

# 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  $\pm 25$  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  $\pm 0.2$  %. 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  $101.6 \pm 0.5$  mm de diámetro y  $87.3 \pm 1$  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  $4536 \pm 9$  g de masa, con una caída libre de  $457 \pm 1.5$  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 sujetada a la misma. La madera será roble u otra clase cuya densidad seca se encuentre entre 0.67 y 0.77 g/cm<sup>3</sup>. 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 decarga 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  $50^\circ\text{C}$ .

### 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.

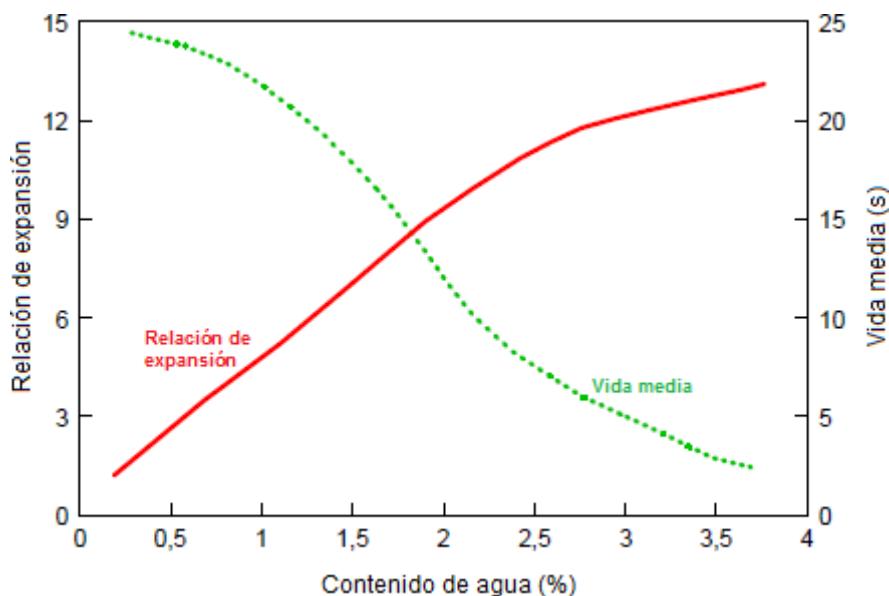


Figura 785 - 2. Optimización de las propiedades de la espuma

## 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 × % pasa tamiz de 75 µm) 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  $63.6 \pm 1.5$  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 las 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/m<sup>3</sup> 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  $60 \pm 1$  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:

$$\text{RTI} = \frac{2000 \times P}{\pi t \times D} \quad [785.1]$$

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), sedibuja 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).

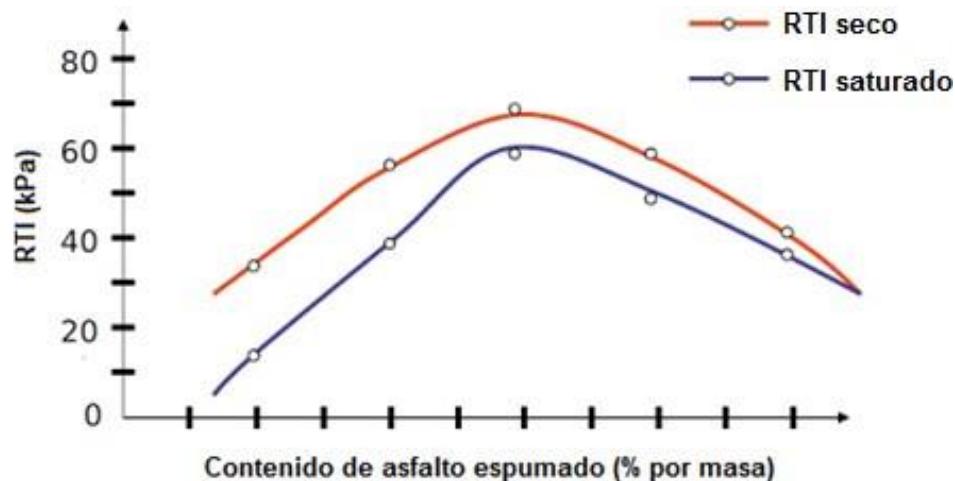


Figura 785 - 4. Contenido de asfalto espumado vs RTI

**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 MMuthen, 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>