

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 1. SUELOS Y MATERIALES PARA TERRACERÍAS

TÍTULO: 12. Valor Soporte de California (CBR) en el Lugar

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para determinar, en el lugar, el Valor Soporte de California (CBR), de los materiales que conforman las terracerías compactadas a que se refieren las Normas N·CMT·1·01, *Materiales para Terraplén*, N·CMT·1·02, *Materiales para Subyacente* y N·CMT·1·03, *Materiales para Subrasante*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar el Valor Soporte de California (CBR) en el lugar, de las terracerías compactadas cuando estén constituidas por suelos finos según la clasificación establecida en el Manual M·MMP·1·02, *Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos*, que se utiliza para diseñar o verificar los espesores del pavimento. La prueba consiste en introducir un pistón de penetración de acero en la terracería compactada; la relación en porcentaje de la carga aplicada para producir una penetración de 2,54 mm entre una carga de referencia de 13,97 kN (1 425 kg), será el CBR correspondiente.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Materiales para Terraplén	N·CMT·1·01
Materiales para Subyacente	N·CMT·1·02
Materiales para Subrasante	N·CMT·1·03
Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos	M·MMP·1·02
Grado de Compactación	M·MMP·1·10

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

D.1. EQUIPO PORTÁTIL DE CARGA

Como el mostrado en la Figura 1 de este Manual, compuesto por:

- D.1.1.** Un gato de carga, mecánico o hidráulico, con cabeza giratoria, de 25 kN (2,55 t) de capacidad mínima y por lo menos 50 mm de carrera, capaz de proveer una penetración constante de 1,27 mm/min.
- D.1.2.** Dos anillos de medición de carga calibrados, con capacidades de 8,8 kN (900 kg) y 22,6 kN (2 300 kg) como mínimo, provistos con un extensómetro de 5 mm de carrera mínima, con aproximación de 0,001 mm y carátula ajustable a ceros.



FIGURA 1.- Equipo portátil de carga

- D.1.3.** Un pistón de penetración de acero, con sección circular de $50,8 \pm 0,1$ mm de diámetro y aproximadamente 100 mm de longitud.
- D.1.4.** Un juego de barras de extensión de acero, atornillables, de aproximadamente 50,8 mm de diámetro, para conectar el pistón de penetración con el sistema de medición de cargas, constituido preferentemente por dos barras de 40 mm, dos de 100 mm y ocho de 300 mm de longitud, u otra combinación que permita obtener diferentes longitudes totales, hasta de 2,4 m.
- D.1.5.** Un sistema de sujeción y apoyo del equipo portátil de carga al chasis del vehículo lastrado a que se refiere la Fracción D.4. de este Manual, como puede ser una viga I de $152,4 \times 84,6$ mm, con masa de 18,6 kg/m y longitud de aproximadamente 2 m, y los adaptadores necesarios para el montaje y fijación de todos los elementos del equipo portátil de carga.
- D.1.6.** Un extensómetro para medir la penetración, de 25 mm de carrera mínima, con aproximación de 0,01 mm y carátula ajustable a ceros; provisto de una abrazadera con varillas de extensión y dispositivo giratorio, para acoplarlo al pistón de penetración y acomodarlo para apoyar su vástago sobre un puente de referencia que tenga una longitud de aproximadamente 1,5 m, que puede ser un perfil de aluminio, acero o madera, con patas en sus extremos, lo suficientemente rígido como para no doblarse por su peso o al empuje del vástago.
- D.1.7.** Un cronómetro o reloj con aproximación de 1 s.

D.2. PLACA DE CARGA

Placa circular de acero, con diámetro de $25,4 \pm 0,05$ cm, que tenga un orificio central de $5,08 \pm 0,05$ cm de diámetro y una masa de $4,54 \pm 0,02$ kg.

D.3. PLACAS DE SOBRECARGA

Cuatro placas circulares de acero, con diámetro de $21,6 \pm 0,1$ cm, que tengan un orificio central de $5,08 \pm 0,05$ cm de diámetro, dos de ellas con una masa de $4,54 \pm 0,02$ kg cada una y dos con una masa de $9,08 \pm 0,02$ kg. Para facilitar su colocación, estas placas pueden tener una ranura con un ancho igual que el diámetro del orificio central, que comunique a dicho orificio con el perímetro exterior de la placa.

D.4. VEHÍCULO LASTRADO

Un camión u otro vehículo pesado para ser utilizado como dispositivo de reacción del equipo portátil de carga, lastrado hasta obtener una masa total suficiente para producir una reacción de aproximadamente 31 kN (3 160 kg) y provisto de dos gatos mecánicos o hidráulicos, con suficiente capacidad para levantar el chasis del vehículo con el propósito de evitar el efecto de sus muelles.

D.5. EQUIPO AUXILIAR

Nivel de burbuja, palas de forma rectangular, pico, barreta y manta con dimensiones semejantes a las de la superficie donde se efectúe la prueba.

E. PREPARACIÓN DE LOS SITIOS DE PRUEBA

La prueba se ejecuta introduciendo el pistón de penetración en tres sitios que disten entre sí no menos de 15 cm. Cada sitio de prueba se prepara como se indica a continuación y se ilustra en la Figura 2 de este Manual:

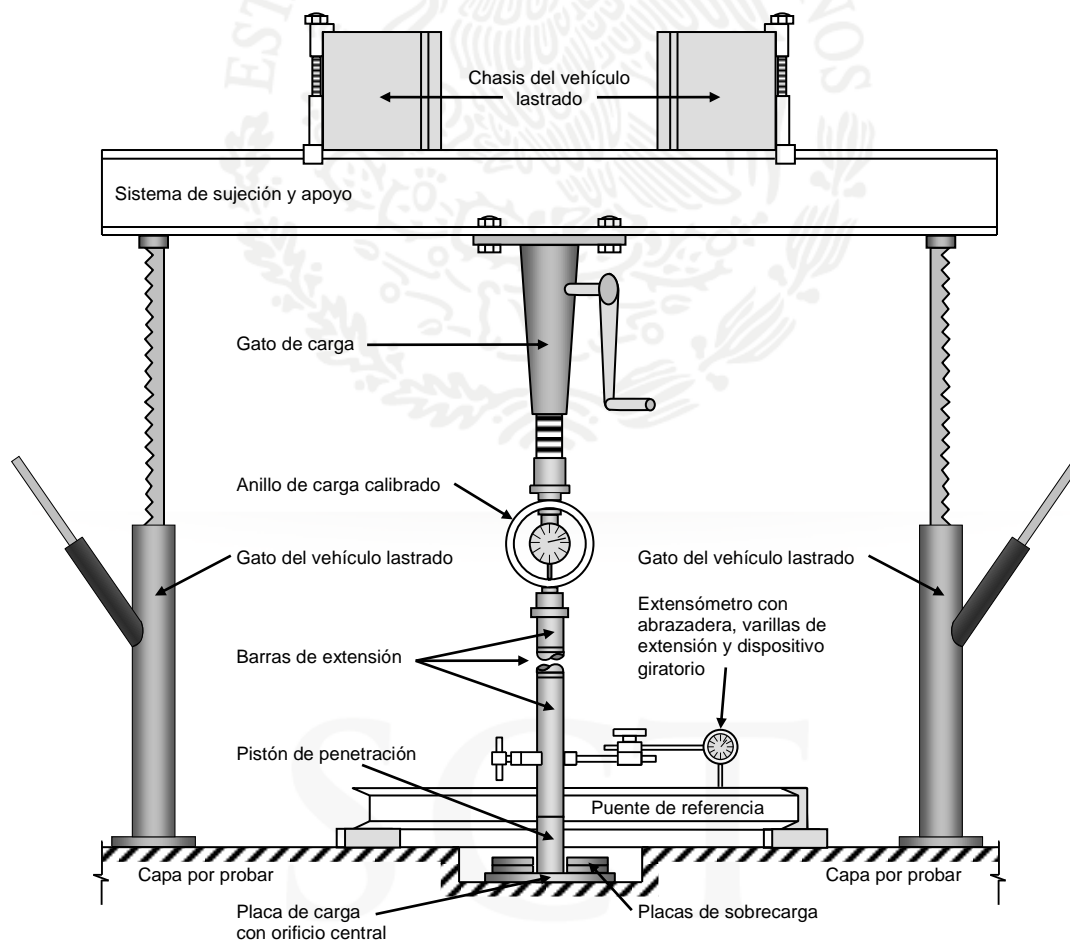


FIGURA 2.- Instalación del equipo portátil de carga para efectuar la prueba de Valor Soporte de California (CBR) en el lugar

- E.1. Se deja al descubierto la capa que se va a estudiar, eliminando de su superficie todo el material suelto o seco que no sea representativo del material por probar, en un área de forma sensiblemente rectangular cuya dimensión menor tenga 50 cm, aproximadamente. Esta superficie se perfila horizontalmente de tal manera que no presente salientes mayores de 2 cm y a continuación se cubre con una manta húmeda para evitar que el material pierda agua por evaporación.
- E.2. Inmediatamente después se coloca convenientemente sobre el sitio de prueba el vehículo lastrado que se utilice como dispositivo de reacción, haciendo descansar su chasis sobre los gatos destinados para ello o sobre piezas de madera apoyadas en el terreno. Si se utiliza como sistema de sujeción y apoyo del equipo portátil de carga la viga I a que se refiere el Inciso D.1.5. de este Manual, el chasis puede levantarse con la viga, apoyando en ella los gatos del vehículo.

- E.3.** Se montan y fijan al vehículo lastrado, mediante el sistema de sujeción y apoyo, el gato de carga, el anillo de carga calibrado que corresponda según la magnitud del Valor Soporte de California (CBR) que se espere y la primera barra de extensión. Con el nivel de burbuja y mediante los gatos del vehículo, se nivela el sistema para garantizar la verticalidad del equipo portátil de carga.
- E.4.** Se retira la manta húmeda, se coloca en el sitio de prueba la placa de carga de $25,4 \pm 0,05$ cm de diámetro con orificio central y encima de ésta se colocan las placas de sobrecarga para producir una presión equivalente a la que inducirá el peso propio de las capas de material que se estime vayan a construirse sobre la superficie de prueba. La sobrecarga mínima será la de la placa de carga más una placa de sobrecarga de $9,08 \pm 0,02$ kg.
- E.5.** Se concluye la instalación del equipo portátil de carga en posición vertical, haciendo pasar el pistón de penetración a través de los orificios de las placas citadas en la Fracción anterior.
- E.6.** Se instala el puente de referencia. Con la abrazadera y sus varillas de extensión, se fija el extensómetro a que se refiere el Inciso D.1.6. de este Manual, al equipo portátil de carga y se acomoda sobre el puente de referencia.

F. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Una vez preparado el primer sitio de prueba, la penetración se efectúa como siguiente:

- F.1.** Se aplica una carga inicial del orden de 43 N (4,38 kg) e inmediatamente después, sin retirar la carga, se ponen en ceros las carátulas de los extensómetros del anillo de medición y del que se utilice para medir el desplazamiento vertical del pistón de penetración.
- F.2.** Se aplica la carga de forma que el pistón de penetración se introduzca en el material con una velocidad uniforme de aproximadamente de 1,27 mm/min, leyendo y registrando las cargas aplicadas para obtener cada una de las penetraciones indicadas en la Tabla 1 de este Manual, con aproximación de 10 N (1,02 kg).

TABLA 1.- Relación de tiempo - penetración

Lecturas	Tiempo min:s	Penetración mm
Primera	1:00	1,27
Segunda	2:00	2,54
Tercera	3:00	3,81
Cuarta	4:00	5,08
Quinta	6:00	7,62

- F.3.** Concluida la penetración, se amplía la parte descubierta de la capa en estudio y se repite el procedimiento descrito en la Cláusula E. y en las Fracciones F.1. a F.2. de este Manual, hasta concluir las penetraciones en tres sitios de prueba, que disten entre sí no menos de 15 cm.

G. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Para cada penetración se procede como sigue:

- G.1.** Se representan gráficamente las cargas determinadas, como se indica a continuación:

- G.1.1.** En una gráfica como la que se muestra en la Figura 3, en la que en el eje de las abscisas se indican las penetraciones y en el de las ordenadas las cargas, se marcan los puntos correspondientes a cada una de las determinaciones a las que se refiere la Fracción F.2. de este Manual, los que se unen con una línea continua que no presente cambios bruscos de pendiente. Una curva como la "F", dibujada con línea discontinua en la Figura 3, indicará que la penetración no estuvo bien efectuada, por lo que se repetirá en un lugar que diste no menos de 15 cm del sitio donde se efectuó la penetración fallida.

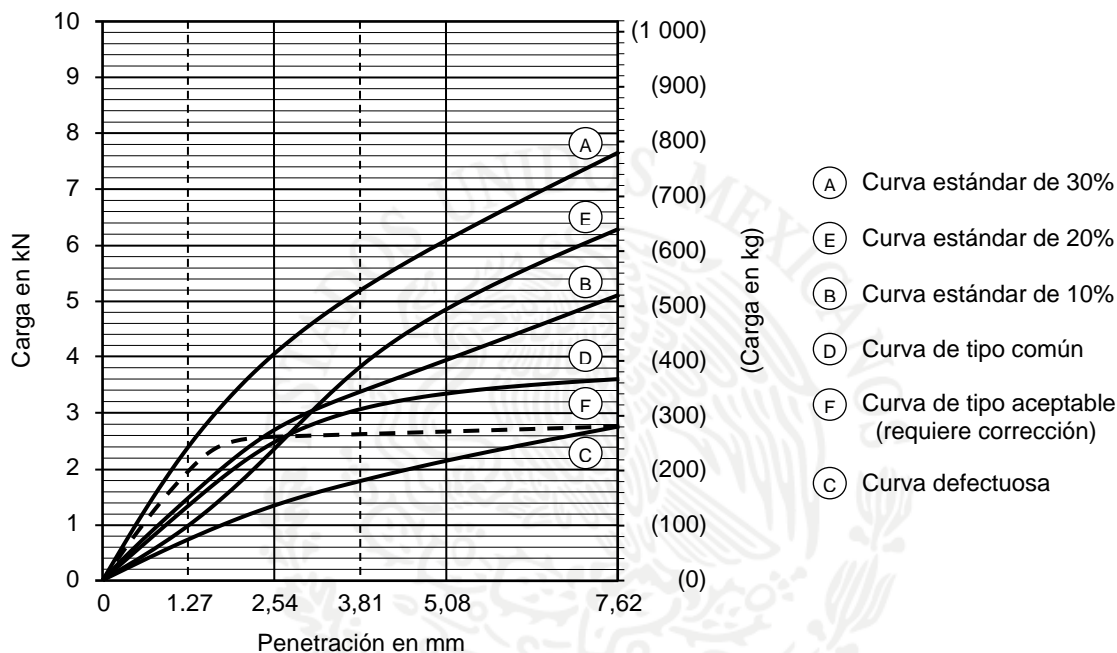


FIGURA 3.- Curvas típicas de carga-penetración

- G.1.2.** Se registra la carga $C_{2,54}$ correspondiente a la penetración de 2,54 mm, con aproximación de 10 N (1,02 kg). Este valor corresponderá a la carga con la que se determina el Valor Soporte de California (CBR).
- G.1.3.** En los casos en que el inicio de la curva presente una concavidad hacia arriba, como la curva “E” que se muestra en la Figura 3, se efectúa una corrección como se ilustra en la Figura 4 de este Manual, trazando una tangente en el punto de inflexión (PI), hasta cortar el eje de las abscisas en el punto que se designa como O' , el cual se tomará como nuevo origen de las penetraciones y a partir de él se marca el punto $P_{2,54}$, correspondiente a la penetración de 2,54 mm; la ordenada $C_{2,54}$, representa la carga corregida para dicha penetración, en kN, que se tomará como la carga $C_{2,54}$ correspondiente.
- G.2.** Se repite el procedimiento descrito en la Fracción G.1. de este Manual, hasta contar con las determinaciones de la carga $C_{2,54}$, aplicada o corregida, para cada una de las penetraciones realizadas en los tres sitios de prueba. Dichas cargas cumplirán con los siguientes criterios de aceptación:
- G.2.1.** Cuando en dos de las tres determinaciones se obtengan cargas menores de 1,47 kN (150 kg), la diferencia entre las cargas mínima y máxima será menor de 0,29 kN (30 kg).
 - G.2.2.** Cuando en dos de las tres determinaciones se obtengan cargas comprendidas entre 1,47 y 4,41 kN (150 y 450 kg), la diferencia entre las cargas mínima y máxima será menor de 0,69 kN (70 kg).
 - G.2.3.** Cuando en dos de las tres determinaciones se obtengan cargas comprendidas entre 4,41 y 7,85 kN (450 y 800 kg), la diferencia entre las cargas mínima y máxima será menor de 1,37 kN (140 kg).
 - G.2.4.** Para cargas superiores a 7,85 kN (800 kg) se considera que no tienen importancia las variaciones en las lecturas individuales.
 - G.2.5.** En el caso de que las tres primeras determinaciones de la carga $C_{2,54}$, aplicada o corregida, no cumplan con los criterios de aceptación indicados en los Incisos G.2.1. a G.2.3., se efectuarán otras tres penetraciones en la misma área descubierta, a no menos de 15 cm de los sitios donde se efectuaron las penetraciones anteriores, tomándose en cuenta los resultados de las seis determinaciones para el cálculo del Valor Soporte de California (CBR) en el lugar, según se indica en la Fracción G.4. de este Manual.

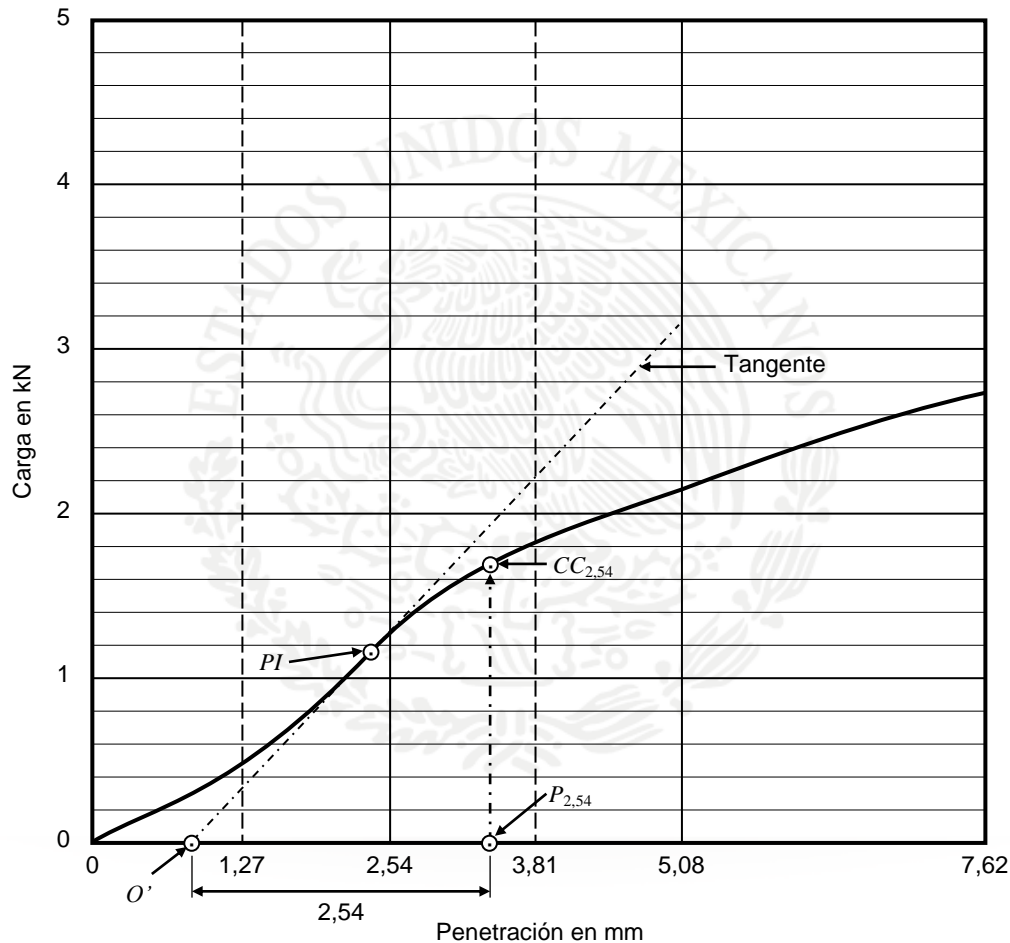


FIGURA 4.- Corrección a la curva carga-penetración

- G.3.** Con objeto de tener mayor información sobre las condiciones del material, bajo las cuales se llevó a cabo la determinación del Valor Soporte de California (CBR) en el lugar, se determina el grado de compactación en el sitio preparado para efectuar las penetraciones citadas, siguiendo el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-1-10, *Grado de Compactación*.
- G.4.** El Valor Soporte de California (CBR) en el lugar, se calcula, con aproximación a la unidad, mediante la siguiente expresión:

$$CBR = \frac{100C'_{2,54}}{13,97}$$

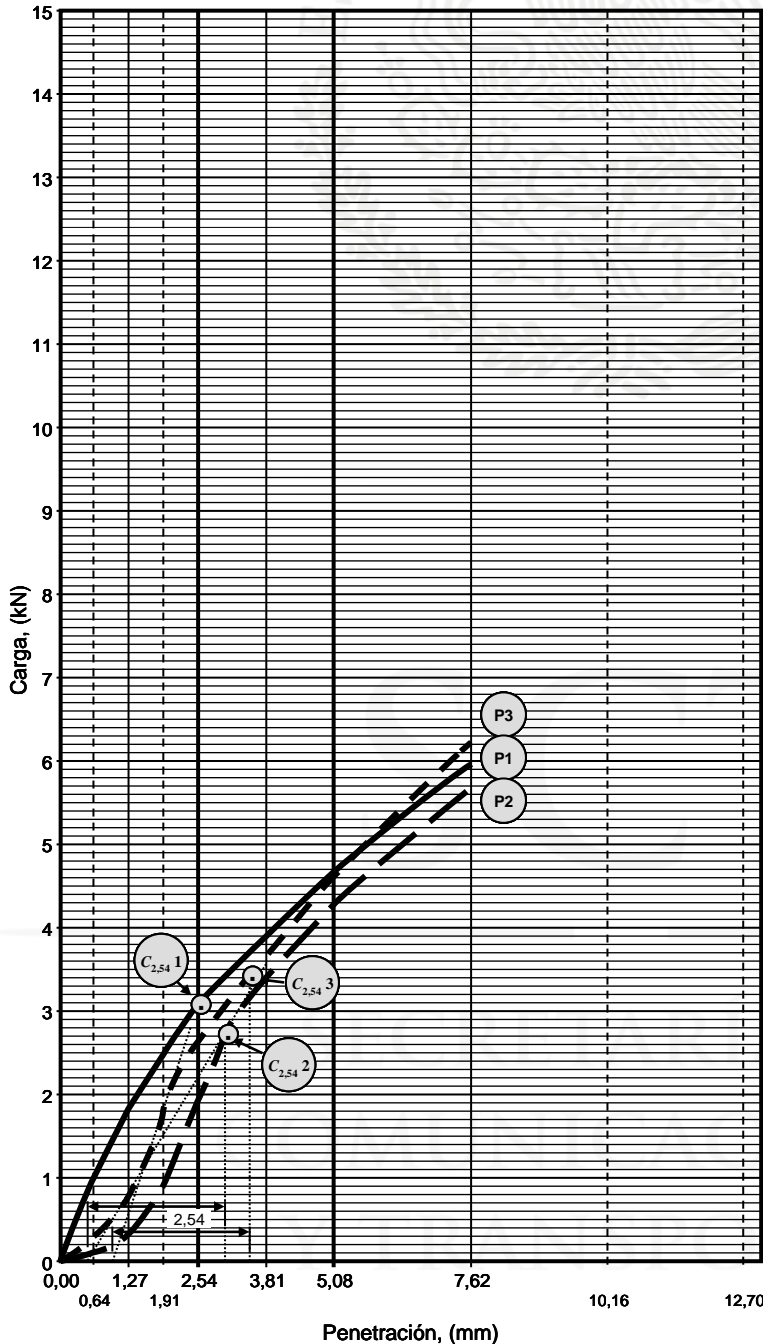
Donde:

- CBR = Valor Soporte de California en el lugar de la capa estudiada, expresado como un porcentaje de la carga de referencia de 13,97 kN (1 425 kg)
- $C'_{2,54}$ = Promedio de las tres determinaciones de la carga $C_{2,54}$, (kN). Para el caso mencionado en el Inciso G.2.5. de este Manual, $C'_{2,54}$ será el promedio de las seis determinaciones de la carga $C_{2,54}$.

- G.5.** Todos los cálculos y resultados de esta prueba de Valor Soporte de California (CBR) en el lugar, se reportan en el formato mostrado en la Figura 5 de este Manual.

PRUEBA DE VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA EN EL LUGAR

OBRA: _____	FECHA: _____
LOCALIZACIÓN: _____	PRUEBA No.: _____
TRAMO: _____	OPERADOR: _____
SUBTRAMO: _____	CALCULÓ: _____
ORIGEN: _____	_____
UBICACIÓN DE LA PRUEBA: <u>Km 37+271,50 a 7.30 m a la derecha del eje</u>	
CAPA: <u>Subrasante</u>	
DESCRIPCIÓN: <u>Arena arcillosa con 30% aproximadamente de grava (SC)</u>	



Masa volumétrica seca (γ_d) = 1 482 kg/m³
 Contenido de agua (w) = 19,8 %
 Grado de compactación (G_c) = 98 %

Penetración (mm)	Cargas de penetración (kN)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
0,64						
1,27	1,84	0,32	0,74			
1,91						
2,54	3,07	1,88	2,68			
3,81	3,91	3,39	3,64			
5,08	4,67	4,26	4,61			
7,62	5,96	5,66	6,21			
10,15						
12,70						
$C_{2,54}$	3,07	2,73	3,41			
Promedio $C'_{2,54}$	3,07					
CBR (%)	22					

$$CBR = \frac{100 \cdot C'_{2,54}}{13,97}$$

OBSERVACIONES: _____

FIGURA 5.- Hoja de registro y cálculo del Valor Soporte de California (CBR) en el lugar

H. PRECAUCIONES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observarán las siguientes precauciones:

- H.1.** Que la superficie de prueba haya sido debidamente acondicionada.
- H.2.** Que el equipo portátil de carga esté correctamente alineado en posición vertical inmediatamente antes de la aplicación de las cargas.
- H.3.** Que al instalar el extensómetro, el puente de referencia en que se apoye su vástago esté correctamente asentado en el terreno.
- H.4.** Que una vez preparado el sitio de prueba, el material no pierda humedad antes de iniciarse la penetración.
- H.5.** Que en la determinación de las cargas se tomen en cuenta las variaciones que los anillos calibrados sufran con los cambios de temperatura.
- H.6.** Que las lecturas de las cargas en el extensómetro del anillo de medición de carga, se tomen a las penetraciones establecidas en los tiempos previstos, que se indican en la Tabla 1 de este Manual.


SCT

**SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES**