

## RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL TERRENO (CBR IN-SITU)

INV E - 169 - 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1 Esta norma establece el procedimiento que se debe seguir para determinar la relación de soporte de California (CBR) de un suelo ensayado "in situ", mediante la comparación entre la carga requerida para la penetración del suelo y la requerida para penetrar un material estándar de referencia.
- 1.2 Este método de ensayo cubre la evaluación de la calidad relativa de los suelos de subrasante, pero también es aplicable a materiales de sub-base y algunos de base.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-169-07.

### 2 IMPORTANCIA Y USO

---

- 2.1 Los ensayos de CBR in-situ se usan en la evaluación y el diseño de las capas de un pavimento flexible como base, sub-base y sub-rasante, y en otras aplicaciones (como vías no pavimentadas) para las cuales el CBR es el parámetro de resistencia deseado. Si el CBR in-situ se va a usar directamente para evaluación o diseño sin considerar su variación a causa de cambios en el contenido de agua, el ensayo se debe realizar en cualquiera de las siguientes condiciones: (a) cuando el grado de saturación (porcentaje de "vacíos" llenos con agua) es 80 % o mayor, (b) cuando el material es de grano grueso y sin cohesión, de manera que no se vea afectado de manera significativa por cambios en la humedad, o (c) cuando el suelo no ha sido modificado por actividades de construcción durante los dos años anteriores al ensayo. En el último caso, la humedad realmente no se vuelve constante sino que, generalmente, fluctúa dentro de un rango más bien estrecho. Por lo tanto, los datos del ensayo de campo se pueden usar para indicar de manera aceptable la capacidad promedio de soporte de carga.
- 2.2 Cualquier actividad de construcción, como nivelación o compactación, efectuada después del ensayo de relación de soporte, posiblemente hará perder aplicación a los resultados del ensayo.

- 2.3** Los suelos y los pavimentos flexibles de una misma zona pueden exhibir relaciones esfuerzo-deformación sustancialmente diferentes. En la actualidad, no existe ningún método que permita evaluar la precisión de un grupo de pruebas de carga en suelos y capas componentes de pavimentos flexibles, debido a la variabilidad de estos materiales.

*Nota 1: Los ensayos de campo se utilizan para determinar la resistencia relativa de los suelos, sub-bases y algunos materiales de base en la condición en que se encuentran en el momento del ensayo. Tales resultados tienen aplicación directa en tramos de prueba y en otros recursos de construcción. Además, como se indica en el numeral 2.1, los ensayos de campo pueden ser utilizados para diseñar bajo condiciones determinadas de humedad, densidad y características generales del material ensayado. Sin embargo, cualquier alteración significativa por compactación, movimiento o cambio de humedad, puede afectar la resistencia del suelo y dejar sin validez los resultados del ensayo efectuado previamente, conduciendo a la necesidad de un nuevo ensayo y de nuevos análisis.*

### 3 EQUIPO

---

- 3.1** *Gato mecánico de tornillo* – Operado manualmente, equipado con un dispositivo giratorio especial de manivela para aplicar la carga al pistón de penetración y diseñado con las siguientes especificaciones:
- 3.1.1** Capacidad mínima de 2700 kg (5950 lb).
  - 3.1.2** Elevación mínima: 50 mm (2").
  - 3.1.3** Manubrio desmontable de 150 mm (6") de radio.
  - 3.1.4** Relación de multiplicación alta, aproximadamente 2.4 revoluciones por mm (0.04") de penetración.
  - 3.1.5** Relación de multiplicación media, aproximadamente 5 revoluciones por mm (0.04") de penetración.
  - 3.1.6** Relación de multiplicación baja, aproximadamente 14 revoluciones por (0.04") de penetración.
  - 3.1.7** Se pueden usar otras relaciones de multiplicación, cuando se considere que resultan más convenientes.
  - 3.1.8** También, se pueden usar otros gatos mecánicos, con igual carga máxima y la misma altura de elevación, siempre y cuando se pueda obtener con ellos una rata uniforme de penetración de 1.3 mm (0.05") por minuto.

**3.2** *Medidores de carga* – Dos anillos de prueba calibrados o una celda de carga, de las siguientes características:

**3.2.1** *Anillos de carga* – Uno con un rango de carga de 0 a 8.9 kN (0 a 2000 lbf) y el otro de 0 a 22.2 kN (0 a 5000 lbf), aproximadamente.

**3.2.2** *Celda de carga* – Electrónica, con un rango aproximando de carga de 0 a 22.2 kN (0 a 5000 lbf), con aproximación de lectura a 0.1 kN (0.25 lbf) o mejor.

**3.3** *Pistón de penetración* – De  $50.8 \pm 0.1$  mm ( $2 \pm 0.004$ " ) de diámetro ( $3 \text{ pg}^2 = 19.35 \text{ cm}^2$  de área) y, aproximadamente, 102 mm (4") de longitud.

**3.3.1** *Adaptador de pistón y extensiones de tubo* – Un adaptador de pistón y extensiones de tubo de rosca interna con conectores. Se debe contar con extensiones de tubo en las siguientes cantidades y longitudes [u otra combinación de longitudes que totalicen 2.4m (8 pies)]:

NÚMERO REQUERIDO	LONGITUD APROXIMADA
2	38 mm (1.5")
2	102 mm (4")
8	305 mm (12")

**3.4** *Diales* – Dos diales (si se usan anillos de prueba): uno para medir las deformaciones del anillo de carga con lecturas de 0.0025 mm (0.0001"), que tenga un recorrido de aproximadamente 6.4 mm (0.25"); y otro para medir penetraciones del pistón con lecturas de 0.025 mm (0.001"), con un recorrido aproximado de 25 mm (1"), equipado con un soporte o abrazadera de extensión para ajustar la posición del dial.

**3.5** *Soporte para el dial de penetración* – Un soporte o puente de aluminio, hierro o madera de 76 mm (3") de altura y longitud aproximada de 1.5 m (5 pies).

**3.6** *Placa de sobrecarga* – Placa circular de acero, de  $254 \pm 0.5$  mm ( $10 \pm 0.02$ " ) de diámetro, con un agujero central circular de  $51 \pm 0.5$  mm ( $2 \pm 0.02$ " ) de diámetro. La placa debe tener una masa de  $4.54 \pm 0.01$  kg ( $10 \pm 0.02$  lb).

**3.7** *Pesas de sobrecarga* – Dos pesas ranuradas de sobrecarga (similares a herraduras) de  $4.54 \pm 0.01$  kg ( $10 \pm 0.02$  lb), de  $216 \pm 1$  mm ( $8.5 \pm 0.04$ " ) de diámetro, y dos pesas de la mismas forma y dimensión, pero de  $9.08 \pm 0.01$  kg ( $20 \pm 0.02$  lb) cada una.

- 3.8 Vehículo (carga de reacción)** – Un camión (o una pieza de equipo pesado) cargado suficientemente para proveer una reacción de, aproximadamente, 31 kN (6970 lb). El camión debe estar equipado con una viga metálica debidamente acondicionada en la parte posterior del chasis, que ofrezca una reacción adecuada para forzar la penetración del pistón en el suelo. El camión se debe suspender suficientemente para eliminar la influencia de los resortes traseros y permitir que el ensayo de penetración se efectúe sin movimiento ascendente del chasis del vehículo. Para efectuar el ensayo, se requiere disponer de un espacio vertical libre de aproximadamente 0.6 m (2 pies).
- 3.9 Gatos** – Dos gatos tipo camión, de 14 Mg de capacidad, de doble acción combinada y descenso automático. Alternativamente, se pueden usar gatos hidráulicos.
- 3.10 Equipo misceláneo** – Recipientes para colocar muestras para determinación de humedad y densidad, espátula, regla de enrase, herramientas para excavar, etc.

*Nota 2: La Figura 169 - 1 muestra una instalación típica del ensayo en el terreno. La Figura 169 - 2 muestra el conjunto de elementos que componen el equipo.*



Figura 169 - 1. Montaje para el ensayo CBR in-situ



Figura 169 - 2. Elementos para el ensayo CBR in-situ

## 4 PROCEDIMIENTO

- 4.1 Se prepara la superficie del sitio retirando el material suelto y superficial que no sea representativo del suelo que se va a ensayar. Se debe preparar un área de ensayo tan uniforme y horizontal como sea posible. Cuando se trate de materiales de base no plásticos, se debe tener especial cuidado para no alterar la superficie de ensayo. El espaciamiento de los ensayos de penetración debe ser tal, que la operación en un punto no altere el suelo del siguiente punto que va a ser penetrado. Esta separación debe ser, como mínimo, 175 mm (7") en suelos plásticos y 380 mm (15") en suelos granulares gruesos.
- 4.2 Se sitúa el camión de tal manera que el centro del sistema de reacción quede directamente sobre la superficie por ensayar. Se instala el gato mecánico de tornillo debajo de la viga o dispositivo de reacción, con la manivela hacia afuera. Se colocan los gatos del camión a cada lado del vehículo y se levanta éste para que no exista peso alguno sobre los resortes posteriores; se debe cerciorar que el vehículo esté nivelado en la parte trasera.
- 4.3 Se ubica el gato mecánico de tornillo en la posición correcta y se acopla el anillo de carga al extremo del gato. Se asegura el adaptador del pistón al extremo inferior del anillo de prueba, se adiciona el número necesario de extensiones hasta alcanzar una altura menor de 125 mm (4.9") sobre la superficie de ensayo y se conecta el pistón de penetración. Se sujeta el gato en su sitio. Se comprueba el nivel del gato, para asegurar la verticalidad del montaje y hacer los ajustes que sean necesarios.

- 4.4** Se coloca la placa de sobrecarga de 4.5 kg (10 lb) debajo del pistón de penetración, de tal forma que cuando baje el pistón, éste pase a través del agujero central de la placa.
- 4.5** Se asienta el pistón bajo una carga inicial aproximada de 21 kPa (3 lbf/pg<sup>2</sup>). Para lograr un asentamiento rápido, se debe usar la relación de multiplicación alta del gato. Para materiales de base con una superficie irregular, se asienta el pistón sobre una delgadísima capa de polvo de trituración de piedra caliza tamizada (mallas No. 20 – No. 40) o de yeso de París.
- 4.6** Si es necesario para lograr una superficie uniforme, se levanta la placa de sobrecarga mientras todavía está actuando la carga inicial sobre el pistón y se espolvorea uniformemente arena fina, en un espesor de 3 a 6 mm (0.12 a 0.24"), sobre la superficie que va a estar cubierta por la placa. Esto sirve para distribuir uniformemente el peso de la sobrecarga.
- 4.7** Se adicionan pesas de sobrecarga a la placa colocada inicialmente, hasta que se transmita al suelo una presión equivalente a la que presumiblemente produzcan las capas de pavimento que se colocarán sobre el suelo que se ensaya, excepto que el peso mínimo por aplicar será el correspondiente a la placa de sobrecarga de 4.5 kg (10 lb) más una pesa de sobrecarga de 9.08 kg (20 lb).
- Nota 3: Esta carga mínima crea una intensidad de carga igual a la que produce una sobrecarga de 4.5 kg (10 lb) usada en el molde de 150 mm (6") de diámetro en el ensayo de CBR de laboratorio (norma INV E-148).*
- 4.8** Se fija el soporte del dial de penetración al pistón y se sujeta el dial a dicho soporte.
- 4.9** Se colocan en cero las lecturas de ambos diales.
- 4.10** Se aplica la carga al pistón de penetración de manera que la velocidad aproximada de penetración sea de 1.3 mm (0.05") por minuto. Utilizando la relación de multiplicación baja del gato durante el ensayo, se puede mantener una rata uniforme de penetración por parte del operario. Se deben registrar las lecturas del anillo de carga o de la celda de carga para cada 0.64 mm (0.025") de incremento de penetración, con aproximación de 111 kN (25 lbf), hasta una profundidad final de 12.70 mm (0.500"). En suelos homogéneos, frecuentemente se pueden omitir las profundidades de penetración mayores de 7.62 mm (0.300"). Se calcula el esfuerzo para cada incremento de penetración, en porcentaje. (Ver Sección 5 para los cálculos).

- 4.11** Al finalizar el ensayo, se debe obtener una muestra en el punto de penetración, para determinar la humedad. También, se debe determinar la densidad en un sitio alejado de 100 a 150 mm (4" a 6") del punto de penetración. La densidad se debe determinar de acuerdo con alguna de las normas INV-161, INV E-162 o INV E-164. La humedad se debe determinar aplicando alguna de las normas INV E-122, INV E-135, INV E-150 o INV E-164.

## 5 CÁLCULOS

---

- 5.1** *Curva Esfuerzo-Penetración* – Se calcula el esfuerzo de penetración para cada incremento de penetración, dividiendo la fuerza aplicada por el área del pistón. Se dibuja la curva que relacione los esfuerzos con las penetraciones respectivas, como se muestra en la Figura 169 - 3.

- 5.1.1** En ocasiones, la curva de esfuerzo vs penetración puede resultar cóncava hacia arriba en su parte inicial, debido a irregularidades de la superficie u otras causas; en tales casos, el punto cero se debe ajustar como se indica en la Figura 169 - 3.

- 5.2** *Relación de Soporte de California (CBR)* – De la curva (corregida cuando corresponda) se toman los valores de esfuerzo para penetraciones de 2.54 mm (0.100") y 5.08 mm (0.200") y se calculan las relaciones de soporte para cada uno, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia de 6.9 MPa (1000 lbf/pulg<sup>2</sup>) y 10.3 MPa (1500 lbf/pulg<sup>2</sup>), respectivamente, y se multiplica por 100. Se calcula, adicionalmente, la relación de soporte para el máximo esfuerzo, si la penetración es menor de 5.08 mm (0.200"), interpolando el esfuerzo de referencia. El CBR reportado para el suelo es, normalmente, el correspondiente a 2.54 mm (0.100") de penetración. Cuando la relación a 5.08 mm (0.200") de penetración (o a la máxima penetración, si es menor de 5.08 mm) resulta mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, se usa la relación de soporte determinada para 5.08 mm (0.200") o a la máxima penetración. Ninguna otra relación de soporte se puede identificar como valor de CBR.

- 5.3** Si se requieren los valores de la relación de soporte para penetraciones de 7.62, 10.16 y 12.7 mm (0.300", 0.400" y 0.500"), los valores de esfuerzo corregidos para estas penetraciones se deben dividir por los respectivos esfuerzos de referencia: 13.1, 15.9 y 17.9 MPa (1900, 2300 y 2600 lbf/pg<sup>2</sup>) y multiplicarse por 100.

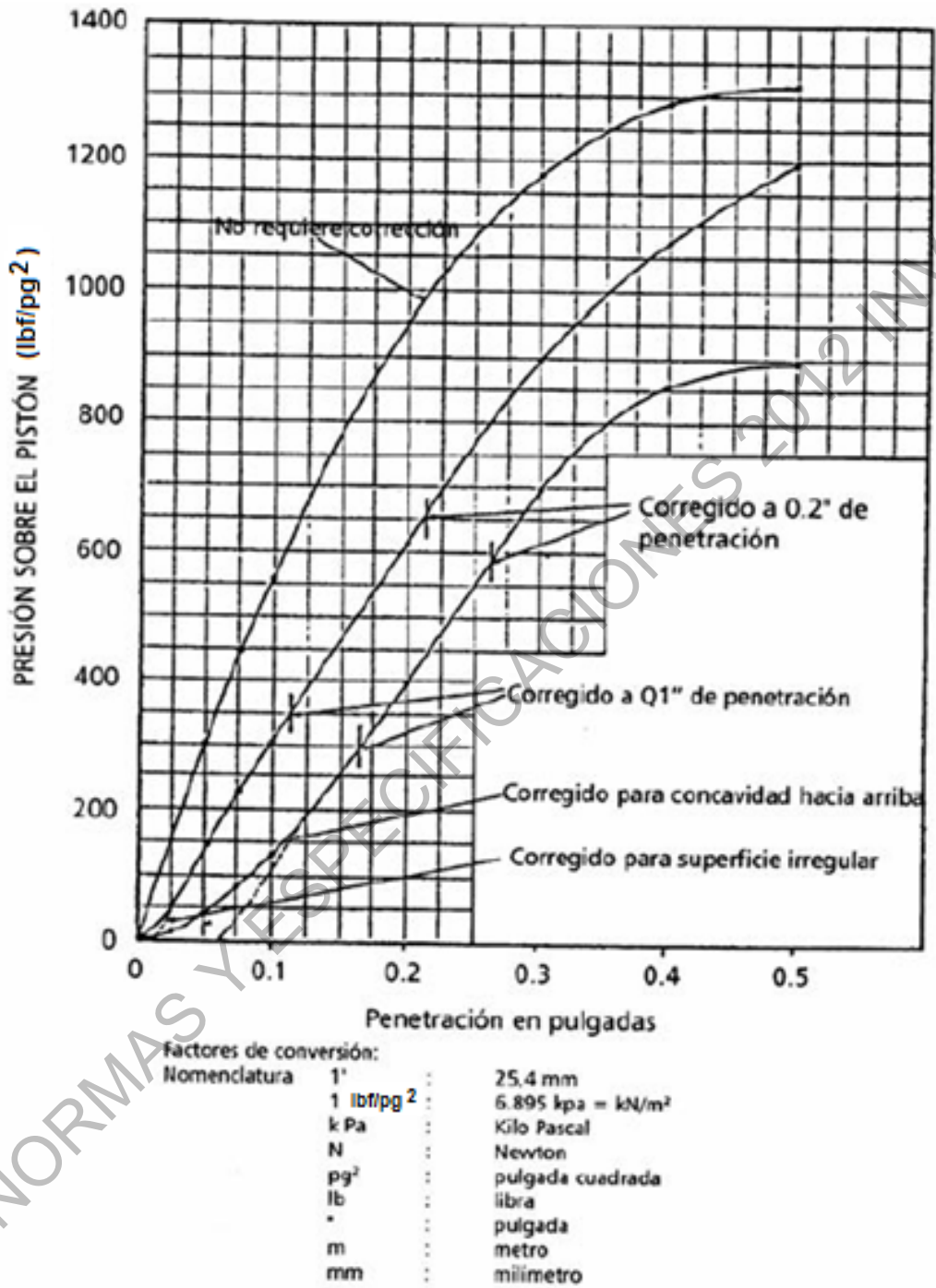


Figura 169 - 3. Corrección de curvas esfuerzo - penetración



## 6 INFORME

---

- 6.1** El informe debe incluir la siguiente información para cada ensayo:
- 6.1.1** Localización del ensayo.
  - 6.1.2** Material ensayado.
  - 6.1.3** Profundidad del ensayo.
  - 6.1.4** Curva esfuerzo – penetración.
  - 6.1.5** Relación de soporte corregida para 2.54 mm (0.1") de penetración.
  - 6.1.6** Relación de soporte corregida para 5.08 mm (0.2") de penetración (o a la máxima penetración si no se alcanzó a penetrar hasta 5.08 mm).
  - 6.1.7** Contenido de agua y método usado para determinarlo.
  - 6.1.8** Densidad y método empleado para determinarla.

## 7 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 7.1** *Precisión* – No se presentan datos sobre precisión. En el momento no es posible o resulta muy costoso convocar diez o más agencias de vialidad para participar en un programa de ensayos in-situ en un lugar específico.
- 7.2** *Sesgo* – No hay un valor aceptado como referencia contra el cual se pueda comparar, motivo por el cual no se puede determinar el sesgo.

## 8 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 4429 – 09a