RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO)

I.N.V. E - 148

1. OBJETO

1.1 Esta norma describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido debido a su origen, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

1.2 Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado.

1.3 Esta Norma hace referencia a los ensayos para Determinación de las Relaciones de Peso Unitario-Humedad, usando un equipo normal (estándar) o un equipo modificado, normas INV E-141 y E-142, también conocidos como ensayos de compactación o ensayos Proctor Normal y Proctor Modificado, respectivamente.

2. EQUIPO Y MATERIALES

2.1 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 el numeral 2.7.

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 debe ser de 44.5 kN (10000lbf) ó más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44N ó menos.

2.2 Molde, de metal, cilíndrico, de 152,4 mm ± 0.66 mm (6 ±0.026") de diámetro interior y de 177,8 ± 0.66 mm (7 ± 0.026") 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 no excederán de 1,6

mm de diámetro (Figura No.1a). La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde.

2.3 Disco espaciador, circular, de metal, de 150.8 mm de diámetro y de 50.8 mm (2")de espesor (Figura No.1b), para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.

2.4 Martillos de compactación como los descritos en las normas de ensayo INV E-141 (equipo normal) y INV E-142 (equipo modificado).

2.5 Aparato medidor de expansión compuesto por:

- Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149.2 mm (5 7/8") 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 No.1d).

- 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 No.1c).

2.6 Sobrecargas metálicas, unas diez por cada molde, una anular y las restantes ranuradas, con peso de 2,27 Kg (5 lb)cada una, 149.2 mm de diámetro exterior y la anular con 54 mm de diámetro en el orificio central (Figura No.1b).

2.7 Pistón de penetración, cilíndrico, metálico de 49.6 mm de diámetro (1,95"), área de 19.35 cm^2(3 $pulg^2$) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas de acuerdo con el numeral 3.4, pero nunca menor de 101.6 mm (4").

2.8 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.

2.9 Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.

2.10 Horno, termostáticamente controlado, regulable a 105 ± 5°C (230 ± 9°F)

2.11 Balanzas, una de 20 kg de capacidad, y otra de 1000 g con sensibilidades de 2 g y 0.1 g respectivamente.

2.12 Tamices, de 4.75 mm (No.4) y de 19.0 mm (3/4").

2.13 Material diverso de uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

3. PROCEDIMIENTO

El procedimiento es tal que los valores de la relación de soporte se obtienen a partir de especímenes de ensayo que posean el mismo peso unitario y contenido de agua que se espera encontrar en el terreno. En general, la condición de humedad crítica (más desfavorable) se tiene cuando el material está saturado. Por esta razón, el método original del Cuerpo de Ingenieros de E.U.A. contempla el ensayo de los especímenes después de estar sumergidos en agua por un período de cuatro (4) días confinados en el molde con una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuará sobre el material.

3.1 Preparación de la muestra.- Se procede como se indica en las normas INV E-141 o E-142 (Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, con equipo normal o modificado). Cuando más del 75 % en peso de la muestra pase por el tamiz de 19.1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz.

Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19.1 mm (3/4") sea superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los tamices de 19.1 mm (3/4") y de 4.75 mm (No.4), obtenida tamizando otra porción de la muestra.

De la muestra así preparada se toma la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR.

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo. Dichos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación. Normalmente, se usan la energía del Proctor Normal, la del Proctor modificado y una energía inferior al Proctor Normal. De esta forma, se puede estudiar la variación de la relación de soporte

con estos dos factores que son los que la afectan principalmente. Los resultados se grafican en un diagrama de contenido de agua contra peso unitario.

Se determina la humedad natural del suelo mediante secado en estufa, según la Norma INV E-122.

Conocida la humedad natural del suelo, se le añade la cantidad de agua que le falte para alcanzar la humedad fijada para el ensayo, generalmente la óptima determinada según el ensayo de compactación elegido y se mezcla íntimamente con la muestra.

3.2. Elaboración de Especímenes. Se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.

Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación (ensayos INV E-141 o E-142, idem Proctor Normal o Modificado), pero utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas. (ver Figura No. 2a). Es frecuente utilizar tres o nueve moldes por cada muestra, según la clase de suelo granular o cohesivo, con grados diferentes de compactación. Para suelos granulares, la prueba se efectúa dando 55, 26 y 12 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima. Para suelos cohesivos interesa mostrar su comportamiento sobre un intervalo amplio de humedades. Las curvas se desarrollan para 55, 26 y 12 golpes por capa, con diferentes y humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

Nota 1: En este procedimiento queda descrito cómo se obtiene el índice CBR para el suelo colocado en un solo molde, con una determinada humedad y densidad. Sin embargo, en cada caso, al ejecutar el ensayo deberá especificarse el número de moldes a ensayar, así como la humedad y peso unitario a que habrán de compactarse.

Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500 g (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y otra al final, se mezclan y se determina la humedad del suelo de acuerdo con la Norma INV E-122. Si la muestra no va a ser sumergida, la porción de material para determinar la humedad se toma del centro de la probeta resultante de compactar el suelo en el molde, después del ensayo de penetración. Para ello el espécimen se saca del molde y se rompe por la mitad.

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 pesa.

3.3 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 materiales que hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2.27 kg (5.5 lb) correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4.54 kg. (10lb). (ver Figura No.2b).

Nota 2: 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 el hinchamiento 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. Es admisible también un periodo de inmersión más corto si se trata de suelos granulares que se saturen de agua rápidamente y si los ensayos muestran que ésto no afecta los resultados. (Ver Figura No.2c).

Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento. 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 puede retirarse, 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 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 retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente, se pesa y se procede al ensayo de penetración según el proceso del numeral siguiente.

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

3.4 Penetración.- Se aplica una sobrecarga que sea suficiente para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con ± 2.27 kg de aproximación) pero no menor de 4.54 kg (10 lb). 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, Llévese el conjunto a la prensa y colóquese en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y añade el resto de la sobrecarga si hubo inmersión, hasta completar la que se utilizó en ella. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50 N (5 kgf) para que el pistón asiente. Seguidamente, se sitúan en cero las agujas de los diales medidores, el del anillo dinamométrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración. (Ver Figura No.2d). Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración deberá apoyarse entre el pistón y la muestra o 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
1.90	0.075
2.54	0.100
3.17	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 su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

4. CALCULOS

4.1 Humedad de Compactación.- El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

% de agua a añadir = [(H-h) / (100+h)] x 100

donde: H = Humedad prefijada
h = Humedad natural

4.2 Densidad o Peso Unitario.- La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo INV E-141 o E-142, idem Proctor Normal o Modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.

4.3 Agua absorbida.- El cálculo para el agua absorbida puede efectuarse de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de ésta (numerales 3.2 y 3.4), 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 del peso

seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo 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 debe calcularse el agua absorbida por los dos procedimientos.

4.4 Presión de Penetración.- Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro 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 ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva (Ver Figura No 3)

4.5 Expansión.- La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, numeral 3.2. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").

Es decir:

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L_2 - L_1}{127} \; 100$$

Siendo

L_1 = Lectura inicial en mm.
L_2 = Lectura final en mm.

4.6 Valor de la relación de soporte (Indice resistente 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	MN/m²	kgf/cm²	lb/plg²
2.54	0.1	6.90	70.31	1.000
5.08	0.2	10.35	105.46	1.500

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- 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 los valores

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 en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto, (0 corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.

- De la curva corregida tómense los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2.54 mm y 5.08 mm y calcúlense los valores de Relación de Soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6.9 MPa (1000lb/plg$_2$) y 10.3 MPa (1500 lb/plg$_2$) respectivamente, y multiplíquese 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, úsese la relación de soporte para 5.08 mm (0.2") de penetración.

5. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO SOBRE MUESTRAS INALTERADAS.

En el caso de muestras inalteradas se procede como sigue:

Se clava el molde en el 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-112.

Una vez lleno el molde, 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 el 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 (7.0" ±0.16") si se utiliza un molde con 127 mm (5") de altura, en vez de los 177,8 mm, y se monta el collar antes de proceder al ensayo de penetración.

6. INFORME

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

- Procedimiento y esfuerzo de compactación.
- Humedad al fabricar el especimen.
- Peso unitario.
- Sobrecarga de saturación y penetración.
- Expansión del especimen.
- Humedad después de la saturación.
- Humedad óptima y densidad máxima determinados mediante la norma INV E-142.
- Curva Presión-Penetración.
- Valor de Relación de Soporte.

7. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

NLT	111
ASTM	D 1883
AASHTO	T 193