

MEDIDA DE LA DENSIDAD DE CAPAS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN EL TERRENO EMPLEANDO EL MÉTODO NUCLEAR

INV E – 746 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe un procedimiento de ensayo para determinar en el terreno la densidad de un pavimento de concreto asfáltico mediante atenuación de radiación gamma. En la norma se especifican dos modos operativos: a) la fuente y el detector de la radiación se sitúan sobre la superficie del pavimento (Método de retrodispersión) y, b) la fuente o el detector se sitúa a una profundidad conocida de hasta 300 mm, mientras que el detector o la fuente permanece sobre el pavimento (Método de transmisión directa).
- 1.2** La densidad, en masa por unidad de volumen del material que se ensaya, se determina comparando la cantidad de radiación gamma detectada con los datos de calibración previamente establecidos.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-746-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** El método de ensayo descrito se utiliza como una técnica rápida y no destructiva para la determinación en el sitio de la densidad de las mezclas bituminosas compactadas.
- 2.2** Con una calibración apropiada y ensayos de confirmación, el método resulta adecuado para el control de calidad y la aceptación de capas de concreto asfáltico compactado.
- 2.3** También, se puede utilizar para establecer una energía de compactación adecuada y un patrón para lograr la densidad requerida.
- 2.4** La naturaleza no destructiva del ensayo permite la realización de medidas repetidas en un mismo punto entre las pasadas de los compactadores, lo que permite controlar la evolución de la densidad.

- 2.5** Los resultados de densidad obtenidos mediante este método son relativos. Se requieren correlaciones con los resultados de otros métodos de ensayo, como los descritos en las normas INV E-733, INV E-734 o INV E-802, para convertir los resultados obtenidos usando este método a valores de densidad real. Se recomienda que se tomen, al menos, siete densidades sobre núcleos y siete densidades por el método nuclear, para establecer un factor de conversión. Se deberá determinar un nuevo factor cada vez que haya un cambio en la mezcla asfáltica o en el proceso constructivo.

3 INTERFERENCIAS

- 3.1** La composición química del material que se ensaya puede afectar significativamente las mediciones, siendo entonces necesario efectuar los ajustes pertinentes. Ciertos elementos con números atómicos por encima de 20 pueden dar lugar a valores erróneamente elevados.
- 3.2** El método de ensayo muestra un sesgo espacial, debido a que el instrumento es más sensible a la densidad del material más próximo a la fuente de radiación.
- 3.2.1** Cuando se mide la densidad de una sobrecapa, puede ser necesario el uso de un factor de corrección, si el material de la capa subyacente varía en espesor, composición mineral o grado de compactación en diferentes tramos del pavimento (Ver Anexo C).
- 3.2.2** Si la superficie del material que se ensaya es muy rugosa, se pueden obtener valores de densidad más bajos que los reales.
- 3.3** Los sobretamaños que se encuentren en la trayectoria fuente-detector, pueden producir valores de densidad de la capa más altos que los reales.
- 3.4** El volumen de muestra de mezcla bituminosa que se ensaya es de, aproximadamente, 0.0028 m^3 (0.0989 pie^3) con el método de retrodispersión y de 0.0056 m^3 (0.198 pie^3) con el método de transmisión directa. El volumen real de muestra varía con el tipo de aparato empleado y con la densidad del material. En general, a mayor densidad el volumen involucrado es menor (nota 1).

Nota 1: El volumen de material compactado en obra representado por un ensayo, se puede incrementar efectivamente repitiendo el ensayo en sitios adyacentes y promediando los resultados.

- 3.5** Si se toman muestras del material ensayado con el propósito de establecer correlaciones con otros métodos de ensayo, como los descritos en las normas INV E-733, INV E-734 o INV E-802, el volumen por ensayar puede ser, aproximadamente, el de un cilindro de 200 mm (8") de diámetro, localizado directamente debajo del eje de la fuente radiactiva y el detector. La altura del cilindro a extraer será igual a la profundidad de colocación de la varilla con la fuente radiactiva en el caso de haber empleado un aparato de transmisión directa o de, aproximadamente, 75 mm (3") si se ha usado el método de retrodispersión (nota 2).

Nota 2: Si la capa de concreto asfáltico compactada tiene un espesor menor que la profundidad de medida del instrumento, se deberán hacer correcciones para obtener resultados apropiados, debido a la influencia de la densidad de la capa subyacente. (Ver Anexo C)

4 EQUIPO

- 4.1** *Dispositivo nuclear* – Un instrumento preparado para detectar y registrar radiaciones, que se pueda asentar sobre la superficie del pavimento bituminoso a ensayar. El instrumento deberá contener:
- 4.1.1** *Fuente de radiación gamma* – Una fuente sellada gamma de alta energía, tal como cesio o radio, y
 - 4.1.2** *Detector gamma* – Cualquier tipo de detector gamma, como tubos (s) Geiger-Mueller.
- 4.2** *Patrón de referencia* – Un bloque de material denso para utilizarlo en la comprobación del instrumento y establecer las condiciones para reproducir el conteo de referencia.
- 4.3** *Herramientas para el acondicionamiento del sitio de ensayo* – Una placa metálica, una regla u otro utensilio adecuado para nivelar el lugar de ensayo con la lisura requerida, utilizando una arena fina u otro material similar.
- 4.4** *Barra perforadora* – Una pieza de acero, cilíndrica, de diámetro un poco mayor que el de la varilla del dispositivo para transmisión directa, con la que se pueda hacer un agujero perpendicular a la superficie del pavimento a ensayar, dentro del cual se insertará la varilla con la fuente radioactiva. Se puede utilizar, también, un taladro.

5 SEGURIDAD

- 5.1** Este equipo utiliza material radioactivo que puede ser peligroso para la salud de los usuarios, a menos que se tomen todas las precauciones necesarias. El usuario del equipo se debe familiarizar con los procedimientos de seguridad y las regulaciones gubernamentales pertinentes.
- 5.2** Instrucciones efectivas al usuario sobre algunos procedimientos rutinarios de seguridad, tales como pruebas para detectar fugas de radioactividad, el registro de los datos del dosímetro personal, el uso de contadores de radiación, etc., se recomiendan como parte del sistema de operación de los equipos de este tipo.
- 5.3** Se deberá disponer de una licencia para la posesión y el manejo del aparato, si así lo establece la reglamentación de la agencia reguladora de las actividades radiactivas del país.

6 CALIBRACIÓN

- 6.1** El instrumento se debe calibrar por lo menos una vez al año, de conformidad con lo indicado en el Anexo A. Los datos de calibración se deben ajustar de acuerdo con el Anexo B, siempre que sea necesario.

7 NORMALIZACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LA REFERENCIA

- 7.1** Los dispositivos nucleares para ensayos están sujetos al envejecimiento a largo plazo de la fuente radioactiva, de los detectores y de los sistemas electrónicos, lo cual va cambiando la relación entre la velocidad de conteo en el instrumento y la densidad del material. Para compensar este envejecimiento, el aparato se debe normalizar estableciendo una relación entre la velocidad de conteo medida en la muestra de ensayo y la velocidad de conteo medida sobre un patrón de referencia (referencia estándar). La medida obtenida con el patrón de referencia debe ser del mismo orden de magnitud que la obtenida en el ensayo, dentro del intervalo de densidades útiles del aparato.
- 7.2** La normalización del equipo se debe realizar al comienzo de cada jornada de trabajo, debiéndose llevar un registro permanente de la información que se ha obtenido.

- 7.2.1** El proceso de normalización se debe efectuar con el aparato situado a no menos de 10 m (33 pies) de cualquier otra fuente radiactiva o de masas de gran volumen u otros objetos que puedan afectar la medida de la velocidad de conteo de referencia.
- 7.2.2** Se enciende el aparato y se permite que se estabilice. Se siguen las instrucciones del fabricante con el fin de conseguir resultados más estables y consistentes.
- 7.2.3** Utilizando el patrón de referencia, se toman al menos cuatro lecturas repetidas con el período normal de medición y se calcula el valor medio. Si el aparato lo permite, resulta aceptable un período de medida cuya duración sea cuatro o más veces mayor que la de una medida normal. Esto constituye una verificación de normalización.
- 7.2.4** Si el valor obtenido en el numeral 7.2.3 está dentro de los límites que se establecen más adelante, se considera que el aparato funciona satisfactoriamente y que tal valor se puede utilizar para determinar la relación de cuentas durante la jornada. Si el valor obtenido está fuera de estos límites, se permite un tiempo adicional para la estabilización del aparato, verificando que el área esté libre de fuentes de interferencia y, a continuación, se realiza otra prueba de normalización. Si en la segunda prueba el valor obtenido está dentro de los límites, el aparato se podrá utilizar, pero si queda por fuera de ellos, se deberá ajustar o reparar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Los límites son los siguientes:

$$|N_s - N_o| \leq 2.0 \sqrt{\frac{N_o}{F}} \quad [746.1]$$

Donde: N_s : Valor del conteo actual de normalización;

N_o : Valor medio de los últimos cuatro valores de N_s obtenidos previamente;

F: Valor de cualquier pre-escala.

Nota 3: El conteo por períodos de medición será el número total de radiaciones gamma detectado durante tales períodos de tiempo. El valor que se lee en la pantalla del aparato se debe corregir si éste tiene incorporado algún tipo de pre-escala. Este valor, (F), es un divisor que reduce el valor real antes de mostrarlo en pantalla. El fabricante del aparato deberá suministrar este valor en caso de que sea diferente de 1.0.

- 7.3** El valor N_s se utiliza para determinar la relación de cuentas a considerar durante la jornada de trabajo del instrumento. Si, por cualquier circunstancia, los valores de densidad medidos a lo largo del día se tornan sospechosos, se deberá realizar una nueva normalización del aparato.

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Con el fin de proporcionar resultados más estables y consistentes: (1) se enciende el instrumento antes de realizar cualquier medida, para que se estabilicen sus circuitos electrónicos y, (2) se deja encendido durante todo el día de trabajo.
- 8.2** Se efectúa la normalización del aparato según lo descrito en la Sección 7.
- 8.3** Se selecciona un sitio de ensayo de acuerdo con lo que indiquen las especificaciones del proyecto, y si no hay nada establecido en ellas sobre el particular, se seguirá el método de la norma INV E-730. Si el instrumento se sitúa a una distancia menor de 250 mm (10") de cualquier masa vertical que pueda influir sobre el resultado, se deberá aplicar el procedimiento de corrección proporcionado por el fabricante para tal evento.
- 8.4** Es fundamental asegurar el máximo contacto entre la base del instrumento y la superficie del material a ensayar. El vacío máximo no debe exceder de 6 mm ($\frac{1}{4}$ "). Se utilizan finos del sitio o arena fina para rellenar los huecos y nivelar la superficie (Figura 746 - 1).



Figura 746 - 1. Nivelación de la superficie con arena

- 8.5** Si se va a utilizar el equipo de transmisión directa, se hace la perforación requerida y se hincan la varilla de acero hasta una profundidad, al menos, 25 mm (1") mayor que la profundidad de medida deseada.

Nota 4: Se debe tener cuidado al hincar la varilla en la mezcla bituminosa compactada, para no producir perturbaciones del material que puedan producir errores en las mediciones. Es preferible hacer la perforación con ayuda de un taladro.

- 8.6** Se sitúa la fuente radiactiva en posición apropiada. Si se ensaya con equipo de transmisión directa, se desplaza el instrumento de manera que la varilla con la fuente radiactiva quede en contacto íntimo con el lado de la perforación ubicado en la trayectoria de las radiaciones gamma.

- 8.7** Se efectúa una medición durante el período de tiempo normal (Figura 746 - 2). Si se realizan las medidas con el método de retrodispersión empleando la técnica del colchón de aire, se toma una medida adicional en esta posición, tal como recomienda el fabricante (ver nota 2).



Figura 746 - 2. Determinación de la densidad

- 8.8** Se determina la relación de la lectura con respecto al conteo estándar o al conteo con colchón de aire. Con el valor de esta relación y con los datos de calibración y de ajuste, se calcula la densidad de la capa en el lugar (ver notas 5 y 6).

Nota 5: Algunos instrumentos tienen incorporado un sistema para calcular automáticamente la relación y la densidad bulk (o húmeda), y permitir un ajuste por las desviaciones producidas.

Nota 6: Si el espesor de la capa bituminosa que se ensaya es menor que la profundidad de medición del instrumento, hay que corregir el valor obtenido en el numeral 8.8 (ver Anexo C).

Nota 7: No se debe dejar el instrumento sobre una superficie caliente durante largos períodos de tiempo. Las temperaturas elevadas pueden afectar adversamente los circuitos electrónicos. Se debe permitir el enfriamiento del instrumento entre mediciones.

9 RESULTADOS

- 9.1** Se calcula la densidad en el sitio, utilizando las tablas, gráficos, o coeficientes de la ecuación de calibración, o la lectura directa del instrumento, haciendo los ajustes que sean necesarios. Esta será la densidad bulk (o humedad) de la capa de mezcla bituminosa ensayada.
- 9.1.1** Se puede calcular un ajuste por desviación, comparando los resultados de varias mediciones realizadas con el instrumento, con los resultados de densidad obtenidos siguiendo la norma INV E-733.
- 9.2** Se comparan los resultados obtenidos, con las densidades obtenidas sobre mezclas compactadas por el método Marshall (norma INV E-748) o con los resultados de las pruebas descritas en las normas INV E-735 o INV E-803, para determinar la aceptabilidad de la capa ensayada (grado de compactación).

10 INFORME

- 10.1** En el informe, junto con los resultados de densidad, se incluirá lo siguiente:
- 10.1.1** Marca, modelo y número de serie del aparato de ensayo utilizado.
- 10.1.2** Fecha y procedencia de los datos de calibración.
- 10.1.3** Fecha de ensayo.
- 10.1.4** El valor del conteo estándar del día de ensayo.
- 10.1.5** Descripción del lugar de ensayo, incluyendo el número de identificación del proyecto y el (los) tipo(s) de mezcla.
- 10.1.6** Espesor de la capa asfáltica ensayada y cualquier ajuste efectuado, si es el caso, con el fin de corregir desviaciones por esta causa.
- 10.1.7** Procedimiento de medición (retrodispersión o transmisión directa), profundidad, velocidad de conteo, densidad calculada en cada medición y cualquier dato de ajuste o corrección.
- 10.1.8** El porcentaje de compactación, si se ha requerido.

11 PRECISIÓN Y SESGO

11.1 *Precisión:*

11.1.1 La declaración de precisión se basa en un experimento de campo realizado en 2008 con apoyo del DOT del Estado de New York, empleando 6 medidores fabricados por 5 empresas. Las mezclas ensayadas fueron de concreto asfáltico Superpave de los tipos 9.5, 12.5, 19 y 37.5. Los valores de densidad oscilaron entre 127.8 y 149.1 lb/pie³, con un promedio de 138.07 y una desviación estándar de 3.900. Todos los ensayos con un determinado aparato fueron realizados por el mismo operador.

11.1.2 *Precisión de un solo operador* – Se determinó que la desviación estándar de un operador fue 25.15 kg/m³ (1.57 lb/pie³). Por lo tanto, es de esperar que los resultados de 2 ensayos correctamente efectuados por el mismo operador, sobre el mismo material y empleando el mismo equipo, no varíen en más de 78.49 kg/m³ (4.9 lb/pie³).

11.2 *Sesgo* – No hay consenso sobre cuál es el método más exacto para determinar los valores de densidad contra los cuales se puedan comparar los resultados de este método de ensayo, razón por la cual no se puede realizar una declaración sobre sesgo.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 2950/D2950M – 11

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

CALIBRACIÓN

- A.1** La calibración se debe realizar siguiendo el procedimiento recomendado por el fabricante del aparato.
- A.2** Por lo menos una vez al año y después de cualquier reparación que pudiera haber afectado a la geometría del instrumento, se deben verificar o restablecer las curvas, tablas o coeficientes de calibración.

- A.3** El instrumento se debe calibrar de manera que produzca una respuesta de calibración dentro de $\pm 16 \text{ kg/m}^3$ ($\pm 1.0 \text{ lb/pe}^3$) sobre los bloques de materiales (estándares) de densidad conocida. Puesto que la respuesta del instrumento nuclear está influenciada por la composición química del material a ensayar, se debe tener en cuenta la composición química de los bloques estándar al establecer la densidad de referencia. Las densidades de los materiales utilizados para establecer o verificar la calibración se deben extender en un rango suficientemente amplio para que dentro de él queden incluidos todos los materiales y densidades que se esperan en los materiales a ensayar en el terreno (Figura 746A - 1).
- A.4** Se deberán tomar suficientes datos de cada material de referencia de densidad, para asegurar una precisión en el conteo del instrumento de, al menos, la mitad de la precisión requerida en los conteos del aparato para su utilización en el campo. Los datos se pueden presentar en forma de gráfico, tabla o coeficientes de ecuación, o se memorizarán en el aparato para permitir la conversión de los datos de velocidad de conteo en densidad del material.



Figura 746A - 1. Bloques de calibración de diferente densidad

- A.5** El método y los procedimientos de ensayo utilizados para establecer los datos de la velocidad de conteo serán los mismos que se empleen para obtener los datos de velocidad de conteo para el material en el terreno.
- A.6** El tipo de material, la densidad y la densidad equivalente calculada del material de cada estándar de calibración utilizado para establecer o verificar la calibración del instrumento, se deben incluir como parte de los datos de calibración.
- A.7** Estándares de calibración (bloques de calibración):

- A.7.1** Los estándares de calibración se pueden establecer utilizando uno de los métodos que se describen en seguida. Los bloques serán de tamaño suficiente para que la velocidad de conteo no cambie, aunque ellos se aumenten en alguna de sus dimensiones. (nota A.1).

Nota A.1: Un bloque cuya superficie sea, aproximadamente, de 610 mm de largo por 430 mm de ancho (24 x 17"), es satisfactorio para este propósito. Para el método de retrodispersión se requiere un espesor mínimo de 230 mm (9"), mientras que para transmisión directa, el espesor debe ser, al menos, 50 mm (2") mayor que la profundidad a la cual se sitúa el extremo de la varilla con la fuente radiactiva durante la realización del ensayo. Para la técnica de colchón de aire (Air-Gap), se requiere un estándar de calibración con una superficie mayor. Las dimensiones superficiales de los bloques se pueden reducir ligeramente, si ellos se encuentran adyacentes a un material de alta densidad.

- A.7.1.1** Se preparan bloques de suelo y fragmentos de roca compactados con diferentes rangos de densidad. Al fabricar los bloques, el material se debe colocar en capas cuyo espesor depende del equipo de compactación disponible. Cada capa se deberá compactar con igual energía de compactación. La densidad de cada bloque se calcula con base en su volumen y su masa.

- A.7.1.2** Se preparan bloques de concreto en obra, fabricados con diferentes agregados y mezclas de agregados, para obtener un intervalo amplio de densidades. La mezcla se coloca de manera que se asegure su uniformidad y la de la densidad del bloque. La densidad de cada bloque se calcula midiendo su volumen y su masa.

- A.7.1.3** Se preparan bloques de materiales estables diferentes a suelos. Se determina la densidad equivalente de suelo y roca de cada bloque, midiendo su volumen y su masa.

Nota A.2: Para establecer y verificar las calibraciones, se han utilizado con éxito durante décadas, bloques fabricados con magnesio, aluminio o con bloques laminados de hojas de aluminio/magnesio de igual espesor (máximo 1 mm), así como bloques sólidos de granito o de piedra caliza.

- A.7.1.4** La densidad de los bloques de calibración se debe determinar con un exactitud de $\pm 0.3 \%$

ANEXO B (Aplicación obligatoria)

AJUSTES DE CALIBRACIÓN

- B.1** La respuesta de calibración se debe revisar antes de efectuar ensayos con materiales claramente diferentes de los utilizados en la calibración; también, se deberá verificar en aparatos recientemente adquiridos o reparados.
- B.2** Se realiza un número suficiente de mediciones y se comparan con las obtenidas al emplear otros métodos aceptados como, por ejemplo, el volumétrico descrito en la norma INV E-733, con el fin de establecer una correlación entre la calibración del aparato y los otros métodos.

ANEXO C (Aplicación obligatoria)

DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN

- C.1** La profundidad de medición es característica del diseño de cada instrumento particular y se puede definir como la distancia, medida desde la superficie, a la cual un cambio significativo en la densidad no se traduce en un cambio en el resultado de la medición.
- C.1.1** Se determina la profundidad, midiendo la densidad aparente de capas superiores de densidad uniforme pero de distinto espesor, colocadas sobre una capa de base con una densidad muy diferente. Se varía el espesor de la capa superior hasta que se obtenga un valor constante de la densidad medida con el instrumento (nota C.2).
- Nota C.1: Para espesores de capa de 51 mm (2") o menores, se recomienda la técnica de retrodispersión. Para espesores mayores, se sugiere la de transmisión directa.*
- Nota C.2: Materiales como magnesio y aluminio en láminas se han usado satisfactoriamente como capas superiores. Los bloques de magnesio y aluminio utilizados como estándares en la calibración, son útiles como material de base.*
- C.1.2** Se llevan los resultados a una gráfica y se determina la profundidad a la cual la densidad aparente medida es igual a la densidad calculada. Esta determinación se debe hacer para un material de baja densidad y para otro de alta densidad actuando como capa superior. La profundidad de medición es el promedio de los dos resultados.