del horno durante una hora, aproximadamente, o el tiempo que sea necesario para calentar el espécimen a la temperatura apropiada de compactación de $160 \pm 2^\circ \text{C}$ ($325 \pm 3^\circ \text{F}$).
- 4.10** Inmediatamente después de remover el molde del horno, se coloca otro disco de papel sobre la mezcla, se acomoda el conjunto en el pedestal de compactación y se aplican 75 golpes con el martillo. En seguida, se remueven la placa de base y el collar y se colocan en los extremos opuestos del molde; se vuelve a montar éste en el pedestal y se aplica el mismo número de golpes a la cara invertida de la muestra.
- 4.11** Terminada la compactación, se retiran el collar, la placa de base y los discos de papel. Se vuelve a colocar la placa de base, teniendo cuidado de mantener el

molde y el espécimen orientados de manera que la cara inferior del espécimen compactado permanezca en contacto directo con la placa de base.

Nota 7: Los discos de papel se deben remover mientras la mezcla se encuentre caliente, ya que es muy difícil retirarlos si ella se ha enfriado.

4.12 Si se observa que alguna parte de la probeta compactada aumenta de altura luego de la compactación, se detiene el ensayo y se descartan los especímenes preparados con ese contenido de asfalto-caucho. Entonces, se ajusta la gradación del agregado mineral para suministrar un vacío adicional para acomodar debidamente el asfalto-caucho y, a continuación, se elaboran y compactan nuevos especímenes. Si no se produce un aumento visible de altura, se procede como se indica en los numerales 4.13 a 4.16.

4.13 Se deja enfriar cada probeta dentro del molde en posición vertical (con la placa de base en la parte inferior y la superficie superior expuesta al aire) hasta que se enfríe lo suficiente para permitir su extracción del molde sin sufrir daño. La placa de base se debe rotar ocasionalmente para evitar que la probeta se adhiera a ella.

Nota 8: Generalmente, las probetas se pueden extraer sin daño cuando su temperatura se encuentra entre 25 y 32° C (77 y 90° F).

Nota 9: El enfriamiento se puede hacer a temperatura ambiente o en un baño de aire a 25° C (77° F). Se pueden utilizar ventiladores de mesa cuando se desee un enfriamiento más rápido, pero teniendo el cuidado de no voltear el molde sobre su costado.

4.14 Se retira la placa de base y se orientan el molde y la probeta de manera que ésta se pueda extraer siendo empujada desde su base inferior.

Nota 10: Se debe tener cuidado al extraer la probeta del molde, para evitar que se deforme. Si la probeta se deforma o daña durante la extrusión, se deberá descartar todo el juego de especímenes preparados con ese porcentaje de asfalto-caucho.

4.15 Inmediatamente después de la extracción, se mide y anota la altura de la probeta con aproximación a 0.25 mm (0.01") y se determina su masa en el aire con aproximación a 0.1 g.

Nota 11: Las probetas deben tener una altura de 2.5 ± 0.2 ". Si los especímenes preparados con un determinado contenido de asfalto-caucho no cumplen este criterio, se deberán descartar y preparar nuevamente, luego de efectuar los ajustes pertinentes en la masa de los agregados (nota 2).

4.16 Se repite el procedimiento indicado en los numerales 4.6 a 4.15 para todos los juegos de especímenes requeridos.

5 GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE LAS PROBETAS

- 5.1 Se determina la gravedad específica bulk de las tres probetas compactadas con cada contenido de ligante, por los métodos de las normas INV E-733 o INV E-802.

Nota 12: En caso de emplear la norma INV E-733, las masas de una probeta sumergida en agua y en el aire saturada y superficialmente seca, se deben determinar antes de sumergir en el agua la siguiente probeta.

- 5.2 Se determina la densidad de la probeta con la expresión:

$$\text{Densidad} = \text{Gravedad específica bulk} \times \gamma \quad [824.3]$$

Donde: γ : Densidad del agua a 25°C (77°F) (997.0 kg/m³, 0.997 g/cm³ o 62.4 lb/pie³).

Nota 13: Para cada contenido de asfalto-caucho, las densidades de las probetas no deben variar en más de 30 kg/m³ (2 lb/pie³). Si este requisito no se cumple, el juego entero de probetas elaborado con este contenido de ligante se debe descartar y se deberá preparar uno nuevo.

- 5.3 Se determina la gravedad específica bulk promedio (o la densidad promedio) de las probetas con cada contenido de asfalto-caucho y se elabora una gráfica que las relacione (ordenadas) con el contenido de asfalto-caucho (abscisas). Ver Figura 824 - 1.

6 DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD Y EL FLUJO

- 6.1 La estabilidad, la estabilidad corregida por la altura y el flujo, se determinan como se indica en la norma INV E-748. La estabilidad se expresará con aproximación a 50 N (10 lb) y el flujo a 0.25 mm (0.01"), tanto para las probetas individuales como para los promedios de los valores de las tres probetas elaboradas con cada contenido de asfalto-caucho.

- 6.2 Se elaboran curvas relacionando la estabilidad corregida y el flujo de cada juego contra el contenido respectivo de asfalto-caucho. Ver Figura 824 - 1.

Nota 14: Los flujos de las probetas elaboradas con asfalto-caucho son, generalmente, mayores que los obtenidos en mezclas con asfaltos convencionales.

7 GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA DE LA MEZCLA (G_{mm})

- 7.1** Se deberá determinar de acuerdo con las normas INV E-735 o INV E-803, con las siguientes modificaciones:
- 7.1.1** Se elabora una mezcla que contenga el 6 % de asfalto-caucho en relación con la masa de la mezcla. No se permite la inclusión de activadores de adherencia líquidos.
 - 7.1.2** Se extiende la mezcla sobre una bandeja grande, en el espesor correspondiente al tamaño máximo nominal de partículas, impidiendo la formación de grumos.
 - 7.1.3** Se cura la mezcla en el horno por $2 \text{ h} \pm 10 \text{ min}$, a $150 \pm 3^\circ \text{ C}$ ($300 \pm 5^\circ \text{ F}$).
 - 7.1.4** Inmediatamente después de su remoción del horno, se coloca la muestra sobre una lona o un papel grueso y se somete a un proceso de enrollado seguido por su extensión en forma de círculo. La masa circular se corta en seis segmentos iguales. Se toman segmentos opuestos para cada espécimen individual y se utiliza toda la amasada.
 - 7.1.5** Luego de la ejecución del ensayo sobre los tres especímenes y de determinar el G_{mm} promedio, se calcula la gravedad específica efectiva del agregado combinado, con la expresión:

$$G_{se} = \frac{100 - P_{br}}{100 - \frac{P_{br}}{G_b}} \quad [824.4]$$

Donde: G_{se} : Gravedad específica efectiva del agregado combinado;

G_{mm} : Gravedad específica máxima de la mezcla;

P_{br} : Porcentaje de asfalto-caucho en la mezcla con la cual se determinó la G_{mm} (6.0 %);

G_b : Gravedad específica del asfalto-caucho.

- 7.1.6** Se calcula la G_{mm} para los diferentes contenidos de asfalto-caucho con los cuales se elaboraron las probetas, empleando la fórmula:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad [824.5]$$

Donde: G_{mm} : Gravedad específica máxima de la mezcla (sin vacíos con aire);

P_s : Porcentaje de agregado en la mezcla ($100 - P_b$);

G_{se} : Gravedad específica efectiva del agregado combinado (numeral 7.1.5);

P_b : Porcentaje de asfalto-caucho en la mezcla;

G_b : Gravedad específica del asfalto-caucho.

8 CÁLCULO DE VACÍOS Y DEL PORCENTAJE DE ASFALTO ABSORBIDO

8.1 Para cada contenido de asfalto-caucho usado, se calculan los vacíos con aire efectivos (V_a), el porcentaje de ligante absorbido (P_{ba}), los vacíos en los agregados minerales (VAM) y los vacíos llenos de asfalto (VFA), de la siguiente manera:

8.1.1 *Vacíos con aire efectivos (V_a):*

$$V_a = 100 \left[\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right] \quad [824.6]$$

Donde: V_a : Vacíos efectivos en la mezcla compactada con un contenido de asfalto-caucho, % del volumen total;

G_{mm} : Gravedad específica máxima medida con un contenido de asfalto-caucho;

G_{mb} : Gravedad específica bulk promedio de las probetas compactadas con un contenido de asfalto-caucho.

8.1.2 *Porcentaje de ligante absorbido (P_{ba}):*

$$P_{ba} = 100 \left[\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \right] G_b \quad [824.7]$$

Donde: P_{ba} : Ligante asfáltico (asfalto-caucho) absorbido, % respecto de la masa de la mezcla total;

G_{se} : Gravedad específica del agregado combinado;

G_b : Gravedad específica del ligante (asfalto-caucho);

G_{sb} : Gravedad específica bulk de los agregados combinados, secada al horno (numeral 3.4.2).

Nota 15: El porcentaje de asfalto absorbido (P_{ba}) y la gravedad específica efectiva del agregado (G_{se}) no varían con el contenido de asfalto en la mezcla.

8.1.3 Vacíos en los agregados minerales (VAM):

$$VAM = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} P_s \quad [824.8]$$

Donde: VAM: Vacíos en los agregados minerales, % del volumen total;

G_{sb} : Gravedad específica bulk de los agregados combinados, secada al horno (numeral 3.4.2);

G_{mb} : Gravedad específica bulk promedio de las probetas compactadas con un contenido de asfalto-caucho;

P_s : Porcentaje de agregado dentro del total de la mezcla ($100 - P_b$);

8.1.4 Vacíos llenos de asfalto (VFA):

$$VFA = 100 \left[\frac{VAM - V_a}{VAM} \right] \quad [824.9]$$

Donde: VFA: Vacíos llenos de asfalto, %;

VAM: Vacíos en los agregados minerales, % del volumen total (numeral 8.1.3);

V_a: Vacíos con aire efectivos en la mezcla compactada, % del volumen total (numeral 8.1.1).

9 DIBUJO DE CURVAS Y SELECCIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE LIGANTE (ASFALTO-CAUCHO)

- 9.1 Usando una gráfica separada para cada uno de los parámetros calculados según se menciona en los numerales 5.3, 6.2, 8.1.1, 8.1.2, 8.1.3 y 8.1.4, se dibujan curvas con los respectivos valores promedio para cada juego de tres probetas contra el contenido de ligante (asfalto-caucho), como se muestra en la Figura 824 - 1.
- 9.2 El contenido de ligante de diseño será aquel que satisfaga los criterios establecidos para el diseño y que, simultáneamente dé lugar a un volumen de vacíos con aire lo más cercano posible al valor medio del rango especificado.
- 9.3 Si no es posible lograr el cumplimiento de las especificaciones de diseño dentro del rango de los contenidos de asfalto-caucho empleados, se deberán realizar amasadas con otros contenidos de asfalto-caucho o rediseñar la mezcla cambiando la gradación o la provisión de los agregados.
- 9.4 Empleando la ecuación del numeral 7.1.6, se calcula la G_{mm} para el contenido óptimo de ligante de diseño. La densidad máxima se obtendrá multiplicando este valor por la densidad del agua a 25° C (77° F) (997.0 kg/m³, 0.997 g/cm³ o 62.4 lb/pie³).

10 CÁLCULOS ADICIONALES

- 10.1 Con fines de información, se calculan las siguientes propiedades volumétricas para el contenido óptimo de asfalto-caucho:

10.1.1 Porcentaje de ligante efectivo (P_{be}), % respecto de la masa de la mezcla:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s \quad [824.10]$$

- Donde: P_b : Porcentaje óptimo de asfalto-caucho en la mezcla;
- P_{ba} : Ligante asfáltico (asfalto-caucho) absorbido, % respecto de la masa de la mezcla total;
- P_s : Porcentaje de agregado dentro del total de la mezcla ($100 - P_b$).

10.1.2 *Volumen de ligante efectivo (V_{be}), % respecto del volumen total de la mezcla:*

$$V_{be} = \frac{G_{mb}}{G_b} P_{be} \quad [824.11]$$

- Donde: G_{mb} : Gravedad específica bulk de las probetas compactadas, correspondiente al contenido óptimo de asfalto-caucho (se halla por interpolación en la gráfica correspondiente);
- G_b : Gravedad específica del ligante (asfalto-caucho);
- P_{be} : Porcentaje óptimo de ligante efectivo (numeral 10.1.1).

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

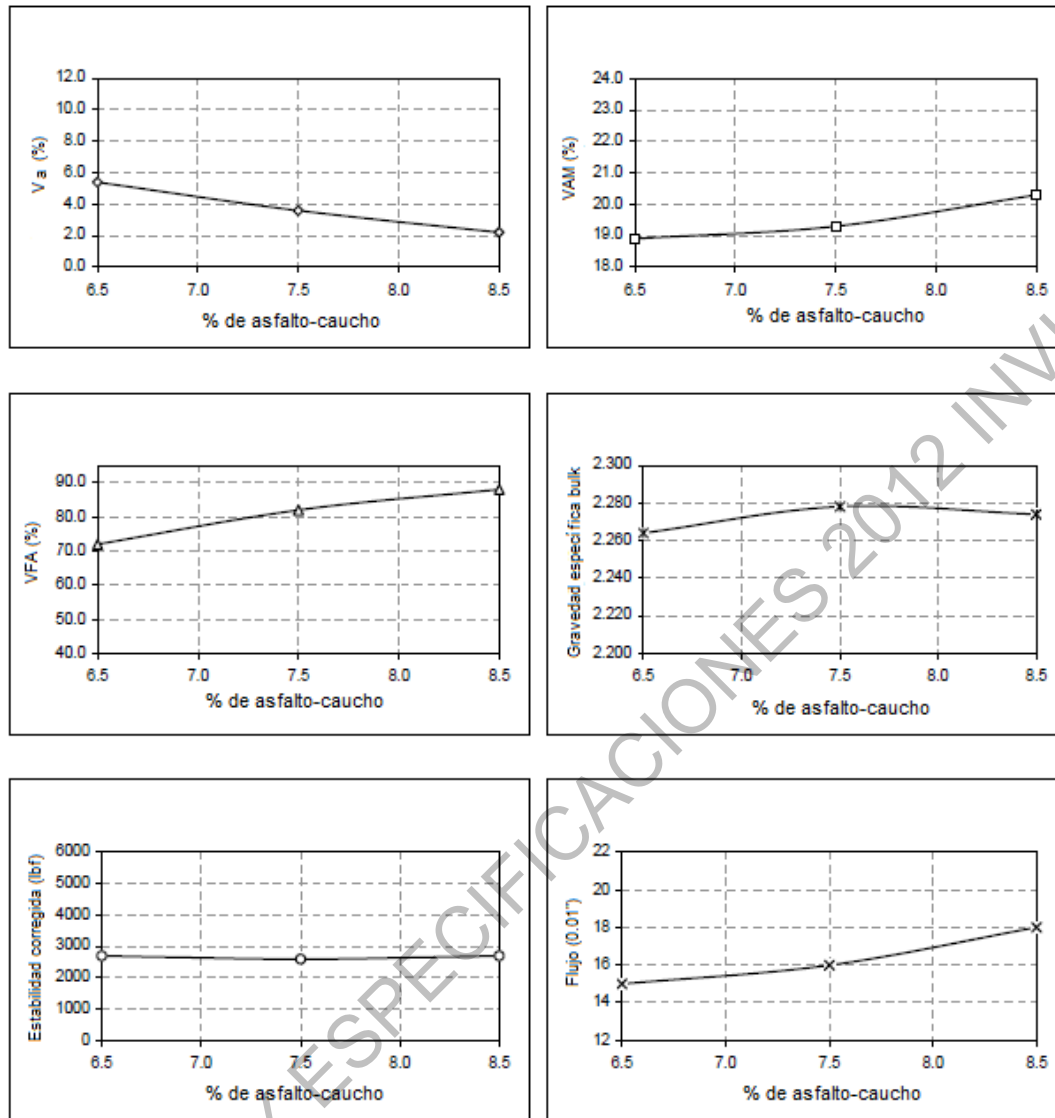


Figura 824 - 1. Ejemplo de curvas con los resultados del diseño de la mezcla por el método Marshall

11 INFORME

11.1 La información requerida en el diseño de la mezcla incluye:

11.1.1 Para los agregados:

11.1.1.1 Procedencia e identificación de cada uno.

11.1.1.2 Gradaciones individuales.

- 11.1.1.3** Tipo de llenante de aporte y gravedad específica.
 - 11.1.1.4** Proporciones en que se mezclaron los agregados y el llenante para obtener la gradación de diseño.
 - 11.1.1.5** Gravedades específicas y absorciones de los agregados.
 - 11.1.1.6** Gravedad específica de los agregados combinados.
 - 11.1.1.7** Resultados de los ensayos de calidad de los agregados, según lo requiera la especificación aplicable.
- 11.1.2** *Para el ligante bituminoso:*
- 11.1.2.1** Procedencia y tipo del asfalto base.
 - 11.1.2.2** Procedencia y tipo de los gránulos de caucho.
 - 11.1.2.3** Gradación de los gránulos de caucho.
 - 11.1.2.4** Proporciones de asfalto y caucho en el ligante.
 - 11.1.2.5** Resultados de los ensayos sobre el asfalto-caucho, exigidos por las especificaciones.
 - 11.1.2.6** Gravedad específica del asfalto-caucho.
- 11.1.3** Gravedad específica máxima y densidad máxima para el contenido de ligante con el cual se realizó el ensayo para su determinación (Ver Sección 7).
- 11.1.4** *Probetas para cada contenido de asfalto-caucho utilizado:*
- 11.1.4.1** Gravedad específica bulk (G_{mb}) de las probetas compactadas.
 - 11.1.4.2** Gravedad específica máxima (G_{mm}) calculada.
 - 11.1.4.3** Vacíos con aire efectivos (V_a), %.
 - 11.1.4.4** Vacíos en los agregados minerales (VAM), %.
 - 11.1.4.5** Vacíos llenos con asfalto (VFA), %.

11.1.4.6 Porcentaje de asfalto absorbido (P_{ba}).

11.1.4.7 Gravedad específica efectiva del agregado (G_{se}) (Este valor no varía).

11.1.4.8 Estabilidad Marshall corregida, redondeada a 50 N (10 lbf).

11.1.4.9 Flujo Marshall, redondeado a 0.25 mm (0.01").

11.1.5 *Diseño final:*

11.1.5.1 Contenido óptimo de ligante (asfalto-caucho) y , para éste: G_{mm} , gravedad específica bulk y densidad, V_a , VAM, VFA, P_{be} , V_{be} , estabilidad corregida y flujo Marshall.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ARIZ 832 (Noviembre 14, 2008) (Arizona Department of Transportation)

ESCURRIMIENTO DE LIGANTE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS

INV E – 825 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma brinda el procedimiento a seguir para determinar cuantitativamente el escurrimiento de ligante que se produce en una mezcla asfáltica, cuando ésta se somete a la acción del calor bajo las condiciones establecidas en este método de ensayo.
- 1.2 Aunque la presente norma tiene su aplicación específica en la mezclas asfálticas drenantes, también se pueden ensayar otros tipos de mezcla, si se considera oportuno.
- 1.3 El ensayo permite valorar, también, el efecto de la incorporación de aditivos modificadores al ligante con respecto a la propiedad que se pretende medir.

2 DEFINICIÓN

- 2.1 En esta norma se define el escurrimiento de ligante como la proporción del mismo que se desprende de los agregados con los que se ha mezclado, una vez realizado el proceso de mezcla.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Un excesivo escurrimiento de ligante de una mezcla asfáltica durante su transporte o puesta en obra se traduce en áreas con contenidos escasos de ligante, las cuales son susceptibles a un deterioro prematuro por degradación y pérdida de partículas, así como en áreas ricas en ligante, las cuales no presentarán la estructura adecuada ni la capacidad drenante deseada en las mezclas porosas o presentarán exudaciones o deformaciones en otros tipos de mezclas.
- 3.2 El ensayo determina el contenido de ligante conveniente en una mezcla para que no se produzca escurrimiento del mismo, así como los efectos que sobre esta característica producen el tipo y la cantidad de aditivo incorporado.

4 EQUIPO

- 4.1** *Balanza* – Con capacidad mínima de 2 kg y ± 0.1 g de precisión.
- 4.2** *Horno* – Exento de vibraciones, con ventilación forzada y control termostático en el rango de 80 a 200° C, con precisión de $\pm 1^\circ$ C.
- 4.3** *Mezclador electromecánico* – De 8 litros de capacidad máxima, apto para mezclar 1500 g de agregado, llenante mineral y ligante asfáltico sin que se produzcan pérdidas de material.
- 4.4** *Recipientes especiales para el ensayo* – Se requieren diez unidades, de lámina metálica de unos 2 mm de espesor, perforada con agujeros de diámetro igual a 3.1 ± 0.1 mm, ocupando éstos el 38 ± 2 % de la superficie total de cada recipiente. Los recipientes deberán tener forma cúbica de 100 mm de arista con la cara superior vana. En las esquinas exteriores de la cara inferior deben disponer de 4 patas, también de metal, de unos 3 mm de diámetro por 5 mm de altura libre.
- 4.5** *Bandejas metálicas* – Diez unidades, cuadradas, de unos 150 mm de lado y 10 mm de profundidad.
- 4.6** *Cajas metálicas* – Once unidades, de unos 150 mm de arista.
- 4.7** *Espátula* – Con hoja de 150 mm de longitud y 25 mm de ancho, aproximadamente.
- 4.8** *Papel de aluminio* – De tipo comercial.

5 MATERIALES

- 5.1** *Agregados y ligante* – Se deberá disponer de la cantidad suficiente de ellos, para fabricar unos 20 kg de mezcla asfáltica. Los agregados se deberán encontrar secos y separados en las fracciones apropiadas para la granulometría especificada.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** El ensayo se deberá realizar a la temperatura de mezclado, correspondiente a una viscosidad del ligante de 180 ± 10 cSt (90 ± 5 sSF).

- 6.2** Se preparan once (11) amasadas de 1100 ± 1 g cada una, del agregado combinado de manera que se ajuste a la parte media de la franja granulométrica especificada. Cada amasada se coloca en una caja (numeral 4.6). Se anota la masa del llenante mineral (F) y la del conjunto del agregado, incluido el llenante (G), para cada una de las amasadas.
- 6.3** Con antelación, se conecta el horno para estabilizarlo a la temperatura que debe tener la mezcla para el ensayo y, una vez alcanzada ésta, se introducen las cajas con las amasadas durante un período no menor a dos (2) horas.
- 6.4** El ligante se calienta también a la temperatura de mezclado y se divide en las porciones adecuadas de acuerdo con las amasadas previstas (11).
- 6.5** Empleando el papel de aluminio, se forra el interior de cada una de las bandejas metálicas (numeral 4.5). Se pesa cada una con aproximación de 0.1 g y se anota su masa como M_1 .
- 6.6** También con antelación, se calienta el vaso del mezclador (numeral 4.3) a la temperatura prevista para el ensayo, durante un periodo no inferior a una (1) hora.
- 6.7** Se transfiere al vaso de mezclado una de las amasadas de agregado combinado, de masa G.
- 6.8** Si está prevista la adición de caucho natural, se añade al agregado la cantidad requerida de éste dentro del vaso de mezclado.
- 6.9** Se coloca el vaso de mezclado en el aparato mezclador y se realiza una mezcla en seco durante 30 ± 5 s antes de proceder a la adición del ligante asfáltico. En seguida, se detiene el mezclador.
- 6.10** Si se va a emplear algún aditivo diferente del caucho natural, se incorpora a la mezcla de acuerdo con las instrucciones que su fabricante señale al respecto.
- 6.11** Se agita el asfalto caliente dentro del recipiente donde se encuentra y se toma la cantidad requerida del mismo, con aproximación de 0.5 g, transfiriendo esta cantidad al vaso de mezclado.
- Nota 1: Las proporciones de ligante para la elaboración de las diferentes mezclas de ensayo deben ser las mismas escogidas para el diseño de la mezcla.*
- 6.12** Se pone en marcha el mezclador durante 60 s. Empleando la espátula se recoge de la superficie superior del vaso y de la unidad mezcladora la mezcla

que hubiera podido quedar adherida a ellas y se incorpora al total de la mezcla. En seguida, se continúa la mezcla durante otros 60 s.

6.13 Se descarta esta primera amasada.

6.14 Se repiten los pasos 6.7 a 6.13 con cada una de las amasadas previstas.

Nota 2: Las mezclas se deben elaborar por duplicado para cada porcentaje de ligante elegido. Como se descarta la primera amasada, quedan diez mezclas por elaborar (ver numeral 6.4), lo que significa que se dispone de material para elaborar mezclas por duplicado con cinco porcentajes diferentes de ligante.

6.15 Se transfiere la mezcla preparada a uno de los recipientes especiales de ensayo (numeral 4.4), recuperando con la espátula toda la mezcla que haya podido quedar adherida a los elementos del mezclador. Esta operación se debe realizar con la mayor rapidez posible, para aminorar la pérdida de temperatura.

6.16 El recipiente con la mezcla se sitúa sobre una de las bandejas metálicas forrada previamente con papel de aluminio (de masa M_1) y se introduce el conjunto bandeja-recipiente-mezcla en el horno a la temperatura de ensayo durante 190 ± 5 min.

6.17 Después del tiempo de permanencia en el horno, se saca el conjunto bandeja-recipiente-mezcla. Se retira el recipiente de ensayo de la bandeja y, cuando ésta se haya enfriado lo suficiente, se determina su masa (bandeja + papel de aluminio + ligante escurrido) con precisión de 0.1 g. Se anota esta masa como M_2 .

6.18 Se repite todo el proceso descrito con una mezcla duplicada con el mismo contenido de ligante.

6.19 El ensayo se debe comenzar con el menor contenido de ligante de los considerados (ver nota 1). Se repite todo el procedimiento (pasos 6.14 a 6.18) al menos cuatro veces, incrementando la dotación de ligante en la mezcla (paso 6.11) en 0.5 % (sobre la masa del agregado combinado) cada vez.

7 CÁLCULOS

7.1 Para cada mezcla ensayada se calcula el ligante retenido (no escurrido), R, en porcentaje sobre la masa de la mezcla, mediante la expresión:

$$R = \frac{B \left[1 - \frac{D}{B + F} \right]}{G + B} \times 100 \quad [825.1]$$

Donde: B: Masa inicial de ligante en la mezcla, g;

D: Masa de ligante y llenante mineral escurrido ($M_1 - M_2$), g;

F: Masa inicial del llenante mineral en la mezcla, g;

G: Masa inicial del agregado combinado, g.

- 7.2** El ensayo se debe repetir para un determinado contenido de ligante, si la diferencia entre los resultados obtenidos con las muestras duplicadas es mayor del 0.5 % de ligante.
- 7.3** Se calcula el porcentaje promedio de ligante retenido para cada uno de los contenidos de ligante ensayados.
- 7.4** Se dibuja un gráfico que represente los porcentajes retenidos de ligante (ordenadas) en función de los respectivos contenidos de ligante mezclados (abscisas). En el mismo gráfico se traza la línea diagonal de igualdad entre los valores de las abscisas y las ordenadas. Se dibuja una curva suave entre los puntos obtenidos en el ensayo y se extrapola la curva hasta superposición con la línea de igualdad, como se muestra en la Figura 825 - 1.
- 7.5** A partir del gráfico de la Figura 825 - 1 se determina el contenido crítico de ligante retenido (A), que es el correspondiente al contenido de ligante en la mezcla en el cual la curva de escurrimiento del gráfico se comienza a desviar de la línea de igualdad.
- 7.6** Se determina el contenido máximo de ligante mezclado (B), como aquel en el que el ligante retenido alcanza un valor máximo.
- Nota 3: Si la curva de ligante retenido no alcanza a definir un valor máximo, se dejará constancia de dicha circunstancia en el informe, escribiendo "mayor que el contenido máximo ensayado".*
- 7.7** El contenido máximo de ligante retenido (C) será el valor en la ordenada, correspondiente al contenido "máximo" de ligante mezclado.
- 7.8** El ligante escurrido (D) es la diferencia entre el contenido de ligante con el cual se dosificó la mezcla y el contenido de ligante retenido (ambos en porcentaje), para cualquier cantidad de ligante en la mezcla.

7.9 De la Figura 825 - 1 se puede determinar el contenido efectivo o real de ligante, conocida la cantidad de ligante escurrido.

8 PRECISIÓN

8.1 A la fecha, no se han determinado ni la repetibilidad ni la reproducibilidad de este ensayo.

9 NORMAS DE REFERENCIA

NLT - 365/93

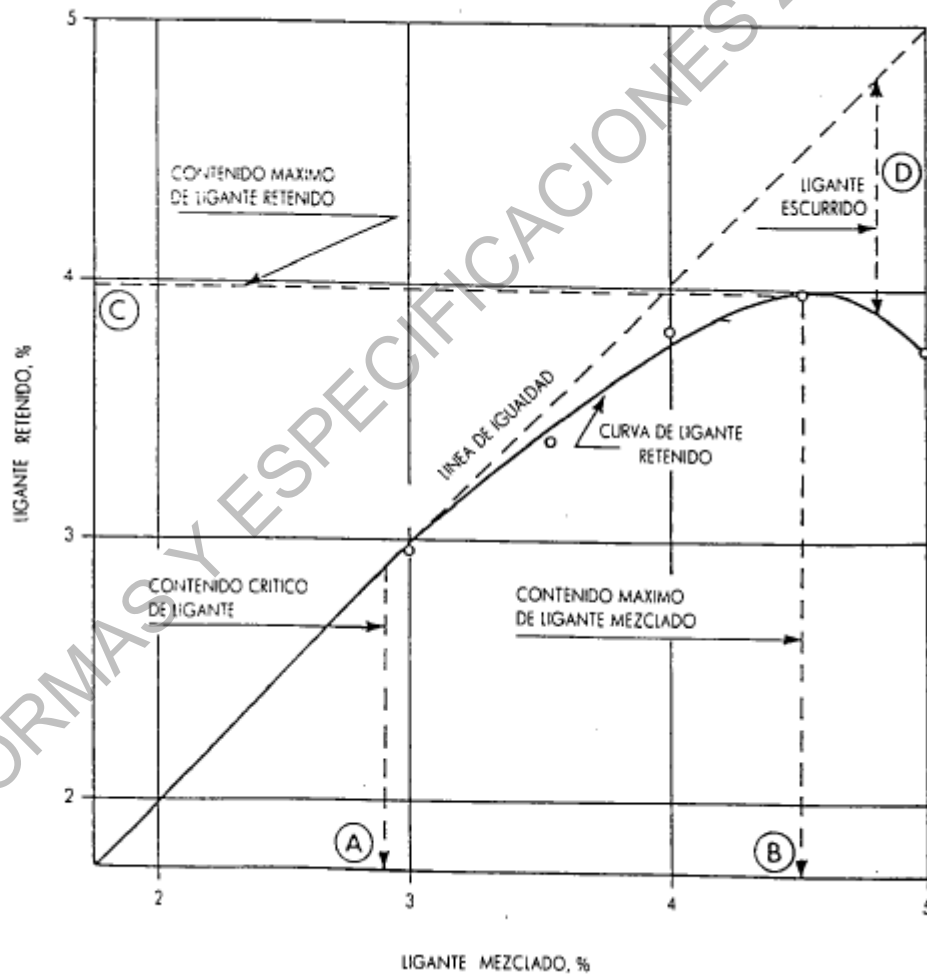


Figura 825 - 1. Definiciones y relaciones de los parámetros máximo, crítico y retenido de ligante en la mezcla