

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).

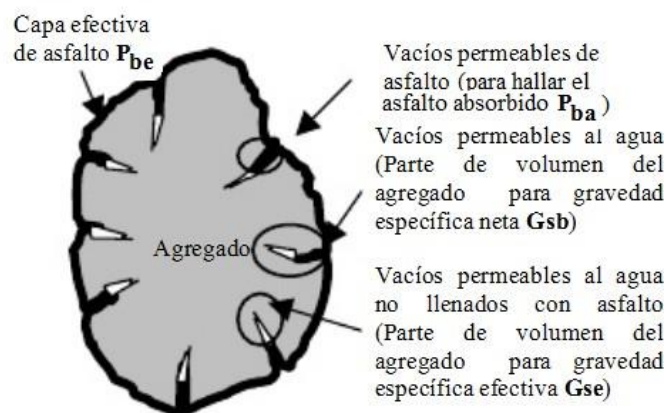


Figura 799 - 1. Diagrama para ilustrar los volúmenes considerados en la determinación de las gravedades específicas del agregado

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.

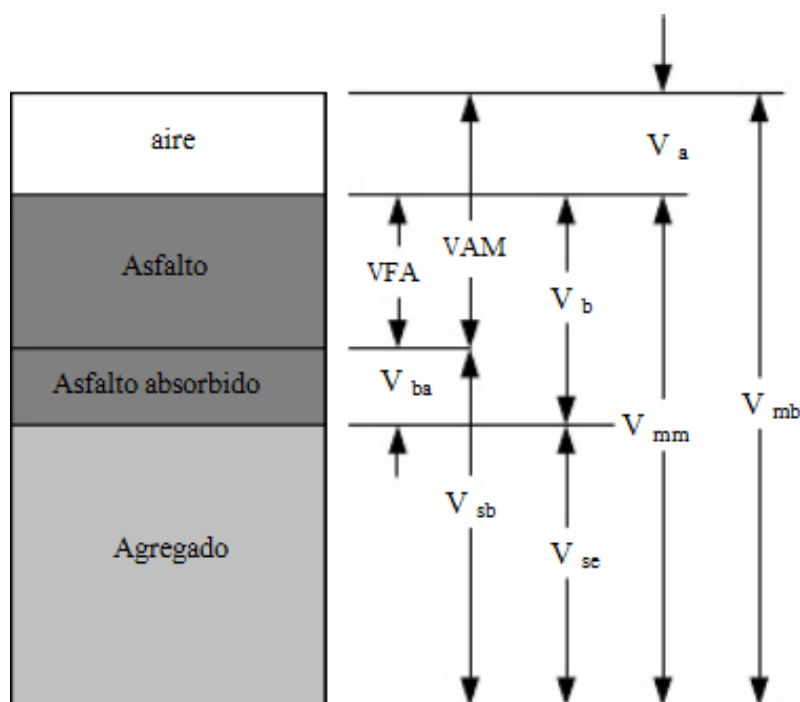


Figura 799 - 2. Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica compactada

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 μm (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 asfaltodiferentes 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:

$$V_a = 100 \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad [799.7]$$

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:

$$VFA = 100 \frac{VAM - V_a}{VAM} \quad [799.8]$$

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:

$$\text{Relación llenante/ligante efectivo} = \frac{P_{0.075}}{P_{be}}$$

[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