

EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO UTILIZANDO LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA

INV E – 725 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma de ensayo establece un procedimiento para preparar y probar especímenes de concreto asfáltico, con el fin de medir el efecto del agua sobre su resistencia a la tracción indirecta. El método es aplicable a las mezclas densas y permite evaluar el efecto de la humedad sobre mezclas elaboradas con o sin aditivos mejoradores de adherencia, sean líquidos o sólidos pulverulentos, como la cal hidratada y el cemento Portland.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-725-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 *Daño potencial por humedad* – La susceptibilidad al daño por humedad se determina preparando un grupo de especímenes compactados en el laboratorio de acuerdo con la fórmula de trabajo de la mezcla y sin aditivos. Los especímenes se compactan de manera de obtener un contenido de vacíos con aire entre 6 y 8 %. El grupo se divide en dos subgrupos con contenidos de vacíos aproximadamente iguales; cada espécimen debe tener su par en el otro subgrupo. Un subgrupo se mantiene en condición seca, mientras que el otro se satura parcialmente con agua y se acondiciona en un baño de agua. La resistencia a la tensión de cada uno de los subgrupos se determina por la prueba de tracción indirecta. El potencial de daño por humedad queda indicado por la relación entre las resistencias a la tensión del subgrupo húmedo y las del subgrupo seco.
- 2.2 *Efecto de aditivos* – El efecto de un aditivo para mejorar la adhesividad se determina en un grupo de especímenes que contienen un aditivo preparado y que se ensayan como se describe en el numeral 2.1. El efecto del aditivo se determina repitiendo las pruebas en grupos con diferentes dosis del producto.
- 2.3 *Mezclas producidas en planta* – El daño potencial por humedad o la efectividad de un aditivo en una mezcla producida en planta se determina

empleando especímenes compactados en el laboratorio con el contenido de vacíos esperado en la mezcla compactada en el terreno, los cuales se dividen en dos subgrupos, húmedo y seco, y se evalúan como se describe en el numeral 2.1.

3 IMPORTANCIA Y USO

3.1 Este método de ensayo se puede emplear para probar mezclas de concreto asfáltico, junto con los ensayos requeridos para el diseño de la mezcla, para establecer el potencial de daño por humedad, así como para determinar si un aditivo mejorador de adherencia es efectivo o no y, en caso de que lo sea, para encontrar la cantidad óptima de éste para maximizar su efectividad. Este método de ensayo se puede usar, también, para evaluar mezclas producidas en planta, con el propósito de calificar la efectividad de los aditivos bajo las condiciones impuestas en servicio.

4 EQUIPO

4.1 *Elementos para preparación y compactación* – Para preparar y compactar los especímenes, se usan los equipos de cualquiera de las normas INV E-747 e INV E-748. También se puede utilizar el compactador giratorio, SGC.

4.2 *Bomba de vacío o aspirador de agua* – De acuerdo con la norma INV E-735.

4.3 *Manómetro o indicador de vacío* – De acuerdo con la norma INV E-735.

4.4 *Recipiente* – Preferiblemente del tipo F de la norma INV E-735.

4.5 *Balanza* – Con capacidad mínima de 2 kg y con sensibilidad de 0.1 g. Deberá estar provista de un dispositivo de suspensión adecuado que permita determinar la masa de un espécimen en el agua.

4.6 *Tres baños de agua:*

4.6.1 Un baño de acuerdo con la norma INV E-733.

4.6.2 Un baño que permita mantener una temperatura de $60 \pm 1^\circ \text{C}$ ($140 \pm 1.8^\circ \text{F}$) durante 24 horas.

- 4.6.3** Un baño que permita mantener la temperatura a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).
- 4.7** *Prensa Marshall* – De las características descritas en la norma INV E-748, o una máquina de ensayo, mecánica o hidráulica, capaz de mantener la misma tasa de deformación y medir la carga con la misma o mayor precisión.
- 4.8** *Franjas de carga* – Se necesitan franjas de carga de metal con una superficie cóncava, que tengan un radio de curvatura igual al radio nominal del espécimen de ensayo, para transmitirle la carga a éste. Para especímenes de 102 mm (4") de diámetro, la franja deberá tener 12.7 mm (0.5") de ancho, mientras que para especímenes de 150 mm (6") de diámetro, la franja de carga deberá tener 19.05mm (0.75") de ancho. La longitud de la franja de carga debe exceder el espesor de los especímenes. Los bordes de la franja deberán ser redondeados, con el radio de curvatura adecuado.

5 PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO EN EL LABORATORIO

- 5.1** Se elaboran, por lo menos, seis especímenes para cada prueba, tres para ser probados en seco y tres para ser probados después de saturación parcial y acondicionamiento en un baño con agua.
- 5.2** En general, se deben usar especímenes de 102 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2.5") de altura, aunque también se pueden utilizar especímenes de otras dimensiones. Para ensayar mezclas con agregados de tamaño mayor de 25 mm (1"), se deben usar especímenes de 150 mm (6") de diámetro.

Nota 1: Se ha determinado que el diámetro de la probeta tiene influencia tanto sobre la resistencia a la tracción indirecta, como sobre la relación de resistencias. Por lo tanto, al ensayar probetas de 102 mm (4") y de 150 mm (6") de diámetro manteniendo todos los demás factores constantes, se pueden obtener resultados diferentes.

- 5.3** Se preparan bachadas de mezcla lo suficientemente grandes para elaborar, por lo menos, 3 especímenes o, como alternativa, se prepara una bachada del tamaño justo para 1 espécimen. Si también se va a determinar la gravedad específica máxima medida, la bachada deberá ser de mayor tamaño, o se preparará una porción adicional con la cantidad de mezcla exigida por la norma INV E-735.
- 5.4** Cuando se va a usar un aditivo adhesivo líquido, se calienta en el horno a $150 \pm 6^\circ \text{C}$ ($300 \pm 10^\circ \text{F}$) la cantidad suficiente de cemento asfáltico para una

bachada, en un recipiente tapado de ± 1 litro de capacidad. Se agrega la cantidad requerida de aditivo y se mezcla inmediatamente, durante unos 2 minutos, con una mezcladora mecánica a 25 mm (1") del fondo del recipiente. Se mantiene el cemento asfáltico tratado a $150 \pm 6^\circ C$ ($300 \pm 10^\circ F$) en el recipiente cerrado hasta el momento de uso. Se descarta el cemento asfáltico tratado si no se utiliza el mismo día de su preparación o si se dejó enfriar hasta el punto de requerir recalentamiento.

- 5.5** Si se usa aditivo mejorador de adherencia en estado sólido pulverulento, se debe simular el procedimiento de adición que se va a utilizar en el campo. Se deberá seguir el procedimiento indicado en los numerales 5.5.1, 5.5.2 o 5.5.3.
- 5.5.1** Cuando se añade polvo seco a un agregado seco, el lote de agregado mineral se seca y calienta a $150 \pm 6^\circ C$ ($300 \pm 10^\circ F$). Se le añade la cantidad requerida de aditivo y se mezcla completamente hasta obtener una distribución uniforme del aditivo. Se debe tener cuidado de minimizar la pérdida de aditivo en la atmósfera en forma de polvo. Efectuada la mezcla, se mantiene el agregado tratado a la temperatura requerida para su mezcla con el asfalto, hasta el instante en que ésta se realice.
- 5.5.2** Cuando se agregue el polvo seco a un agregado húmedo, la humedad de la bachada de agregado húmedo se ajusta a la esperada en el campo. Se añade la cantidad requerida de aditivo al agregado húmedo, y se mezcla completamente hasta obtener una distribución uniforme del aditivo. Se debe tener cuidado de minimizar la pérdida de aditivo en la atmósfera en forma de polvo. Después del mezclado, el agregado tratado se seca y se calienta a la temperatura requerida para la mezcla, manteniéndose a esa temperatura hasta el momento de su uso.
- 5.5.3** Cuando el polvo se va a aplicar en forma de lechada, se añade la cantidad requerida de aditivo al agua usando la proporción polvo/agua que se espera tener en el campo. Se debe tener cuidado de minimizar la pérdida de aditivo en la atmósfera en forma de polvo. Para evitar la sedimentación, la lechada resultante se debe mezclar continuamente hasta el momento de su uso. Se toma la muestra de agregado húmedo, se ajusta su humedad como se indica en el numeral 5.5.2, se agrega la cantidad de lechada requerida y se mezcla completamente hasta conseguir una distribución uniforme de la lechada. Después del mezclado, se seca el agregado tratado, se calienta a la temperatura requerida para la mezcla y se mantiene a esa temperatura hasta el momento de su uso.

- 5.6** La dosificación, la mezcla y la compactación de los especímenes se debe realizar de acuerdo con alguno de los métodos descritos en las normas INV E-747 o INV E-748. También, se puede utilizar el método Superpave con el compactador giratorio SGC. Si se utiliza el método Marshall, se puede usar tanto el martillo manual como el mecánico.
- 5.6.1** Despues de la mezcla, se estabiliza la temperatura de cada espécimen a la temperatura requerida para su compactación, en un recipiente cerrado dentro de un horno, por un período de 1 a 2 horas. Si se va a preparar una bachada para elaborar varios especímenes, se deberá subdividir en las cantidades requeridas para un solo espécimen, antes de su colocación en el horno.
- 5.6.2** Se compactan los especímenes de manera de alcanzar un volumen de vacíos con aire de $7 \pm 1\%$, o el nivel de vacíos esperado en el campo en el momento de la construcción. Este nivel de vacíos se puede obtener ajustando lo siguiente: la carga estática en la compactación con doble émbolo, el número de golpes de la compactación Marshall o el número de giros en la compactación giratoria. Se debe determinar el procedimiento exacto para cada mezcla por medio de ensayos, variando la energía de compactación según el método utilizado, y determinando los vacíos con aire alcanzados en cada oportunidad.
- 5.6.3** Se enfrían los especímenes en los moldes a temperatura ambiente, tan rápido como sea posible en una corriente de aire; se extraen de los moldes y, dentro de las 24 horas siguientes, se sigue el procedimiento indicado en la Sección 7.

6 PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES DE CAMPO

- 6.1** Se selecciona para el muestreo uno de los camiones que transportan la mezcla a la obra.
- 6.2** Se obtiene una muestra del camión en la planta, de acuerdo con la norma INV E-731.
- 6.3** Se estabiliza la temperatura de la muestra a, aproximadamente, la temperatura a la cual se inicia la compactación en el campo. Se mantiene la mezcla a esta temperatura en un recipiente cerrado, y si es necesario en un horno, por un tiempo aproximadamente igual al que transcurre entre la elaboración de la mezcla en la planta y el inicio de su compactación en el terreno.

- 6.4 Se compactan los especímenes de la manera indicada en el numeral 5.6.2, se dejan enfriar y se sacan de los moldes como se indica en el numeral 5.6.3.
- 6.5 Si los especímenes no se van compactar en el laboratorio de campo, las muestras se colocan en recipientes sellados, se transportan al laboratorio y se recalientan a la temperatura requerida en el numeral 6.3. A continuación, se procede con los pasos indicados en el numeral 6.4.

Nota 2: Los especímenes hechos con mezclas producidas en la planta de acuerdo con la Sección 6, pueden dar resultados diferentes a los de los especímenes elaborados con mezclas producidas en el laboratorio de acuerdo con la Sección 5, así tengan la misma fórmula de trabajo.

7 PROCEDIMIENTO

Nota 3: Se recomienda la hoja de los datos que aparece como Tabla 725 - 1 en esta norma, para recopilar ordenadamente los resultados obtenidos con este procedimiento.

- 7.1 Se determina la gravedad específica máxima medida de la mezcla, de acuerdo con la norma INV E-735.
- 7.2 Se determina la altura de cada espécimen, como se indica en la norma INV E-744.
- 7.3 Se determina la gravedad específica bulk de los especímenes compactados de acuerdo con la norma INV E-733, y se expresa el volumen de cada espécimen en centímetros cúbicos. El término (B - C) de la norma INV E-733, es el volumen del espécimen, en centímetros cúbicos (cm^3).
- 7.4 Se calcula el porcentaje de vacíos con aire respecto del volumen total ($\% V_A$) de cada espécimen, de acuerdo con la norma INV E-736, y se expresa el volumen de aire en centímetros cúbicos (cm^3). El volumen de vacíos con aire se calcula multiplicando el volumen total encontrado en el numeral 7.3 por el porcentaje de vacíos con aire y dividiendo por 100.
- 7.5 Se dividen los especímenes en dos subgrupos, de tal forma que el promedio de los vacíos con aire en los dos sea aproximadamente igual. Se guarda a temperatura ambiente el subgrupo que va ser probado en seco.
- 7.6 Utilizando una cámara de vacío, se satura parcialmente con agua destilada a temperatura ambiente el subgrupo que va ser probado húmedo. Si es difícil alcanzar el grado mínimo de saturación indicado en el numeral 7.6.3, el agua para saturación se puede calentar a 60°C (140°F).

- 7.6.1** Se satura parcialmente el subgrupo, al grado especificado en el numeral 7.6.3, aplicando un vacío parcial de 525 mm Hg (20" Hg) o 70 kPa, durante un tiempo corto, por ejemplo 5 min.

Nota 4: Experimentos con vacío parcial a la temperatura ambiente indican que el grado de saturación es muy sensible a la magnitud del vacío y prácticamente independiente de la duración. El nivel de vacío necesario para distintas mezclas parece ser diferente.

- 7.6.2** Se determina el volumen del espécimen parcialmente saturado, de acuerdo con la norma INV E-733. Se determina el volumen de agua absorbida, restando la masa seca en el aire del espécimen, determinada en el numeral 7.3, de la masa del espécimen parcialmente saturado y superficialmente seco.
- 7.6.3** Se calcula el grado de saturación, dividiendo el volumen del agua absorbida determinada en el numeral 7.6.2, por el volumen de vacíos con aire del espécimen encontrado en el numeral 7.4. El resultado se expresa en porcentaje. Si el volumen de agua está entre 55 y 80 % del volumen de aire, se continúa con el numeral 7.7. Si es menor de 55 %, se repite el procedimiento, comenzando en el numeral 7.6.1 pero usando un vacío parcial ligeramente superior. Si el volumen de agua es mayor de 80 %, el espécimen se ha dañado y se debe descartar.

Nota 5: Si el porcentaje promedio de vacíos con aire del subconjunto húmedo es menor de 6.5 %, se recomienda un grado de saturación de, al menos, 70 %.

- 7.6.4** En resumen, para calcular el grado de saturación se procede así:

- 7.6.4.1** Se determina el volumen de agua absorbida (V_{wa}). Es el valor J' en la Tabla 725 - 1:

$$V_{wa} = \text{Masa SSS (numeral 7.6.2)} - \text{Masa seca al aire (numeral 7.3)} \quad [725.1]$$

- 7.6.4.2** Se determina el volumen de vacíos con aire en el espécimen (V_A). Es el valor H en la Tabla 725 - 1:

$$V_A = \frac{\% \text{ vacíos con aire (numeral 7.4)} \times \text{Volumen del espécimen (numeral 7.3)}}{100} \quad [725.2]$$

- 7.6.4.3** Se calcula el grado de saturación:

$$\% \text{ saturación} = \frac{V_{wa}}{V_A} \times 100 \quad [725.3]$$

- 7.7** Después de verificar la saturación, se acondicionan los especímenes parcialmente saturados, sumergiéndolos en un baño de agua destilada a $60 \pm 1.0^\circ \text{C}$ ($140 \pm 1.8^\circ \text{F}$) durante 24 horas (Figura 725 - 1).



Figura 725 - 1. Acondicionamiento de los especímenes saturados

Nota 6: Si se desea un ciclo de acondicionamiento de congelamiento y deshielo, se sugiere el siguiente procedimiento en lugar del indicado en el numeral 7.7. Se envuelve herméticamente cada uno de los especímenes parcialmente saturados con dos capas apretadas de película de plástico, usando cinta de enmascarar para sujetar la envoltura de ser necesario. Cada espécimen envuelto se coloca en una bolsa de plástico sin fugas, que contiene unos de 3 ml agua destilada, y se sella con un lazo o cinta. Se colocan los especímenes envueltos y embolsados en un congelador con baño de aire a $-18 \pm 2^\circ \text{C}$ ($-0.4 \pm 3.6^\circ \text{F}$). Después de, por lo menos, 15 horas en el congelador, se retiran los especímenes y se sumergen en un baño de agua a $60 \pm 1.0^\circ \text{C}$ ($140 \pm 1.8^\circ \text{F}$) por 24 horas. Después de 3 minutos de inmersión, luego de que ocurra el deshielo de la superficie del espécimen, se retiran la bolsa y la envoltura de los especímenes.

- 7.8** Se ajusta la temperatura de los especímenes acondicionados en condición húmeda, colocándolos en un baño de agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) durante 1 hora.
- 7.9** Se mide la altura de los especímenes acondicionados en condición húmeda, de acuerdo con la norma INV E-744, y se determina su volumen por el método de la norma INV E-733.
- 7.9.1** Se determinan la absorción de agua y el grado de saturación, de acuerdo con lo indicado en los numerales 7.6.2 y 7.6.3. Un grado de saturación que exceda de 80 % es aceptable.
- 7.9.2** Se determina la expansión de los especímenes parcialmente saturados, dividiendo el cambio de los volúmenes determinados en los numerales 7.6.2 y 7.3, por el volumen del espécimen hallado en el numeral 7.3. También, se determina la expansión después del acondicionamiento

húmedo, dividiendo el cambio de los volúmenes determinados en los numerales 7.9 y 7.3, por el volumen del espécimen hallado en el numeral 7.3. En ambos casos, la expansión se expresará en porcentaje.

7.10 Se ajusta la temperatura del subgrupo conservado en seco, colocando los especímenes en un baño de agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) durante 20 minutos.

7.11 Se determina la resistencia a la tensión de ambos subgrupos a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), de acuerdo con el siguiente procedimiento:

7.11.1 Se coloca un espécimen en el aparato de carga, con las franjas de carga centradas y paralelas sobre el plano diametral vertical (Figura 725 - 2). Se aplica una carga diametral a una tasa de deformación 50 mm/min (2"/ min) hasta que se alcance la carga máxima y se registra dicha carga.



Figura 725 - 2. Probeta asfáltica sometida al ensayo de tracción indirecta

7.11.2 Se continúa cargando hasta fracturar el espécimen. Una vez desmontado del aparato de ensayo, se abre el espécimen y se estima visualmente el daño que le causó la humedad (Figura 725 - 3).



Figura 725 - 3. Probeta abierta luego del ensayo de tracción indirecta

7.11.3 Se inspeccionan todas las superficies, inclusive las caras falladas, para buscar evidencia de agregado resquebrajado o roto que pueda haber influido en el resultado de la prueba y se registran las observaciones.

8 CÁLCULOS

8.1 Se calcula la resistencia a la tensión (R_T) como sigue:

$$R_T = \frac{2000 \times P}{\pi \times t \times D} \quad [725.4]$$

Donde: R_T : Resistencia a la tensión, kPa;

P: Carga máxima, N;

t: Altura del espécimen inmediatamente antes de la prueba, mm;

D: Diámetro del espécimen, mm.

8.1.1 Si la carga máxima se expresa en lbf y la altura y el diámetro del espécimen en pulgadas, la resistencia a tensión, en lb/in^2 , se determina con la fórmula:

$$R_T = \frac{2 \times P}{\pi \times t \times D} \quad [725.5]$$

8.2 Se calcula la relación de resistencias a tensión, como sigue:

$$RRT = \left[\frac{R_{TH}}{R_{TS}} \right] \times 100 \quad [725.6]$$

Donde: RRT: Relación de resistencias a la tensión, %;

R_{TH} : Resistencia promedio a la tensión, del subgrupo acondicionado al agua;

R_{TS} : Resistencia promedio a la tensión del subgrupo mantenido en seco.

9 INFORME

9.1 Se debe reportar la siguiente información:

9.1.1 Número de especímenes en cada subgrupo.

9.1.2 Promedio de vacíos con aire de cada subgrupo.

9.1.3 Grado promedio de saturación después de la saturación parcial y del acondicionamiento de humedad.

9.1.4 Expansión promedio después de la saturación parcial y del acondicionamiento de humedad.

9.1.5 Resistencia a la tensión de cada espécimen de cada subgrupo.

9.1.6 Relación de resistencias a la tensión.

9.1.7 Daños por humedad, estimados visualmente luego de la fractura del espécimen.

9.1.8 Resultados de la observación sobre fracturas de las partículas.

Nota 7: Si se usa el procedimiento de acondicionamiento descrito en la nota 6, esa información se debe incluir en el informe.

Tabla 725 - 1. Formato de datos de laboratorio

Proyecto							
Aditivo	Método de compactación	Dosisificación					
Fecha de ensayo		Esfuerzo					
Identificación de la muestra							
Especímenes		GRUPO HÚMEDO				GRUPO SECO	
Diámetro, mm (pg)	D						
Altura, mm (pg)	T						
Masa seca al aire	A						
Masa SSS	B						
Masa en el agua	C						
Volumen (B – C)	E				Prom.		Prom.
Gravedad específica bulk (A/E)	F						
Gravedad específica máxima	G						
% vacíos con aire (100(G – F)/G)	H						
Volumen de vacíos con aire (HE/100)	I						
Carga, N (lbf)	P						
Saturación durante ____ min por vacío a ____ kPa, ____ mm Hg (pg)							
Masa SSS	B'						
Masa en el agua	C'						
Volumen (B' – C')	E'						
Volumen absoluto de agua (B' – A)	J'				Prom.		
% Saturación (100J'/I)							
% Expansión (100(E' – E)/E)							
Acondicionamiento durante 24 h en agua a 60° C							
Altura, mm (pg)	t"						
Masa SSS	B''						
Masa en el agua	C''						
Volumen (B'' – C'')	E''						
Volumen absoluto de agua (B – A)	J''				Prom.		
% Saturación (100J''/I)							
% Expansión (100(E'' – E)/E)							
Carga, N (lbf)	P''						
Resistencia seca 2000P/πtD (2P/πtD)	R _{TS}						
Resistencia húmeda 2000P''/πt''D (2P''/πt''D)	R _{TH}						
RRT, 100(R _{TH} / R _{TS})							
Daño por humedad (visual)							
Agregados fracturados							

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 Precisión – Las desviaciones estándar para uso con este método de prueba se han determinado usando especímenes mezclados en laboratorio, acondicionados de acuerdo con el numeral 7.7. No han sido objeto de estudio ni el material mezclado en la planta ni el acondicionamiento mencionado en la nota 6. Diecinueve laboratorios participaron en el estudio de precisión, probando 5 mezclas de concreto asfáltico, dos de las cuales contenían un aditivo líquido mejorador de adherencia.

10.1.1 Precisión en un laboratorio – Se encontró que la desviación estándar de un solo operador, en la determinación de la resistencia a tensión para especímenes acondicionados, ya sean secos o húmedos, fue de 55 kPa (8 lb/pg²). El límite d_{2s}, para la diferencia máxima permitida en resistencia a tensión al ensayar dos especímenes de la misma mezcla, probados por el mismo operador, es de 159 kPa (23 lb/pg²).

10.1.2 Precisión entre laboratorios – Se encontró que la desviación estándar de varios laboratorios, en la determinación de la relación de resistencias a la tensión fue 8 %. El límite d_{2s} para la diferencia máxima permitida en la relación de resistencias a la tensión, entre resultados de pruebas realizadas con muestras de la misma mezcla en dos diferentes laboratorios, fue 23 %.

10.2 Sesgo – Este método de ensayo no tiene un sesgo determinado, por cuanto el valor de la relación de resistencias a la tensión sólo se puede ser definir en términos del método de ensayo.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D4867/D4867M – 09