

**Ensayo para la determinación del índice C. B. R.
en el laboratorio**

NLT-111/58

1. OBJETO

- 1.1. El objeto de esta Norma consiste en la exposición del método de obtención de un índice de la resistencia del suelo para su utilización en el cálculo para la determinación de espesores de pavimentos flexibles.

El ensayo se ejecuta normalmente sobre una muestra preparada en el Laboratorio en unas condiciones determinadas de humedad y densidad. También puede ejecutarse en forma análoga sobre muestras sin perturbar tomadas del terreno.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Tres moldes cilindricos de 15,24 cm. (6 pulgadas) de diámetro y 17,78 cm. (7 pulgadas) de altura. Un collar de 5,08 cm. (2 pulgadas) de altura. Cuatro bases perforadas. Un disco espaciador de 15,11 cm. (5,95 pulgadas) de diámetro y 5,08 cm. (2 pulgadas) de altura.
- 2.2. Maza de compactación de 2,5 kg. (5 1/2 libras) de peso y 5,08 cm. (2 pulgadas) de diámetro, con un tubo guía que asegure la caída de la maza desde una altura de 30,48 cm. (12 pulgadas).
- 2.3. Placa perforada de 14,9 cm. de diámetro con vástago en el centro, y un trípode con un cuadrante, adaptado para medir el hinchamiento.
- 2.4. Unas 30 pesas para sobrecarga de 2,27 kg. (5 libras) de peso. Tres de estas pesas deben ser de forma anular y sus diámetros interior y exterior de 5,2 cm. y 14,9 cm., respectivamente. Las restantes pueden tener una abertura lateral para facilitar su colocación.
- 2.5. Prensa hasta 3.000 kg. de capacidad que tenga convenientemente adaptado un pistón cilindrico de 4,95 cm. (3 pulgadas cuadradas de sección) para hacer el ensayo de penetración, en la que se pueda regular la velocidad de desplazamiento del pistón a 0,05 pulgadas por minuto.
- 2.6. Un tanque de capacidad conveniente, para la inmersión de los moldes en agua.
- 2.7. Una estufa de desecación regulable a 105-110° C.
- 2.8. Una balanza de unos 10 kg. de capacidad en cada platillo, sensible al gramo, y un granatorio sensible al 0,01 gr. y con capacidad hasta 500 gr.

- 2.9. Tamices núm. 4 y 3/4" de la serie A. S. T. M. (material general, cápsulas, probetas, etc.).

3. PROCEDIMIENTO

- 3.1. Preparación de la muestra cuando el suelo no contiene partículas de tamaño superior a 3/4".
- 3.1.1. Secar al aire unos 30 kg. de suelo.
 - 3.1.2. Determinar la humedad óptima y densidad máxima por medio del ensayo de Proctor, siguiendo la Norma NLT-107/58.
 - 3.1.3. Determinar la humedad higroscópica del suelo restante, tomando una muestra de 50 a 200 gr. según la proporción y el tamaño máximo de gruesos que el material contenga.
- 3.2. Apisonado de la muestra:
- 3.2.1. Mezclar unos 15 kg. de muestra con la proporción de agua necesaria para obtener una humedad total (incluida la higroscópica) igual a la humedad óptima.
Mezclar intimamente y cubrir el material con un paño húmedo para impedir la pérdida de humedad por evaporación durante el apisonado de los otros moldes.
 - 3.2.2. Numerar y pesar tres moldes C. B. R. con sus bases. En el primero de ellos colocar el collar y el disco espaciador y sobre éste un disco de papel de filtro del mismo diámetro.
 - 3.2.3. El primer molde así preparado, llenarlo de suelo echando tres capas iguales y compactar cada una de estas capas dando 80 golpes bien distribuidos con la maza de 2,5 kg. de peso (5 1/2 libras) y 30,5 cm. (12 pulgadas) de altura de caída. Al principio y al final de la operación, tomar de 50 a 200 gr. de muestra según el tamaño de las partículas, para determinar su humedad. Esta humedad no debe diferir de la óptima en más de 0,5 %. De no cumplirse este requisito deberá repetirse el ensayo.
 - 3.2.4. Quitar el collar y enrasar la muestra por medio de una espátula o cuchillo de hoja resistente y bien recta.
 - 3.2.5. Desmontar el molde y volverlo a montar invertido sin disco espaciador y colocando un papel de filtro entre el molde y la base. Pesar.
 - 3.2.6. Repetir todas las operaciones anteriores con los otros dos moldes, pero apisonando con 50 golpes sobre cada capa en el segundo molde y 25 golpes en el tercero.
- 3.3. Inmersión:
- 3.3.1. Colocar en cada molde, sobre la superficie de la muestra, 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 el firme que debe ir encima del suelo que se ensaya.
 - 3.3.2. Después de colocada la sobrecarga, adaptar el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde y coincidiendo el vástago del cuadrante sobre el de la placa perforada. Anotar la lectura del cuadrante, el día y la hora, y marcar la posición de las patas del trípode en el borde del molde. El trípode se puede retirar a continuación.
 - 3.3.3. Sumergir los tres moldes en tanques con agua a un nivel por

encima del borde del molde y mantenerlos sumergidos durante cuatro días.

- 3.3.4. Todos los días, durante el período de inmersión, colocar el tripode sobre el borde de cada molde con las patas en la misma posición que se marcó en la primera lectura y anotar la lectura del cuadrante, el día y la hora.
- 3.3.5. Después del período de inmersión, sacar los moldes del tanque y verter el agua de encima sosteniendo firmemente la placa y sobrecargas en su posición. Dejar escurrir cada molde durante quince minutos.
- 3.3.6. Retirar la sobrecarga y la placa perforada y pesar.

3.4. Penetración:

- 3.4.1. Colocar sobre la muestra una pesa anular de 5 libras. A continuación, colocar el pistón de penetración y aplicarle una carga de 5 kg. Situar seguidamente en cero los cuadrantes de deformación y carga, y después añadir el resto de la sobrecarga hasta completar el mismo valor utilizado durante la inmersión.
- 3.4.2. Aplicar carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración de 0,05 pulgadas por minuto. La velocidad se controla mediante el cuadrante de penetración y un cronómetro, de no disponerse de una prensa que dé la velocidad precisa automáticamente.

Anotar las cargas correspondientes a las penetraciones que figuran a continuación:

Penetración	
Pulgadas	Milímetros
0,025	0,635
0,050	1,270
0,075	1,900
0,100	2,54
0,125	3,17
0,150	3,81
0,200	5,08
0,300	7,62
0,400	10,16
0,500	12,70

- 3.4.3. Desmontar el molde y tomar de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra de 50 a 200 gr. del suelo, y determinar su humedad.
- 3.5. Modo de operar cuando hay partículas de tamaño superior a 3/4".
En este caso seguir el procedimiento general modificado en lo siguiente:
- 3.5.1. Separar el material superior a 3/4" y sustituirlo por una proporción igual de material comprendido entre los tamices número 4 y 3/4".
 - 3.5.2. Determinar la humedad óptima y densidad máxima de esta muestra sustituida, por medio del ensayo Proctor, siguiendo la Norma NLT-107/58.
 - 3.5.3. Preparar los tres moldes para el ensayo C. B. R. con el ma-

terial sustituido y con la humedad óptima del ensayo de apisonado anterior (3.5.2.).

- 3.5.4. El índice C. B. R. se determina, dibujando la curva Densidad-Índice C. B. R. y tomando el que resulta para la densidad correspondiente al tanto por ciento que se exija en obra, referido a la densidad máxima obtenida en el ensayo de apisonado realizado en la muestra, según (3.5.2.).

4. RESULTADOS

4.1. Cálculos:

En las explicaciones siguientes se supone que son utilizados los impresos de cálculo que figuran en estas Normas.

4.1.1. Cálculo de agua para el amasado.

El tanto por ciento de agua que se debe añadir respecto al suelo con su humedad higroscópica, se calcula por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ agua a añadir} = \frac{H - hg}{100 + hg} \times 100$$

donde:

H = humedad óptima.
hg = humedad higroscópica.

4.1.2. Cálculo de la densidad.

Basta ir rellorando por orden las casillas que figuran en el impreso para obtener la densidad correspondiente a cada molde.

4.1.3. Cálculo del tanto por ciento de agua absorbida.

Se puede hacer de dos maneras: Una es a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de ésta, tomadas en pesasustancias. Normalmente, ésta es la que se tiene en cuenta. La otra es utilizando como humedad total de la muestra después de la inmersión la obtenida a partir de los pesos de suelo húmedo y seco de toda la muestra contenida en el molde.

Ambos resultados coincidirán o no, según que la naturaleza del suelo permita la absorción uniforme del agua (suelos granulares) o no (suelos plásticos). En el impreso figuran, en el renglón correspondiente al tanto por ciento de agua absorbida, dos casillas para cada molde. En cada una de ellas se anotará el resultado obtenido según el método de cálculo a que corresponden los datos que figuran en su misma columna.

4.1.4. Cálculo del tanto por ciento de hinchamiento.

Por diferencia entre las lecturas del cuadrante, hechas el último día y antes de la inmersión, se obtiene el valor absoluto del hinchamiento. Este valor se refiere en tanto por ciento respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 12,70 cm.

4.1.5. Cálculo del valor del índice C. B. R.

4.1.5.1. Se llama índice C. B. R. al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo para

una penetración determinada, con relación a la presión correspondiente para la misma penetración en una muestra tipo.

Existe, por tanto, un índice C. B. R. distinto para cada penetración. Generalmente se calculan los correspondientes a 0,1 y 0,2 pulgadas, y se utiliza el mayor de ellos. Las presiones de la muestra tipo son:

Penetración	Presión kg/cm. ²
0,1 pulg.	70,31
0,2 »	105,46

4.1.5.2. Dibujar la curva que relaciona penetraciones (abscisas), con divisiones del cuadrante de medida de cargas (ordenadas) y ver si esta curva presenta puntos de inflexión. Si no presenta punto de inflexión, se toman los valores correspondientes a 0,1 y 0,2 pulgadas; estos valores multiplicados por las constantes del anillo darán las cargas correspondientes. Si la curva presenta punto de inflexión, la tangente en este punto cortará el eje de abscisas en otro punto que se toma como nuevo origen para la determinación de las cargas correspondientes a 0,1 y 0,2 pulgadas.

4.1.5.3. Llamando Q a la carga en kilogramos para una penetración determinada, el índice C. B. R. para esa penetración es:

Penetración	Índice C.B.R.
0,1 pulg.	0,0735 Q
0,2 »	0,0490 Q

4.2. Limitaciones:

- 4.2.1. Cuando el suelo contenga más de un 25 % de material superior a 3/4", los resultados del ensayo C. B. R. se interpretarán con muchas reservas, dada la gran alteración introducida por la sustitución en el material original.
- 4.2.2. Cuando el índice C. B. R. que se obtenga sea superior a 20, no se utilizará el resultado para el cálculo del espesor de firmes.

5. OBSERVACIONES

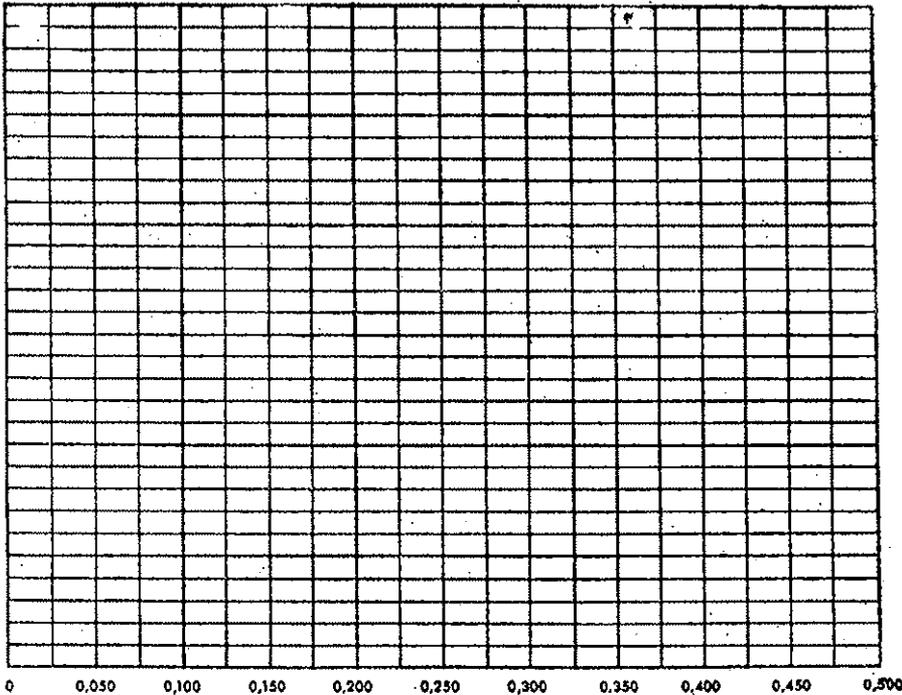
- 5.1. Apartado 3.1.1.—Esta cantidad de 30 kg. es la necesaria cuando el ensayo de compactación se hace en el molde de 1 l. Si por el contrario se hiciera en el molde de 2,318 l., habría que aumentar hasta unos 50 kg. la cantidad de muestra.
- 5.2. Apartado 3.2.1.—Cuando se hace el amasado manualmente, puede convenir en algunos casos tomar sólo 5 kg. (lo necesario para un molde) cada vez.

- 5.3. Apartado 3.3.1.—Para calcular la sobrecarga, se determina el espesor total de las capas que se han de construir por encima del suelo que se ensaya, bien por estimación o por el método de los índices de grupo, si se dispone de los datos necesarios. Cada 15 cm. de espesor equivalen a unas 10 libras de sobrecarga. La mínima sobrecarga será de 10 libras y los incrementos sucesivos se harán de 5 libras hasta obtener el valor más próximo al calculado. La sobrecarga empleada en el ensayo deducida del espesor de firme supuesto, no debe diferir de la deducida del espesor calculado a partir del C. B. R. obtenida al final del ensayo, en más de 10 libras.
- 5.4. Apartado 3.3.3.—Este tiempo puede reducirse cuando se trata de muestras arenosas cuya saturación se produce claramente antes de los cuatro días.
- 5.5. Apartado 3.5.2.—Cuando el suelo contiene material superior a 3/4", el ensayo de apisonado con el material sustituido se hará normalmente con el molde de 2,318 l. de capacidad. Por ello, la muestra que se deberá preparar en este caso, según 3.5.1., será de unos 50 kg.
- 5.6. En esta Norma se ha supuesto que el ensayo de compactación tipo es el Proctor Normal. Cuando en su lugar se utilice el Proctor Modificado, el procedimiento será el mismo, utilizando la humedad óptima y densidad máxima correspondientes a este ensayo (NLT-108/58). Los tres moldes que se preparan para penetrar, se compactarán en cinco capas con 12, 30 y 60 golpes por capa con la maza de 4,53 kg. y 45,7 cm. de caída.
- 5.7. Algunas veces puede ser interesante, e incluso necesario, obtener las curvas de variación del C. B. R. con las diferentes densidades para humedades de apisonado distintas. Este es el caso, por ejemplo, de suelos entumecibles, en los que puede ser necesario utilizar una humedad de apisonado distinta de la óptima para evitar cambios de volumen posteriores a la construcción del firme. El proceso a seguir es operar como se ha descrito anteriormente; la única diferencia es que entonces, al hacer el ensayo de apisonado, cada molde se sumergirá en agua y se someterá al ensayo de penetración. De esta forma se obtendrán los índices C. B. R. correspondientes a los cinco o seis moldes del ensayo de apisonado, cada uno de los cuales tendrá una humedad y una densidad diferentes. De estos puntos se podrá por interpolación obtener el haz de curvas mencionado que relaciona el C. B. R. con la densidad para cada grado de humedad de apisonado.

TRABAJO N.º DENOMINACION MUESTRA N.º

C. B. R. de laboratorio

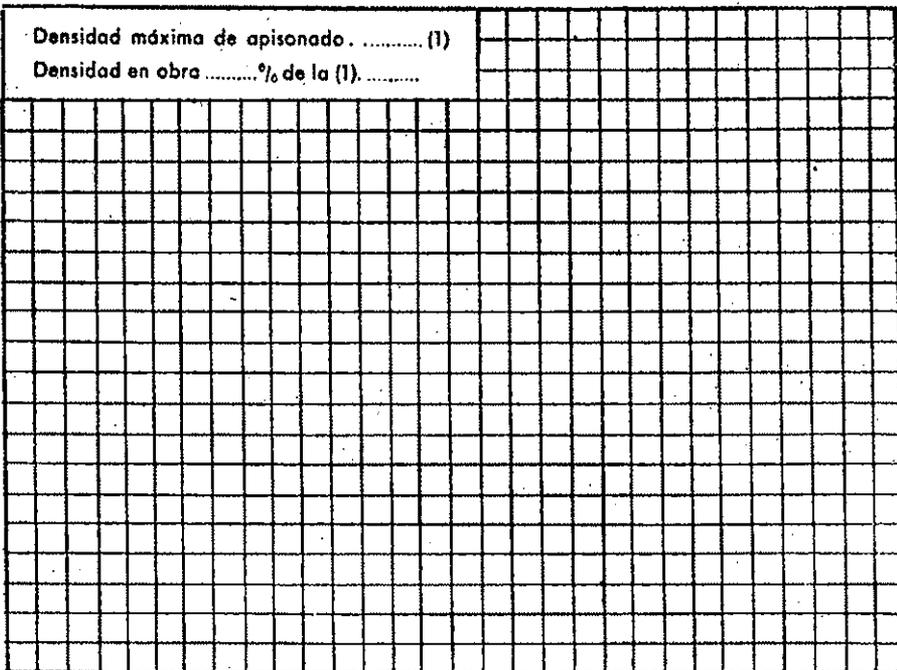
Lecturas del cuadrante de cargas.



Penetraciones en pulgadas.

Densidad máxima de apisonado (1)
Densidad en obra% de la (1)

Densidad.



Indice C. B. R.

Revisado:

Operador:

Fecha:

