

## **RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO)**

**I.N.V. E – 148 – 07**

### **1. OBJETO**

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado relación de soporte de California, que es muy conocido debido a su origen, como CBR (California Bearing Ratio). Este método de ensayo está proyectado, aunque no limitado, para la evaluación de la resistencia de materiales cohesivos que contengan tamaños máximos de partículas de menos de 19 mm (3/4”).
- 1.2** Cuando se van a ensayar materiales con contenidos máximos de tamaños de partículas mayores de 19 mm (3/4”), este método de ensayo provee la forma de modificar la gradación del material, de manera que el usado para las pruebas pase todo por el tamiz de 19.0 mm (3/4”) a la vez que mantiene constante la fracción del total de la grava entre 75 mm (3”) y 4.75 mm (No.4). Aunque tradicionalmente éste método de preparación de especímenes ha sido empleado para evitar el error inherente en la prueba de materiales que contienen partículas gruesas en el equipo de prueba de CBR, el material modificado puede tener propiedades de resistencia significativamente diferentes a las del material original. Sin embargo, una gran base de experiencia se ha desarrollado usando este método para materiales en los cuales la gradación ha sido modificada y están en uso métodos satisfactorios de diseño, basados en los resultados de pruebas usando este procedimiento.
- 1.3** La experiencia han demostrado que los resultados del CBR para aquellos materiales que contienen porcentajes sustanciales de partículas retenidas en el tamiz 4.75 mm (No.4), son más variables que los de materiales más finos. En consecuencia, se puede requerir más pruebas para estos materiales con el fin de establecer un CBR confiable.
- 1.4** El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad. Las masas unitarias secas de los especímenes corresponden generalmente a un porcentaje de la masa unitaria seca máxima del ensayo normal (INV E – 141), o del modificado (INV E – 142); pero también se puede operar en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.
- 1.5** Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es de responsabilidad de quien la emplee, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y la aplicabilidad de limitaciones regulatorias, con anterioridad a su uso.

## 2. USO Y SIGNIFICADO

- 2.1** Este método de prueba se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y base, incluyendo materiales reciclados para empleo en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles.
- 2.2** Para aplicaciones en las cuales el efecto del contenido de agua de compactación sobre el CBR es bajo, tales como materiales de grano grueso sin cohesión, o cuando se permita una tolerancia en relación con el efecto de diferentes contenidos de agua de compactación en el procedimiento del diseño, el CBR se puede determinar al contenido óptimo de agua de un esfuerzo de compactación especificado. La masa unitaria seca especificada corresponde, generalmente, al porcentaje mínimo de compactación permitido al usar las especificaciones para compactación en el campo.
- 2.3** Para aplicaciones en las cuales el efecto del contenido de agua de compactación sobre el CBR se desconoce, o en las cuales se desea tener en cuenta su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua, usualmente el permitido para compactación en el campo empleando las especificaciones existentes para tal fin.
- 2.4** El criterio para la preparación de especímenes de prueba de materiales autocementantes (y otros), los cuales ganan resistencia con el tiempo, se debe basar en una evaluación de ingeniería geotécnica. Los materiales de autocementantes, deben curarse apropiadamente hasta que se pueda medir relaciones de soporte representativas de las condiciones de servicio a largo plazo, de acuerdo con el criterio del Ingeniero.

## 3. EQUIPO Y MATERIALES

- 3.1** *Prensa* – Similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen. El pistón se aloja en el cabezal y sus características deben ajustarse a las especificadas en la Sección 3.7. Debe tener una capacidad suficiente para penetrar el pistón en el espécimen a una velocidad de 1.27 mm/min (0.05"/min) y hasta una profundidad de 12.7 mm (0.5").

El desplazamiento entre la base y el cabezal se debe poder regular a una velocidad uniforme de 1.27 mm (0.05") por minuto. La capacidad de la prensa y su sistema para la medida de carga deben ser de 44.5 kN (10000lbf) ó más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44N ó menos.

- 3.2** *Moldes* – De metal, cilíndricos, de 152,4 mm  $\pm$  0.66 mm (6  $\pm$  0.026") de diámetro interior y de 177,8  $\pm$  0.46 mm ( 7  $\pm$  0.018") de altura, provisto de un collar suplementario de 51 mm (2.0") de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm (3/8") de espesor. Las perforaciones de la base deberán ser por lo menos 20 uniformemente espaciadas dentro de la circunferencia del molde, no

excederán de 1,6 mm (1/16") de diámetro (Figura 1). La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde.

- 3.3** *Disco espaciador* – De forma circular, metálico, de  $150.8 \pm 0.8$  mm ( $5 \frac{15}{16}'' \pm 1/32''$ ) de diámetro y de  $61.37 \pm 0.25$  mm ( $2.416 \pm 0.01''$ ) de espesor (Figura 1), para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.

**Nota 1.** - Al usar moldes con una altura de 177.80 mm (7.0") (Figura 1), se necesita un disco espaciador de 61.37 mm (2.416") de altura para obtener un espesor de espécimen compactado que esté de acuerdo con el espesor de 116.43 mm (4.584") en las normas INV E – 141 e INV E – 142

- 3.4** *Martillos de compactación* – Como los descritos en las normas INV E – 141 (equipo normal) e INV E – 142 (equipo modificado).

- 3.5** *Aparato medidor de expansión* – compuesto por:

- 3.5.1** Una placa de metal perforada, por cada molde, de  $149.2 + 1.6$  mm ( $5 \frac{7}{8}'' \pm 1/16''$ ) de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm (1/16") de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura (Figura 1).

- 3.5.2** Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm(0.001").(Ver Figura 1).

- 3.6** *Sobrecargas metálicas* – Unas diez por cada molde, una anular y las restantes ranuradas, con una masa de  $2.27 \pm 0.04$  Kg ( $5 \pm 0.10$  lb) cada una,  $149.2 + 1.6$  mm ( $5 \frac{7}{8}'' \pm 1/16''$ ) de diámetro exterior y la anular con 54 mm de diámetro en el orificio central (Figura 1).

**Nota 2.** - Si se usan pesas partidas, la masa del par debe ser de  $2.27 \pm 0.04$  Kg ( $5 \pm 0.10$  Lb).

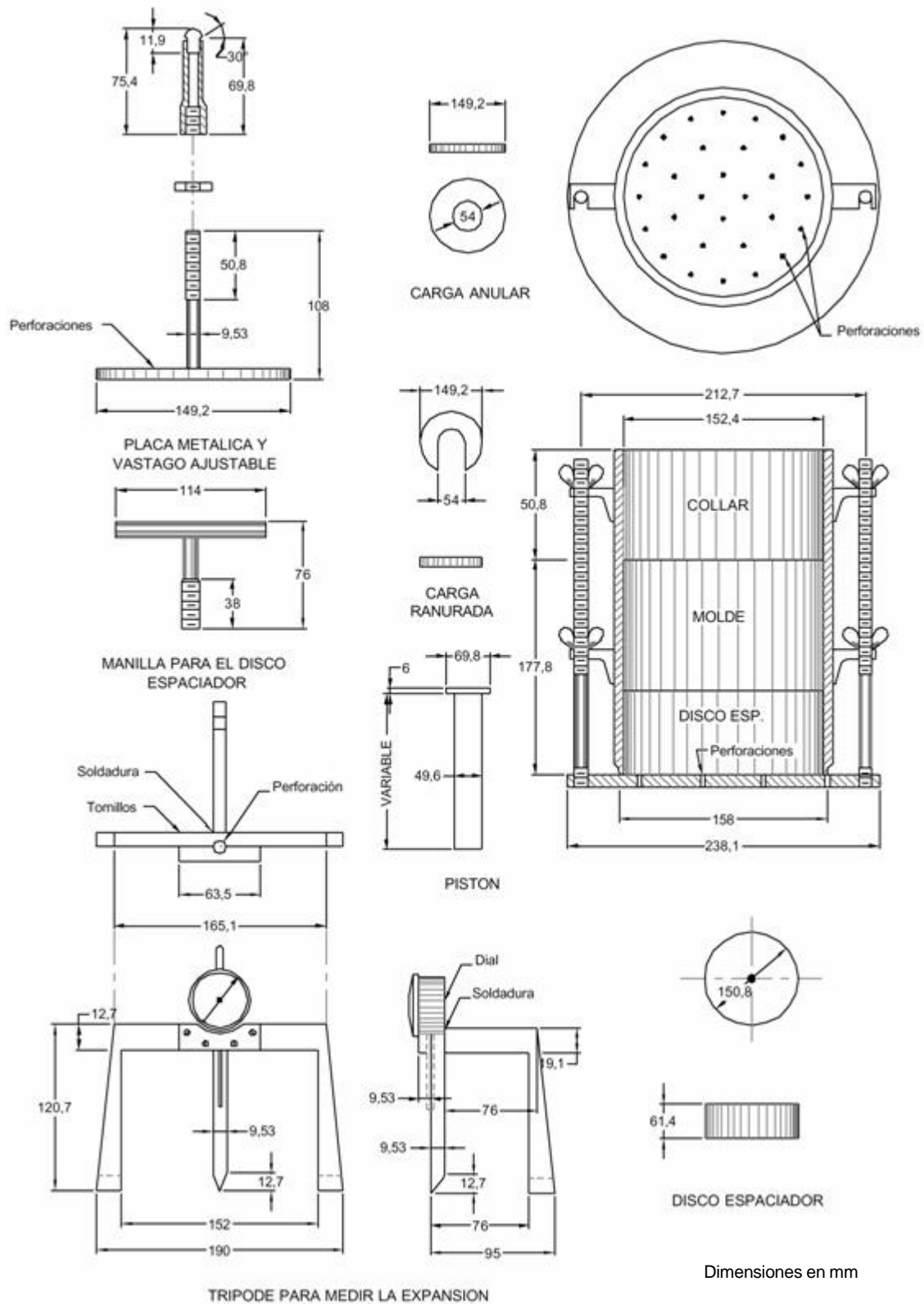
- 3.7** *Pistón de penetración* – Cilíndrico, metálico de  $49.63 \pm 0.13$  mm de diámetro ( $1.954 \pm 0.005''$ ), área de 1935 mm<sup>2</sup> (3 pulg<sup>2</sup>) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas de acuerdo con la Sección 3.6, pero nunca menor de 101.6 mm (4").

- 3.8** *Dos diales (deformímetros)* – Con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones en 0.025 mm (0.001"), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.

- 3.9** *Tanque* – Con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.

- 3.10** *Horno* – Termostáticamente controlado, regulable a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ )

- 3.11** *Balanzas* – Una de 20 kg de capacidad, y otra de 1000 g con sensibilidades de 5 g y 0.1 g respectivamente.



**Figura 1.** Aparato para determinar el CBR

- 3.12** *Tamices* – De 4.75 mm (No.4) y de 19.0 mm (3/4").
- 3.13** Material diverso de uso general como cuarteador, mezclador, enrasador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

#### **4. RELACION HUMEDAD-DENSIDAD**

- 4.1** *Relación de soporte a la humedad óptima* – Usando una porción del material preparada como se describe en las normas INV E – 141 o INV E – 142, se determina el contenido óptimo de humedad y la densidad seca máxima, de acuerdo con el método de compactación especificado en la norma INV E – 141 o INV E – 142.

*Nota 3.-* La masa unitaria seca máxima obtenida de la prueba de compactación hecha en un molde con diámetro de 101.6 mm (4"), puede ser ligeramente mayor que la máxima unitaria seca obtenida por la compactación en un molde de 152.1 mm (6") de diámetro o molde CBR.

- 4.2** *Relación de soporte para un rango de humedades* – Usando los especímenes de 6.8 kg (15 lb) preparados como se describe en las pruebas de compactación INV E – 141 o INV E – 142, se determina el contenido óptimo de humedad y la densidad seca máxima de acuerdo con el método de compactación especificado en estas normas (método D), excepto que se deben usar los moldes de CBR y cada espécimen será penetrado para la determinación de su CBR. Además, se deberán establecer curvas de relación humedad-densidad para 25 golpes y 10 golpes por cada y cada espécimen de prueba compactado deberá ser penetrado. Todas las compactaciones se deben realizar en moldes de CBR. En casos en los cuales la masa unitaria especificada está en o cerca del 100% de la masa unitaria seca máxima, puede ser necesario incluir un esfuerzo de compactación mayor de 56 golpes por capa (Nota 4).

*Nota 4.-* Un trazado semilogarítmico de masa unitaria seca versus esfuerzo compactante, generalmente da una relación de línea recta cuando el esfuerzo de compactación, en J/m<sup>3</sup> (pie-lb/pie<sup>3</sup>), se representa en la escala logarítmica. Este tipo de dibujo es útil para establecer el esfuerzo de compactación y el número necesario de golpes por capa para precisar la masa unitaria seca especificada y los límites de contenido de agua.

Si el espécimen va a ser sometido a inmersión, se toma una muestra representativa del material para la determinación de humedad al comienzo de la compactación de cada espécimen y otra muestra del material restante, después de la compactación. Usar la norma INV E – 122 para determinar el contenido de humedad. Si el espécimen no va a ser sometido a inmersión, se toma una muestra para el contenido de humedad, de acuerdo con las normas INV E – 141 o INV E – 142 si se desea el contenido promedio de humedad.

#### **5. PROCEDIMIENTO**

- 5.1** *Relación de soporte al contenido óptimo de humedad:*

- 5.1.1** Normalmente se deben compactar tres especímenes de manera que los límites de sus densidades compactadas sean de 95% (o menos) a 100% (o mayor) de la máxima densidad seca determinada en la Sección 4.1.

*Nota 5.-* Generalmente son convenientes 10, 30 y 65 golpes por capa para compactar los especímenes 1, 2 y 3, respectivamente. Más de 56 golpes por capa se requieren, generalmente, para moldear un espécimen de CBR al 100% de la máxima densidad seca, determinada en la norma INV E – 141 (método D); esto se debe a que la muestra empleada en la prueba de humedad-densidad está siendo reutilizada, en tanto que, la muestra para el espécimen de CBR es mezclada y compactada una sola vez.

*Nota 6.-* Algunos laboratorios prefieren ensayar sólo un espécimen el cual será compactado a la densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad, como se determina en las normas INV E – 141 o INV E – 142.

- 5.1.2** Se ajusta el molde a la placa de base, se une el collar de extensión y se pesa con aproximación a 5 g (0.01 lb). A continuación se inserta el disco espaciador dentro del molde y se coloca un papel filtro grueso encima del disco.
- 5.1.3** Se mezcla cada una de las tres porciones de 6.8 Kg. (15 lb) con suficiente agua para obtener el contenido de humedad óptimo determinado como se indica en la Sección 4.1
- 5.1.4** Se compacta la primera de las tres porciones de la mezcla de suelo-agua en el molde, usando tres capas iguales y el martillo apropiado si la densidad máxima fue determinada por la norma INV E – 141 o cinco capas iguales si la densidad máxima fue determinada por la norma INV E – 142 para obtener una profundidad total compactada de más o menos 125 mm, compactando cada capa con el menor número de golpes seleccionados para obtener una densidad compactada del 95%, o menos, de la densidad máxima.
- 5.1.5** Se determina el contenido de humedad del material que está siendo compactado, al comienzo y a la terminación de este procedimiento (dos muestras). Cada muestra de humedad deberá tener una masa de, por lo menos, 100 g para suelos de grano fino, y 500 g para suelos de grano grueso. La determinación del contenido de humedad se debe hacer de acuerdo con la norma INV E – 122.
- 5.1.6** Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta. Cualquier hueco superficial producido al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenará con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula.

Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel de filtro entre el molde y la base. Se determina la masa del molde con el espécimen compactado, con aproximación a 5 g (0.01 lb).

- 5.2** *Relación de soporte para un rango de contenidos de humedad* – Los especímenes se deben preparar de acuerdo con la Sección 4.2. Toda la compactación se debe efectuar en los moldes de CBR. Cada espécimen usado para desarrollar las curvas de compactación para 10, 25 y 56 golpes por capa, será penetrado. En casos en los cuales la masa unitaria seca especificada está

en o cerca del 100% de la máxima, será necesario incluir un esfuerzo de compactación mayor de 56 golpes por capa.

- 5.3** *Inmersión* – Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de pavimento que hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2.27 kg (5.0 lb) correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4.54 kg. (10lb). (ver Figura 2b).

*Nota 7.-* A falta de instrucciones concretas al respecto, se puede determinar el espesor de las capas que se han de construir por encima del suelo que se ensaya, bien por estimación, o por algún método aproximado. Cada 15 cm (6") de espesor de estructura del pavimento corresponde, aproximadamente, a 4,54 kg (10 lb) de sobrecarga.

Se toma la primera lectura para medir la expansión colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del deformímetro con el de la placa perforada. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) con el nivel de agua aproximadamente constante, aproximadamente 25 mm (1") por encima de la superficie del espécimen. Se admite también un periodo de inmersión más corto, nunca menor de 24 horas si se trata de suelos granulares que se saturan de agua rápidamente y si los ensayos muestran que esto no afecta los resultados. Para algunos suelos arcillosos puede ser necesario un período de inmersión superior a 4 días.

Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento (Figura 2c). Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el período de inmersión; no obstante, si fuera preciso, después de la primera lectura se puede retirar, marcando la posición de las patas en el borde del molde para poderla repetir en lecturas sucesivas. La expansión se calcula como un porcentaje de la altura inicial del espécimen.

Después del período de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación, se retiran las sobrecargas y la placa perforada. Inmediatamente, se pesa y se procede al ensayo de penetración según el proceso descrito en la Sección siguiente.

Es importante que no transcurra más tiempo que el indispensable desde cuando se retira la sobrecarga hasta cuando se vuelve a colocar para el ensayo de penetración.

- 5.4** *Penetración* – Se coloca sobre el espécimen las mismas sobrecargas que tuvo durante el período de inmersión. Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra. Para ello, previamente se ha llevado el conjunto a la prensa y colocado el pistón de penetración en el

orificio central de la sobrecarga anular. Después de aplicar la carga de asentamiento se coloca el resto de las sobrecargas alrededor del pistón.

Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 44 N (10 lb) para que el pistón asiente. Seguidamente, se sitúan en cero los diales medidores, el del anillo dinamométrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración. (Ver Figura 2d). Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración se deberá apoyar entre el pistón y la muestra o el molde.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 mm (0.05") por minuto. Las prensas manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:

#### PENETRACION

Milímetros	Pulgadas
0.63	0.025
1.27	0.050
1.91	0.075
2.54	0.100
3.18	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400 *
12.70	0.500 *

\* Estas lecturas se hacen si se desea definir la forma de la curva, pero no son indispensables.

Finalmente, se desmonta el molde y se toma de los 25 mm (1") superiores, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad. Su masa deberá ser de al menos 100 g si el suelo ensayado es de grano fino y de 500 g si es granular.

## 6. CÁLCULOS

- 6.1** *Humedad de Compactación* – La masa de agua en gramos que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

$$W_{w \text{ a añadir}} = \left( \frac{W_h}{1 + \frac{W_o}{100}} \right) \times \left( \frac{W_p - W_o}{100} \right)$$



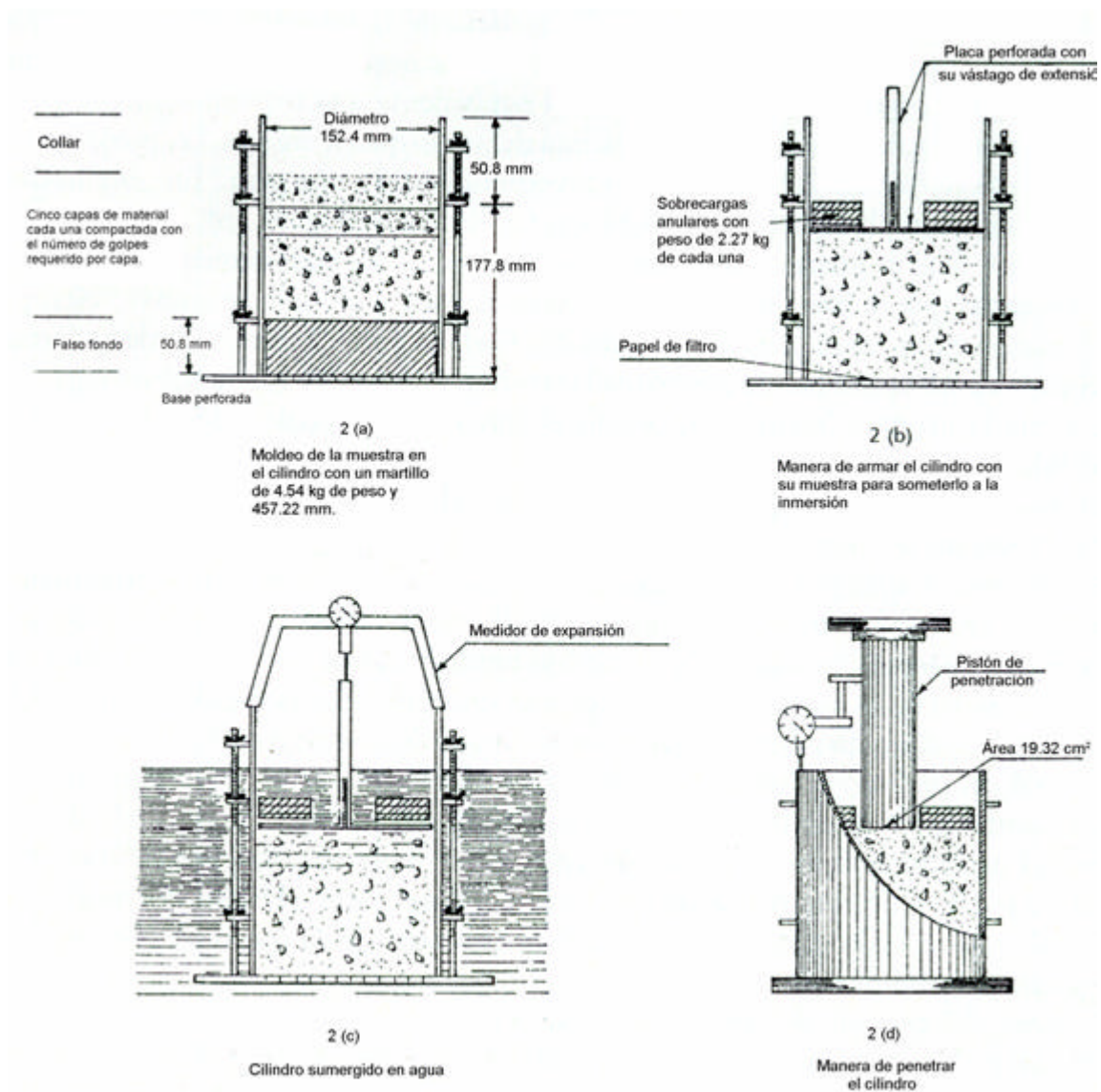
donde:

$W_w$  = masa de agua a añadir, g;

$W_o$  = % de humedad inicial;

$W_p$  = % de humedad prefijada, y

$W_h$  = masa húmeda de la porción de suelo.



**Figura 2.** Determinación del valor de la relación de soporte en el laboratorio

**6.2** *Densidad o Masa Unitaria* – La densidad se calcula a partir de la masa del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en las normas INV E – 141 o INV E-142, idem Proctor Normal o Modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.

**6.3** *Agua absorbida.*– El cálculo para el agua absorbida se puede efectuar de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de ésta, la diferencia entre ambas se toma normalmente como tanto por ciento de agua absorbida. Otra, utilizando la humedad de la muestra total contenida en el molde. Se calcula a partir de la masa seca de la muestra (calculado) y la masa húmeda antes y después de la inmersión.

Ambos resultados coincidirán o no, según que la naturaleza del suelo permita la absorción uniforme del agua (suelos granulares), o no (suelos plásticos). En este segundo caso se debe calcular el agua absorbida por los dos procedimientos.

**6.4** *Curva esfuerzo-penetración* – Se calcula la presión aplicada por el pistón para cada penetración indicada en la Sección 5.4 y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se debe ajustar para corregir las irregularidades de la superficie de la muestra, que afectan la forma inicial de la curva (Ver Figura 3). Se dibuja una curva por muestra ensayada.

**6.5** *Expansión* – La expansión de cada espécimen se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro del aparato medidor de expansión antes y después de la inmersión. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura inicial de la muestra en el molde, que es de 116.43 mm (4.58").

Es decir:

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L_2 - L_1}{116.43} \times 100$$

donde:

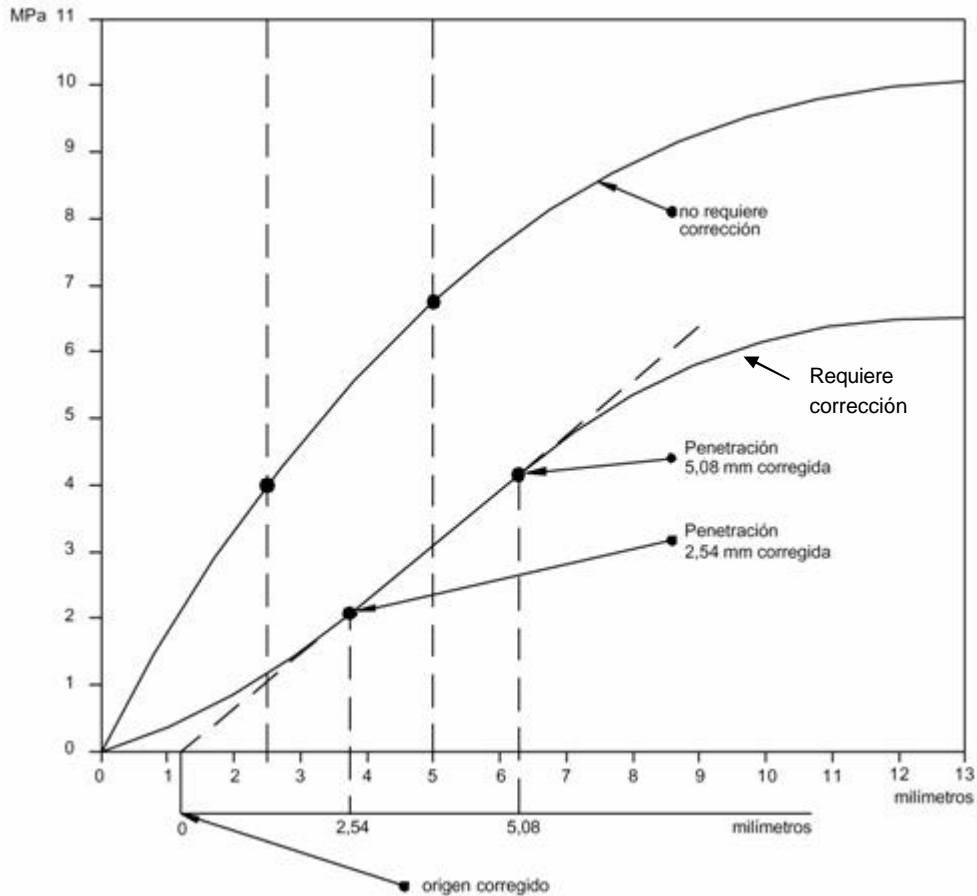
$L_1$  = Lectura inicial en mm.

$L_2$  = Lectura final en mm.

$L_2 - L_1$  = Cambio de altura del espécimen durante la inmersión, mm

**6.6** *Valor de la relación de soporte (CBR)* – Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, con relación a la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Penetración		Presión		
mm	Pulgadas	MPa	Kg./cm <sup>2</sup>	lb/plg <sup>2</sup>
2.54	0.1	6.90	70.31	1.000
5.08	0.2	10.35	105.46	1.500



**Figura 3.** Curva de presiones de penetración

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- 6.6.1** Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman de la curva los valores de presión correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente a la curva en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto, (0 corregido), el cual se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.
- 6.6.2** Con los valores de penetración obtenidos como se acaba de indicar, se calculan los valores de Relación de Soporte correspondientes, dividiendo las presiones correspondientes por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (1000lb/plg<sup>2</sup>) y 10,3 MPa (1500 lb/plg<sup>2</sup>) respectivamente, y se multiplica por 100. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,1") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0,2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, se usa la relación de soporte para 5,08 mm (0,2") de penetración.

- 6.7** *CBR de diseño para un solo contenido de humedad (humedad óptima)* – Usando los datos obtenidos de los tres especímenes, se dibuja la curva densidad seca-CBR (Figura 4). El CBR de diseño puede, entonces, ser determinado al porcentaje deseado de la densidad seca máxima, normalmente correspondiente al porcentaje mínimo especificado para el control de compactación en obra.
- 6.8** *CBR de diseño para un rango de contenidos de humedad* – Se trazan las curvas de compactación y de humedad de compactación y CBR corregido con los datos de las pruebas para las tres energías de compactación, como se muestra en la Figura 5. Igualmente, se elaboran las curvas de Densidad Seca-CBR para las humedades dentro del rango especificado. Para el propósito del informe, se selecciona el CBR más bajo dentro del rango especificado de contenido de humedad, que tenga una masa unitaria seca que este entre la mínima especificada y la masa unitaria seca producida por compactación dentro del rango de contenido de agua.

Se debe reportar la expansión para la combinación densidad – humedad seleccionada.

## **7. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO SOBRE MUESTRAS INALTERADAS.**

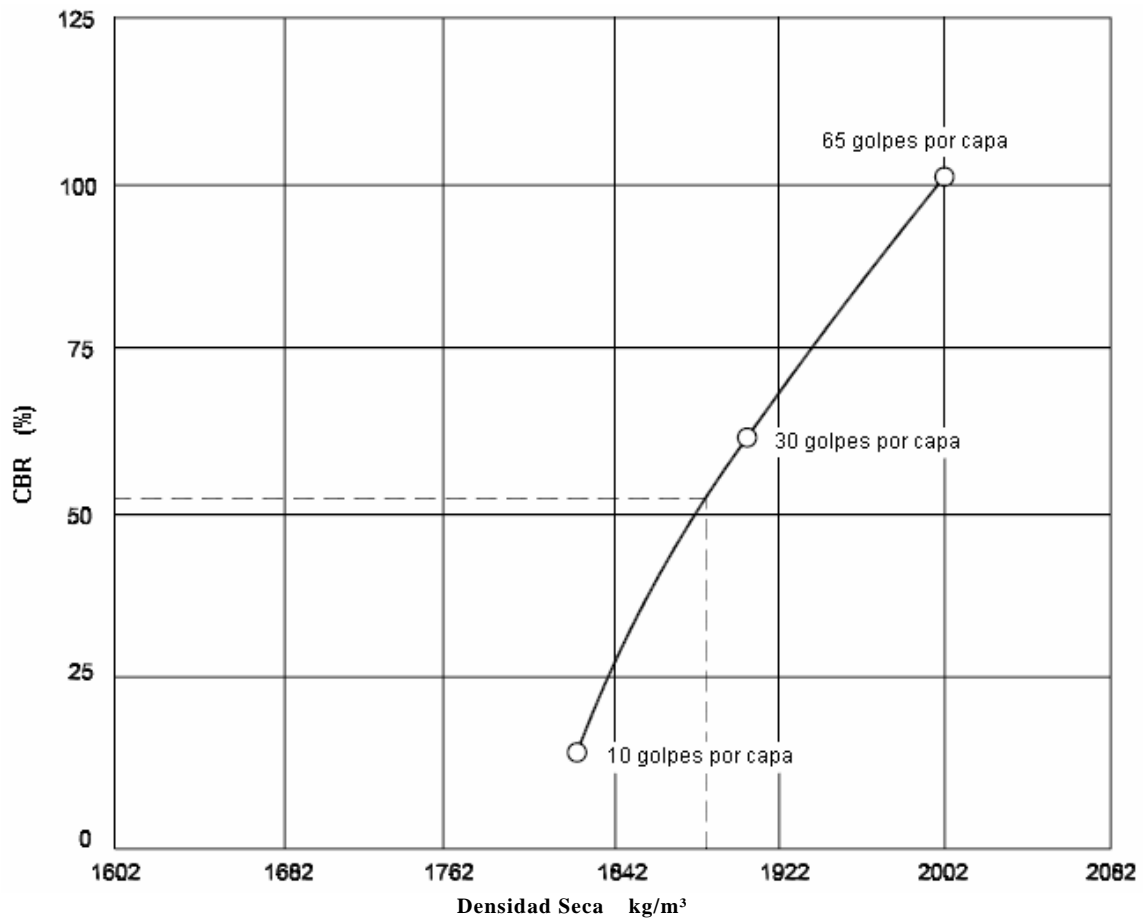
En el caso de muestras inalteradas se procede como sigue:

Se hinca el molde dentro del suelo, poco a poco, con ayuda de herramientas apropiadas, hasta llenarlo, haciendo uso de la técnica para la toma de muestras inalteradas que se describe en la norma INV E – 105.

Una vez lleno el molde, se remueve del suelo cuidadosamente, se enrasa y se parafinan sus caras planas y, cuidando de no golpearlo, se traslada al laboratorio. Cuando se vaya a efectuar el ensayo, se quita la parafina de ambas caras y, con ayuda de la prensa y del disco espaciador, o de un extractor de muestras, se deja un espacio vacío en el molde equivalente al del disco espaciador, enrasando el molde por el otro extremo. A continuación, se procede como con las muestras preparadas en el laboratorio.

La operación para dejar ese espacio vacío no es necesaria si se utiliza un molde de 116.43 mm de altura, en vez de los 177,8 mm, y se monta el collar antes de proceder al ensayo de penetración.

A voluntad del Ingeniero, la muestra puede ser ensayada por un extremo, con la humedad natural, recién retirada la parafina en el laboratorio y por el otro extremo luego de concluido el período de inmersión.



**Figura 4.** Densidad seca vs. CBR

Ejemplo:

*Dada:* Densidad seca máxima del ensayo de compactación de referencia = 1986 kg/cm³.

*Hallar:* El CBR al 95% de dicha densidad.

*Solución:* 95% de 1986 kg/cm³ = 1887 kg/cm³.  
A esta densidad el CBR es 52

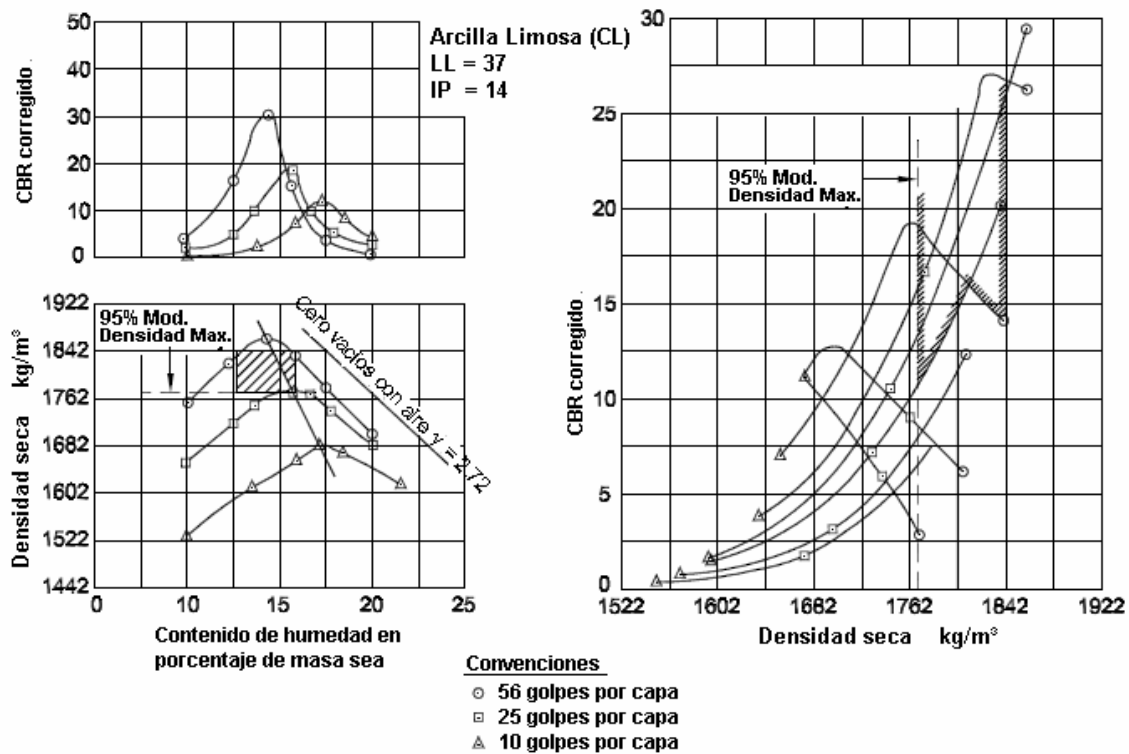


Figura 5. Determinación del CBR para un rango de humidades y masa unitaria seca mínima

## 8. INFORME

Los datos y resultados de la prueba que deberán ser suministrados son los siguientes:

- 8.1 Identificación de la muestra (localización, número de la perforación, profundidad, etc.)
- 8.2 Procedimiento y energía de compactación.
- 8.3 Porcentaje de material retenido en el tamiz de 19 mm en la muestra original, en el caso de que se haya producido reemplazo.
- 8.4 Humedad al fabricar el espécimen.
- 8.5 Masa unitaria de cada espécimen compactado.
- 8.6 Sobrecarga de saturación y penetración.
- 8.7 Expansión del espécimen.
- 8.8 Humedad después de la saturación.

- 8.9** Humedad óptima y densidad máxima determinados mediante la norma INV E – 141 o INV E – 142, según corresponda.
- 8.10** Curvas Presión-Penetración.
- 8.11** Valor de Relación de Soporte (en porcentaje) para cada muestra.

## **9. PRECISIÓN Y TOLERANCIAS**

- 9.1** *Precisión* – A la fecha no se han recogido suficientes datos para establecer la precisión de este ensayo.
- 9.2** *Tolerancias* – Ningún método disponible suministra valores absolutos para la capacidad de soporte obtenida por medio de este método. Por lo tanto, no hay una manera significativa de establecer las tolerancias.

## **10. NORMAS DE REFERENCIA**

ASTM D 1883 - 99

AASHTO T 193 – 99 (2003)