

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE CBR DEL SUELO

La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Es un método desarrollado por la división de carreteras del Estado de California (EE.UU.) y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante, sub-base y base de pavimentos.

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material chancado.

La expresión que define al CBR, es la siguiente:

$$\text{CBR} = (\text{carga unitaria del ensayo} / \text{carga unitaria patrón}) * 100 (\%)$$

De la ecuación se puede ver que el número CBR, es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica el símbolo de (%) se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero.

Usualmente el número CBR, se basa en la relación de carga para una penetración de 2,5 mm. (0,1"), sin embargo, si el valor de CBR a una penetración de 5 mm. (0,2") es mayor, el ensayo debe repetirse. Si en un segundo ensayo se produce nuevamente un valor de CBR mayor de 5 mm. de penetración, dicho valor será aceptado como valor del ensayo. Los ensayos de CBR se hacen sobre muestras compactadas con un contenido de humedad óptimo, obtenido del ensayo de compactación Proctor.

Antes de determinar la resistencia a la penetración, generalmente las probetas se saturan durante 96 horas para simular las condiciones de trabajo más desfavorables y para determinar su posible expansión.

En general se confeccionan 3 probetas como mínimo, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 56, 25 y 10 golpes). El suelo al cual se aplica el ensayo, debe contener una pequeña cantidad de material que pase por el tamiz de 50 mm. y quede retenido en el tamiz de 20 mm. Se recomienda que esta fracción no exceda del 20%.

3.4.1. Método para muestras remoldeadas, según NCh 1852 Of. 1981.

- Equipo necesario.
- Aparato para medir la expansión (figura 3.15.), compuesto por una placa metálica provista de un vástago ajustable de metal con perforación de diámetro menor o igual a 1,6 mm.y un trípode metálico para sujetar el calibre comparador con indicador de dial.

Figura 3.15. Aparato para medir expansión. Fuente: ELE Internacional Ltda., 1993.

- Prensa de ensayo de capacidad mínima de 44 KN. y cabezal o base móvil a una velocidad de 1,25 mm/min para presionar el pistón de penetración en la probeta. Este equipo debe estar provisto de un dispositivo indicador de carga con lecturas de curso no menor que 50 mm.

- Molde metálico, cilíndrico de diámetro interior de $152,4 \pm 0,7$ mm. y altura de $177,8 \pm 0,1$ mm. Debe tener un collarín de extensión metálico de 50,8 mm. de altura y una placa base metálica de 9,5 mm. de espesor, con perforaciones de diámetro igual o menor que 1,60 mm. (figura 3.16. y 3.17).
- Disco espaciador metálico, cilíndrico, de 150,8 mm. de diámetro y 61,4 mm. de altura.
- Pisón metálico con una cara circular de $50 \pm 0,2$ mm. de diámetro y con una masa de 2500 ± 10 grs. La altura de caída debe ser 305 ± 2 mm. controlada por una guía tubular.
- Pistón de penetración metálico de $50 \pm 0,5$ mm. de diámetro y no menor que 100 mm. de largo.
- Calibre, compuesto por dos deformímetros comparadores con indicador de dial, de 0,01 mm. de precisión.
- Sobrecargas, una metálica anular y varias metálicas ranuradas con una masa de 2,27 kgs. cada una y 149,2 mm. de diámetro, con una perforación central de 54 mm. de diámetro.
- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110^\circ \pm 5^\circ$ C.
 - Herramientas y accesorios. Estanque lleno de agua, pailas o bandejas de mezcla, depósito de remojo, papel filtro, platos y tamices.

Figura 3.16. Molde CBR y accesorios. (ELE Internacional Ltda., 1993).

- Procedimiento
- Preparación de la muestra. Se prepara una muestra de tamaño

igual o superior a 56 kgs. Esta muestra deberá secarse al aire o en un horno, a una temperatura menor que 60° C, hasta que se vuelva desmenuzable. Además, se deberán disagregar los terrones evitando reducir el tamaño natural de las partículas.

La muestra se pasa por el tamiz de 20 mm. (3/4" ASTM) descartando el material retenido. Si es necesario mantener el porcentaje de material grueso del material original se deberá efectuar un reemplazo. Para esto se determina por tamizado el porcentaje del material que pasa por el tamiz de 50 mm. (2" ASTM) y queda retenido en el tamiz de 20 mm.

Figura 3.17. Secciones equipo CBR. Fuente: Valle Rodas R., 1982.

Se reemplaza dicho material por una masa igual de material que pasa por el tamiz de 20 mm. y queda retenido en el tamiz de 5 mm. tomada de la porción no utilizada de suelo original.

Una vez obtenida la muestra de ensayo, se selecciona una porción representativa de unos 35 kg. para realizar el ensayo de compactación Proctor. El resto de la muestra, se divide en tres porciones de unos 7 kg. cada una.

- Compactación de probetas CBR. Normalmente se compactan de tres a cinco probetas en un rango de 90 a 100% de la DMCS determinada según el ensayo Proctor. Cada porción de suelo, se debe mezclar con una cierta cantidad de agua para obtener la humedad óptima, si es necesario curar el suelo, debe colocarse dentro de un recipiente tapado para lograr una distribución uniforme de la humedad.

Una vez que se haya pesado el molde (Mm) y verificado su volumen (Vm), se coloca el disco espaciador sobre la placa base, se fija el molde con el collarín sobre la placa y se coloca un disco de papel filtro sobre el disco espaciador. Dentro del molde se compacta mediante 5 capas cada una de las porciones de suelo húmedo, utilizando para cada porción una energía de compactación distinta (Nº de golpes), de manera que la densidad a la cual se deseé determinar el CBR quede comprendida entre las densidades de dos probetas. Se compactarán con 56, 25 y 10 golpes respectivamente.

Al comienzo y al final de la compactación deberán tomarse 2 muestras representativas de suelo para calcular el contenido de humedad. En caso que las muestras no sean sumergidas, la humedad se determina concluída la penetración.

Finalizada la compactación, se retira el collarín y se enrasta el suelo al nivel del borde del molde, rellenando los huecos dejados por la eliminación del material grueso con material de menor tamaño. Se retiran la placa base perforada, el disco espaciador y se pesa el molde con el suelo compactado (W1).

– **Determinación de las propiedades expansivas del suelo.** Sobre la placa base perforada, se coloca un disco de papel filtro grueso y se ajusta el molde con el suelo compactado en forma invertida, de manera que el espacio formado por el disco espaciador quede en la parte superior.

En la superficie libre de la muestra, se coloca un disco de papel filtro grueso y sobre éste se coloca la placa metálica perforada provista de un vástago regulable. Sobre ésta placa se colocarán las sobrecargas, cuyo número deberá ser especificado o de lo contrario, se usará una sobrecarga mínima de 4,54 kgs., equivalente al peso de un pavimento de hormigón de 5 pulgadas de espesor.

A continuación se coloca todo el conjunto cuidadosamente dentro del estanque sin agua, sobre pequeños bloques metálicos o de otro material con el objeto de permitir el libre acceso del agua por debajo de la muestra. Se monta el trípode y se instala el comparador de dial de tal modo que su punta palpable quede tocando el vástago.

Luego, se llena el estanque con agua y se registra la lectura inicial del comparador de dial (Li). El tiempo de inmersión dependerá del tipo de saturación. Para un ensayo con saturación normal se deja el molde sumergido durante 96 horas, en cambio para un ensayo de saturación completa se dejará el tiempo necesario hasta que no haya más hincharamiento, lo que se comprueba cuando dos lecturas de dial efectuadas con 24 horas de intervalo difieren en menos de 0,03 mm. Durante todo el tiempo de inmersión el nivel de agua se debe mantener constante.

Registrada la lectura final del comparador de dial (Lf), se retira el trípode y se saca el molde del agua, para dejarlo drenar durante 15 minutos. Finalmente se retiran las sobrecargas, los discos de papel filtro y las placas perforadas para determinar el peso del molde más el suelo compactado y saturado (W2).

– **Determinación de la resistencia a la penetración.** Se lleva la probeta a la máquina de ensayo y se colocan sobre ella, una cantidad tal de cargas para reproducir una sobrecarga igual a la que supuestamente ejercerá el material de base y pavimento del camino proyectado (pero no menor que 4,54 kg.), redondeando a múltiplos de 2,27 kg. En caso de que la probeta haya sido sumergida, la carga será igual a la aplicada durante la inmersión.

Se apoya el pistón de penetración con una carga lo más pequeña posible (no debe exceder de 45 Newton) y se colocan los diales de lectura de tensión y deformación en cero. Esta carga inicial, se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón, pero debe considerarse como carga cero para la relación carga–penetración. La velocidad de carga aplicada al pistón de penetración será de 1,25 mm/min.

Se anotarán las lecturas de carga, en los siguientes niveles de penetración: 0,65 – 1,25 – 1,90 – 2,50 – 3,10 –

3,75 – 4,40 – 5,00 – 7,50 – 10,00 y 12,5 milímetros (o bien, 0,025 – 0,050 – 0,075 – 0,100 – 0,125 – 0,150 – 0,175 – 0,200 – 0,300 – 0,400 y 0,500 pulgadas).

Finalmente, se retira el total de la muestra de suelo del molde y se determina el contenido de humedad de la capa superior, con una muestra de 25 mm. de espesor. Si se desea determinar la humedad promedio, se deberá extraer una muestra que abarque el total de la altura del molde.

– **Cálculos y gráficos.**

– Calcular la densidad inicial de la muestra (g_i) antes de ser sumergida, mediante la siguiente expresión:

$$g_i = (W_1 - M_m) / V_m \text{ (gr./cc)}$$

donde:

W_1 = peso del molde más el suelo compactado (gr.)

M_m = peso del molde (gr.)

V_m = capacidad volumétrica del molde (cm³)

– Calcular la densidad saturada de la muestra (g_s) luego de ser sumergida, mediante la siguiente expresión:

$$g_s = (W_2 - M_m) / V_m \text{ (gr./cc)}$$

donde:

W_2 = peso del molde y el suelo compactado y saturado (grs.)

– Calcular la expansión de la muestra, como porcentaje de la altura inicial (%E), mediante la siguiente expresión:

$$\% E = E / 116,4 * 100 \text{ (\%)}$$

donde:

E = expansión en mm. (diferencia de lecturas del dial de deformación ($L_f - L_i$)))

116,4 = altura de la probeta en mm. (altura del molde menos altura del disco espaciador)

– Obtener la curva tensión contra deformación, graficando en la ordenada, las tensiones de penetración en megapascales (MPa) y en la abscisa la penetración en milímetros. En algunos casos la curva puede tomar inicialmente una forma cóncava hacia arriba, debido principalmente a irregularidades en la superficie de la probeta. Si esto ocurriera, el punto cero debe corregirse trazando una recta tangente a la mayor pendiente de la curva y se traslada el origen al punto en que la tangente corta la abscisa (figura 3.18.).

– Usando los valores de tensión (corregidos o no) tomados de las curvas tensión contra penetración, se calcula el CBR (%) para 2,5 mm. y 5 mm. de penetración dividiendo las tensiones normales por 6,9 MPa. y 10,3 MPa. respectivamente, multiplicándolas por 100. Se calcula también el CBR para la carga máxima si la penetración es menos que 5 mm. interpolando la tensión normal.

– Usando los datos obtenidos anteriormente de las tres probetas, se dibuja la curva CBR contra densidad seca

(si se trata de suelos granulares, se graficará la curva solo con la penetración de 5 mm.; en cambio para suelos arcillosos, se graficarán la de 2,5 y 5 mm. de penetración). Con ella se puede determinar el CBR correspondiente a una densidad seca preestablecida (figura 3.19.).

– Observaciones.

- En suelos plasticos, el tiempo de curado no debe ser menor que 24 horas, en cambio en suelos de baja plasticidad el plazo puede ser menor e incluso eliminarse.
- Si la densidad a la cual se requiere el CBR, es menor que la obtenida mediante 10 golpes de pisón, se compacta la probeta con menor energía de compactación.
- Si la muestra de suelo proviene de zonas desérticas en que se asegure que las precipitaciones anuales son inferiores a 50 mm. o no nieva, se puede eliminar la inmersión.
- En suelos finos o granulares que absorben fácilmente humedad, se permite un período de inmersión más corto, pero no menor de 24 horas, ya que se ha demostrado que con este período de tiempo, no se verán afectados los resultados.
- Para suelos del tipo A-3, A-2-5, y A-2-7, el procedimiento a aplicar (inmersión o no), debe quedar a criterio del ingeniero responsable del estudio.
- Para suelos del tipo A-4, A-5, A-6, A-7, cuando el CBR en 5 mm. es mayor que en 2,5 mm., se debe confirmar con información obtenida con ensayos previos, o bien repetir el ensayo. Si los ensayos previos o el ensayo de chequeo entregan un resultado similar, emplear la razón de soporte de 5 mm. de penetración.
- Para suelos del tipo A-1, A-2-4, y A-2-6, se calcula el CBR sólo para 5 mm. de penetración.
- En la tabla 3.20. se indican rangos de valores de CBR, con una clasificación y posibles uso como material de construcción.

Figura 3.18. Gráfico de corrección de curva.(NCh 1852 Of. 1981).

Figura 3.19. Gráfico de determinación de CBR (NCh 1852 Of. 1981).

CBR Clasificación cualitativa del suelo Uso

2 – 5 Muy mala Sub-rasante

5 – 8 Mala Sub-rasante

8 – 20 Regular – Buena Sub-rasante

20 – 30 Excelente Sub-rasante

30 – 60 Buena Sub-base

60 – 80 Buena Base

Figura 3.20. Tabla de clasificación y uso del suelo según el valor de CBR. Fuente: Assis A., 1988.

3.4.2. Método para muestras inalteradas. Mediante este método, se determina el CBR de un suelo cohesivo en estado natural. Se diferencia del anterior sólo en la toma de muestras, ya que los pasos para determinar las propiedades expansivas y la resistencia a la penetración son similares.

Se tomarán tres muestras inalteradas, empleando para ello moldes CBR armados en los extremos de su respectivo collarín. Para facilitar el hinchamiento del molde, el collarín que se apoya sobre la superficie del terreno tendrá sus bordes cortantes.

El procedimiento consiste en ir comprimiendo o hincando el molde contra la superficie del terreno y al mismo tiempo retirando el suelo de alrededor del molde, hasta que la muestra de suelo entre en el collarín superior por lo menos 25 mm., cuidando reducir al mínimo las perturbaciones de la muestra.

Finalmente, se retira el molde realizando un movimiento como cortando el suelo, se retira el collarín superior, se enrasan ambas caras de la muestra y se les vierte parafina sólida derretida con el fin de evitar pérdidas de humedad en el traslado al laboratorio. El peso unitario y la humedad deberán ser determinados por medio del ensayo de densidad in situ, eligiendo un lugar próximo a aquel desde donde se obtuvieron las muestras.

3.4.3. Método CBR in situ. Es un método adecuado para determinar la capacidad de soporte de un material en el lugar donde será sometido a las solicitudes de la estructura que soportará. Debería realizarse cuando se presenten materiales dudosos y en movimientos de tierra importantes. Básicamente la fase de penetración de este ensayo es similar a la descrita anteriormente.

Lo usual es determinar primero la densidad in situ del material en el lugar de ensayo, el cual puede ser usado bajo cualquiera de las siguientes condiciones:

- cuando in situ la densidad y el contenido de agua son tal que el grado de saturación es de un 80% o superior,
- cuando el material es de granos gruesos y su cohesión es tal que no se vea afectado por cambios en la humedad o
- cuando el material ha estado en el lugar por varios años. En estos casos La humedad no es constante pero fluctúa dentro de rangos estrechos y el ensayo CBR in situ se considera como un indicador satisfactorio de la capacidad de soporte del suelo.

Por lo general se elige un lugar donde no haya piedras mayores a 3/4", deberá removese el material suelto y nivelar la superficie, luego se coloca un sistema de reacción montando un gato, con anillo dinamométrico y pistón, en forma vertical, aplicando la reacción con un vehículo cargado u otro sistema (figura 3.21.). En caso de que el pistón sea colocado en forma horizontal, la reacción será dada por la pared contraria del pozo construido para este efecto.

Se colocan los anillos de sobrecarga directamente al suelo y se carga el pistón al suelo con una fuerza menor que 4,54 kg. Se debe instalar un dial comparador para registrar las lecturas de deformaciones, en un punto que permanezca constante e inmóvil (por ejemplo una viga empotrada al suelo en poyos de hormigón).

La penetración se realiza en forma similar al ensayo tradicional y el ensayo se repite en otros dos puntos escogidos con anterioridad. La forma de expresar los resultados también es idéntica al método de laboratorio, es decir, trazando la curva tensión contra penetración, corrigiendo la curva si fuese necesario y calculando el CBR in situ, usando los valores de penetración de 0,1" y 0,2".

Figura 3.21. Ensayo CBR in situ (ELE Internacional Ltda., 1993).

UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO ESCUELA DE INGENIERIA EN CONSTRUCCION
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
Proyecto : Ubicación : Descripción del suelo : Condición de la muestra : inalterada – remoldeada Humedad natural (%) : Fecha de muestreo : Fecha de ensayo :

Características de la muestra

Diámetro del molde (cm) : Altura de la muestra (cm) : Volumen de la muestra (cm³) : Número de capas :
Número de golpes por capa : Peso del pisón (kgs) : Peso de la muestra (grs) : Reemplazo (grs) :
Reemplazo (%) :

Determinación de la densidad

Probeta Nº 1 2 3

Humedad de compactación (%)

Peso del molde

Peso del molde + suelo húmedo

Peso del suelo húmedo

Densidad húmeda (grs / cm³)

Densidad seca (grs / cm³)

Saturación

Fecha y Tiempo Sobrecarga :_____Kg Sobrecarga :_____Kg Sobrecarga :_____Kg

hora (hrs) Lect. dial Expansión Lect. dial Expansión Lect. dial Expansión

Después de la saturación

Probeta Nº 1 2 3

Peso suelo húmedo final

Aqua Absorbida

% agua absorbida

Humedad final (%)

Humedad promedio (%)

Volumen de suelo

Densidad húmeda final (grs / cm³)

Densidad seca final (grs / cm³)

Aplicación de cargas

Penetración (mm) Probeta N° 1 Sobrecarga : _____ kg Probeta N° 2 Sobrecarga : _____ kg Probeta N° 3 Sobrecarga : _____ kg

Lect. dial Presión Lect. dial Presión Lect. dial Presión

0

0,65

1,25

1,90

2,50

3,10

3,75

4,40

5,00

7,50

10,00

12,50

% Humedad después de la aplicación de cargas

Probeta N° 1 2 3

1/3 superior del molde

1/3 medio del molde

1/3 inferior del molde

Humedad promedio (%)

Probeta Nº Penetración Presión (de gráfico 1) Carga patrón % CBR (para gráfico 2)

(Pulg.) (mm.) (MPa) (MPa) Presión / Carga patrón

1 0,1" 2,54 6,9

10 golpes 0,2" 5,08 10,3

2 0,1" 2,54 6,9

25 golpes 0,2" 5,08 10,3

3 0,1" 2,54 6,9

56 golpes 0,2" 5,08 10,3

Gráfico (1) presión aplicada contra penetración

Presión aplic.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 12.5 Penetración (mm)

Gráfico (2) % CBR contra densidad seca

% CBR

Densidad seca (grs / cm³)

Razón de Soporte de California (CBR) = Densidad seca (gd) =

Observaciones :