

➤ **DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN LABORATORIO (C.B.R.)**

## S0404. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) (ASTM D1883 AASHTO T193)

### OBJETO

- a) Este método establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia de los suelos, conocido como Razón de Soporte de California (CBR). El ensaye se realiza normalmente a suelos compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de energía variables.

Nota 1: La denominación CBR se deriva de "California Bearing Ratio".

- b) Este método se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de suelos de subrasante, como también de materiales empleados en la construcción de terraplenes, subbases, bases y capas de rodadura granulares.
- c) No obstante que originalmente el método fue diseñado para evaluar el soporte de suelos de tamaño máximo 3/4" (19 mm), el ensaye es aplicable a todos aquellos suelos que contengan una cantidad limitada de material que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y es retenido en el tamiz de 19 mm (3/4").

### EQUIPOS Y MATERIALES

#### 1. Prensa de Ensaye

Está conformada por un marco de carga con una capacidad mínima de 44,5 kN (10.000 lbf) y una gata mecánica capaz de desplazar una base metálica rígida a una velocidad uniforme y sin pulsaciones, de 1,27 mm/min., contra el pistón de penetración. Este último debe estar equipado con un dispositivo indicador de carga de una capacidad mínima de 26,7 kN (6.000 lbf), que permita registrar lecturas con una precisión mínima de 50 N. El pistón debe llevar, además, sujeto a él, un dial de penetración graduado en milésimas de pulgada (0,025 mm).

Nota 3: Para bajos valores de CBR (inferiores a 5%), se recomienda el uso de dispositivos indicadores de carga con precisión mínima de 30 N.

#### 2. Moldes

Metálicos, cilíndricos, con un diámetro interno de  $152,4 \pm 0,7$  mm y una altura de  $177,8 \pm 0,5$  mm. Deben tener un collar de extensión metálico de 50,8 mm de altura y una placa base metálica de 9,5mm de espesor con perforaciones de un diámetro menor o igual que 1,6 mm.

#### 3. Disco Espaciador

Metálico, cilíndrico, con un diámetro de  $150,8 \pm 0,8$  mm y una altura de  $61,4 \pm 0,2$  mm.

#### 4. Pisón

Debe cumplir con lo especificado en la Tabla S0404\_1.

TABLA S0404 CARACTERÍSTICAS DEL PISÓN A USAR

Ensayo	Pisón				
	Masa	Altura de caída	Volumen del molde	Capas	Golpes por capa
Método del martillo de 2,5 kg	2,5 kg	300 mm	1.000 cm <sup>3</sup>	3	27
Método del martillo de 4,5 kg	4,5 kg	450 mm	1.000 cm <sup>3</sup>	5	27
Proctor (estándar)	2,49 kg (5,5 lbs)	305 mm (12 pulg)	944 cm <sup>3</sup> (1/30 pie <sup>3</sup> )	3	25
Proctor (modificado)	4,49 kg (10 lbs)	457 mm (18 pulg)	944 cm <sup>3</sup> (1/30 pie <sup>3</sup> )	5	25
Método del martillo vibratorio	Se utiliza un molde CBR para compactar una muestra de aproximadamente 2.360 cm <sup>3</sup> de volumen mediante el uso de un martillo vibratorio; el suelo se compacta en tres capas iguales mediante 60 segundos de vibración.				

## 5. Aparato Medidor de Expansión (Hinchamiento)

Compuesto por:

- a) Una placa metálica de  $149,2 \pm 1,6$  mm de diámetro, por cada molde. La placa debe tener perforaciones de un diámetro menor o igual que 1,6 mm, y estar provista de un vástago ajustable de metal en el centro, con un sistema de tornillo y contratuerca que permita regular y fijar su altura.
- b) Un trípode metálico por cada molde, cuyas patas puedan apoyarse en el borde de éste, y que lleve montado en el centro un calibre comparador con indicador de dial, con precisión de lectura 0,025 mm. El vástago debe desplazarse libremente y coincidir con el de la placa, de forma tal que permita controlar la posición de ésta y medir el hinchamiento (ver Figura S0404\_1).
- c) Un dial para medir expansión, por cada molde, con precisión de lectura 0,025 mm.

## 6. Cargas

Para cada molde se debe disponer de una carga metálica anular y varias cargas ranuradas de  $2,27 \pm 0,05$  Kg. cada una. La carga anular, de diámetro exterior de  $149,2 \pm 1,6$  mm, debe disponer de una perforación u orificio en el centro de aproximadamente 54 mm de diámetro (ver Figura S0404\_1).

Nota 4: Para disminuir el número de discos de carga necesarios para el ensaye, se pueden utilizar combinadamente discos confeccionados en plomo y en acero.

## 7. Pistón de Penetración

Metálico, cilíndrico, de  $49,6 \pm 0,1$  mm de diámetro y una longitud no inferior a 101,6 mm.

## 8. Otros equipos y Accesorios

- a) Un tambor o depósito de capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua, ubicado en un lugar tal que ésta no alcance su punto de congelación.
- b) Un horno con circulación de aire y temperatura regulable, que permita el secado de muestras a  $110 \pm 5$  ° C.
- c) Balanza de 20 Kg. de capacidad y precisión 1 g. d) Balanza de 2 Kg. de capacidad y precisión 0,1 g.

## 9. Tamices

Otros: Pailas, recipientes, probetas graduadas, poruñas, espátulas, reglas, brochas, discos de papel filtro, cronómetro, etc.

## PREPARACIÓN DE LA MUESTRAS

Prepare una muestra de acuerdo a lo indicado en los Métodos S0402 o S0403, de un tamaño aproximadamente igual a 70 kg. Efectúe un cuarteo mediante el Método A0505 para obtener dos porciones de aproximadamente 35 Kg. cada una. Destine una de las porciones de 35 Kg. para el ensaye de humedad - densidad (Métodos S0402 o S0403), y divida el resto de la muestra en 5 porciones representativas de aproximadamente 7 Kg. cada una para la ejecución del ensaye CBR.

## Relación Humedad – Densidad

Determine el contenido óptimo de humedad y la densidad máxima compactada seca (DMCS) del material, de acuerdo con los Métodos Proctor Normal ó Proctor Modificado, métodos B o D.

## PROCEDIMIENTO

10. Compacte al menos 3 probetas en un rango de 90% a 100% de la densidad máxima compactada seca determinada anteriormente.
11. Mezcle homogéneamente con agua cada una de las tres o más porciones de suelo por ensayar, previo secado en horno a 60° C hasta masa constante. Agregue la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad óptima determinada en "Relación humedad-densidad". Luego proceda a curar la mezcla, colocando ésta en un dispositivo tapado hasta obtener una distribución uniforme de humedad.
12. Para cada molde coloque el disco espaciador sobre la placa base. Fije el molde con su collar de extensión sobre dicha placa y coloque un disco de papel filtro grueso sobre el espaciador.
13. Compacte cada una de las porciones de suelo húmedo en el molde, en un número de capas igual al de las probetas usadas en el ensaye de humedad - densidad. Cada probeta se debe compactar con



distinta energía de tal manera que la densidad en la cual se desee determinar la razón de soporte quede entre las densidades de dos probetas.

Nota 6: Generalmente se utilizan probetas compactadas con 56, 25 y 10 golpes. Si la densidad en la cual se desea determinar el CBR es menor que la del molde de 10 golpes, se deberá confeccionar otra probeta con menor energía.

14. Si las muestras van a ser sometidas a inmersión, determine el contenido de humedad al comienzo y al final del procedimiento de compactación (2 muestras). Cada una de ellas debe pesar como mínimo 500g.
15. Si las muestras no se van a someter a inmersión, obtenga la muestra para la determinación de humedad después de efectuar la penetración, según procedimiento indicado en 31.

Nota 7: En zonas desérticas, en que se asegure que las precipitaciones anuales son inferiores a 50 mm y no nieva, se puede eliminar la inmersión.

16. Retire el collar de extensión y enrase cuidadosamente el suelo compactado con una regla al nivel del borde del molde. Rellene con material fino bajo 5mm cualquier hueco que pueda haber quedado en la superficie por eliminación de material grueso.
17. Saque la placa base perforada y el disco espaciador y pese el molde con el suelo compactado. Determine la masa del suelo compactado (m), restando la masa del molde. Registre aproximando a 1g.
18. Determine la densidad de la muestra antes de la inmersión ( $\rho$ ), dividiendo la masa de suelo compactado (m) por la capacidad volumétrica del molde (V);

$$\rho = m / V$$

- a) Registre, aproximando el resultado a 0,01 g/cm<sup>3</sup>.

19. Coloque un disco de papel filtro grueso sobre la placa base perforada, invierta el molde y fíjelo a dicha placa, con el suelo compactado en contacto con el papel filtro.
20. Coloque el vástago ajustable y la placa perforada sobre la probeta de suelo compactado y aplique las cargas hasta producir una sobrecarga igual a la ejercida por la estructura del pavimento sobre el material en estudio, redondeando a múltiplos de 2,27Kg. (5 lb). En ningún caso debe ser menor que 4,54Kg. (10 lb)
21. Si la muestra va a ser sometida a inmersión, coloque los moldes con sus respectivas cargas en el recipiente sin agua y acomode el aparato de expansión a cada uno de los moldes, tomando lecturas iniciales de expansión o hinchamiento. Luego agregue el agua lentamente para no producir movimientos que desajusten el trípode de expansión, permitiendo el libre acceso de ésta a las probetas, las que debe dejar sumergidas durante 96 h. Durante este período mantenga la muestra sumergida a un nivel de agua constante, sin producir vibraciones que puedan alterar las mediciones de expansión.
22. Al término del período de inmersión, tome las lecturas finales de expansión a cada una de las probetas y calcule el porcentaje de expansión refiriendo dichas lecturas a la altura inicial de éstas

$$\text{porcentaje de expansion} = \frac{\text{expansion(mm)}}{116.6} \cdot 100$$

23. Saque el agua libre dejando drenar la probeta a través de las perforaciones de la placa base durante 15 min. Cuide de no alterar la superficie de la probeta mientras se extrae el agua. Puede ser necesario inclinar la probeta para eliminar el agua superficial.
24. Retire las cargas y la placa base perforada. Pese el molde con el suelo. Determine la masa de suelo compactado después de la inmersión (m<sub>i</sub>), restando la masa del molde. Registre aproximando a 1 g.
25. Determine la densidad de la muestra después de la inmersión ( $\rho_i$ ) dividiendo la masa de suelo compactado (m<sub>i</sub>) por la capacidad volumétrica del molde (v):

$$\rho_i = m_i / v$$

- a) Registre, aproximando a 0,01 g/cm<sup>3</sup>.

#### Penetración

26. Coloque sobre la probeta la cantidad suficiente de cargas para producir una sobrecarga igual a la ejercida por la estructura del pavimento sobre el material en estudio, redondeando a múltiplos de 2,27 Kg. (5 lb) y en ningún caso menor que 4,54 Kg. (10 lb). Si la probeta ha sido previamente sumergida, la sobrecarga debe ser igual a la aplicada durante el período de inmersión.

Para evitar el sollevamiento del suelo en la cavidad de las cargas ranuradas, coloque en primer lugar la carga anular sobre la superficie del suelo, antes de apoyar el pistón de penetración. Luego coloque las cargas restantes.

27. Apoye el pistón de penetración con la carga más pequeña posible, la cual no debe exceder en ningún caso de 45 N. Coloque los calibres de tensión y deformación en cero. Esta carga inicial se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón y debe considerarse como carga cero para la determinación de la relación carga - penetración.

28. Aplique la carga en el pistón de penetración de manera que la velocidad sea de 1,27 mm/min.
29. Anote las lecturas de carga en los siguientes niveles de penetración: 0,64; 1,27; 1,91; 2,54; 3,18; 3,81; 4,45; 5,08; 7,62; 10,16 y 12,7mm.

Nota 11: Para equipos con diales en pulgadas estos intervalos corresponden aproximadamente a: 0,025; 0,050; 0,075; 0,100; 0,125; 0,150; 0,175; 0,200; 0,300; 0,400 y 0,500 pulgadas.

30. Anote la carga máxima alcanzada, registrando la penetración a la que se produce, si esto ocurre para una penetración menor que 12,7mm.
31. El ensaye debe realizarse hasta alcanzar una penetración mínima de 7,62mm (0,300pulgadas).

Nota 12: Durante el ensaye no debe sobrepasarse la capacidad de carga del anillo. La última anotación corresponderá a la penetración que se obtenga a la carga máxima admisible del anillo.

32. Saque el suelo del molde y determine su humedad considerando la totalidad de la muestra.

## CÁLCULOS

---

### Curva de Tensión – Penetración

Calcule las tensiones de penetración en MPa, aproximando a un decimal, para lo cual divida las cargas aplicadas (kgf) por el área de la sección transversal del pistón (cm<sup>2</sup>); luego divida el resultado obtenido por el factor de conversión 10,2.

Trace la curva de cada molde en un mismo gráfico de tensión - penetración. En algunos casos esta curva puede tomar, inicialmente, la forma cóncava hacia arriba debido a irregularidades de la superficie u otras causas. En dichos casos el punto cero debe corregirse trazando una recta tangente a la mayor pendiente de la curva y trasladando el origen al punto en que esta tangente corta a la abscisa. El valor buscado estará desplazado a la derecha en la misma distancia que hay desde el origen hasta la intersección de la curva corregida con la abscisa (ver Figura S0404\_2).

### Razón de Soporte

Empleando los valores de tensión corregidos tomados de la curva tensión - penetración para 2,54 mm y 5,08 mm de penetración, calcule las razones de soporte para cada una de ellas, dividiendo las tensiones corregidas por las tensiones normales de 6,9 MPa y 10,3 MPa, respectivamente. Cuando en el ensaye no se logre una penetración de 5,08 mm, debe extrapolar la curva hasta dicho valor para calcular la razón de soporte.

Para los suelos del tipo A-1, A-2-4 y A-2-6, la razón de soporte se calcula sólo para 5,08 mm de penetración.

Para los suelos del tipo A-4, A-5, A-6 y A-7, cuando la razón de soporte correspondiente a 5,08 mm resulte mayor que la correspondiente a 2,54 mm, repita el ensaye. Si el ensaye de chequeo entrega un resultado similar, emplee la razón de soporte correspondiente a 5,08 mm de penetración.

Para los suelos del tipo A-3, A-2-5 y A-2-7, informe el mayor porcentaje de CBR obtenido entre los correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.

### Razón de Soporte - Densidad Seca

Usando los datos obtenidos para las distintas probetas, dibuje una curva "Razón de Soporte - Densidad Seca de Compactación", como se muestra en el gráfico de la Figura S0404\_3. Se puede determinar así la Razón de Soporte correspondiente a una densidad seca preestablecida.

