

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 necesariamentela 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 *Coeficiente 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 $\pm 1.5\%$ 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 infladonormal, 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 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 tenerlos 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").