

U.M.S.N.H.

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

TESIS:

**“ CORRELACIÓN DE VALORES DE COMPACTACIÓN
ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR . ”**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

NARDA ELIZABETH CALDERON SAHUER

ASESOR:

M. EN I. JULIO CHAVEZ CARDENAS

COASESOR:

ING. DANIEL TENA HERNANDEZ

ENERO DEL 2006 MORELIA, MICHOACAN

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO 1.	
1.- ANTECEDENTES	2
CAPITULO 2.	
2.- IMPORTANCIA DE LA COMPACTACION EN LOS PAVIMENTOS.	
2.1.1.- La naturaleza del suelo.	3
2.1.2.- El método de compactación.	5
2.1.3.- La energía específica.	7
2.1.4.- El contenido de agua del suelo.	10
2.1.5.- El sentido en que se recorra la escala de humedades al efectuar la compactación.	25
2.1.6.- El contenido de agua original del suelo.	36
2.1.7.- La recompactacion.	38
2.1.8.- La temperatura.	38
2.1.9.- Otros factores.	42
2.2.- La curva de compactación.	45
2.3.- Procesos de compactación de campo.	47
2.3.1.- Compactadores por amasado. Rodillos pata de cabra.	51
2.3.2.- Compactación por presión. Rodillos lisos y neumáticos.	52
2.3.3.- Compactación por impacto.	53
2.3.4.- Compactación por vibración.	55

CAPITULO 3.

3.- PRUEBAS USUALES EN LA COMPACTACION DE SUELOS.

3.1.1.- Pruebas por amasado.	58
3.1.2.- Pruebas por impacto.	60
3.1.3.- Pruebas por vibración.	62
3.1.4.- Pruebas experimentales.	63

CAPITULO 4.

4.- PRUEBA PORTER

4.1.1.- Prueba porter para suelos gravosos.	78
4.1.2.- Prueba porter para suelos arenosos.	85
4.1.3.- Prueba porter para suelos limosos.	90
4.1.4.- Prueba porter para suelos arcillosos.	98

CAPITULO 5.

5.- PRUEBA PORTER

5.1.1.- Prueba proctor variante A.	100
5.1.2.- Prueba proctor variante B.	102
5.1.3.- Prueba proctor variante C.	105
5.1.4.- Prueba proctor variante D.	115

CAPITULO 6.

6.- DISEÑO DEL EXPERIMENTO

6.1.1.- Normas ASTM.	116
6.1.2.- Prueba proctor – porter estándar.	117
6.1.3.- Prueba experimental.	117

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	118
BIBLIOGRAFIA	119

CORRELACIÓN DE VALORES DE COMPACTACIÓN ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR .

1.- ANTECEDENTES

Desde un principio el problema de la compactación de suelos resulta ligado al de control de calidad de los trabajos de campo, ya que siempre después de realizar un proceso de compactación es necesario verificar si con él se lograron los fines propuestos.

Para medir la resistencia, la compresibilidad, las relaciones esfuerzo-deformación, la permeabilidad o la flexibilidad de los suelos se requieren pruebas relativamente especializadas y costosas que, además, suelen requerir un tiempo de ejecución demasiado largo.

La compactación ha figurado entre las técnicas de construcción desde las épocas más remotas de que se tiene noticia, si bien en la antigüedad su aplicación no era general ni sistemática. Los métodos de apisonado por el paso de personas o animales se utilizaron en épocas muy lejanas, como por ejemplo en la construcción de grandes obras hidráulicas en diversas partes de Asia.

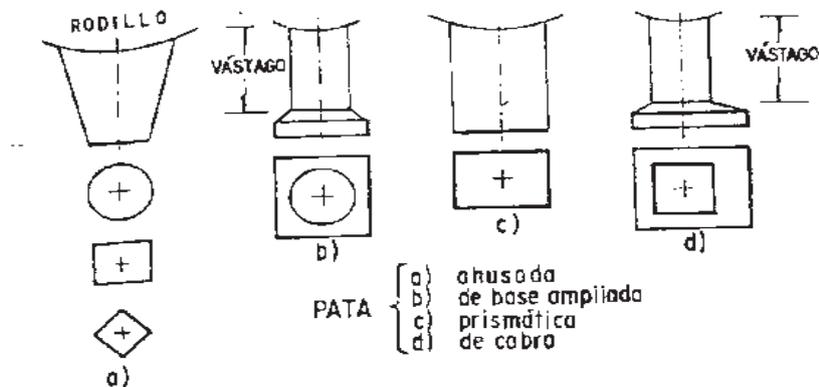
Los mayas utilizaron un antiguo rodillo de compactación (según la opinión autorizada del historiador Silvanos G. Morley) para la construcción de la importante red de caminos que unía los principales centros ceremoniales de lo que hoy son el estado de Yucatán y el territorio de Quintana Roo. Estos rodillos medían 4 m, con un diámetro de 54 cm y un peso aproximado de 65 ton, por lo cuál es probable que su empleo requiriera de 15 hombres.



Rodillo de piedra que parece haber sido usado por los antiguos mayas para compactar sus caminos.

El desarrollo de las modernas técnicas de compactación tuvo lugar en los últimos años del siglo pasado y en los primeros del presente,

principalmente en Estados Unidos. En 1906 apareció el rodillo pata de cabra de Fitzgerald, de 2000 kg de peso.



Tipos usuales de patas de rodillo pata de cabra.

En 1928 y 1929, O. J. Porter desarrolló en la división de carreteras de California las investigaciones básicas de laboratorio que permitieron el inicio de la aplicación razonada de las técnicas de compactación a la construcción de carreteras.

En 1933, Proctor comenzó a producir los importantes trabajos que hicieron posibles muchas de las técnicas de uso actual.

Con posterioridad a estas épocas, ha sido explosivo el desarrollo de equipos de compactación. En rigor, la compactación es uno de los varios medios de que hoy se dispone para mejorar la condición de un suelo que haya de usarse en construcción; es, además, uno de los más eficientes y de aplicación más universal.

1.2.- INTRODUCCIÓN

Compactación de suelos es el proceso mecánico por el cuál se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación de los mismos, por reducción de los vacíos debido a lo cual en el suelo ocurren cambios de volumen de importancia, ligados a pérdida de volumen de aire. No todo el aire sale del suelo, por lo que la condición de un suelo compactado es la de un suelo parcialmente saturado.

Es el proceso mecánico por medio del cuál se reduce el volumen de los materiales en un tiempo relativamente corto, con el fin de que resistan las cargas y tengan una relación esfuerzo-deformación conveniente durante la vida útil de la obra.

En la compactación, el volumen del suelo se reduce mediante maquinaria especializada. El cambio se presenta principalmente por la reducción del volumen de aire que tiene el material, al darle cierto número de pasadas con el equipo adecuado; el tiempo se mide en horas.

1.3.- OBJETIVO

El objetivo principal de la compactación es obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra.

La compactación resulta ser un proceso de objetivos múltiples y ello propicia a la complicación en el sentido de que las acciones que se emprendan para cumplir con uno pudieran afectar a algún otro. Por ejemplo, en términos generales puede ser cierto que una compactación intensa produce un material muy resistente, pero sin duda muy susceptible al agrietamiento; en este aspecto circunstancial y temporal pueden multiplicarse mucho los ejemplos de contradicciones pues un suelo muy compacto podrá en general, absorber mucho agua si se dan las condiciones propicias y al hacerlo su resistencia podrá descender drásticamente, en tanto que ese mismo podrá resultar mucho mas estable ante el agua, manteniendo en el tiempo una resistencia inicialmente menor que la del otro, pero probablemente suficiente.

ACCIÓN DEL AGUA EN LA COMPACTACIÓN.

El agua es un elemento importante en el proceso de compactación y su acción se explica de la siguiente manera: supóngase que se tienen varias muestras de un mismo material en diferentes recipientes (charolas). Este material es de tipo plástico y pasa 100% por la malla 4; como está seco, hay grumos de diferentes tamaños.

Si el material de la primera muestra se compacta con una energía de compactación E_1 por medio de un pisón, esta energía se empleará principalmente en romper los grumos de material, y el grado de compactación será bajo. Si a la siguiente muestra de material se le agrega un poco de agua, los meniscos que forman los grumos empezarán a romperse, por lo que al presentar al material la misma energía de compactación E_1 , ésta será más efectiva y se obtendrá un peso volumétrico mas alto. Si a la tercera muestra se le agrega una mayor cantidad de agua, se romperán los meniscos y este elemento tendrá una acción lubricante, por lo que el peso volumétrico será todavía mayor. Si se sigue vertiendo agua a las muestras del material, llega un momento en que baja el peso volumétrico seco porque el agua ocupa el lugar que antes ocupaba parte del suelo y absorbe parte de la energía de compactación; este fenómeno es más marcado mientras más aumenta el agua.

Si los datos resultantes se colocan en ejes coordenados, donde las abscisas corresponden a las humedades de las muestras y las ordenadas a los pesos volumétricos correspondientes que se obtuvieron al proporcionar la energía de compactación E_1 , se traza una curva de compactación Proctor para la energía de compactación E_1 . Al mayor peso volumétrico obtenido se le denomina peso volumétrico seco máximo (PSVM), y la humedad correspondiente es la humedad óptima (W_0).

COMPACTACIÓN CON DIFERENTES ENERGÍAS.

Si se usa una energía mayor para compactar los especímenes, los pesos volumétricos secos máximos serán cada vez mayores pero la humedad óptima disminuirá. Por eso, cuando se manejan los pesos volumétricos secos máximos es definitivo indicar la energía con que se obtuvieron o la prueba específica realizada para encontrarlos.

2.- PRUEBAS USUALES PARA LA COMPACTACIÓN DE SUELOS EN OBRAS DE PAVIMENTACIÓN.

Por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales, aunque en ocasiones se hace necesario compactar el terreno natural, como en el caso de las cimentaciones sobre arenas sueltas.

La eficiencia de cualquier proceso de compactación depende de varios factores y para poder analizar la influencia particular de cada uno se requiere disponer de procedimientos estandarizados que reproduzcan los procesos de compactación de campo en el laboratorio, en forma representativa.

La tabla que se presenta a continuación, permite situar a la compactación dentro del conjunto de métodos de mejoramiento de suelos que hoy pueden aplicarse.

Métodos de Mejoramiento de Suelos

Métodos	Físicos	Confinamiento (suelos -friccionantes) Consolidación previa (suelos-finos arcillosos) Mezclas (suelo con suelo) Vibroflotación
	Químicos (estabilizaciones)	Con sal Con cemento Con asfalto Con cal Con otras sustancias
	Mecánicos	Compactación

2.1.- VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO DE LA COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS.

Un suelo se puede compactar de varias maneras y en cada caso se obtendrá un resultado diferente. Los diferentes resultados dependen de varios factores, unos que atañen al tipo de suelo, otros al método de compactación que se emplee y varios más que se refieren a determinadas circunstancias que en ese momento pudieran prevalecer en el suelo con que se trabaja.

Estos factores suelen denominarse las “variables” que rigen el proceso de compactación. Las principales son las siguientes:

- *La naturaleza del suelo.* La clase de suelo con que se trabaja influye de manera decisiva en el proceso de compactación. Prevalece aún la distinción usual entre suelos finos y gruesos o entre suelos arcillosos y friccionantes, por lo que se clasifican los suelos de acuerdo con las normas establecidas.
- *El método de compactación.* Se dividen en compactación por impactos, por amasado y por aplicación de carga estática. Producen resultados diferentes tanto en la estructuración que adquiere el suelo como, en consecuencia, en las propiedades del material que se compacta.
- *La energía específica.* Se entiende por energía específica de compactación la que se entrega al suelo por unidad de volumen, durante el proceso mecánico de que se trate. Es muy fácil evaluar la energía específica en una prueba de laboratorio en que se compacte al suelo por impactos dados con un pisón; dicho caso queda expresado por la expresión:

$$E_e = \frac{Nn Wh}{V}$$

Donde:

E_e = energía específica

N = número de golpes del pisón compactador por cada una de las capas en que se acomoda el suelo en el molde de compactación.

n = número de capas que se disponen hasta llenar el molde.

W = peso del pisón compactador.

H = altura de caída del pisón al aplicar los impactos al suelo.

V = volumen total del molde de compactación, igual al volumen total del suelo compactado.

En el caso de la aplicación estática la evaluación no resulta tan sencilla y la energía específica se ve afectada por la deformabilidad del suelo y por el tiempo de aplicación de la presión.

Puede decirse que la energía de compactación es una de las variables que mayor influencia ejercen en el proceso de compactación de un suelo dado.

- *El contenido de agua en el suelo.* Proctor puso de manifiesto que para un suelo dado y usando determinado procedimiento de compactación, existe un contenido de agua de compactación, llamado el óptimo, que produce el máximo peso volumétrico seco que es dable obtener con ese procedimiento de compactación. En relación a un proceso de compactación de campo, dicho contenido de agua es el óptimo para el equipo y la energía correspondientes.

El contenido de agua del suelo es otra de las variables fundamentales del proceso de compactación.

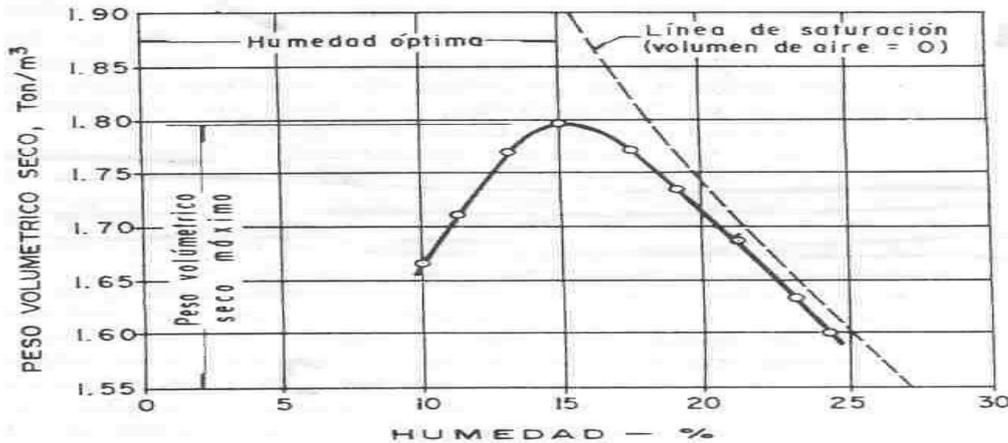
- *El sentido en que se recorra la escala de humedades al efectuar la compactación.* Este aspecto afecta sobre todo a las pruebas de compactación que se realizan en el laboratorio, en las que es común presentar resultados basados en gráficas $Y_d - w$ (peso volumétrico seco vs. humedad). Estas curvas son diferentes si las pruebas se efectúan a partir de un suelo relativamente seco al que se va agregando agua o si se parte de un suelo húmedo, que se va secando según avanza la prueba.
- *El contenido de agua original del suelo.* Los pesos obtenidos secos que se obtengan serán mayores cuando los contenidos originales del agua del suelo sean menores.
- *La recompactación.* Implica la continuada recompactación del mismo suelo. Se ha visto que esta práctica es inconveniente en lo absoluto, toda vez que la experimentación ha demostrado, sin género de duda, que si se trabaja con suelo recompactados los pesos volumétricos que se obtienen son mayores que los que se logran con muestras vírgenes en igualdad de circunstancias, de modo que con suelos recompactados la prueba puede llegar a dejar de ser representativa. Esto radica en la deformación volumétrica de tipo plástico que causan sucesivas compactaciones.
- *Temperatura.* Ejerce un importante efecto en los procesos de compactación de campo, en primer lugar por efectos de evaporación del agua incorporada al suelo o de condensación de la humedad ambiente en el mismo.
- *Otras variables.* El número y espesor de las capas en que se dispone o se tiende el suelo, el número de pasadas del equipo de compactación sobre cada punto o el número de golpes del pisón compactador en cada capa, etc.

2.2.- LA CURVA DE COMPACTACIÓN.

La original fue desarrollada por Proctor. Visualizó la correlación entre los resultados de un proceso de compactación y el aumento del peso volumétrico seco del material compactado, y estableció la costumbre, que aún hoy se sigue, de juzgar los resultados de un proceso de compactación con base en la variación de peso volumétrico que se logre; también comprendió el papel fundamental que desempeña el contenido de agua del suelo en la compactación que de él se obtiene, con un cierto procedimiento. Juntando estos dos aspectos por medio de una gráfica en la que se haga ver el peso volumétrico seco al compactar el suelo con diversos contenidos de agua, utilizando varias muestras del mismo suelo, cada una de las cuales proporciona un punto de la curva.

La representación ($Y_d - w$) recibe por antonomasia el nombre de curva de compactación.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”



Curva de compactación típica

La curva $Y_d - w$ puede entonces dibujarse a partir de los valores anteriores aplicando la fórmula:

$$Y_d = \frac{Y_m}{1 + w}$$

También aparece la curva correspondiente al 100% de saturación del suelo en cada caso. Como ya se dijo la condición de un suelo compactado en circunstancias normales es la de un suelo no saturado, razón por la cual la curva de compactación se desarrolla por abajo de la curva de saturación. La curva de saturación se puede obtener si se calculan los pesos volumétricos secos que corresponderían al mismo suelo supuesto, saturado con el contenido de agua correspondiente a una abscisa de la curva, aplicando la fórmula:

$$Y_d = \frac{S_s}{1 + w S_s} Y_w$$

2.3.- PROCESOS DE COMPACTACIÓN DE CAMPO

Con las pruebas de campo se encuentra el peso volumétrico seco alcanzado en la obra, para lo cual se hace un sondeo a cielo abierto o cala con una profundidad igual que el espesor de la capa de estudio y con un ancho o diámetro de tres o cuatro veces el tamaño máximo del agregado (15 cm aproximadamente).

El material que se extrae del sondeo se coloca en una charola para conocer el peso total, tomándose una pequeña muestra para determinar la humedad; con esto es posible calcular el peso seco del material:

$$\text{Peso seco} = \frac{100 \text{ Peso húmedo}}{100 - \text{humedad}(\%)} = P_s$$

El volumen del sonde (V) se encuentra al vaciar arena con una granulometría uniforme (de 0.850 mm a 0.600 mm). Esto se puede llevar a cabo por medio de una probeta, un embudo y trompa o mediante un frasco y un cono. Hay otros métodos en los que se requiere agua o aceite para medir el volumen, pero como necesitan una membrana plástica para evitar que el fluido se infiltre en el suelo, en general son más imprecisos que los que no utilizan esta membrana, pues a medida que ésta es menos flexible, se pliega menos a las irregularidades del sondeo. El peso volumétrico se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Peso volumétrico seco} = PVS = \frac{P_s}{V}$$

A últimas fechas se han utilizado aparatos nucleares para obtener de inmediato la compactación de las capas que son de tipo no destructivo. La energía que se requiere para compactar los suelos en el campo se puede aplicar mediante las siguientes formas:

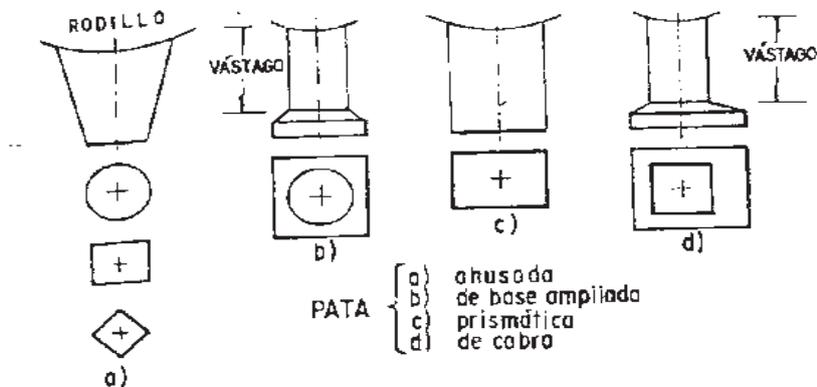
- a) Por amasado
- b) Por presión
- c) Por impacto
- d) Por vibración
- e) Métodos mixtos

Éstas formas se diferencian por la naturaleza de los esfuerzos aplicados y por la duración de los mismos.

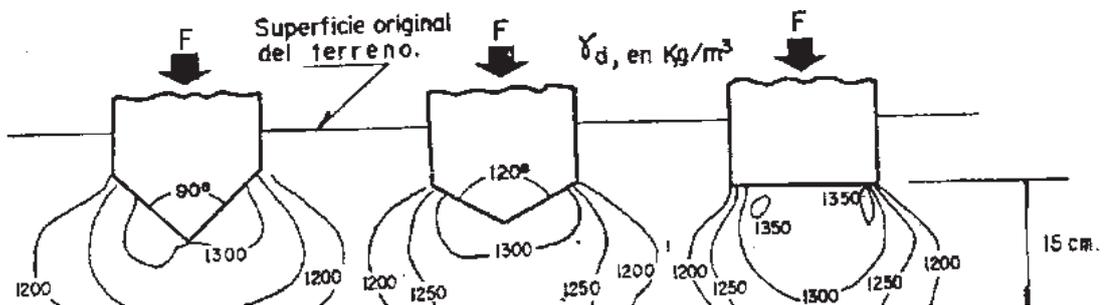
Con las tres primeras formas se aplican casi todos los métodos convencionales en uso desde hace varias décadas. La cuarta se refiere a técnicas de implantación más reciente, pero que se han ido popularizando en los últimos tiempos. No representan todos los modos posibles de entregar energía de compactación a un suelo, simplemente son las soluciones comerciales e industriales que hasta el momento se han desarrollado.

a) Por amasado. Rodillos pata de cabra.

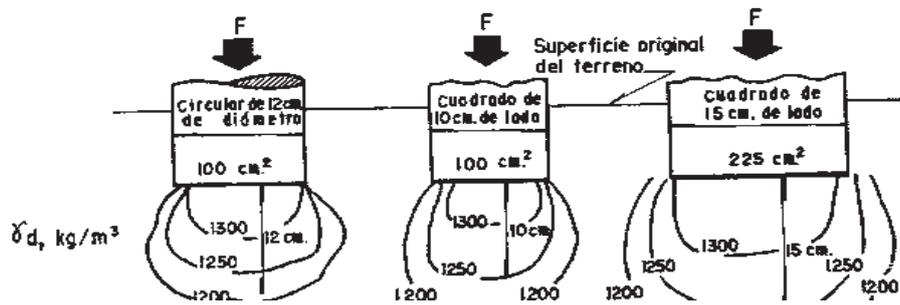
Estos compactadores concentran su peso sobre la relativamente pequeña superficie de todo un conjunto de puntas de forma variada ejerciendo presiones estáticas muy grandes en los puntos en que las mencionadas protuberancias penetran en el suelo. Conforme se van dando pasadas y el material se va compactando, las patas profundizan cada vez menos en el suelo, y llega un momento en que ya no produce ninguna compactación adicional; en una profundidad del orden de 6 cm, la superficie queda siempre distorsionada, pero se compacta bajo la siguiente capa que se tienda.



Tipos usuales de patas de rodillo pata de cabra.



Influencia de la forma de la punta del vástago en los rodillos " pata de cabra ".



***Influencia del tamaño y del área de la sección recta de los vástagos de los rodillos
"pata de cabra".***

La presión que ejerce el rodillo pata de cabra al pasar con sus vástagos sobre el suelo no es uniforme en el tiempo; los vástagos penetran ejerciendo presiones crecientes, las cuales llegan a un máximo en el instante en que el vástago sale.

Además, la hacina del rodillo es tal que hace progresar la compactación de la capa de suelo de abajo hacia arriba; en las primeras pasadas las protuberancias y una parte del tambor mismo penetran en el suelo, lo que permite que la mayor presión se ejerza en el lecho inferior de la capa por compactar; para que esto ocurra el espesor de la capa no debe ser mucho mayor que la longitud del vástago.

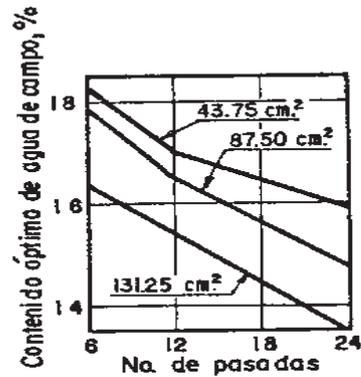
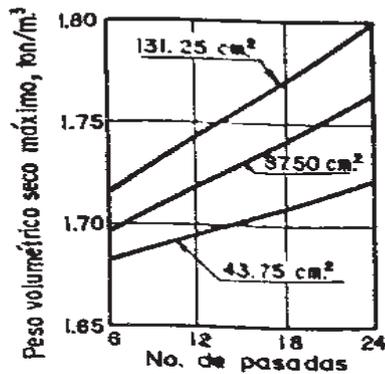
A esta peculiar manera de compactar se le denomina acción de "amasado", y en épocas recientes ha sido tomada en cuenta en algunos equipos de compactación de laboratorio a fin de lograr mayor representatividad en pruebas que se realizan sobre los suelos que se compactan con rodillos pata de cabra.

Los rodillos más usuales tienen vástagos de 20 a 25 cm de longitud y se usan para compactar capas de suelo de alrededor de 30 cm de espesor. Como ya se dijo, al aumentar el número de pasadas del equipo la parte inferior de la capa va adquiriendo mayor resistencia, lo que impide la penetración del rodillo y de sus vástagos, que así van compactando al suelo suprayacente. El proceso puede llegar a un límite en el cual el rodillo "camina", sobre el suelo y transmite todo su peso a través de los vástagos, pero sin que haya contacto entre el tambor y el suelo propiamente dicho.

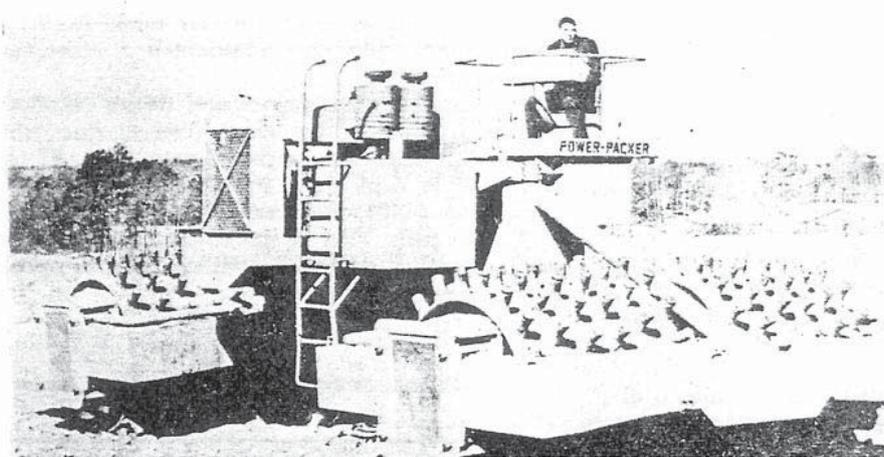
Por lo general, se considera adecuada la operación cuando el vástago penetra del 20% al 50% de su longitud, lo que depende de la plasticidad del suelo; así, para una arcilla blanda se busca hacer penetraciones menores que para una arcilla arenosa, a fin de evitar que se adhieran al vástago cantidades considerables del suelo y se reduzca el rendimiento del equipo.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

En cualquier caso, según ya se dijo, siempre se produce una cierta penetración de las patas del rodillo. El rodillo pata de cabra produce entonces dos resultados muy deseables en los terraplenes de suelos finos compactados, que son una distribución uniforme de la energía de compactación en cada capa y una buena liga entre capas sucesivas.



Compactación con rodillo “ pata de cabra “. Efecto del área de contacto de las patas en el peso volumétrico seco y en el contenido de agua óptima de campo.



Rodillo pata de cabra superpesado, de alta capacidad, con auto-propulsión, equipado con 4 tambores iguales cuyos diámetros y anchos son de 152.4 cm. Esta provisto de 120 patas troncocónicas por tambor, teniendo cada pata 23 cm de longitud y 64.4 cm² de área de contacto. Su velocidad de operación alcanza hasta 8 km / hora.

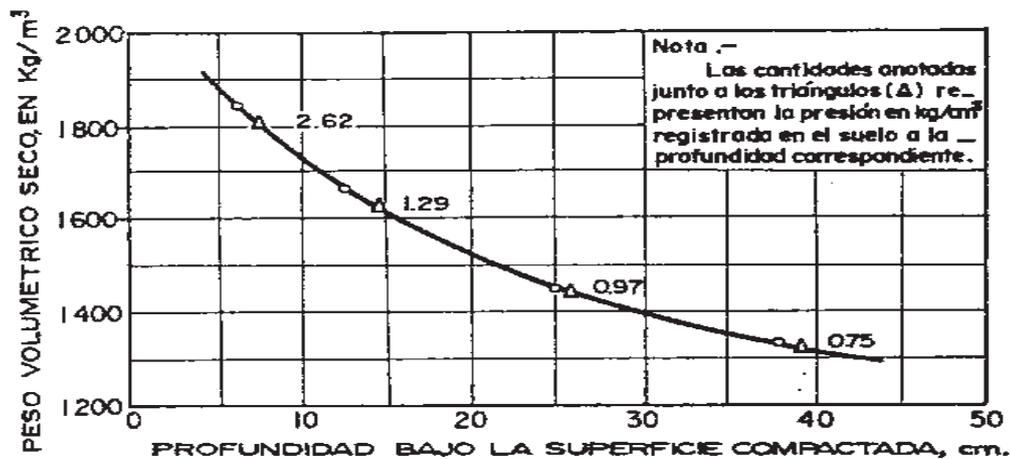
“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

En épocas recientes incluso se ha combinado la acción de rodillos pata de cabra con la vibración, para incrementar la concentración de fuerzas sobre áreas pequeñas y favorecer el poder rompedor y mezclador de estos equipos. Se han desarrollado también dos tipos de compactadores que pueden considerarse como variantes del rodillo pata de cabra tradicional: el rodillo de rejillas y el segmentado.

b) Por presión. Rodillos lisos y neumáticos.

Los rodillos lisos se dividen en dos grupos: remolcados y autopropulsados. Los primeros constan generalmente de dos tambores montados en un marco al que se sujetan los ejes; su peso varía por lo común de 14 a 20 toneladas y pueden lastrarse llenando un depósito sobre el marco con agua o arena húmeda. Los rodillos lisos tienen su campo de aplicación circunscrito a los materiales que no requieren concentraciones elevadas de presión, por no formar grumos o por no necesitar disgregado; por lo general son arenas y gravas relativamente limpias.

También se utilizan mucho para el acabado de la superficie superior de las capas compactadas (terminación de la subrasante, de la base y de carpetas de mezcla asfáltica).



Disipación de la presión de contacto de un rodillo liso con la profundidad.

El efecto de la compactación de los rodillos lisos se reduce considerablemente a medida que se profundiza en la capa que se compacta, y el efecto de la compactación se produce de arriba hacia abajo. Cuando se utiliza solo el rodillo liso en arcillas y limos plásticos es común que al cabo de un cierto número de pasadas lleguen a presentarse fracturas en la parte superior de la capa, debido a la rigidez que esta zona adquiere por excesiva compactación en comparación al lecho inferior de

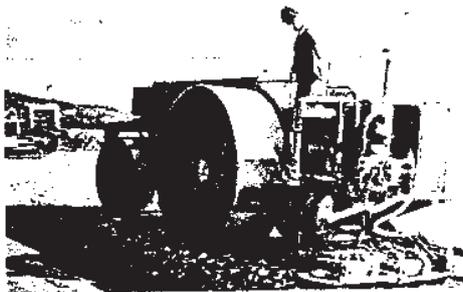
la misma capa, menos compactado, que adquiere una resistencia relativamente baja.

Las características principales de los rodillos lisos son su disposición, diámetro (con el que aumenta su eficiencia), ancho y espesor total. El espesor suelto de la capa de material que es posible compactar con rodillo liso varía de 10 a 20 cm.

En los rodillos neumáticos la acción compactadora del rodillo neumático (con llantas rellenas de aire) tiene lugar fundamentalmente por la presión que transmite a la capa de suelo tendida, pero estos rodillos producen también un cierto efecto de amasado, que causa al suelo grandes deformaciones angulares por irregularidades de las llantas; este efecto ocurre a escala mucho menor que en los rodillos pata de cabra, pero tiene cierta importancia, sobre todo en la porción mas superficial de la capa que se compacta. El rodillo aplica a la superficie de la capa prácticamente la misma presión desde la primera pasada; esta presión es casi igual a la presión de inflado de la llanta, si se descuentan pequeños efectos de la rigidez de la llanta misma.

La presión que se transmite no es rigurosamente uniforme en toda el área de aplicación, pero para simplificar suele hablarse de una presión medida de contacto.

Para lograr una aplicación mas o menos uniforme de la presión a una cierta profundidad bajo la superficie es preciso que las llantas delanteras y traseras del equipo tengan huellas que se superpongan ligeramente; es usual buscar una disposición tal que deje a ambos lados $\frac{2}{3}$ de huella libre entre las superposiciones.



Rodillo liso de 3 ruedas, compactando una capa de roca triturada. En la parte posterior lleva acoplado un compactador vibratorio de 3 placas.

La elección de la presión de inflado se ha de hacer con base en varios factores. El acabado superficial de las capas compactadas con rodillos neumáticos suele tener la rugosidad suficiente para garantizar una buena liga con la capa superior.

c) Por impacto.

En los procedimientos de compactación por impacto es muy corta la duración de la transmisión del esfuerzo. Los equipos que pueden clasificarse dentro de este grupo son los diferentes tipos de pisonos, cuyo empleo está reservado a áreas pequeñas, y ciertas clases de rodillos apisonadores (tamper) semejantes en muchos aspectos a los rodillos pata de cabra, pero capaces de operar a velocidades mucho mayores que estos últimos, lo que produce un efecto de impacto sobre la capa de suelo que se compacta.

Los pisonos pueden ir desde los de tipo más elemental, de caída libre y accionados a mano, hasta aparatos bastante más complicados movidos por compresión neumática o por combustión interna. Sobre todo por razones de costo, en todos los casos su empleo está limitado a determinadas partes de la estructura vial, tales como zanjas, desplante de cimentaciones, áreas adyacentes a alcantarillas, etc. Y en donde no puedan usarse otros equipos de compactación de mayor rendimiento, por razones de espacio o por temor al efecto de un peso excesivo.

Actualmente se fabrican pisonos con pesos desde 30 hasta 1000 kg., pisonos de media tonelada han producido excelentes compactaciones con 5 ó 6 cubrimientos sobre capas de 20 a 25 cm; se han reportado rendimientos del orden de 200 a 250 m³ / h.

Los rodillos apisonadores (tamper) operan a velocidades de 20 ó 25 Km / h, y ello, unido a la forma, las dimensiones y la separación de sus patas, hace que su efecto sobre el suelo sea básicamente el de una compactación por impacto.

Todavía no se han estudiado suficientemente los resultados obtenidos al usar estos rodillos, pero parece que su mejor rendimiento se logra en suelos finos con abundante contenido de grava y guijarros o en suelos finos residuales que contengan fragmentos de roca parcialmente intemperizados.

d) Por vibración.

Para la compactación por vibración se emplea un mecanismo, bien sea del tipo de masas desbalanceadas o del tipo hidráulico pulsativo, que proporciona un efecto vibratorio al elemento compactador propiamente dicho. La frecuencia de la vibración influye de manera extraordinaria en el proceso de compactación, y se ha visto que su intervalo de variación óptimo puede estar comprendido entre 0.5 y 1.5 veces la frecuencia natural del suelo, lo que lleva al aparato a frecuencias prácticas del orden de 1500 a 2000 ciclos por minuto, si bien existen en el mercado equipos comerciales cuya frecuencia alcanza hasta 5000 ciclos por minuto.

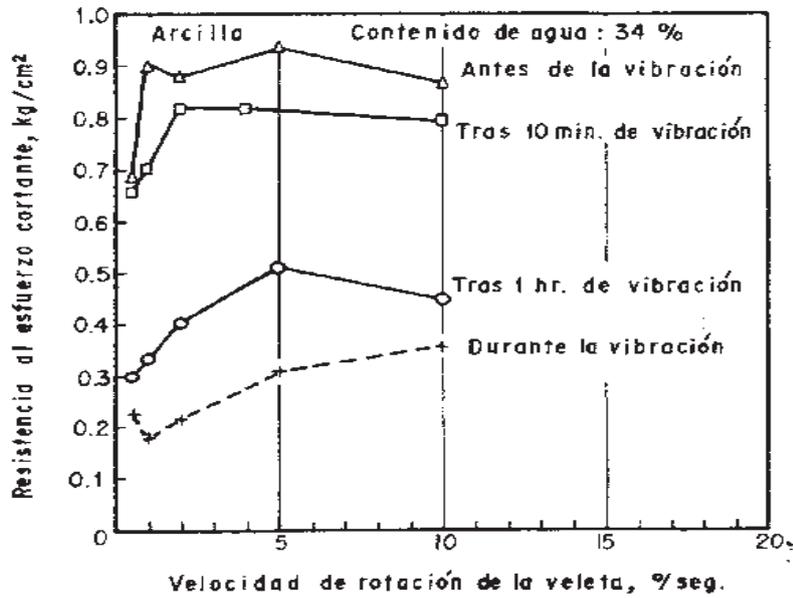
El elemento compactador propiamente dicho lo constituyen reglas, placas o rodillos. Hay varios factores inherentes a la naturaleza de la vibración que influyen de manera substancial en resultados que rinde el equipo; los principales son:

- 1.- La frecuencia, esto es, el número de revoluciones por minuto del oscilador.
- 2.- La amplitud, generalmente medida por una distancia vertical en casi todos los equipos comerciales.
- 3.- El empuje dinámico que se genera en cada impulso del oscilador.
- 4.- La carga muerta, es decir, el peso del equipo de compactación, sin considerar el oscilador propiamente dicho.
- 5.- La forma y el tamaño del área de contacto del vibrador con el suelo.
- 6.- La estabilidad de la máquina.

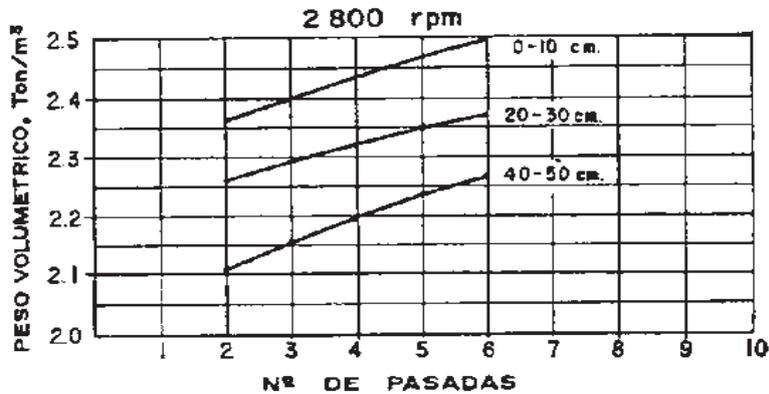
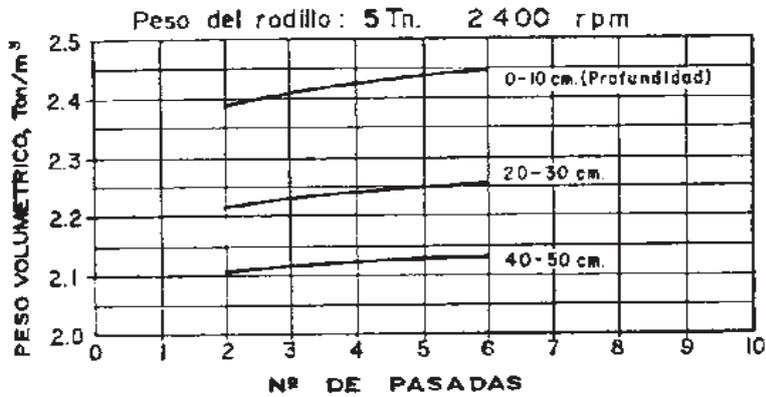
Además existen otras características de gran influencia referentes al suelo por compactar. En el caso de la vibración, para obtener la máxima eficiencia de compactación, el contenido de agua óptimo del suelo ser bastante menor que el que el mismo requeriría para ser compactado por otro procedimiento.

Los procedimientos de compactación de campo combinan siempre la vibración con la presión; la vibración utilizada sola resulta poco eficiente. La presión es necesaria para vencer los nexos interparticulares que se producen tanto en los suelos gruesos como en los finos. En los suelos gruesos, la vibración es conveniente porque reduce por instantes en forma considerable la fricción interna de los granos. La presión estática debe vencer esta fricción en todo su valor, por un mecanismo en el que incluso aumenta mucho la resistencia al deslizamiento de los granos, precisamente por el aumento de la presión normal en el movimiento vibratorio que un suelo friccionante sufre bajo el compactador por vibración, se produce una orientación de las partículas en el momento en que tienden a separarse y una fuga de las partículas mas finas hacia los huecos entre las partículas mas grandes.

"CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR"



Variación de la resistencia al esfuerzo cortante de una arcilla con vibración.



Influencia de la frecuencia del vibrador en un proceso de compactación.

e) Por métodos mixtos.

La tecnología actual está desarrollando un gran número de equipos en los que se busca combinar los efectos de dos o más de los sistemas tradicionales, a fin de lograr una especialización de las acciones que garantice un resultado óptimo para cada caso particular. Como es natural, el uso de muchos de estos equipos difícilmente se justificará para empresas y organismos que no tengan un alto grado de diferenciación en sus trabajos; en otros casos, aun no hay suficiente experiencia acerca de los propios equipos.

En el compactador de rodillo liso vibratorio, la unidad vibrante se acopla a un equipo liso convencional. Existen remolcados y autopropulsados. Su eficiencia es mayor en los suelos granulares. Y pueden combinar los efectos de la vibración y la presión que ya se discutieron, aun en capas de espesor mucho mayor de las que sería capaz de compactar el rodillo liso por sí solo. Son muy eficientes para la compactación de concretos asfálticos.

El compactador neumático vibratorio por lo general es de tipo remolcado y encuentra su mejor aplicación en suelos arenosos bien graduados, arenas limosas e incluso, en arenas arcillosas. Es más eficiente que los rodillos lisos cuando aumenta el contenido de finos del suelo friccionante, pues en este caso logra transmitir sus efectos a mayor profundidad.

Los rodillos pata de cabra con aditamento vibratorio generalmente son de tipo remolcado y se recomiendan para compactar suelos finos arcillosos. Además de otras ventajas que ya se mencionaron, su uso permite utilizar mayor espesor de capa.

La combinación de los rodillos lisos y neumáticos es por lo común a base de ruedas con llantas en el eje trasero y rodillos lisos en el delantero. Suele ser un equipo autopropulsado y tener un aditamento que le permite alzar cualquiera de las dos clases de tambores que posee, de manera que en realidad puede operar con tres modalidades diferentes. Por esta razón, el equipo goza de amplia difusión entre las empresas constructoras.

En ocasiones esta combinación se hace aun más versátil dotándola de un vibrador, por lo general adaptado al rodillo liso. El rodillo liso también se puede combinar con placas o plataformas vibratorias; esto es lo convierte en equipos muy eficientes para compactar pequeños fragmentos de roca, gravas y mezclas de estos suelos con arena, y permite manejar capas de mucho mayor espesor que las que es posible compactar solo con rodillo liso.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

Los rodillos lisos también se usan combinados con rodillos lisos vibratorios, y en ocasiones incluso se añade a esta combinación un eje con rodillos segmentados. Estos equipos suelen tener mecanismos elevadores. Que permiten levantar cualquier rodillo, lo hace aun más versátil al conjunto.

Ancho del tambor	1.22 a 1.98 m
Diámetro del tambor	1.02 a 1.83 m
Numero de pasadas o vástagos	64 a 144
Área de la sección recta de la pata	33 a 135 cm ²
Longitud de la pata	18 a 46.0 cm
Peso del rodillo vacío	1.6 a 7.00 ton
Peso del rodillo lleno de agua	2.5 a 11.5 ton
Presión de contacto, vacío	5.2 a 30 kg/cm ²
Presión de contacto, lleno de agua	8 a 55.0 kg/cm ²

Especificaciones comunes de los rodillos pata de cabra.

Peso total	3.0 a 13.0 ton
Diámetro del rodillo frontal	86 a 120 cm
Diámetro de los rodillos traseros	61 a 122 cm
Ancho de los rodillos traseros	38 a 58.0 cm
Carga por unidad de ancho del rodillo frontal	14 a 43 kg/cm
Carga por unidad de ancho de los rodillos traseros	25 a 80 kg/cm

Especificaciones comunes de los rodillos lisos autopropulsados de tres ruedas.

Ancho total del equipo	152 a 305 cm
Tamaño de la llanta	7.50 x 15 a 30 x 40 in
Espaciamiento entre ruedas centro a centro	45.6 a 76.2 cm
Peso total del rodillo	6.0 a 110.0 ton
Carga por rueda	0.6 a 27.0 ton
Presión de inflado	1.76 a 10.6 kg/cm ²
Presión de contacto	1.5 a 8.50 kg/cm ²
Área de contacto	480 a 3730.00 cm ²

Especificaciones comunes de los rodillos neumáticos

Peso total del compactador	70 a 6000 kg
Peso de cada unidad vibratoria	70 a 204 kg
Área de contacto de la placa	1540 a 13900 cm ²
Presión de contacto de la placa	0.04 a 0.43 kg/cm ²

Amplitud de la vibración	2.03 a 12.7 mm
Frecuencia	420 a 2800 ciclos minutos
Ancho de la faja compactada	38 a 380 cm
Velocidad de operación	0.05 a 26 kg/hora

Especificaciones comunes de los compactadores vibratorios de placa.

IDEAS UTILES EN LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE COMPACTACIÓN EN EL CAMPO. GRADO DE COMPACTACIÓN

El primer requisito para quien aspire a realizar un buen trabajo de compactación es conocer razonablemente bien los suelos que se vayan a compactar; esto ha de lograrse por medio de la exploración general con objeto de producir el estudio geotécnico del proyecto, y por la exploración particular que se efectúe en los bancos de donde se extraerán los materiales.

La humedad natural del suelo en el campo es un dato importante. También, la información que se logre al obtener las curvas de compactación, siguiendo el procedimiento de laboratorio que se estime reproduce mejor las condiciones de campo.

También se deben investigar las características de expansión y contracción por secado del suelo, para fijar el porcentaje de cambio de volumen que puede sufrir el suelo.

Las consideraciones más importantes que se deben ponderar antes de elegir el equipo apropiado en un caso dado son las siguientes:

- a) Tipo de suelo.**
- b) Variaciones del suelo dentro de la obra.**
- c) Tamaño e importancia de la obra que se vaya a ejecutar.**
- d) Especificaciones de compactación fijadas por el proyecto.**
- e) Tiempo disponible para ejecutar el trabajo.**
- f) Equipo que ya se posea antes de comenzar los trabajos.**

La selección de un equipo de compactación es fundamentalmente un asunto de economía. El desarrollo de los equipos ha sido empírico, regido por impulsos comerciales, resultado de un proceso de investigación científica rigurosa.

Se define como grado de compactación de un suelo compactado en la obra, a la relación, en porcentaje, entre el peso volumétrico seco obtenido por el equipo en el campo y el máximo correspondiente a la prueba de laboratorio que fundamentó el estudio.

El grado de compactación de un suelo es:

$$G_c (\%) = 100 \frac{Y_d}{Y_{d \text{ máx}}}$$

Algunas instituciones tomando en cuenta los defectos que pueda tener el grado de compactación, han adoptado una relación diferente para medir la compactación que alcanza el suelo en el campo, la que se denomina *compactación relativa* y está definida por la expresión:

$$C.R. (\%) = 100 \frac{Y_d - Y_{d \text{ mín}}}{Y_{d \text{ máx}} - Y_{d \text{ mín}}}$$

Donde:

$Y_{d \text{ máx}}$ = es el máximo peso volumétrico seco obtenido en la prueba de laboratorio que se utilice.

$Y_{d \text{ mín}}$ = es el mínimo peso volumétrico seco del mismo material.

Y_d = es el peso volumétrico seco del material compactado en la obra.

Valores relativos de grados de compactación convenientes.

Obras tipo 1. **Terraplenes de más de 30 m de altura. Subrasantes bajo pavimentos definitivos, con espesor no mayor de 30 cm. Los 2 m superiores bajo cimentaciones de edificios de dos o más pisos o de puentes y pasos a desnivel.**

Obras tipo 2. **Partes inferiores de los rellenos bajo edificios. Capa superior de los terraplenes comunes, bajo subrasantes de 30 cm, como mínimo. Terraplenes de menos de 30 m de altura.**

Obras tipo 3. **Otros suelos que requieren compactación, sin grandes requerimientos de resistencia e incompresibilidad.**

El requisito de compactación se fija básicamente buscando el balance óptimo de las siguientes propiedades:

1. Homogeneidad.
2. Características favorables de permeabilidad.
3. Baja compresibilidad para evitar el desarrollo de presiones de poro excesivas o deformaciones inaceptables. Este requisito es más importante a mayor altura del terraplén.
4. Razonable resistencia al esfuerzo cortante.

5. Permanencia de las propiedades mecánicas en condiciones de saturación.

Flexibilidad.

PROBLEMAS ESPECIALES EN COMPACTACIÓN EN EL CAMPO.

- a) **Compactación de zonas difíciles, inaccesibles para los equipos convencionales.**

Una práctica común en tales casos es rellenar a volteo el fondo hasta un nivel a partir del cual pueda trabajarse mecánicamente.

b) **Zonas próximas a puentes, alcantarillas, muros de retención, etc.** Los equipos de compactación manuales proporcionan un buen resultado en estos casos. Un caso especial lo constituyen los colchones de protección de las obras de drenaje.

c) **Compactación en los bordes de terraplenes.** El problema suele resolverse dando un sobrecancho a ambos lados del terraplén (quizá sean suficientes 30 o 40 cm en cada lado), el cual se puede recortar y afinar al fin de la construcción.

d) **Compactación de las primeras capas de un terraplén sobre terrenos blandos.** El desmonte y despalle adecuados del terreno natural, seguidos de un oreado, cuando ello es posible puede ayudar a resolver el problema.

e) **Suelos friccionantes que se tornan “movedizos”.** El problema se puede eliminar con la colocación de una capa de material granular grueso que rompa la capilaridad e impida la subida del agua.

- f) **Problemas derivados de la sobrecompactación.**

No es posible mencionar todos los casos de sobrecompactación perjudicial, pero algunos de los más comunes son los siguientes:

- 1. Suelos en que la sobrecompactación produce un cambio estructural que los hace inadecuados. En ellos la sobrecompactación rompe los fragmentos porosos, produciendo una granulometría mucho más variada y abundante cantidad de finos, todo lo cual puede hacer llegar al material fuertemente compactado a pesos volumétricos incluso más altos que los de cualquier material térreo convencional.**
- 2. Materiales expansivos o con rebote elástico. Estos suelos se expandirán mucho y generarán presiones de expansión muy grandes al humedecerse tras la compactación. Los suelos que exhiben rebote elástico bajo el paso de cargas en movimiento, conducen a la destrucción rápida de un pavimento.**

COMPACTACIÓN DE PEDRAPLENES.

Los suelos gruesos y los fragmentos de roca dan lugar a muy serios problemas de compresibilidad cuando están sujetos a los altos niveles de esfuerzos que suponen los actuales pedraplenes altos; deben vigilarse estos problemas en estructuras cuyas alturas sobrepasen los 20 ó 30 m.

En épocas recientes ha tenido un gran impulso la tecnología de la construcción de pedraplenes; ello es debido a los aportes de la experiencia de la construcción de grandes presas. La altura de los modernos pedraplenes impone niveles de esfuerzo que hace que muchas situaciones actuales difieran de las pasadas no en forma cuantitativa, sino cualitativa.

La práctica usual en la construcción de carreteras acepta que la base del pedraplén se forme rellinando el fondo de la barranca, sin tratamiento previo de éste, con enrocamiento a volteo, hasta obtener una superficie de trabajo lo suficientemente amplia como para que puedan operar los equipos de construcción.

Los resultados de ensayos recientes han modificado de manera fundamental el criterio de los ingenieros sobre los problemas conectados con la construcción de estas estructuras. Es probable que el primer esfuerzo que deba hacerse en la investigación futura se refiera a una clasificación adecuada de los materiales para enrocamiento y en las pruebas índice que sirven de norma a tal clasificación y que permiten distinguir los materiales limpios de los contaminados, los gruesos de los finos, etc. En México se considera un enrocamiento limpio el que está formado por fragmentos de roca y pequeñas cantidades de finos mayores que la malla No. 4, siendo mínimo el contenido bajo dicha malla. Si tiene más de 5% de material menor que la malla No. 4 es contaminado y es material grueso el mayor de 6 mm y fino el menor.

En un material uniforme ($C_u < 10$) los contactos entre los granos ocurren a través de pocos puntos, en los que se concentran mucho los esfuerzos, propiciándose la rotura de granos y el flujo plástico de la roca, todas causas de la deformación.

La granulometría ejerce también una influencia notable en los resultados de la compactación de estos materiales y, para la misma energía de compactación, el material bien graduado adquiere una compacidad mayor que el uniforme.

Las mezclas de grava y arena de río tienen por lo general buena granulometría y granos sanos, por lo que constituyen excelentes materiales. Otro hecho que favorece la colocación de un material con granulometría adecuada es el evitar la segregación de los fragmentos durante las maniobras de transporte y tendido en el pedraplén; a ello

contribuye limitar la altura de caída al mínimo posible y el uso de precauciones especiales de tendido.

Los enrocamientos se compactan actualmente con rodillos vibratorios de 10 a 15 ton. de peso, cuando son relativamente limpios y no están formados con fragmentos muy grandes de más de 30 cm. Los enrocamientos más gruesos o los de escasa altura, formados por material muy bien graduado, pueden compactarse con un tractor pesado, con mínimo de cuatro pasadas. Los enrocamientos contaminados, con más de 15% de material fino plástico, se han compactado exitosamente con rodillos neumáticos muy pesados, de 50 ton o aún más.

La experiencia ha demostrado que es una práctica recomendable para reducir la compresibilidad de los pedraplenes el humedecimiento del material al colocarlo. Según la información actual el agua debe incorporarse a razón de 300 ó 400 lt/m³.

VERIFICACIÓN DE LA COMPACTACIÓN.

Una vez que se termina en el campo la compactación de alguna capa de la sección estructural, es necesario que se verifique si se alcanzó el peso volumétrico marcado en el proyecto. La compactación alcanzada se mide por medio del grado de compactación (G_c), que se define como la relación porcentual del peso volumétrico seco que se tiene en la obra y el peso volumétrico seco máximo que se obtiene en el laboratorio, efectuando la prueba que corresponda. La expresión para calcular el grado de compactación es:

$$G_c = \frac{\text{Peso volumétrico seco de campo}}{\text{Peso volumétrico seco máximo de laboratorio}}$$

Por lo anterior es necesario efectuar pruebas de campo y de laboratorio.

En general, a través de la experiencia se ha aceptado que la compactación mínima del cuerpo del terraplén sea de 90% y de 95% para las capas subyacentes, subrasantes, de sub-base y base de pavimento.

PRUEBAS DE COMPACTACIÓN EN EL LABORATORIO.

Los procesos de compactación en el campo son por lo general demasiado lentos y costosos como para reproducirlos a voluntad, cada vez que se desee estudiar cualquiera de sus detalles. Así, la tendencia a desarrollar pruebas de laboratorio que reproduzcan fácil y económicamente aquellos procesos debió de ser obvia para cualquiera que se interesara.

Las técnicas de compactación de laboratorio se justifican sólo en términos de su representatividad de los procesos de campo que reproducen. Es decir, llegar a estudiar detenida y acuciosamente en el laboratorio un proceso que no tenga nada (o tenga mucho) con el proceso de compactación de campo.

Actualmente se hacen dos usos principales de las pruebas de compactación de laboratorio. En el primero, se compactan los suelos para obtener datos para proyecto de estructuras de tierra; esta información se refiere a resistencia, deformabilidad, permeabilidad, susceptibilidad al agrietamiento, etc. En el segundo caso, la prueba funciona fundamentalmente como un índice comparativo del peso volumétrico de laboratorio y de campo y la similitud de propiedades mecánicas entre ambos es mucho menos importante, siéndolo por consecuencia cualquier idea de “representatividad” referente a la prueba. Lo esencial de un índice de comparación es que siempre sea el mismo.

Aun cuando otros factores actúan como variables que afectan el proceso de compactación, sólo los antes mencionados han sido utilizados para diferenciar pruebas de laboratorio, por lo menos las más comunes. Para encontrar el grado de compactación se requiere el patrón de laboratorio con el que se debe comparar el peso volumétrico seco encontrado en el campo.

Las pruebas de compactación de laboratorio son principalmente de dos tipos: estáticas y dinámicas.

A partir de 1933, en que Proctor desarrolló su prueba, la primera históricamente, han ido apareciendo otras muchas; todas ellas pueden agruparse en uno de los siguientes apartados:

- A Pruebas dinámicas.
- B Pruebas estáticas.
- C Pruebas por amasado.
- D Pruebas por vibración.
- E Pruebas especiales o en proceso de desarrollo.

A Pruebas dinámicas.

El espécimen se elabora compactando el material por medio de pisones que tienen un área de contacto menor que la sección libre del molde que se usa; el ejemplo típico es la prueba Proctor con las siguientes características:

- a) Diámetro del molde 10.2 cm
- b) Diámetro del pisón 2.5 kg (5 lb)
- c) Altura de la caída 30.5 cm

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

- d) Número de capas **3**
- e) Número de golpes **25**

Para la construcción de caminos en México, desde 1959 se cambió el número de golpes por capa, de 25 a 30, y esta prueba se denominó Proctor 30 golpes.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA COMPACTACIÓN
 PROCTOR AASHO:
 DINÁMICA EN LOS SIGUIENTES MÉTODOS
 MÉTODOS DE PRUEBA

4

$$E_c = \frac{Mnhw}{v}$$

- E_c** = Energía de compactación
- N** = Número de capas
- n** = Número de golpes por capa
- h** = Altura de caída del pisón
- w** = Peso del pisón
- v** = Volumen del molde

Métodos	Diámetro del molde	Con suelo que pasa la malla No.
A	10.16 cm 4"	4
B	15.24 cm 6"	4
C	10.16 cm 4"	¾"
D	15.24 cm 6"	¾"

		PRUEBAS AASHO ESTÁNDAR				PRUEBAS AASHO MODIFICADAS			
PRUEBAS	PROCTOR	MÉTODO				MÉTODO			
CARACTERÍSTICAS	SOP	A	B	C	D	A	B	C	D
No. de capas	3	3	3	3	3	3	3	3	3
No. de golpes Por capa	30	25	56	25	56	25	56	25	56

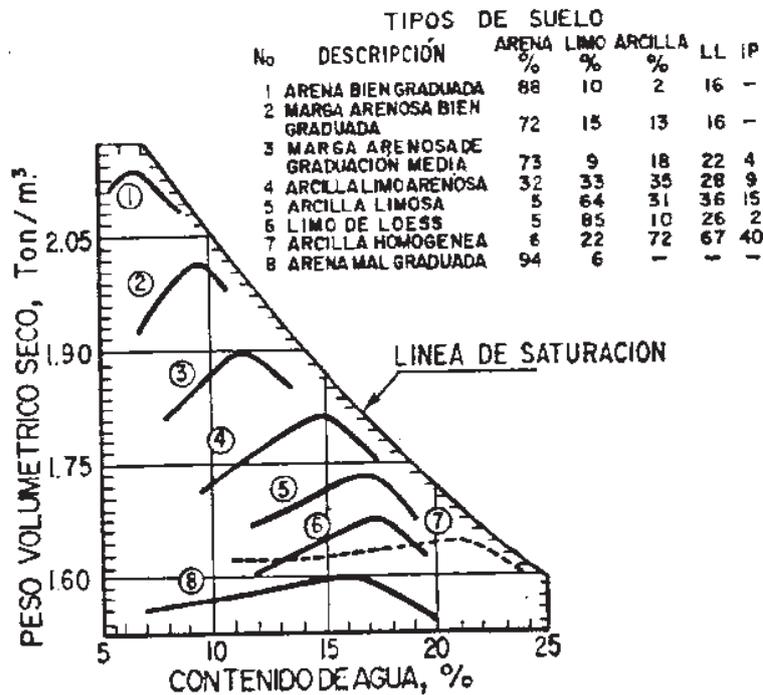
“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

Peso del pisón (kg)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	4.54	4.54	4.54	4.54
Altura de caída Del pisón (cm)	30.5	30.5	30.5	0.5	30.5	45.7	45.7	45.7	45.7
Diámetro del Molde (cm)	10.16	10.16	15.24	10.16	15.24	10.16	15.24	10.16	15.24
Energía de Compactación (kg-cm/cm³)	7.27	6.06	6.03	6.06	6.03	16.49	16.42	16.49	16.42

A continuación se detalla el proceso a seguir:

1. El suelo se compacta por capas en el interior de un molde metálico cilíndrico, variando de unas pruebas a otras el tamaño del molde y el espesor de la capa.
2. En todos los casos la compactación se logra al aplicar a cada capa dentro del molde un cierto número de golpes, uniformemente distribuidos, con un pisón cuyo peso, dimensiones y altura de la caída cambian de unas variantes de prueba a otras. El número de golpes de pisón que se aplica por capa también cambia en las diferentes pruebas.
3. En todos los casos, la energía específica se puede calcular con bastante aproximación con el empleo de la expresión 4-1, quedando definida por el número de golpes por capa del pisón compactador, el número de capas en que el suelo se dispone dentro del molde, el peso del pisón compactador, su altura de caída y el volumen total del molde.
4. En todos los casos se especifica un tamaño máximo de partícula que puede contener el suelo, y se eliminan los tamaños mayores por cribado previo a la prueba. Con frecuencia se establece también una especificación relativa al reuso del material durante la prueba.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”



Curvas de compactación para 8 suelos utilizando la prueba proctor (AASHO)

Algunas de las pruebas dinámicas que han alcanzado mayor difusión son la prueba Proctor estándar, la prueba Proctor (AASHO) estándar (con cuatro variantes), la prueba Proctor (AASHO) modificada (con cuatro variantes), la prueba E-10 del U.S. Bureau of Reclamation, la prueba de impactos de California (en sus dos variantes) y la prueba británica estándar (B.Std.-1377. 1948).

CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS DE COMPACTACIÓN POR IMPACTOS DE USO MÁS GENERALIZADO

Prueba	Tratamiento del material	Molde		Peso del martillo	Altura de caída	Nº de capas	Nº de golpes por capa	Reus o del suelo	Energía específica
		Diám e-tro	Altura						
		cm	cm	kg	cm	----	----	----	<u>Kg cm</u>

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

									cm ³
Proctor estándar	Cribado por la malla de 1/4"	10.16	12.70	2.490	30.48	3	25	Sí	4.02
Prueba E-10 del U.S.B.R	Cribado por la malla Núm. 4, tras secado al aire y desintegración de grumos	10.80	15.24	2.490	25.72	3	25	Sí	6.05
Proctor (AASHO) estándar (variante A)	Cribado por la malla N° 4, tras secado al aire	10.016	11.43	2.490	30.48	3	25	Sí	6.05
Proctor (AASHO) modificada (variante D)	Tras secar al aire, se desintegran grumos y se criba por la malla de 3/4", reemplazando material retenido con igual peso del material comprendido entre las mallas de 3/4" y N° 4	15.24	17.78	4.530	45.72	5	55	No	27.31
Californi a Variante A	Cribado por la malla de 3/4" en estado seco	7.30	91.44	4.530	45.72	5	20	No	17.70
Variante B	Cribado por la malla de 3/4" en estado húmedo	7.30	91.44	4.530	45.72	10	20	No	35.40
Británica estándar	Secado al horno o al aire y cribado p/malla 3/4"	10.16	11.68	2.492	30.48	3	25	Sí	6.05
Variante Proctor	Secado al aire y	10.16	11.68	2.490	30.48	3	30	Sí	6.65

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

de SOP	cribado por la malla N° 4								
--------	---------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

En la práctica nacional se ha acostumbrado a sacar el PVSM con la Proctor 30 golpes para materiales que retengan hasta el 10% en malla No. 4 y la prueba Porter para los que tiene más de 10% de retenido en dicha malla.

Se puede tener materiales en el campo con 9% de retenido en malla 4 y la compactación se mide con la Proctor 30 golpes; pero si el retenido cambia a 11 o 12% se exige al contratista mayor energía de compactación, pues el patrón cambia a la Porter estándar.

B PRUEBAS ESTÁTICAS

El espécimen se compacta con una presión que se proporciona al material por medio de una placa que cubre la superficie libre del molde y cuyo principal exponente es la prueba Pórtland estándar.

En suelos friccionantes es muy común que las pruebas dinámicas produzcan una curva de compactación con una forma inadecuada para la determinación de un peso volumétrico seco máximo y una humedad óptima para este tipo de suelo existen otras pruebas de compactación en las que usualmente se define una curva de compactación de forma típica, adaptada a los fines que se persiguen. Una de éstas pruebas es la prueba de compactación estática, que introdujo O.J. Porter y que alcanzó su forma definitiva alrededor de 1935.

La compactación propiamente dicha se logra al aplicar al conjunto de las tres capas una presión de 140.6 kg/cm^2 , la cual se mantiene durante un minuto.

Como se ve, la prueba de compactación estática, es tan antigua como las dinámicas; si bien no se ha extendido tanto como éstas ni es de aplicación tan universal, tiene en su favor de igual manera el factor de tradición y costumbre.

Además, la prueba de compactación estática estaba ligada con la prueba de valor relativo de soporte (CBR), muy usada en pavimentos.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

Comparaciones de resultados entre las pruebas estáticas y dinámicas
Relación de suelos estudiados

		Límites de Plasticidad		Porcentaje que pasa la malla				
Suelos	Descripción	Clasificación (S.U.C.S)	L.L	I.P	¾"	Nº 4	Nº 40	Nº 200
1	Arena fina uniforme	SP	22	INAP.	100	100	100	5
2	Arena media limosa, bien graduada	SW-SM	25	INAP.	100	100	40	10
3	Arena gruesa, angulosa	SW-SM	20	INAP.	100	100	30	12
4	Arena limo-arcillosa	SM-SC	21	7	100	100	55	25
5	Arcilla limosa	CL-ML	34	12	100	100	70	45
6	Arcilla de alta plasticidad	CH	62	36	100	100	96	90
7	Arcilla de alta plasticidad	CH	71	35	100	100	96	92
8	Grava angulosa con 9% de finos no plásticos	GW-GM	21	6	100	49	21	9
9	Grava redondeada con 9% de finos no plásticos	GW-GM	21	6	100	47	21	9
10	Grava angulosa con 18% de finos no plásticos	GM	21	6	100	55	25	18
11	Grava redondeada con 9% de finos no plásticos	GM	21	6	100	55	25	18

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

12	Grava angulara con 9% de finos plásticos	GW-GC	49	29	100	42	19	9
13	Grava redondeada con 9% de finos plásticos	GW-GC	49	29	100	42	19	9
14	Grava angulara con 18% de finos plásticos	GC	49	29	100	54	28	18
15	Grava redondeada con 18% de finos plásticos	GC	49	29	100	54	28	18
16	Arena arcillosa con 30% aprox. De gravas	SC	38	12	100	72	55	37
17	Arena arcillosa	SC	38	12	100	100	80	45

Comparación de resultados entre las pruebas estática y dinámicas. Resumen de pesos volumétricos secos máximos y humedades óptimas. Arenas y suelos finos.

Suelo	E-2		E-4		P		M-2		M-4	
	Yd	w	Yd	w	Yd	w	Yd	w	Yd	w
1. SP	155 5	17 .1	155 6	17.0	1645	16.8	1630	15.3	1640	15.4
2. SW-SM	164 0	16 .8	164 5	15.0	1720	14.0	1730	15.5	1765	12.2
3. SW-	178	14	179	14.3	1800	12.3	1910	1202	1900	12.0

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

SM	5	.7	2							
4. SW-SM	1830	14.0	1850	13.7	1900	11.5	1912	12.0	1940	11.6
5. CL-ML	1558	22.0	1610	19.8	1745	15.3	1675	17.3	1740	16.7
6. CH	1312	31.8	1380	30.4	1713	18.9	1510	25.4	1540	24.6
7. CH	1290	32.2	1320	32.4	1630	21.8	1450	26.1	1515	23.8
Gravas										
<i>M-4</i>			<i>E-4 M-6</i>			<i>E-6</i>			<i>P</i>	
8. GW-GM	2124	9.3	2117	9.5	2095	7.5	2213	7.6	2175	7.9
9. GW-GM	2049	8.8	2062	9.1	2032	8.1	2120	7.7	2095	8.0
10. GM	2045	10.1	2048	9.1	2050	9.9	2104	8.5	2097	8.6
11. GM	2015	10.0	1991	10.0	2012	10.9	2057	9.0	2037	9.2
12. GW-CG	1971	11.9	1980	10.9	2077	10.6	2112	8.7	2107	8.4
13. GW-GC	1951	11.5	1962	10.2	2021	10.7	2059	8.3	2057	8.3
14. GC	1892	12.6	1916	12.0	2098	10.4	2077	9.3	2072	8.8
15. GC	1895	11.0	1887	11.6	2052	10.1	2020	9.6	2018	9.3
16. SC	1514	22.9	----	----	1628	21.4	1622	19.4	----	----

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

17. SC	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
-----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

C COMPACTACIÓN POR AMASADO

En todos los casos se busca reproducir en el laboratorio el efecto típico que tiene lugar en muchos rodillos de campo (pata de cabra y neumáticos, en menor escala), con el objeto de lograr en el espécimen la misma estructuración interna que adquiere el suelo del campo.

En la prueba “miniatura el efecto de amasado se logra al presionar un émbolo de área especificada contra la superficie de las diversas capas con las que se constituye la muestra dentro de un molde, el cual tiene las dimensiones necesarias para formar un espécimen apropiado para la realización de las pruebas triaxiales convencionales; en cualquier aplicación se transmite al émbolo una presión constante, lo que se consigue cuando se le adapta un resorte calibrado, que permite saber el momento en que se aplica tal presión.

D COMPACTACIÓN POR VIBRACIÓN

Muchas de ellas utilizan un molde Proctor montado en una mesa vibratoria; se estudia el efecto de la frecuencia, la amplitud y la aceleración de la mesa vibratoria, así como la influencia de las sobrecargas, de la granulometría del suelo y del contenido de agua.

Los métodos de vibración en el laboratorio también se han estandarizado a base de una mesa vibratoria combinada con una sobrecarga o con un pisón vibratorio.

Por su importancia al especificar el rango de frecuencias con que se deben usar los compactadores en el campo o aplicarse las vibraciones en el laboratorio se presentan a continuación las frecuencias naturales de algunos suelos y rocas considerados en conjunto con un vibrador.

Frecuencias naturales del conjunto suelo-vibrador para varios suelos y rocas.

Tipo de suelo o roca	Frecuencia natural r.p.m.
2 m de turba sobre arena	750
2 m de relleno con arenas y suelos finos	1145
Arena y grava con lentes de arcilla	1165
Terracería compactada por el peso del tránsito	1280
Arcilla húmeda	1430
Arena media muy uniforme	1445
Arena gruesa uniforme	1570

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

Arcilla casi seca	1650
Caliza	1800
Arenisca	2040

E PRUEBAS ESPECIALES O EN PROCESO DE DESARROLLO

De entre éstas merece especial mención la máquina giratoria de compactación, que es obvio que ha sido ideada con el propósito de reproducir en el espécimen de laboratorio la estructura y demás condiciones que adquiere el suelo cuando se le compacta en el campo con los equipos de rolado usuales. En rigor, se le puede considerar a este equipo como un compactador de amasado.

Muchas de las pruebas que se han realizado con este aparato están ligadas a la tecnología de los pavimentos y comienzan a desarrollarse con diferentes modos e intensidades de aplicación de la energía de compactación para distinguir los volúmenes del tránsito. La máquina también es útil para detectar la influencia de la plasticidad de la fracción fina de los suelos que se prueban y para estudiar la degradación estructural de los materiales bajo un cierto tipo de carga dinámica.

PRUEBAS PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Consisten en realizar mediciones de diferentes clases a especimenes elaborados, siguiendo procedimientos estandarizados. Se dividen en pruebas de clasificación, de control y de proyecto.

- 1. CLASIFICACIÓN: permiten clasificar los materiales para decidir si puede utilizarse en algunas capas estructurales.**
- 2. CONTROL: se verifica si la obra cumple los requisitos de proyecto.**
- 3. PROYECTO: permiten realizar la estructuración racional de la sección transversal de una vía terrestre.**

1.- PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN PARA MATERIALES PÉTREOS Y SUELOS.

Las principales son de granulometría, plasticidad, resistencia, expansión, valor cementante, densidad, adherencia con el asfalto, dureza y forma de la partícula.

Las pruebas más usuales de productos asfálticos son de destilación, penetración, viscosidad, punto de encendido, asentamiento en cinco días, demulsibilidad con cemento Pórtland, carga de la partícula y acidez. También se hacen pruebas al cemento Pórtland, a la cal y al agua.

GRANULOMETRÍA

Sirve para determinar el porcentaje al peso de las partículas de diferentes tamaños que lo forman.

El material se hace pasar por varios tamices o mallas, se pesan las partículas retenidas en cada tamiz y se encuentra el porcentaje respectivo en relación con el peso seco total, después se calcula el porcentaje que pasa por las mallas.

El resultado se presenta en gráficas. Cuando la curva no tiene cambios bruscos la granulometría es continua, si sí hay cambios bruscos es discontinua y cuando la curva granulométrica se localiza dentro de un tramo estrecho de tamaños se tiene material de granulometría uniforme.

PLASTICIDAD

Un material es plástico cuando se remodela con facilidad sin cambiar su volumen y su resistencia al corte es de 25 g/cm^2 como mínimo.

LÍMITES DE ATTERBERG

Corresponden a la humedad, ósea, al porcentaje de agua respecto al peso de los sólidos en que los finos de los materiales pasan de una consistencia a otra.

- (LI) LÍMITE LÍQUIDO: humedad correspondiente al límite entre el estado semilíquido y el plástico. Resistencia mínima al esfuerzo cortante de 25 g/cm^2 .
- (Lp) LÍMITE PLÁSTICO: humedad correspondiente entre el estado plástico y el semisólido.
- (Ip) ÍNDICE PLÁSTICO: diferencia entre el límite líquido y plástico.



Instrumental empleado, para la determinación del limite liquido, índice plástico y de la humedad natural.

Equipo:

- **Copa de Casagrande y ranurador.**
- **Cápsulas petri.**
- **Agua destilada.**
- **Balanzas de (0.01 grs) y (1 grs) de aproximación.**
- **Placa de vidrio.**
- **Horno secador.**
- **Franela.**
- **Vidrios de reloj.**
- **Charolas de evaporación.**
- **Espátula.**
- **Calibrador vernier.**
- **Cápsulas de porcelana.**
- **Gotero.**

Procedimiento.

1.- Determinación del Límite Líquido (L L)

a) El material que se trae del campo se seca a temperatura ambiente y se disgrega.

b) Una vez que el material se ha secado se criba por la malla No. 0.425 y se toma una cápsula de porcelana de 250 a 300 grs. del material que paso la malla, lo saturamos y lo dejamos reposar (24 hrs.). Transcurrido el tiempo agregamos agua destilada y se mezcla hasta formar una pasta homogénea.

c) Se inician los tanteos en la copa de casagrande dándole al suelo diferentes humedades. Se deben hacer cinco (5) tanteos y obtener las humedades de cada uno de ellos.

d) Se coloca la pasta en la copa de casagrande, llenándola a la mitad y alisándola para obtener un espesor máximo de (1 cm). Se ranura al centro con un ranurador de dimensiones de (11 mm), en la parte superior y (2 mm) en la parte inferior. Se debe ranurar la pasta según el eje de simetría del aparato, manteniendo el ranurador perpendicular a la superficie de la copa.

e) Una vez llena la copa ranurado el material, el golpeo se hace girando la manivela a la velocidad de 2 rev/seg, y contar el numero de golpes necesarios para que la ranura cierre ($\frac{1}{2}$ “) aproximadamente, la ranura debe cerrar por el flujo del suelo y no por deslizamiento de la pasta respecto a la copa.



Para la determinación del límite líquido, se emplea el la copa de casagrnde y para tal fin es el que se localiza o se encuentra entre 20 y 30 golpes. Donde 25 golpes es lo ideal.

f) En la cápsula de vidrio de reloj, se extrae una muestra representativa de aproximadamente (10 grs) del centro de la copa, cerca de donde cerró la ranura para obtener la humedad, se pesa la cápsula con material húmedo al centésimo de gramo (0.01 grs). Se deja secar el horno durante. (24 hrs.), a temperatura de 110° C.

g) Una vez obtenidos los resultados de todos los tanteos procederemos a anotarlos en las hojas de registro, para así graficar la curva de fluidez, que comprende en el eje de las abscisas en escala logarítmica el numero de golpes, y en el eje de las ordenadas en escala aritmética los contenidos de agua; de la cual el límite líquido (LL) será el contenido de agua correspondiente a 25 golpes.

* Causas mas frecuentes de error al efectuar esta prueba.

1.- Que al efectuar la prueba la ranura se cierre debido al deslizamiento del suelo sobre la copa y no al flujo provocado por los golpes.

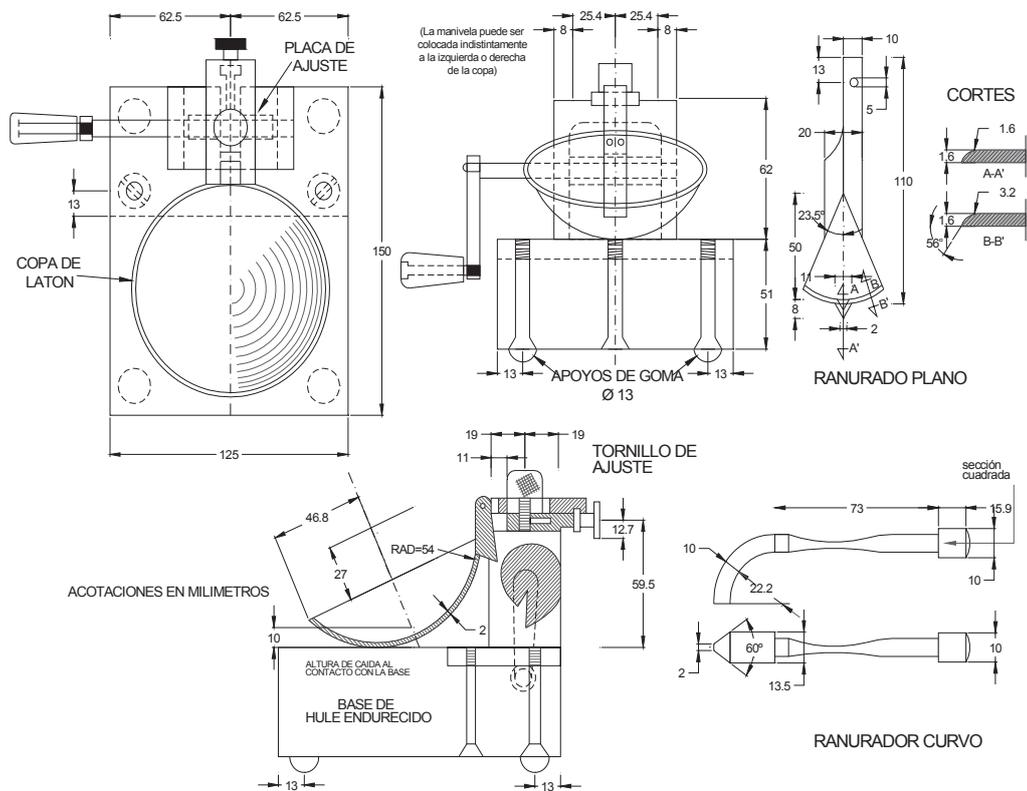
2.- Perdida de agua por evaporación en la muestra, debido a que la prueba no se realice en lugares frescos y exentos de corrientes de aire.

3.- Que la caída de la copa no se efectuó a una velocidad uniforme de dos (2) golpes por segundo.

4.- Que la copa y el ranurador no estén limpios antes de cada determinación.

5.- Que se incorpore material seco para reducir la humedad de la muestra de prueba, o bien que no se efectuó un amasado correcto de esta.

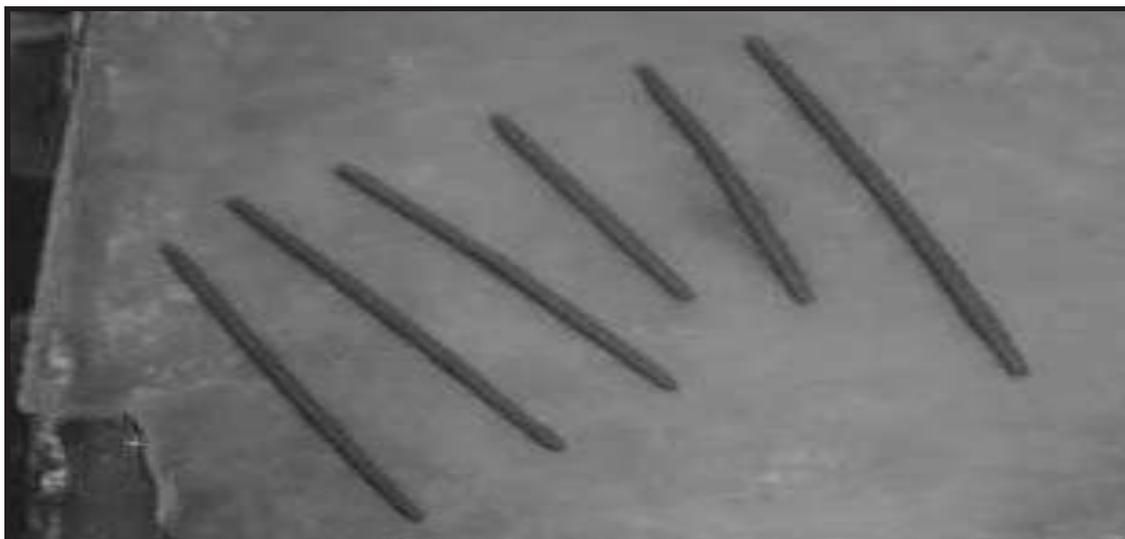
“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”



Copa de casagrande para la determinación del límite líquido.

Determinación del Límite Plástico (L P)

- Se amasan aproximadamente (15 grs) de suelo húmedo. De los cuales con la palma de la mano formamos rollito de (1/8”) es decir (3 mm aprox.), de diámetro apoyándose en la placa de vidrio.
- Se repite éste procedimiento hasta que el rollito empieza a desmoronarse al estarlo formando.
- Se colocan en una cápsula de vidrio de reloj y se procede a pesarlos con la balanza de (0.01 grs) de aproximación y se meten al horno durante 24 hrs. A una temperatura de ciento diez grados centígrados.



El limite plástico se determina mediante rollitos de 3 mm de diámetro, cabe destacar que estos deben estar cerca del limite plástico o a punto de quebrar, en las equinas.

- d) Una vez transcurridas las (24 hrs.) se pesan para determinar el contenido de humedad de los cilindros.
- e) El proceso se debe repetir por lo menos en tres (3) ocasiones para poder promediarlos.
- f) Teniendo los tres resultados los anotamos en la hoja de registro y procederemos a calcularlo, donde el limite plástico (LP) es; el contenido de agua promedio de los cilindros.

Una vez determinados los Límites tanto líquido como plástico procederemos a meter los datos a la carta de plasticidad, la cual en el eje de las abscisas representa el limite liquido (LL) y en el de las ordenadas el índice plástico (IP). La carta de plasticidad nos indicara la clasificación del suelo.

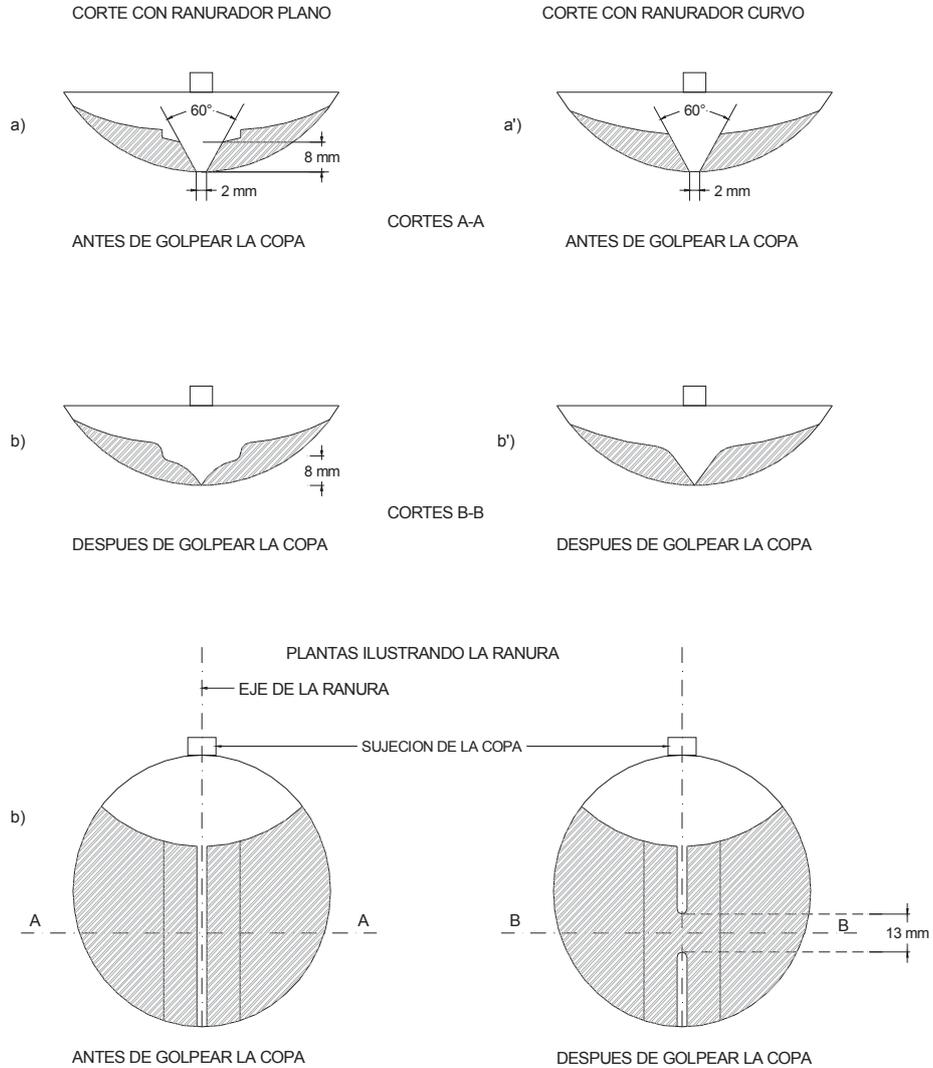
* Causas mas frecuentes de error al efectuar esta prueba.

1.- Que el cilindro de suelo se rompa antes de alcanzar el diámetro de tres (3) milímetros, ya que en este caso su humedad sería menor que la del límite plástico.

2.- Que la placa de vidrio no se encuentre limpia antes de cada determinación, ya que esto dificulta o impide la formación del cilindro.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

3.- Que al alcanzar el cilindro el diámetro de tres (3) milímetros, el operador lo rompa en forma deliberada, modificando la presión, la velocidad de rolado o ambas cosas.



Forma y dimensiones de la ranura.

PRUEBA DE CONTRACCIÓN LINEAL

Es también una medida de la plasticidad de la porción de los materiales que pasan la malla 40. En este caso no se obtiene una humedad sino una relación de longitudes. El material con humedad correspondiente al límite líquido, se coloca en un molde de dimensiones de 2 * 2 * 10 cm y se introduce en un horno hasta peso constante, periodo durante el cual sufre una disminución de longitud, de acuerdo con sus características. El porcentaje de acortamiento sufrido con respecto a la longitud inicial es la contracción lineal, que se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{Contracción lineal} = \frac{\text{Long. Inicial} - \text{Long. Final}}{\text{Longitud inicial}} \cdot 100$$

Procedimiento:

- a) Se hace esta prueba con el material que sobro del ensaye de (LL), con una humedad ligeramente mayor de 10% aproximadamente.
- b) Procederemos a llenar el molde de prueba previamente engrasado para evitar que se adhiera el material en las paredes. El material deberá de ser colocado en tres capas y en cada una de estas dar unos ligeros golpes tomando le molde de los extremos, con la finalidad de que el material se acomode.
- c) Se debe dejar secar el molde con el material a una temperatura ambiente hasta que su color cambie de oscuro a claro y se coloca en el horno a una temperatura de ciento diez grados centígrados.
- d) Se saca del horno y con el vernier tomamos la longitud de la barra de material seco y la longitud interior del molde, procediendo a anotarlo en la hoja de registro.

Cálculo.

$$CL = \frac{L1 - L2}{L1} (100)$$

Donde:

CL : Es la contracción lineal , en por ciento

L1 : Longitud interior del molde, en centímetros

L2 : Longitud de la barra del material seco, en centímetros

* Causas mas frecuentes de error al efectuar esta prueba.

- 1.- **Engrasado deficiente del interior del molde, lo que ocasiona que el espécimen se rompa al contraerse.**
- 2.- **No dar el número necesario de golpes a la barra para eliminar el aire contenido en el material.**
- 3.- **Exponer el espécimen al sol o introducirlo en el horno inmediatamente después de elaborado, originando con ello que se agriete o se deforme, principalmente cuando se trata de materiales muy plásticos.**
- 4.- **Medir incorrectamente la longitud final de la barra, sobre todo cuando se rompa o arquee excesivamente.**

Determinación de la Contracción Volumétrica (CV)

- a) **Esta prueba se hace con el material que sobro del ensaye del límite liquido, con una humedad ligeramente mayor aproximadamente en un 10%.**
- b) **El material se coloca en una cápsula petri, la cual debe pesarse y cubrir su interior con una capa delgada de grasa. O en su defecto con aceite quemado. El material se coloca en 3 capas, procurando en cada capa dar unos ligeros golpes para que se asiente el material y expulse el aire incrustado en el.**
- c) **A continuación se engrasa el material en el molde utilizando la espátula y se pesa con aproximación al 0.01 de gramo.**
- d) **La cápsula con el suelo se deja orear a la sombra hasta que cambie ligeramente su color; esto es con la finalidad de que la pastilla de suelo no se agriete.**
- e) **Inmediatamente después se pone a secar en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}$ C, durante 24 horas aproximadamente.**
- f) **Se extrae del horno la cápsula con el espécimen, se deja enfriar a la temperatura ambiente y a continuación se pesa.**

g) Se coloca en una cápsula de porcelana un recipiente de vidrio o de lucita y se llena de mercurio (Hg) hasta derramarlo y se enrasa. Para enrazar se coloca el vidrio de 3 puntas sobre la superficie de mercurio (Hg) y se presiona hacia abajo para forzar al excedente a salir del recipiente y así expulsar el aire atrapado. El mercurio (Hg), que se derrama se recoge en la cápsula para evitar pérdidas. (hay que tomar precauciones al manejar el mercurio Hg, debido a la gran toxicidad de sus vapores).

h) La pastilla de suelo seco se extrae de la cápsula petri y se coloca invertida sobre la superficie de mercurio (Hg), que se encuentra en el recipiente de vidrio o lucita; se sumerge lentamente con movimientos de rotación por medio del vidrio de 3 puntas hasta expulsar el aire atrapado.

i) El mercurio (Hg) desalojado por la pastilla se pesa y con este dato dividido entre el peso específico del mercurio (Hg), se calcula su volumen, que para fines prácticos se toma 13.60, puede variar hasta 13.56

Cálculo.

$$CV = \% W - \frac{V_i - V_f}{P_s} (100)$$

Donde:

CV : Es la contracción volumétrica, en por ciento

W: Es la humedad del material, en por ciento

Vi : Volumen inicial de la muestra, en centímetros cúbicos

Vf : Volumen final de la muestra, en centímetros cúbicos

El volumen desalojado se determina con la siguiente expresión:

$$V_f = \frac{P \text{ Hg Desalojado}}{P.E. \text{ del Hg}}$$

Donde:

P Hg: Es el peso del mercurio desalojado.

P.E. del Hg: Es el peso específico del mercurio.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

$$CV = \% W - \frac{V_i - V_f}{P_s} (100)$$

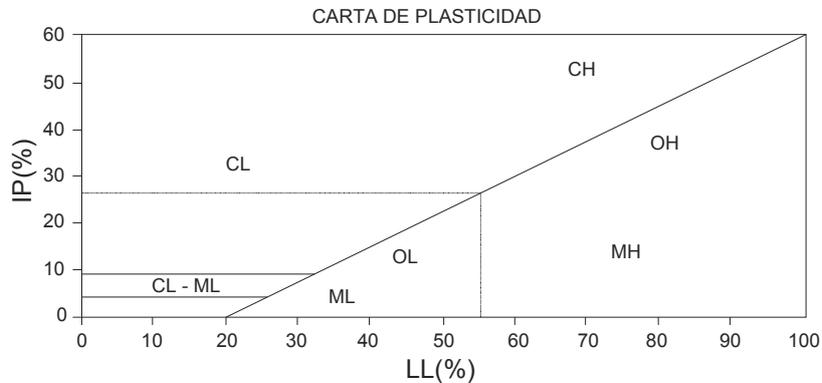
$$CV = 53.71 - \frac{(16.15 - 10.95) (100)}{17.50}$$

$$CV = 24.00\%$$

$$CL = \frac{L1 - L2}{L1} (100)$$

$$CL = \frac{(10 - 8.90) (100)}{10}$$

$$CL = 11.00\%$$



El espécimen del valor cementante se clasifico como un limo orgánico (OH) de acuerdo a la carta de plasticidad y con el sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.).

Prueba de Equivalente de Arena.

Tiene como principal objetivo la determinación del porcentaje de finos o parte de materia orgánica que pueda contener el material, ya que esta

origina cambios volumétricos y estos a su vez provocan los baches en la estructura del pavimento.



Equipo para la determinación del equivalente de arena, incluyendo la solución de trabajo y la solución de reserva.

Equipo.

- Cloruro de calcio.
- Glicerina.
- Agua destilada.
- Botella con capacidad de (4000 ml).
- Malla no. 4.
- probetas de lucita o acrílico graduadas en decimos de pulgada.
- Pisón.
- Cápsulas de aluminio.
- Tabla forrada con goma
- Agitador mecánico.

Procedimiento.

a) Se procede a elaborar la solución de trabajo la cual es conformada por (454 grs) de cloruro de calcio + (1890 ml) de agua, + (47 grs) de solución volumétrica al 40% de formaldehído + (2050 grs) de glicerina y complementando con agua destilada hasta obtener un volumen de tres mil setecientos ochenta y cinco (3875 ml).

b) En la botella de (4000 ml) colocamos la solución de trabajo en una repisa que se encuentre a una altura de aproximadamente (90 cm).

c) Del material que pasa la malla no. 4 se obtiene por cuarteo (500 grs) depositándolas en las cápsulas de aluminio, una vez el material dentro de las cápsulas procederemos a golpearlo contra la tabla forrada con goma para que este se acomode.

d) Vaciamos el material a las probetas previamente llenadas con solución de trabajo, procurando expulsar las burbujas de aire atrapadas, lo dejamos reposar (10 min); transcurrido el tiempo le colocamos el tapón a las probetas, y estas las colocamos en el agitador mecánico (puede ser manual), se darán 90 ciclos en (30 seg).



Determinación del equivalente de arena, mediante las tres probetas, se puede utilizar un agitador mecánico.

e) Se introduce el tubo irrigador hasta el fondo para remover de esta manera las partículas finas que se encuentran en las paredes de la probeta y a su vez ajustar un nivel final de (381 cm³), después lo dejamos reposar un lapso de (20 min).

f) Transcurridos los (30 min) tomamos la lectura de arcilla en la escala de la probeta, después introducimos el pisón procurando no perturbar los finos en suspensión, anotando los datos en la hoja de registro.

Cálculo.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

$$\text{Equivalente de Arena} = \frac{\text{Nivel de arena} (100)}{\text{Nivel de arcilla}}$$

Donde:

Nivel de arena, en cms

Nivel de arcilla, en cms

Equivalente de arena, en %

Muestra	Nivel de arena	Nivel de arena	Equivalente de arena	Promedio (%)
1	4.9	5.45	89.90	
2	4.8	5.45	88.00	88.95
3	3.9	5.40	72.00	

Para este caso el valor del equivalente de arena es de 88.95 % por tratarse de un material de origen volcánico.

* Causas mas frecuentes de error al efectuar esta prueba.

- 1.- Que el agitado se haga en forma inapropiada.**
- 2.- Que se muevan las probetas cuando se encuentran en reposo.**
- 3.- Que al introducir el pizón en la probeta se baje a velocidad excesiva.**

RESISTENCIA Y EXPANSIÓN

Para medir los parámetros de resistencia y expansión se usan pruebas como las triaxiales y las realizadas en consolidómetros. Una prueba muy usada es la Porter (1925), con ella se obtienen cuatro parámetros de los materiales: (PVSM) Peso Volumétrico seco máximo, (Wo) Humedad Óptima, (E) Expansión y (VRS) Valor Relativo de Soporte.

PRUEBA DE PORTER ESTÁNDAR

En un molde metálico de 15 cm de diámetro se colocan cuatro kg de material húmedo y se le da una presión estática con una placa que cubre toda la sección del molde de 140.6 kg/cm².

Si la base metálica se humedece con ligereza al terminar de darse la presión, el peso volumétrico seco obtenido es el máximo y la humedad correspondiente es la óptima (Wo).

EXPANSIÓN

El espécimen confinado en las condiciones de PVSM y Wo se mete en un tanque de saturación y se le coloca un extensómetro y se hace una lectura inicial (Li).

Por efecto del agua el material aumenta de volumen según su grado de plasticidad ósea se expande y se deja así por 72 h. cuando las lecturas del extensómetro son casi iguales de un día a otro se saca la lectura final (Lf) y se calcula el porcentaje de expansión de la siguiente manera:

$$\% \text{ Expansión (E)} = \frac{\text{Li} - \text{Lf}}{\text{Espesor del espécimen sin saturar}} \cdot 100$$

VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fue propuesta en 1929 por los Ingenieros T. E. Stanton y O. J. Porter, del departamento de carreteras del estado de California. Desde esa fecha, tanto en

Europa como en América, el método CBR (California Bearing Ratio) es decir la relación de soporte de california, se ha generalizado y es, hoy en día, uno de los más empleados para el calculo de los pavimentos flexibles.

Se establece en el una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad de soporte como base de sustentación para pavimentos flexibles. Si bien este método es empírico, se basa en trabajos de investigación llevados a cabo tanto en los laboratorios de ensayo de materiales, como uno de los mejores procedimientos prácticos sugeridos hasta hoy.

Este método que ha sido adoptado por el cuerpo de ingenieros del ejército estadounidense, así como por otros organismos técnicos y viales, ha experimentado varias modificaciones, pero en la actualidad se sigue, en líneas generales, el procedimiento sugerido por el U. S. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Misisipí.

Como se ve, la prueba de compactación estática es tan antigua como las dinámicas; si bien no se ha extendido tanto como estas ni es de aplicación tan universal, tiene en su favor el factor de la costumbre. Además, la prueba clásica estática estaba ligada con la prueba de valor relativo de soporte (C.B.R), muy usada en pavimentos, y ésta es, quizá, otra razón de su supervivencia en la tecnología de muchas instituciones.

Es bastante dudoso, pero relativamente poco estudiado que una prueba estática tenga una buena representatividad respecto a cualquier proceso de compactación en campo. La aplicación de presión, que de por si no es un método eficiente para compactar suelos friccionantes (que es a los que muchas veces se les aplica la prueba estática), además no considera ni la vibración ni ninguno de los métodos, modernos de compactación de estos suelos en campo; además, hay razones para pensar que la aplicación de una presión estática puede producir cambios granulométricos importantes durante la prueba, lo que contribuye a poner en entredicho su representatividad.

Algunas instituciones tienen a la prueba Porter como prueba estándar de compactación en suelos friccionantes y a pruebas de tipo Proctor como norma en suelos finos; los resultados de un estudio arrojaron como resultado la conveniencia de tratar de diversificar los controles de compactación a tal grado, pues en ocasiones un cierto estándar pudiera significar un requisito elevadísimo respecto del otro, en tanto que en otras pudiera quedar muy por debajo de la necesidad real del proyecto; esto depende de si el suelo friccionante es fino o grueso, de si contiene finos plásticos o no plásticos y de factores que en general son muy difíciles de cuantificar y que se prestan a la aparición de multitud de casos de frontera de duda, cada uno de los cuales puede generar un problema de campo, al fijar un estándar de compactación insuficiente.

La prueba de valor relativo de soporte se utiliza mucho todavía en la tecnología mundial de pavimentos como medida de prueba para diseño y, en algunos casos, como prueba de control de calidad. Por tanto, es interesante conocer la variación del valor relativo de soporte con las diferentes condiciones de compactación.

Para los especímenes que se prueban después de la saturación se obtiene una curva parecida a la de la compactación, debido a la absorción de agua y a la expansión que sufre el espécimen durante la saturación. En un material CH, el V.R.S. aumenta cuando crece el contenido de agua, si se mantiene constante el peso volumétrico. También crece el V.R.S., si el peso volumétrico aumenta, si bien esta tendencia tiene un límite, a partir del cual disminuye el V.R.S., aunque crezca mas el peso volumétrico; este fenómeno es el resultado del aumento de la presión neutral en el interior del suelo cuando este se compacta mas allá de cierto limite. El suelo CL muestra tendencias similares.

El Valor Relativo de Soporte (V.R.S.) se obtiene de una prueba de penetración, en la que un vástago de 19.40 cm² (3 plg²) de área se hace penetrar en un espécimen de suelo a razón de 0.127 cm/min (0.05 plg/min); se mide la carga aplicada para penetraciones que varíen en 0.25 cm (0.1 plg). El valor relativo de soporte del suelo se define como la relación expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm (0.1 plg) y la presión requerida para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón.

Penetración	Penetración	Presión en el vástago	Presión en el vástago
cm	plg	Kg / cm ²	Lb / pgl ²
0.25	0.100	70	1,000
0.50	0.200	105	1,500
0.75	0.300	133	1,900
1.00	0.400	161	2,300
1.25	0.500	182	2,600

Presiones para distintas penetraciones del vástago en el material patrón de la prueba del valor relativo de soporte (V.R.S.).

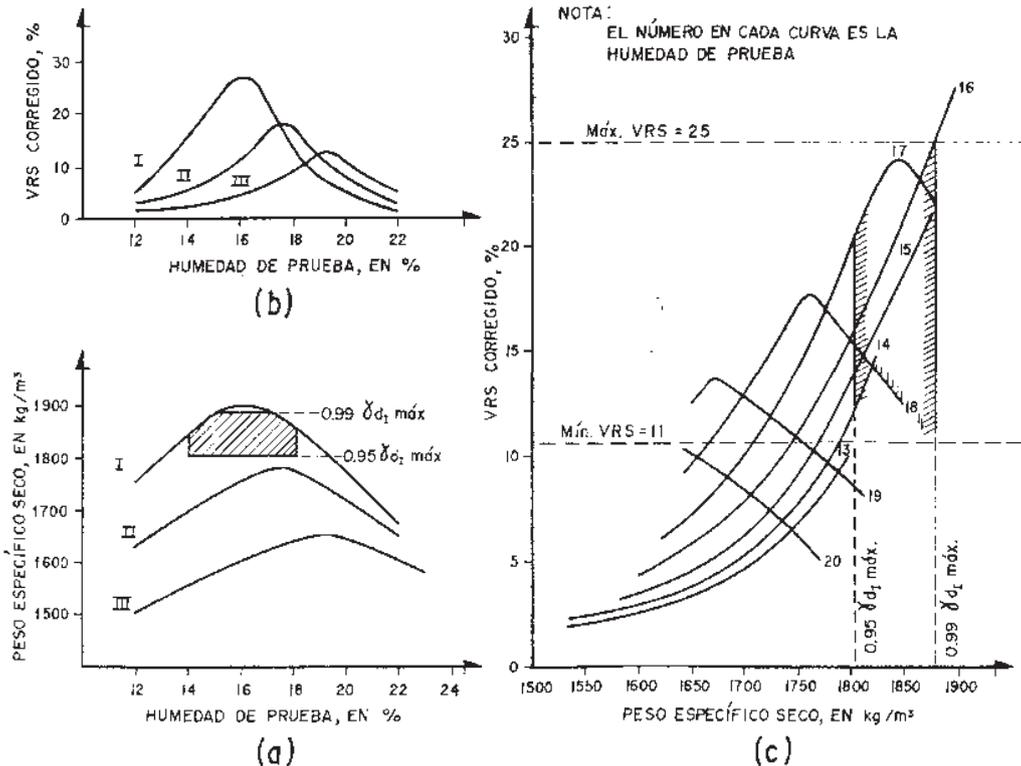
Como se dijo, la penetración que se usa para calcular el V.R.S. es la de los primeros 0.25 cm; como regla general, el V.R.S. disminuye cuando la penetración en que se hace su calculo es mayor, pero a veces si se calcula con la penetración de 0.5 cm (0.2 plg) resulta mas grande que el obtenido de la primera penetración; en tal caso, se adopta como V.R.S. el obtenido con la segunda penetración (0.5 cm).

El espécimen de suelo con el que se hace la prueba esta confinado en moldes de 15.2 cm (6 plg) de diámetro y 20.3 cm (8 plg) de altura. En el método de la prueba original utilizado en California, el espécimen se preparaba en tres capas varilladas que llenasen el molde; después el material se presionaba con 140 kg/cm², aplicados uniformemente en su superficie superior. En estas condiciones, eran preparados especimenes con humedades diferentes, hasta encontrar una en la que los 140 kg/cm² provocaran la exudación del agua en la parte inferior del molde de este espécimen.

Tras un periodo de saturación de 4 días, se suponía representativo de las condiciones más desfavorables que pudieran llegar a prevalecer en el futuro pavimento. Para reproducir la sobrecarga que vaya a tener una determinada capa de pavimento real, por efecto del peso de las superiores, al probar el material constitutivo se coloca sobre él una placa que comunique al espécimen una presión equivalente a la sobrecarga que se tendrá en el pavimento; la placa esta provista de una perforación en el centro para permitir el paso del pistón que efectuara la penetración.

Los factores que más afectan a los valores obtenidos en la prueba del V.R.S. son la textura del suelo, su contenido de agua y su condición de

compactación. En los suelos friccionantes, prácticamente no hay expansión durante la saturación, por lo que el monto de la sobrecarga dada por la placa perforada no es significativo durante esta etapa de la prueba; sin embargo, el valor de la sobrecarga si influye mucho en la etapa de penetración, pues el confinamiento afecta mucho la resistencia de los suelos friccionantes. En los suelos arcillosos ocurre precisamente lo opuesto.



Criterio del cuerpo de ingenieros para la elección del Valor Relativo de Soporte (V.R.S.) de diseño.

Generalmente la curva presión – penetración obtenida de una prueba de V.R.S. es lineal para bajas penetraciones y tiende a hacerse ligeramente curva, con la concavidad hacia abajo, a penetraciones mayores en ocasiones, sin embargo, la grafica resulta curva con concavidad hacia arriba en un pequeño tramo correspondiente a las penetraciones iniciales; esto ocurre, sobre todo cuando el pistón no esta exactamente normal a la superficie de la muestra al iniciarse la prueba. En estas ocasiones será preciso corregir los resultados de la prueba, desplazando la grafica hacia la izquierda, de manera que su parte recta prolongada

haciendo caso omiso de la pequeña curvatura inicial, pase por el origen. Los valores del V.R.S. así obtenidos se denominan” V.R.S. corregido “.

Nótese que el V.R.S. no es una característica constante del suelo, sino circunstancial y que refleja el contenido de agua y la condición de compactación (energía y método de compactación). Existe un V.R.S. máximo, que corresponde a una humedad relativamente cercana a la óptima de compactación.

Obsérvese también que para los suelos con contenido de agua alto, el V.R.S. del suelo compactado con mayor energía específica puede ser menor que el que se obtiene usando una energía menor, con tal de que el contenido de agua sea mas bajo; sin embargo, el máximo V.R.S. obtenible si es mayor cuanto mayor sea la energía específica con que se haya compactado el espécimen.

Cabe preguntarse, dado el extenso, casi universal que hoy se hace de la prueba de V.R.S. como base o índice para proporcionamiento de espesores de pavimentos flexibles, cual pueda ser su valor como prueba destinada a medir la resistencia de los suelos y cual su ubicación dentro del conjunto de técnicas de laboratorio o de campo de mecánica de suelos han desarrollado y recomienda para medir tan fundamental característica.

En primer lugar, la prueba es un ensaye de penetración o punzonamiento en el cual un vástago penetra al suelo colocado en un molde por el ejercicio de una presión que se aplica con velocidad controlada; se mide la presión ejercida para un conjunto de penetraciones previamente establecido; al final de la prueba se esta en condiciones de dibujar una grafica presión – penetración, en la que estos últimos valores son previamente seleccionados y los primeros pueden variar fuertemente de caso a caso, según la naturaleza del suelo, su contenido de agua, las condiciones de compactación.

Ya hay métodos con mejor base racional y es de esperar que la situación mejore todavía en el futuro, pero cuando una institución constructora de pavimentos decida implantar un nuevo método de diseño ha de tener muy presente que el diseño y la construcción de los pavimentos tiene mucho de experimental y de eso que ha dado en llamarse “el arte del ingeniero“. Parece que no queda duda de que la incorporación de nuevos métodos de diseño, cuya conveniencia no se discute, ha de hacerse en paralelo, de manera que la institución maneje durante un tiempo suficientemente grande la prueba del V.R.S..

Dado que el comportamiento de los suelos varía de acuerdo de acuerdo con su “ grado de alteración “ con su granulometría y sus características físicas, el método a seguir para determinar el C.B.R., será diferente en cada caso y así tendremos los siguientes casos :

- a) Determinación del C.B.R. de suelos perturbados y remoldeados.
- b) Gravas y arenas.

c) Suelos no cohesivos, poco plásticos y poco o nada expansivos.

d) Suelos cohesivos y expansivos.

e) Determinación del C.B.R. de suelos inalterados.

f) Determinación del C.B.R. in situ.

Determinación del C.B.R. de suelos perturbados y remoldeados.

Este procedimiento, quizás sea el mas común en el laboratorio y requiere de un mayor control de calidad.

1) Equipo.

a) Molde: **El molde cilíndrico que se utiliza es de acero y tiene un diámetro interior de 15 cm (6”) y una altura de 17.5 a 20 cm (7 a 8”). Se le acopla un collarín de 5 cm (2”) de alto y una base perforada.**

b) Disco espaciador: **Es de acero y tiene 5-15/16”, de diámetro y 2.5” de altura.**

c) Pisón: **Generalmente, se emplea el martillo de 10 libras con una altura de caída de 18” que se indica en el método AASHO T- 180.**

d) Plato y vástago: **El vástago cuya altura puede graduarse, se halla fijado en un disco metálico.**

e) Pesas: **Como sobrecarga, se emplea una pesa anular y varias pesas cortas, las cuales son de plomo y cada una de ellas pesa 5 libras.**

f) Trípode y extensómetro: **Para medir la expansión del material se emplea el extensómetro, con aproximación de 0.001” montado sobre un trípode.**

g) Pistón: **Un pistón cilíndrico, de acero, de 3 pulgadas cuadradas de sección circular, y de longitud suficiente para poder pasar a través de las pesas y penetrar el suelo hasta 1/2 pulgada.**

h) Aparato para aplicar la carga: **Puede emplearse una prensa hidráulica o cualquier aparato especialmente diseñado, que permita aplicar la carga a una velocidad de 0.05 pulgadas por minuto. Generalmente, los aparatos que se fabrican para este tipo de ensayos llevan anillos calibrados.**

i) Equipo mixto: **Además del indicado anteriormente, deberá disponerse del equipo misceláneo necesario, tal como balanzas, hornos, tamices graduados, papel filtro, tanques para inmersión de muestras, cronómetros, extensómetros.**

2) Preparación del material.

a) **Si se halla húmedo, tendrá que ser secado previamente, ya sea al aire o calentándolo a una temperatura no mayor de 60°C.**

b) **Una vez secado así el material, será menester desmenuzar los terrones existentes, teniendo cuidado de no romper las partículas individuales de la muestra.**

c) **Las muestras que se vayan a compactar, habrán de tamizarse en los cedazos (mallas) 3 / 4“, y la malla No. 4, la fracción retenida en el tamiz de 3/4 “ se descartará y remplazará en igual proporción, por el material comprendido entre los tamices 3/4“ y No. 4 luego, se mezclan bien las dos fracciones del material tamizado.**

d) **Se determina el contenido de humedad de las muestras así preparadas.**

La cantidad de material, para cada determinación de densidad, o sea, para determinar un punto de la curva de compactación se necesitan unos 5 kgs. De material, de modo que para cada curva de compactación, deberá disponerse de unos 30 kg de material, suponiendo que se determinen 5 o 6 puntos. Asimismo, ha de tenerse presente que cada muestra se debe utilizar una sola vez, es decir que no podrá usarse material que haya sido previamente compactado.

3) Determinación de la densidad y humedad.

El problema principal consiste en preparar en el laboratorio una muestra que tenga prácticamente, la misma densidad y humedad que se proyecta alcanzar en el sitio donde se construirá el pavimento. Sabemos que para determinar la densidad de un suelo perturbado se pueden emplear métodos estáticos y dinámicos. Anteriormente, para la determinación del CBR, se recomendaba compactar un suelo mediante la aplicación de una presión estática de 2.000 lbs/pulg². Pero hoy en día existe la tendencia de emplear los métodos dinámicos en un lugar de los estáticos.

Pues se ha observado, por investigaciones realizadas en los últimos años, que los métodos dinámicos reproducen con mayor fidelidad las

densidades alcanzadas en el terreno, especialmente cuando se trata de suelos arenosos y poco plásticos.

En el método del C.B.R., el procedimiento comúnmente empleado para compactar las muestras es:

1.- Se ensambla el molde cilíndrico, y se introduce el disco espaciador y se coloca encima de este disco un papel filtro grueso de 6” de diámetro.

2.- La muestra que ha sido debidamente preparada, se humedece añadiendo la cantidad de agua que ha sido previamente determinada; se mezcla bien el material, a fin de obtener una muestra uniformemente húmeda, y se determina su contenido de humedad.

Para poder determinar con mayor exactitud la humedad óptima, se recomienda que la humedad entre una y otra muestra “nueva“, varíe en mas o menos 2%.

3.- Una vez preparada la muestra, con su correspondiente contenido de humedad, se le coloca dentro del molde; y se le compacta en cinco capas que tengan un espesor aproximadamente igual, haciendo caer el pisón 56 veces sobre cada capa. Esta compactación se hace siguiendo un método análogo al indicado en el AASHO Standard T-180D, la briqueta compactada deberá tener un espesor aproximado de 5 pulgadas.

4.- Una vez compactada la muestra, se quitará el collarín metálico; se enrasará la parte superior de aquélla, con los bordes del molde cilíndrico, corrigiendo cualquier irregularidad superficial; se volteará el molde, y se le quitará la base metálica perforada en el disco espaciador.

5.- Se pesará el molde con la muestra y se determinará la densidad y la humedad de aquélla.

4) Determinación de la expansión del material.

a) Una vez determinada la densidad y humedad de la muestra, se colocará un papel filtro grueso de 6” de diámetro sobre la superficie enrasada; se montará encima de esta superficie el plato metálico perforado. Y se volteará el molde.

b) Sobre la superficie libre de la muestra se colocará un papel filtro grueso de 6” de diámetro y se montará el plato con el vástago graduable, Luego sobre el plato se colocarán varias pesas de plomo.

La sobrecarga que se aplique mediante pesos de plomo, debe de ser prácticamente igual a la correspondiente al pavimento (sub – base, base y capa de rodamiento) a construirse.

La sobrecarga mínima a emplearse será de 10 libras (4.54 kgs), equivalente a la de un pavimento de concreto de 5” de espesor (12.5 cm).

c) Una vez colocado el vástago y las pesas, se colocara cuidadosamente el molde dentro de un tanque o deposito lleno de agua.

Para permitir el libre acceso de agua por debajo de la muestra, se recomienda colocar el molde sobre bloques metálicos y no directamente sobre la superficie del tanque o deposito. Asimismo, para que la muestra se sature fácilmente por la parte superior, se recomienda verter agua dentro del molde hasta el nivel superior de las pesas. Los niveles de agua dentro y fuera del molde deben ser iguales.

d) Colocado el molde dentro del tanque con agua, se monta el trípode con un extensómetro, y se toma y registra la “lectura inicial”.

e) Cada 24 horas, y por un periodo de 96 horas (4 días), se toman y registran las “lecturas”, del extensómetro.

f) Al cabo de 96 horas, o antes si el material es arenoso, se toma y anota la “lectura final”, para calcular el “hinchamiento”, o expansión del material. La expansión progresiva diaria, así como la expansión total registrada al cabo de los 4 días, es referida, en por ciento, a la altura inicial que tenia la muestra antes de ser sumergida en agua.

Los adobes, suelos orgánicos y algunos suelos cohesivos tienen expansiones muy grandes, generalmente mayores del 10%.

Las especificaciones establecen, generalmente, que los materiales de préstamo para sub – base deben tener expansiones menores del 2% al cabo de 4 días.

Asimismo, se recomienda que los materiales para bases tengan expansiones menores del 1%.

Como simple dato informativo podemos indicar que hemos podido observar la siguiente relación entre los hinchamientos y valores del C.B.R.

1.- Los suelos que tienen hinchamientos de 3% o más generalmente, tienen C.B.R. menores del 9%.

2.- Los suelos que tienen hinchamientos de 2% como máximo, tienen aproximadamente C.B.R. iguales o mayores al 15%.

3.- Los suelos que tienen hinchamientos menores del 1%, tienen generalmente C.B.R. mayores del 30%.

Después de saturada la muestra durante 4 días, se saca el cilindro, y cuidadosamente se drena 15 minutos, el agua libre se queda. Como para

drenar bien el agua hay que voltear el cilindro, sujétese bien el disco y las pesas y el papel filtro y pésese la muestra.

5) Determinación de la resistencia a la penetración.

a) **Si no es necesario sumergir la muestra en agua, se colocará sobre ella la pesa anular y se montarán las pesas de plomo, de tal modo que se obtenga una sobrecarga semejante a la del pavimento a construirse.**

b) **Si la muestra ha sido sumergida en agua para medir la expansión, y después de que haya sido drenada, se colocará la pesa anular y encima las pesas de plomo que tenía la muestra cuando estaba sumergida en agua; o sea que la sobrecarga para la prueba de penetración deberá ser prácticamente igual a la sobrecarga colocada durante el ensayo de hinchamiento.**

c) **El molde con la muestra y la sobrecarga, se colocan debajo de la prensa y se asienta el pistón sobre la primera, aplicando una carga de 10 lb. (4.5 kgs).**

d) **Una vez “asentado” el pistón, se coloca en cero el extensómetro que mide la deformación. Si para la aplicación de la carga se emplea un aparato con anillo calibrado, el extensómetro del anillo deberá colocarse en cero.**

e) **Se hincan el pistón manteniendo una velocidad de 0.05 pulgada por minuto, y se leen las cargas totales necesarias para hincar el pistón en incrementos de 0.025”, hasta alcanzar 1/2 pulgada.**

f) **Hincado el pistón hasta 0.5 pulgada (1.27 cm), se suelta la carga lentamente; se retira el molde de la prensa, y se quitan las pesas y la base metálica perforada.**

g) **Finalmente, se determina el contenido de humedad de la muestra.**

Para el control de campo, bastara determinar el contenido de humedad de la parte superior de la muestra, pero en las pruebas de laboratorio se recomienda tomar el valor promedio de los diferentes contenidos de humedad obtenidos en los extremos y parte media de la muestra.

* Calculo del C.B.R.

Las “lecturas” tomadas, tanto de las penetraciones como de las cargas (reducidas a cargas unitarias), se representan gráficamente, en un sistema de coordenadas.

Si la curva esfuerzo – penetración que se obtiene es semejante al primer ensayo, los valores anotados serán los que se tomen en cuenta para el calculo del C.B.R.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

En cambio, si las curvas son semejantes a los correspondientes ensayos 2 y 3,

Deberán ser corregidas, trazando tangentes. Los puntos A y B, donde dichas tangentes cortan al eje de las abscisas, serán los nuevos ceros de la curva.

Las cargas unitarias y penetraciones se determinarán a partir de estos ceros.

Para determinar el C.B.R. se toma como material de comparación, la piedra triturada, las resistencias a la penetración que presenta ésta a la hincia del pistón son las siguientes:

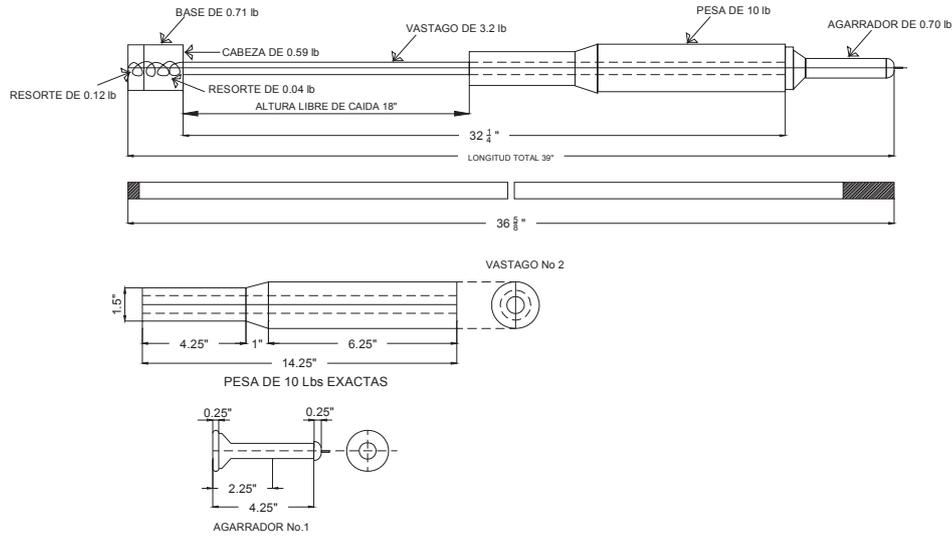
Penetración	Resistencia a la penetración (lb / pulg ²)	Resistencia a la penetración (Kg / cm ²)
0.1”	1.000	70.000
0.2”	1.500	105.00
0.3”	1.900	133.00
0.4”	2.300	161.00
0.5”	2.600	182.00

Relación de la penetración con su correspondiente resistencia.

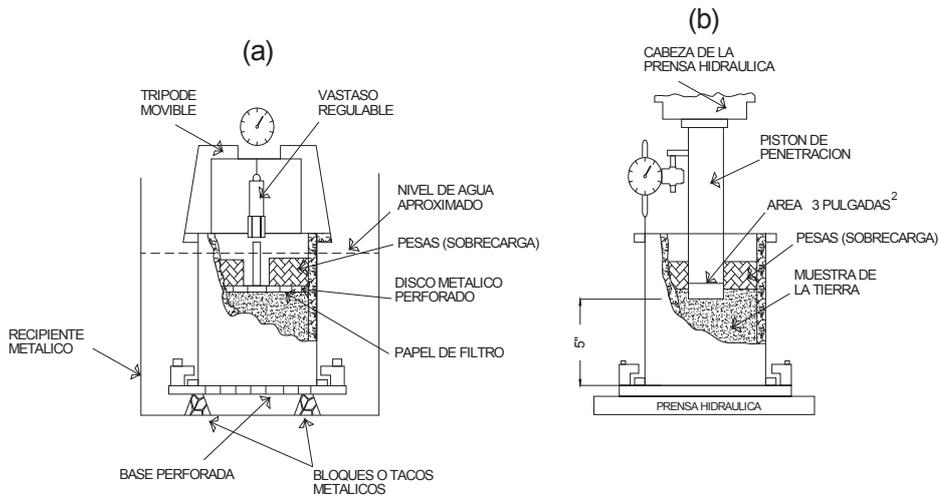
Como ya se dijo con anterioridad, la piedra triturada se toma como base de comparación. Por tanto, tendríamos que la resistencia a la penetración de la roca triturada es 100% (C.B.R. = 100%). Un C.B.R. de 2% o 3%, indicara que el material tiene una capacidad soporte muy baja.

El C.B.R. de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1” ó 0.2” de penetración, expresada en por ciento de su respectivo “valor estándar“. Si los C.B.R. para 0.1” y 0.2” son semejantes, se recomienda usar en los cálculos el C.B.R. correspondiente a 0.2”. Si el C.B.R. correspondiente a 0.1”, deberá de repetirse el ensayo.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”



Pisón empleado para los ensayos de compactación



Ensayos para determinar el hinchamiento y la resistencia a la penetración método del C.B.R.

Determinación del C.B.R. para suelos gravosos y arenosos.

Estos suelos en la clasificación unificada, corresponden a los siguientes grupos de arenas.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

GW: Gravas bien graduadas y mezclas de grava y arena con poco o nada de material fino.

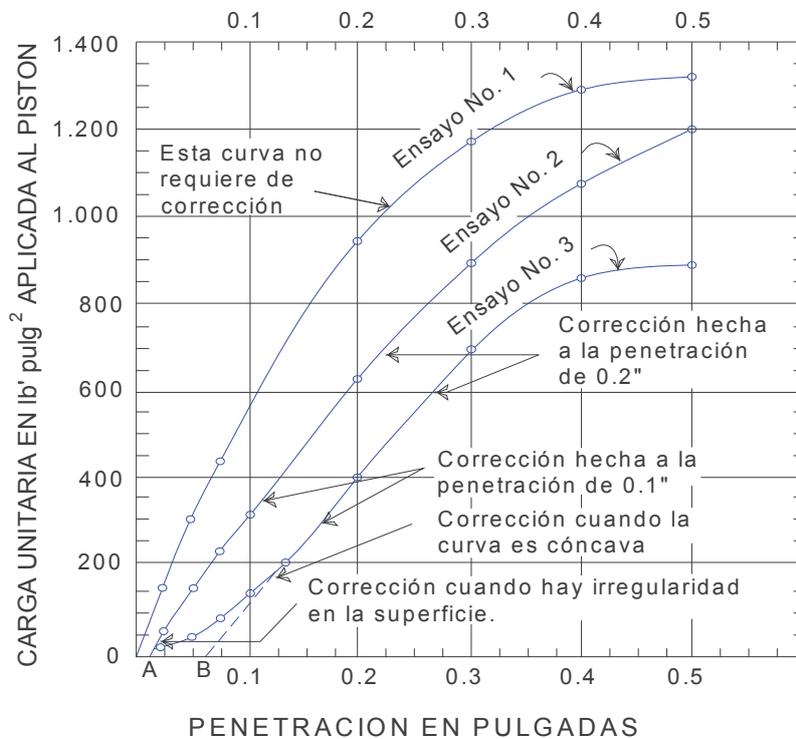
GP: Gravas mal graduadas y mezclas de grava y arena, con poco o nada de material fino.

SW: Arenas bien graduadas, arenas gravosas con poco o nada de material fino.

SP: Arenas mal graduadas y arenas gravosas con poco o nada de material fino.

Estos suelos gravosos y arenosos, sin cohesión, generalmente tienen índices plásticos inferiores a 2, y pueden ser compactados rápidamente en el campo. En general, su capacidad de soporte no se altera apreciablemente con los cambios de humedad, de ahí que su C.B.R. se pueda determinar directamente después de compactarlos, sin sumergirlos previamente en el agua.

El C.B.R. que se adopte para los cálculos de diseño de pavimentos flexibles, puede ser el correspondiente a su densidad máxima, o, si se sigue un criterio más conservador, el menor de los C.B.R. obtenidos. El C.B.R. de estos suelos granulares es, generalmente, mayor de 20%.



Curvas esfuerzo – penetración.

Determinación del C.B.R. para suelos no cohesivos, poco plásticos y poco o nada expansivos.

Estos suelos son los mas comunes y pertenecen a los siguientes grupos, dentro de la clasificación unificada.

GM: Gravas limosas y mezclas limo-areno-gravosas.

GC: Gravas arcillosas y mezclas arcillo-areno-gravosas.

SM: Arenas limosas y mezclas limo-arenosas.

SC: Arenas arcillosas y arcillas arenosas.

CL: Arcillas orgánicas, de baja a mediana plasticidad; arcillas limosas, arenosas y gravosas.

ML: Limos orgánicos y arenas muy finas; arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos de baja plasticidad.

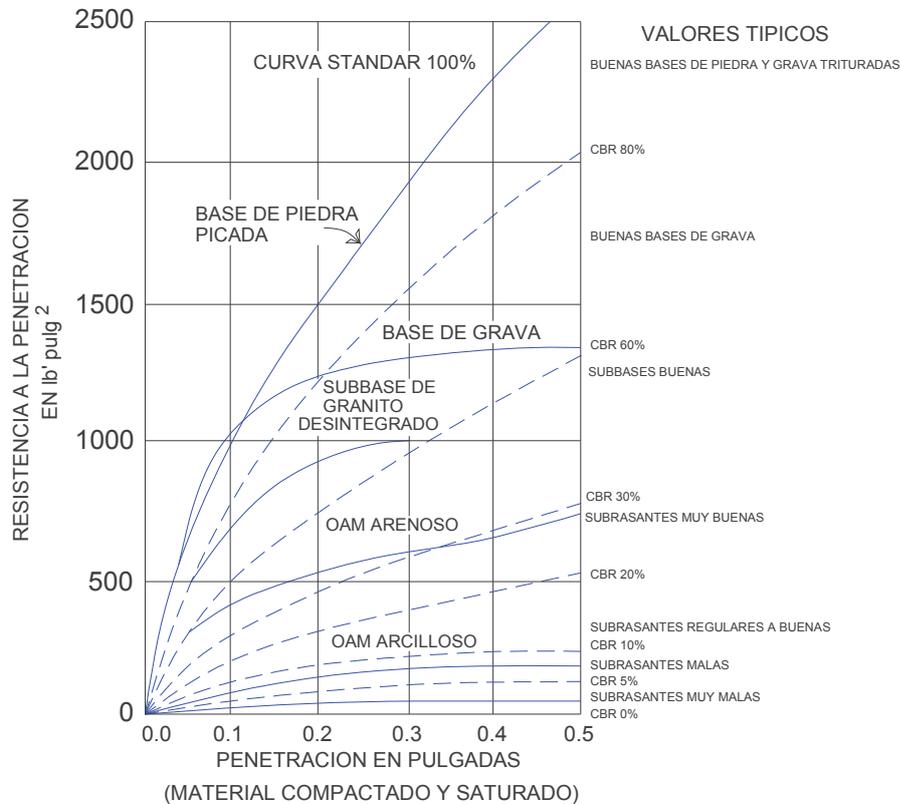
OL: Limos y arcillas limosas inorgánicas, de baja plasticidad.

Para determinar el C.B.R., de estos suelos se recomienda unos de los procedimientos siguientes:

a) **El primero se aplica a condiciones climáticas normales y a aquellos suelos cuya capacidad de soporte no varía apreciablemente cuando se altera ligeramente su contenido de humedad, o sea que no requieren un control muy estricto cuando son compactados en el campo.**

b) **El segundo es un procedimiento mas elaborado y se aplica a condiciones climáticas desfavorables y a aquellos suelos que son muy “sensibles” a pequeños cambios de humedad, lo que hace que se requiera un mayor control de ella en el campo.**

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”



Valores típicos del C.B.R.

*Procedimiento 1

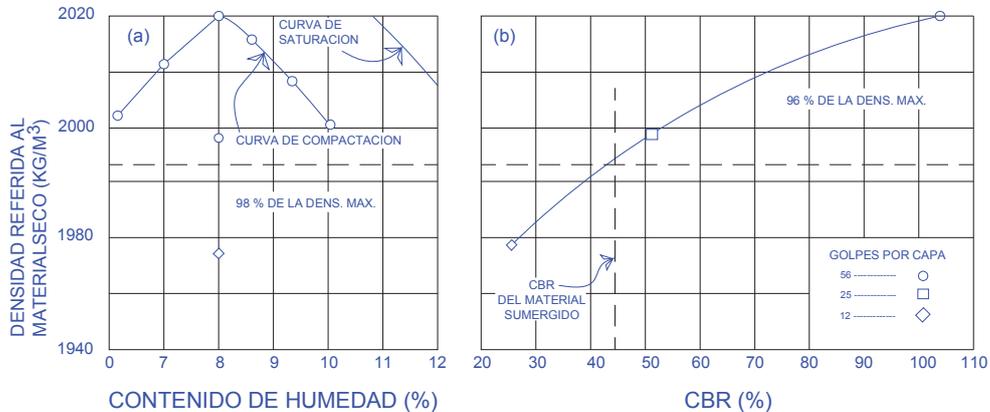
1.- Se determinara la curva de compactación según el método AASHTO Standard T- 180 D.

2.- Una vez determinada así la curva de compactación, se preparan 3 muestras, cada una de ellas con “humedad de mezclado“, igual en $\pm 0.5\%$ a la humedad óptima de la curva de compactación. (se vio que el pisón es de 10 lb, y la altura de caída 18”).

3.- Cada una de estas tres muestras, se sumerge en agua, a fin de determinar su correspondiente porcentaje de hinchamiento.

4.- Al cabo de 96 horas (4 días), se saca cada muestra del depósito con agua, se la drena, y se determina su correspondiente C.B.R.

El C.B.R. de diseño, será aquel correspondiente a la densidad que se especifique.



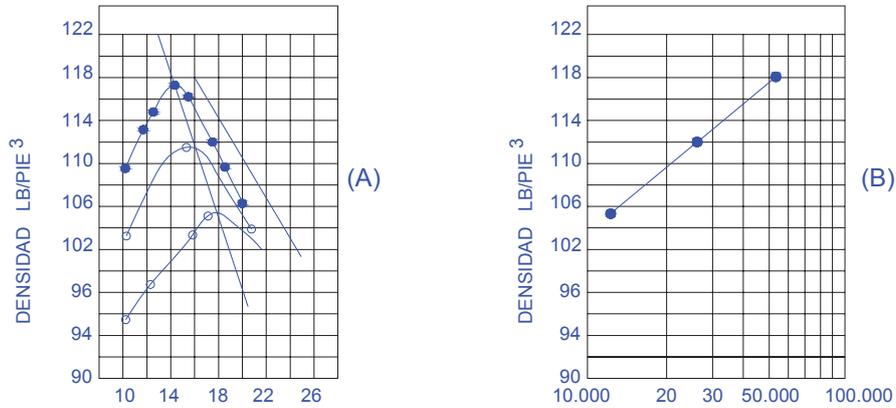
Determinación del C.B.R., según el procedimiento numero 1.

*Procedimiento 2

Es semejante al primero, pero mas elaborado, pues se recomienda determinar no solo una curva de compactación como en el procedimiento anterior, sino de tres curvas de compactación; correspondiendo cada una de ellas a 56, a 25 y a 12 golpes. En síntesis el método a seguir es el siguiente:

- Se determinan las tres curvas de compactación correspondientes a 56, 25 y 12 golpes, respectivamente. Si los ensayos de compactación han sido realizados en forma apropiada, la representación grafica, sobre un papel semilogarítmico, del esfuerzo de compactación por unidad de volumen, versus la densidad máxima, deberá ser una línea recta.
- Las muestras se sumergen en agua durante 4 días y se determina, para cada una de ellas, su porcentaje de hinchamiento y luego se les drena.
- Se determina el C.B.R. de cada una de las muestras preparadas a diferentes densidades y contenidos de humedad.
- Las curvas correspondientes a los contenidos de humedad, densidades y valores del C.B.R.
- Se determina la zona “densidad – humedad“, de acuerdo con la clase de obra a realizarse y a las normas a seguirse.

f) El C.B.R. de diseño se seleccionara de las correspondientes curvas de C.B.R. – Densidad y C.B.R. – Humedad.

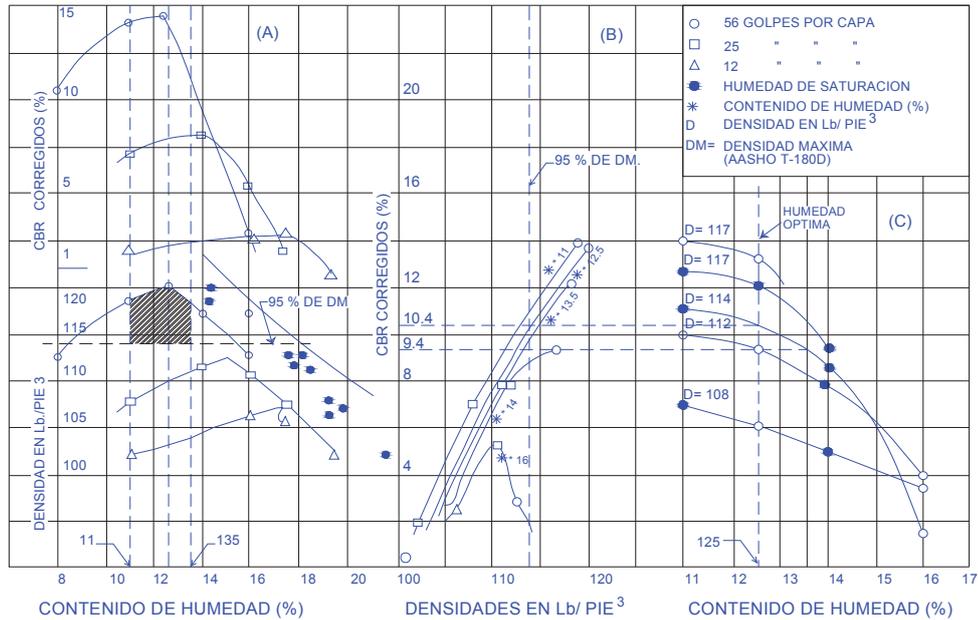


Curvas de compactación para 56, 12 y 12 golpes. Densidad máxima versus esfuerzo de compactación.

Generalmente la densidad que se selecciona para determinar el C.B.R., es la correspondiente al 95% de la máxima obtenida según el método AASHTO Standard T – 180 D. Sin embargo, puede especificarse una densidad diferente a la indicada.

La humedad que se selecciona para determinar el C.B.R. de diseño, corresponde generalmente, a la óptima obtenida según el Método AASHTO T – 180 D, pero puede especificarse otro contenido de humedad, de acuerdo a experiencias previas en el campo.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”



Curvas que relacionan los C.B.R. “corregidos”, con los obtenidos de humedad y densidades.

Generalmente, para un mayor control de la humedad en el campo, se considera únicamente la “zona seca”, de la curva de compactación. Pero puede tomarse en cuenta humedades ligeramente superiores a la humedad óptima. Analizando los valores del C.B.R., anteriormente indicados, y considerando el 95% de la densidad máxima, el C.B.R. del diseño podría ser uno de los siguientes valores:

- 1.- El correspondiente a la humedad óptima, o sea C.B.R. = 10.40%
- 2.- El correspondiente a la mayor humedad permisible ($w = 13.5\%$) o sea C.B.R. = 9.4%.

Determinación del C.B.R. para suelos cohesivos, plásticos y expansivos.

Estos suelos pertenecen, en la clasificación unificada, a los siguientes grupos:

MH.- Limos orgánicos; suelos limosos y arenosos de granulometría fina.

CH.- Arcillas inorgánicas muy plásticas.

OH.- Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada.

El método que se sigue para determinar el C.B.R. de estos suelos es semejante al procedimiento 2 anteriormente indicado, pero deberán seleccionarse cuidadosamente las humedades y las densidades, pues en estos suelos expansivos no siempre la humedad óptima y la densidad máxima son las mas adecuadas. Muchas veces, el hinchamiento de ellos es menor cuando se les compacta a densidades y con humedades distintas a la máxima y óptima respectivamente obtenidas en el laboratorio.

Por lo tanto, el C.B.R. que se seleccione para el diseño de un pavimento flexible a construirse sobre un suelo expansivo, será el correspondiente a la humedad y densidad bajo las cuales el suelo presenta menor hinchamiento.

Para facilitar la selección del C.B.R. de diseño, es recomendable representar gráficamente los porcentajes de hinchamiento versus los contenidos de humedad en los diferentes estados de compactación. La comparación de las curvas que relacionan los hinchamientos, C.B.R., y densidades con las humedades de compactación, permitirá establecer los límites de humedad y densidad apropiados, facilitando así la selección del C.B.R., de diseño.

Determinación del C.B.R. para suelos inalterados.

1.- Obtención de la muestra

Para obtener muestras “no perturbadas“, o “inalteradas“, se empleara:

- a) Cilindros metálicos con bordes cortantes.
- b) Moldes cortados por su cara lateral y ajustables mediante abrazaderas especiales.
- c) Cajas de madera cuya base y tapa sean removibles.

Los cilindros y moldes de acero o hierro galvanizado se emplean para obtener muestras de suelos cohesivos y las cajas de madera para la obtención de muestras de suelos granulares.

Antes de obtener muestras de suelos, se recomienda limpiar el sitio, y si es posible nivelarlo. Cuando se emplean moldes C.B.R. con bordes cortantes, la obtención de muestras se hace introduciendo estos moldes a presión. Una vez que ha sido introducido el molde completamente, se excava el suelo que esta a su alrededor y se “corta” el material que queda por debajo del molde. Luego, se le enrasan las superficies de ambas caras. Y se vierte parafina liquida a fin de evitar perdidas de humedad por evaporación. Las muestras así obtenidas se las envían al laboratorio debidamente protegidas contra golpes, etc.

Si se obtiene muestras utilizando cilindros “ajustables“, se recomienda excavar el terreno en tal forma que se obtenga una columna de suelo, aproximadamente del mismo suelo se alisa con el cuchillo y se introduce el cilindro aflojando las abrazaderas. Cuando el cilindro se halla lleno, se ajustan éstas; se corta la muestra por debajo; se enraza las superficies de ambas caras del cilindro, y se vierte parafina líquida para llenar los espacios libres que queden entre el cilindro y la muestra. El material así obtenido se enviará al laboratorio.

Para la obtención de muestras de suelos areno – gravosos o gravo – arenosos. Se quitará la base y tapa de la caja de madera que se utilice y se introducirá esta cuidadosamente hasta llenarla de material. Una vez que esta llena, se verterá parafina líquida de tal modo que cubra completamente la muestra, la que se recubrirá con parafina, se colocará y fijará la tapa y base y se enviará al laboratorio.

2.- Determinación de la densidad y humedad.

La densidad y humedad deberán ser determinadas “in situ“. Para ello, es conveniente seleccionar un lugar muy próximo al de dónde se obtuvo la muestra.

3.- Determinación del C.B.R.

Si la muestra sin perturbar ha sido obtenida con un molde de acero con collarín y disco, se quita la cubierta de parafina de una cara, se enrasa la superficie, se coloca un papel filtro grueso y se monta la base perforada. Luego se invierte el molde, se enrasa la superficie de la otra cara, se coloca el collarín y se determina el hinchamiento.

Si la muestra inalterada ha sido obtenida mediante el empleo de un cilindro ajustable con abrazaderas, se procederá en forma semejante a la anterior. Si no hubiera collarín que se pudiera adaptar al cilindro, se puede sacar la muestra (a presión sin abrazaderas), hasta que quede un espacio de unos 3 centímetros.

Una vez efectuada esta operación (semejante a la que se hace para sacar las briquetas compactadas en las pruebas de compactación), se enrasa la superficie, se coloca un papel filtro y se monta la base metálica perforada. Luego se voltea, el cilindro y se determina el hinchamiento del material introduciendo el molde con la muestra.

Como las muestras gravosas o arenosas tienen prácticamente los mismos C.B.R. bajo distintas condiciones de humedad, y no experimentan apreciables cambios de volumen, no se las satura en agua. Para determinar el C.B.R. de estos suelos granulares bastará quitar la tapa de la caja, remover la parafina solidificada y hacer directamente la prueba de penetración.

Los ensayos de hinchamiento y penetración para las muestras inalteradas, se efectúan de manera análoga al procedimiento número 1.

El C.B.R. se determina en los siguientes casos:

- a) Cuando se proyecta construir un pavimento encima del terreno de fundación existente, sin efectuar trabajos de compactación.
- b) Cuando se desea correlacionar las pruebas de penetración realizadas “in situ” con la humedad de diseño.

En este caso deberá determinarse tanto el C.B.R. correspondiente a la humedad natural, o sea, la existente “in situ”, como el C.B.R. correspondiente a la humedad que se ha seleccionado para el diseño. Ambas determinaciones se harán después de saturar las muestras en agua durante 4 días.

Las diferencias obtenidas entre estas determinaciones y el C.B.R. obtenido “in situ”, esto permitirá hacer las correlaciones apropiadas a los resultados logrados directamente en el terreno.

Determinación del C.B.R. “in situ”.

1.- Equipo.

Equipo portátil de carga compuesto de: un gato hidráulico de cuatro punto cinco (4.5) toneladas de capacidad; aparato de medición constituido por 2 anillos calibrados con aproximación de cuatro punto cincuenta y cuatro (4.54) kilogramos y capacidad de novecientos (900) y cuatro mil quinientos (4500) kilogramos, respectivamente; base ajustada al gato provista de extensiones para sujetar el cilindro o pistón de penetración, con sección circular de diecinueve punto treinta y cinco (19.35) centímetros cuadrados, que se adapte a las extensiones antes mencionadas.

Placa circular de acero con diámetro de veinticinco punto cuatro (25.4) centímetros, que tenga un orificio central de cinco punto cuatro (5.4) centímetros de diámetro y peso de cuatro punto cincuenta y cuatro (4.54) kilogramos.

Placas circulares de acero para sobrecarga, con diámetro de quince punto cuatro (15.4) centímetros, que tengan un orificio central de cinco punto cuatro (5.4) centímetros de diámetro y un peso de tres (3) kilogramos cada una.

Extensómetro con carrera de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) centímetros y aproximación de un centésimo (0.01) de milímetro, provisto de una abrazadera para acoplarlo a pistón de penetración.

Bloque o elemento rígido de forma geométrica regular y de dimensiones apropiadas para apoyar el vástago del extensómetro.

Vehículo lastrado o dispositivo con peso total suficiente para producir una reacción mínima de cuatro mil quinientos (4500) kilogramos, a fin de ser utilizado como apoyo del equipo de carga.

Así como de equipo menor que consiste en cronometro o reloj, palas de forma rectangular, picos barretas, etc.

2.- Procedimiento.

a) Se prepara el sitio de prueba dejando al descubierto la capa que se vaya a estudiar, para lo cual se elimina la parte superior de la misma que se encuentre alterada, en una superficie de forma rectangular cuya dimensión menor tenga cincuenta (50) centímetros, aproximadamente, esta superficie se hace sensiblemente horizontal, se emparejará de tal manera que no presente salientes mayores de dos (2) centímetros, se le eliminan las partículas sueltas que tenga y a continuación se cubre con una manta húmeda para evitar que el material pierda agua por evaporación.

b) Inmediatamente después se coloca en forma conveniente sobre el sitio de prueba, el vehículo que se utiliza como dispositivo de reacción y se hace descansar su chasis sobre piezas de madera apoyadas en el terreno, a fin de eliminar el efecto de las muelles.

c) A continuación se retira la manta húmeda, se coloca en el sitio de prueba de placa circular de cuatro punto cincuenta y cuatro (4.54) kilogramos 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.

d) Se instala el equipo portátil de carga y el extensómetro, en posición vertical, haciendo pasar la aguja de penetración a través de los orificios de las citadas placas.

e) Se ajusta el extensómetro y se continúa la prueba.

f) Ampliando la parte descubierta de la capa en estudio se repite en lugares que disten no menos de quince (15) centímetros, hasta contar con tres (3) determinaciones de la carga corregida C2.54, las cuales deberán cumplir con el siguiente criterio de aceptabilidad:

1.- En el caso de que en dos (2) de las tres (3) determinaciones se obtengan cargas menores de ciento cincuenta (150) kilogramos, la diferencia entre la mínima y la máxima no será mayor de treinta (30) kilogramos.

2.- En el caso de que en dos de las tres determinaciones se obtengan cargas comprendidas entre ciento cincuenta (150) y cuatrocientos cincuenta (450) kilogramos, la diferencia entre las cargas mínima y máxima no será mayor de setenta (70) kilogramos.

3.- En el caso de que en dos de las tres determinaciones se obtengan cargas comprendidas entre cuatrocientos cincuenta (450) y ochocientos (800) kilogramos, la diferencia entre la mínima y la máxima no será mayor de ciento cuarenta (140) kilogramos.

4.- Para cargas superiores a ochocientos (800) kilogramos se considera que no tienen importancia las variaciones en las lecturas individuales.

g) En el caso de que las tres (3) primeras determinaciones de la carga corregida C2.54 no cumplan con el criterio de aceptabilidad.

h) Con el objeto de tener mayor información sobre las condiciones del suelo, bajo las cuales se llevo a cabo la determinación del V.R.S. (Valor Relativo de Soporte) en el lugar, se determinara el grado de compactación en el sitio preparado para efectuar las pruebas citadas.

En esta prueba se calcula y se reporta lo siguiente:

El promedio de las tres (3) o seis (6) determinaciones de las cargas C2.54, designando este valor como C' 2.54, en kilogramos.

El valor relativo de soporte en el lugar, con la siguiente formula:

$$\text{VRS} = \frac{C' 2.54 (100)}{1360}$$

Donde:

VRS: es el valor relativo de soporte de la capa estudiada, en el lugar de la prueba, expresado como un porcentaje de la carga estándar de penetración de mil trescientos sesenta (1360) kilogramos.

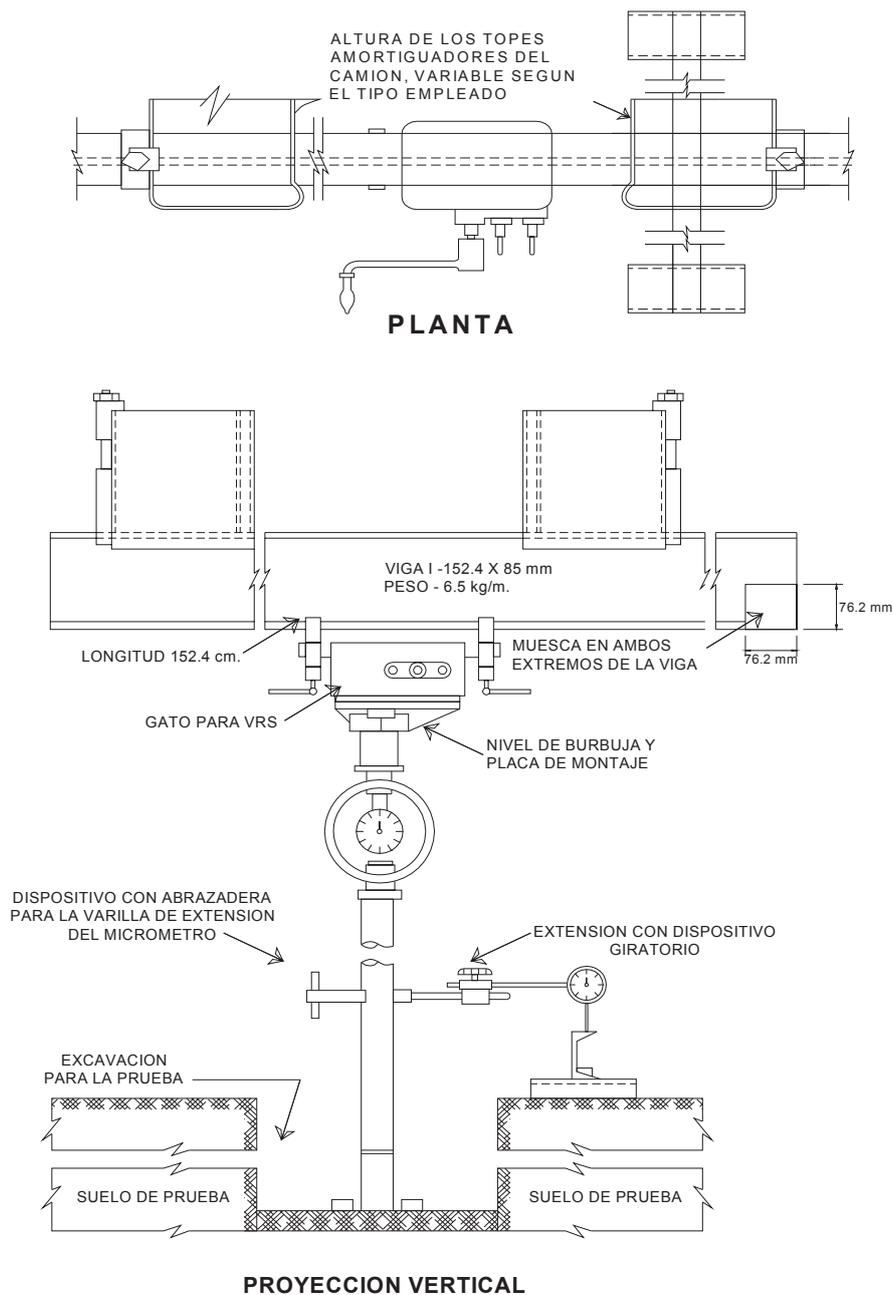
C' 2.54: es la carga promedio correspondiente a la penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros en kilogramos.

Los errores mas frecuentes en esta prueba son:

1.- Que se lleve a cabo en una capa en la cual no se reúnen las condiciones establecidas para la aplicabilidad de la prueba o las que prevalecerán en la obra, principalmente en lo que se refiere a humedad y compactación de suelos que la forman.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

- 2.- Que la superficie de prueba no haya sido debidamente acondicionada.
- 3.- Que una vez preparado el sitio de la prueba, el material pierda humedad antes de iniciarse la penetración.
- 4.- Que al instalar el extensómetro, el bloque en que se apoya el vástago no este correctamente asentado en el terreno y que no se tomen en cuenta las variaciones que los anillos calibrados sufren con los cambios de temperatura.



Instalación del equipo de carga para efectuar la prueba directa de valor relativo de soporte (V.R.S.)

PRUEBA DE VALOR CEMENTANTE

En México en caminos rurales y urbanos es muy común que las carpetas asfálticas sean de espesores menores a los 10 cm llegando a ser hasta de 2 o 3 cm, lo cuál no es suficiente para dar un confinamiento adecuado a los materiales inertes de base y subrasante por lo que se les añade según el tránsito que los recorra con cal o cemento Portland si son mas de 3000 vehículos diarios, cuando es menos se usan limos, materiales calichosos y silicosis o arenas arcillosas.

Para saber si un material tiene suficiente aglutinamiento se efectúa la prueba de valor cementante con la porción del material que pasa por la malla No.4 de la siguiente manera:

En un molde cúbico de lámina de 7.5 cm por lado se colocan tres capas de material con el agua necesaria para que al apretarse con el puño de la mano el material, éste se humedezca ligeramente. A cada capa por medio de una placa con un vástago, se le dan 15 golpes con una varilla de 900 g con una altura de 50 cm. Los especímenes se introducen con el molde en un horno donde se secan hasta tener un peso constante, se sacan y al adquirir la temperatura ambiente, se descimbran y se llevan a la ruptura por medio de compresión sin confinar.

El valor cementante se calcula al dividir la carga de ruptura entre el área y se reporta la resistencia promedio en kg/cm^2 , cuando menos de tres especímenes.

Objetivo.

Esta prueba tiene como principal objetivo conocer la cementación o cohesión del suelo sin confinar, que es la resistencia expresada en (kg / cm^2) que tiene el material seco y compactado a la aplicación de una carga dinámica.

Equipo.

- Molde metálico cuadrado de (7.62 cm) de lado y (11.43 cm) de largo.
- Pisón de (900 grs) con guía de (40 cm).
- Espátula.
- Placa de (1.27 cm de espesor)
- Prensa
- Horno

Procedimiento.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

- a) Se toman aproximadamente tres 3 kilogramos del material cribado que pasa la malla no. 4, le incorporamos agua, de tal manera de dejarlo lo mas próximo a su humedad óptima.
- b) Procederemos a llenar el molde metálico en tres capas, a cada una de estas capas de material se le dan 15 golpes con el pisón de novecientos (900 grs) dejándolo caer por la guía a una altura de (40) cm.
- c) Una vez terminadas las tres capas retiramos el molde teniendo la precaución de no fracturar el espécimen (por lo regular se elaboran 3 especimenes para promediar el valor obtenido de cada uno de ellos).
- d) Verificando que los especimenes no estén fracturados los metemos al horno por (24 hrs) a una temperatura de ciento cinco (105) grados centígrados.
- e) Transcurrido el tiempo sacamos los especimenes del horno dejándolos enfriar aproximadamente (30 minutos).
- f) Les aplicamos carga hasta que se fracturen, los resultados obtenidos se promedian para así conocer el valor cementante. Después se llena la hoja de registro correspondiente.



Carga aplicada a un espécimen, para la determinación de su valor cementante.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

Espécimen	Área (cms ²)	Constante Y= 8.237X +66.837	Carga (Kgs)	Valor Cementante (Kgs / cms ²)

Para este caso el valor cementante, se considera inapreciable.

Cálculo.

$$\text{Valor Cementante} = \frac{\text{Carga}}{\text{Área}}$$

Donde:

Valor cementante, en Kgs / cms².

Carga, en Kgs.

Área, en cms²

PRUEBAS DE ADHERENCIA DE MATERIALES PÈTREOS CON EL ASFALTO

Los materiales que estarán en contacto con el asfalto, como los que se utilizan en carreteras, deben tener buena adherencia, sobre todo si forman parte de carpetas asfálticas o bases negras.

Esta característica resulta negativamente cuando hay agua; por ello, los materiales afines al líquido (hidrófilos) tienen generalmente mala adherencia con el asfalto.

Las pruebas de adherencia más usuales en México son:

- a) Prueba de desprendimiento por fricción.
- b) Prueba de pérdida de estabilidad por inmersión en agua.
- c) Prueba inglesa.

a) PRUEBA DE DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN.

Se colocan 50g de mezcla asfáltica en un frasco y se deja reposar por 24 h, al término de los cuales se sujeta a 3 periodos de agitado de 5 min cada uno, los cuales pueden ser manuales de 15 min de tiempo total o

mecánico de 3 horas de tiempo total. Después, se saca la mezcla del frasco y se observa el porcentaje de desprendimiento del asfalto que sufrió el material pétreo; si es de 25 % o menos, se considera que el material tiene adherencia aceptable.

b) PRUEBA DE PÈRDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSIÒN EN AGUA.

Se coloca una porción de mezcla en un molde de 10 cm de diámetro y se le da una compactación de tipo estático bajo una presión de 40 kg/cm². De igual manera se elabora otro espécimen; la altura de los 2 es de 12 cm ± 0.5 cm. Uno de ellos se deja reposar y el otro se sumerge en agua durante 3 días. Al cabo de este tiempo, ambos se llevan a la ruptura mediante compresión sin confinar y la pérdida de estabilidad se calcula de la siguiente forma:

$$P_e = \frac{R_{ss} - R_{sat}}{R_{ss}} \cdot 100$$

Donde:

P_e = Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, en porcentaje.

R_{ss} = Resistencia del espécimen sin saturar, en kg/cm².

R_{sat} = Resistencia del espécimen saturado, en kg/cm².

Se considera que un material tiene adherencia aceptable si el valor calculado es menor que 25%.

c) PRUEBA INGLESA.

El producto asfáltico se esparce en el fondo de una charola hasta tener una película de 1.5 mm, la cual se cubre con un tirante de agua de 2.5 cm a la temperatura de aplicación del asfalto. La charola se coloca sobre un recipiente mayor que contenga agua a la misma temperatura y se toman 6 partículas de material pétreo con dimensiones de 1/2 pulg a 3/4 pulg, se sumergen en la charola y se mantienen presionadas en el asfalto durante 10 min; en seguida se sacan y se observa el porcentaje de cubrimiento de cada una para reportarlo. Si este valor es mayor que el 90%, la adherencia es aceptable.

En caso de que se concluya que el material no tiene buena adherencia se pueden usar aditivos.

DUREZA

Para conocer la dureza de los materiales pétreos y suelos se aplican diferentes pruebas, como la de desgaste por medio de una máquina, de

“Los Ángeles”, de “Deval” o la de durabilidad, pero también existen las pruebas de intemperismo acelerado, de forma de partícula y de densidad.

- **DESGASTE**

Consisten en colocar el material, con una granulometría determinada, dentro de un cilindro de acero hueco junto con bolas de acero. El cilindro se hace girar un determinado número específico de veces y al final se ve la cantidad de partículas finas que se produjeron, con lo cual se calcula el porcentaje de desgaste.

- **FORMA DE LA PARTÍCULA.**

Estas pruebas sirven para conocer el porcentaje de partículas en forma de aguja (asciculares) o de laja que hay en el material, pues éstas tienden a romperse con facilidad al recibir las cargas y reducen la resistencia de los materiales.

- **DENSIDAD.**

Es muy importante notar que los materiales con densidades menores que 1.8 PV suelto menor que 1500 kg/m^3) presentan en general problemas al usarse en alguna capa de la sección transversal de las vías terrestres, pues son deleznable y de baja resistencia además de presentar rebote. Esto se traduce en deformaciones o agrietamientos de la superficie de rodamiento, no siempre fáciles de corregir.

PRUEBAS PARA CLASIFICAR PRODUCTOS ASFÁLTICOS. PRUEBA DE DESTILACIÓN.

Se realiza en asfaltos rebajados y emulsiones, al colocar el material en un recipiente que se conecta a un refrigerante. El envase con el producto asfáltico se calienta y se evaporan primero los productos más volátiles, los cuales pasan por el refrigerante, se condensan y se reciben en una probeta, en el extremo del envase. En la parte superior del envase se coloca un termómetro para ver la temperatura a la que cae la primera gota en la probeta, y después se registran los volúmenes obtenidos a las diferentes temperaturas marcadas en los procedimientos de prueba; con este último dato y la temperatura de la primera gota, se conoce el tipo de rebajado de que se trata. La prueba con emulsiones es semejante, sólo que el elemento evaporado es el agua. Al terminar la prueba, el residuo que quedó en el recipiente se vacía antes de enfriarse en una cápsula de aluminio, ya que se utilizará en la prueba de penetración.

PRUEBA DE PENETRACIÓN.

Se realiza en cementos asfálticos y en los residuos de la destilación de rebajados y emulsiones asfálticas. Esta prueba se lleva a cabo por medio del penetrómetro, que consta de un vástago lastrado que pesa 200 g y que tiene una aguja en el extremo inferior. El material asfáltico contenido en una cápsula a una temperatura de 25°C se pone en contacto con la aguja del vástago y se deja libre durante 5 segundos; al cabo de este

tiempo, se ven en la carátula los décimos de milímetro que penetró la aguja, lo cual indica los grados de penetración.

PRUEBA DE VISCOSIDAD.

Con esta prueba se trata de conocer la dificultad que tiene un producto asfáltico para pasar por un orificio de características específicas. Para realizar esta prueba se usa el aparato llamado viscosímetro, con el cual se ve el tiempo que tarda el producto asfáltico en llenar un matraz aforado de 60 cm³, después de pasar, a la temperatura de prueba, por el orificio “Furol”. Este tiempo en segundos se denomina grado de viscosidad y la prueba se aplica en emulsiones, rebajados y cementados asfálticos.

PRUEBA DE PUNTO DE ENCENDIDO.

Se efectúa en cementos y rebajados asfálticos. A partir del resultado se puede deducir el tipo de solventes que contiene el producto en estudio. Se utiliza la copa Tag o la copa Cleveland, según el tipo de producto asfáltico. Éste se calienta en una de ellas hasta que se inflama, al pasar sobre un pequeño mechero encendido por la superficie descubierta de la copa. Se reportan la temperatura de la primera flama y de la inflamación.

PRUEBA DE ASENTAMIENTO.

Se colocan 500 g de emulsión en una probeta que se tapa herméticamente y se deja reposar por 5 días. Al final los 50 g de la parte superior se extraen con una pipeta y el porcentaje de cemento asfáltico se calcula por evaporación; en seguida, se extraen y desechan los 400 g que siguen y por último se obtiene, también por evaporación, el contenido de cemento asfáltico de los últimos 50 g. el asentamiento en 5 días es la diferencia de los contenidos de asfalto obtenidos de la parte inferior y de la superior.

PRUEBA DE DEMULSIBILIDAD.

Con esta prueba se obtiene el porcentaje de asfalto agrumado al utilizar cloruro de calcio dos centésimos normal, como coagulante.

PRUEBAS DE ACIDEZ Y DE CARGA DE LA PARTÍCULA.

Indican si las emulsiones son aniónicas o cateónicas. La primera de ellas se efectúa con papel tornasol y en la segunda se hace pasar una corriente eléctrica por la emulsión a través de un potenciómetro.

SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN.

Las pruebas de clasificación sirven para conocer las características de los materiales y decidir el uso de éstos. Hay sistemas de clasificación basados en una o en dos pruebas, y otros en los que se toman en cuenta varias características de los materiales. A veces, en una de éstas características influyen otras; así, el valor relativo de soporte, que es una prueba de resistencia, se ve influido por la granulometría, la plasticidad y la humedad de los materiales.

CLASIFICACIÓN BASADA EN LA GRANULOMETRÍA.

Con base en su granulometría, los materiales utilizados en la construcción de caminos se dividen de acuerdo con la siguiente tabla:

Fragmentos de roca	Grandes Medianos Chicos
Suelos	Gravas Arenas Finos

De acuerdo con la cantidad de grava, arena y finos que contenga el suelo, se tienen denominaciones mixtas como grava-arenosa- arcillosa o arcilla-grava-arenosa. Para conocer la denominación mixta se usa un monograma triangular.

CLASIFICACIÓN BASADA EN EL VRS DE LA PORTER ESTÁNDAR.

Toma sólo una característica que es la que divide los materiales conforme el valor relativo de soporte. Los materiales que tiene de 0 a 10% son terracerías de mala calidad, de 10 a 20% son capas subrasantes regulares, de 20 a 50% son capas subrasantes de buena calidad, con más de 50% pueden utilizarse como subbase y con mas de 80% se consideran materiales de base.

CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE.

En el método de Casagrande se toman en cuenta las características plásticas de los materiales finos, que se clasifican según un plano coordinado, donde se marca en las abscisas el límite líquido y en la ordenadas, el índice plástico.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS.

El sistema de clasificación SUCS divide los materiales de acuerdo con su granulometría y plasticidad.

NORMAS DE PAVIMENTOS COMO SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN.

Para decidir si un material se puede o no utilizar en alguna capa de pavimento, es necesario conocer varias de sus características, como la granulometría, el valor cementante, la contracción lineal y el valor relativo de soporte, con base en la prueba de Porter estándar.

Éstas características se comparan con los requisitos de las especificaciones y, en caso de cumplir con ellos, se pueden utilizar en capas de sub-base. O carpeta.

PRUEBAS DE CONTROL.

Permiten verificar la calidad de las obras, y de esta manera las pruebas que se utilizan para clasificación también se usan para el control. Con base en las pruebas de clasificación se realizan los proyectos y se formulan los procedimientos de construcción. Hay pruebas específicas de control que se usan para conocer el grado de compactación alcanzado en las diferentes capas de la estructura de una obra vial.

PRUEBAS DE PROYECTO.

Para dimensionar las diferentes partes que constituyen las secciones de una vía terrestre si se consideran las cargas de tránsito y se utilizan las pruebas de resistencia de los materiales. Los resultados de éstas se correlacionan con el comportamiento real de las estructuras para obtener los nomogramas de proyecto.

**TRATAMIENTO DE MATERIALES
TIPOS DE TRATAMIENTOS.**

Los materiales cercanos a las obras no cumplen a menudo los requisitos necesarios para utilizarse en alguna capa de la sección transversal de una obra; entonces, es preciso realizar uno o varios tratamientos para mejorar sus características. Éstos deben resultar más económicos que tener grandes distancias de acarreo. Los principales tratamientos empleados en las vías terrestres son de disgregado, cribado, compactación y estabilización.

a) DISGREGADO

Se utiliza en materiales finos agrumados, en materiales granulares poco o medianamente cementados y en rocas alteradas. Se pasan rodillos lisos metálicos sobre el material hasta que el desperdicio es de menos del 10%, de tal manera que al final se tenga un desperdicio menor al 5%.

b) CRIBADO

Si el material que se habrá de utilizar es granular y tiene un desperdicio mayor al 10%, se procede a cribarlo. En este trabajo se utiliza una planta con tamices de diferentes tamaños para controlar la granulometría y una serie de bandas para transportar los materiales a las mallas o a los almacenamientos.

c) TRITURACIÓN

Cuando el desperdicio del cribado es mayor que el 25%, lo más conveniente es triturar. Este tratamiento es parcial o total. El primero se ejecuta cuando el desperdicio es del orden del 25% y consiste en cribar primero el material y sólo triturar el desperdicio. Cuando éste es más del 50%, se realiza el triturado total al pasar todo el material por la máquina sin cribarlo antes.

De acuerdo con los tamaños de material que admiten, las trituradoras son primarias, secundarias o terciarias.

Las trituradoras primarias admiten fragmentos de roca hasta de 75 cm y producen fragmentos con un tamaño máximo de 15 cm.

Las trituradoras secundarias trabajan con material de hasta 25 cm en la admisión y lo reducen a un tamaño máximo de 5 cm.

Las trituradoras terciarias admiten partículas menores que 5 cm y producen grava chica, arena y polvos.

ESTABILIZACIÓN DE MATERIALES

Se llama estabilización de materiales a la mezcla de dos o más de éstos para que adquieran las características deseadas. Se distinguen dos tipos: las mecánicas y las químicas.

ESTABILIZACIÓN MECÁNICA

Las estabilizaciones de tipo mecánico se presentan en tres casos:

- a) Para mejorar la granulometría.
- b) Para reducir la plasticidad.
- c) Para aumentar el valor cementante.

• ESTABILIZACIÓN PARA MEJORAR LA GRANULOMETRÍA

Cuando un material tiene una granulometría discontinua se puede agregar otro elemento que disminuya ese defecto. Es necesario conocer las

proporciones en que se deben mezclar ambos materiales, con base en un nomograma.

- ESTABILIZACIÓN MECÁNICA PARA DISMINUIR LA PLASTICIDAD
En la naturaleza a menudo se encuentran materiales con una plasticidad ligeramente mayor a la que marcan las normas. Si es necesario utilizarlos en alguna capa de pavimento, se reduce esta característica para que sean aceptables, aunque es posible también utilizar materiales con menor plasticidad.

En forma empírica se ha encontrado la fórmula para calcular el índice plástico de la mezcla de materiales a partir de las características de éstos:

$$I_p = \frac{K_1 (f_1) I_1 + K_2 (f_2) I_2 + K_3 (f_3) I_3 + \dots}{K_1 (f_1) + K_2 (f_2) + K_3 (f_3) + \dots}$$

K1, K2, K3 = Porcentaje en que los suelos S1, S2, S3, ... intervienen en la mezcla.

f1, f2, f3 = Porcentaje de finos que pasan por la malla núm. 40 en cada suelo.

I1, I2, I3 = Índice plástico de cada suelo.

Al estabilizar los materiales para reducir su plasticidad, es posible reducir también el costo de construcción.

- ESTABILIZACIÓN MECÁNICA PARA AUMENTAR EL VALOR CEMENTANTE

Cuando existen carpetas de 2 a 8 cm, colocadas sobre bases construidas con materiales de grava-arena, inertes y sometidas a la acción del tránsito, se producen deformaciones rítmicas transversales denominadas “permanentes” en el lenguaje caminero.

Para evitar lo anterior, en caminos con tránsito de hasta 2 000 vehículos diarios se agrega a los materiales inertes: limo, caliche, sílices o arenas arcillosas de baja plasticidad o sea, con I_p , que no llegan a 18% y corresponden a contracciones lineales menores que 6.5%. Estos materiales de base deben cumplir las normas respectivas en cuanto a valor cementante, valor relativo de soporte y plasticidad.

CÁLCULO DE VOLÚMENES PARA REALIZAR MEZCLAS DE MATERIALES NATURALES.

Al mezclar dos materiales, la cantidad no aumenta en proporción a sus volúmenes individuales sino que, como algunas partículas de uno de los materiales ocupan los huecos del otro, entonces el volumen casi siempre es menor que el de la suma individual de los materiales.

CÁLCULO DE ABUNDAMIENTOS.

En diferentes etapas del proyecto y de la construcción de las vías terrestres, es necesario homogenizar los diferentes volúmenes de materiales de construcción; así, cuando se hablaba de calcular los acarros de los materiales, se hacía referencia a calcular el coeficiente de variación volumétrica de corte de terraplén a fin de manejar ambos materiales con el mismo peso volumétrico. Asimismo, este coeficiente de variación volumétrica (c) se definía como la relación del peso volumétrico del material de corte y el peso volumétrico del material en terraplén, es decir:

$Cv_{c-t} = \gamma \text{ del corte} / \gamma \text{ del terraplén, o sea:}$

$$Cv_{c-t} = (W \text{ de corte}) \times (V \text{ de terraplén}) / (W \text{ del terraplén}) \times (V \text{ de corte})$$

Tomando el mismo peso tanto en corte como en terraplén, se tiene:

$$Cv_{c-t} = V \text{ del terraplén} / V \text{ del corte}$$

Cuando se mezclan materiales durante la construcción para fines de pago y los contratistas realizan sus estimaciones, entonces son útiles los siguientes coeficientes de variación. Las variables o datos son los mismos que en el caso anterior del cálculo de volúmenes:

a) Coeficiente de variación volumétrica de dos materiales (1 y 2) sueltos, con respecto a la mezcla compacta:

$$Cv(1 \text{ y } 2) / mc = Va / V1 + V2$$

Es decir,

$$Cv(1 \text{ y } 2)/mc = \frac{1}{((PVSM \times Gc \times A(\%))/(PVSS(1))) + ((PVSM \times Gc \times B(\%)/PVSS(2)))}$$

b) Coeficiente de variación volumétrica de la mezcla compacta de dos materiales (1 y 2) sueltos con respecto a cada material separado:

$$\begin{array}{ll} Cv_{mc/1s} = V1/Va & Cv_{mc/1s} = (A\%) (PVSM) (Gc) / PVSS(1) \\ Cv_{mc/2s} = V2/Va & Cv_{mc/2s} = (A\%) (PVSM) (Gc) / PVSS(2) \end{array}$$

c) Coeficiente de variación volumétrica de dos materiales (1 y 2) sueltos con respecto a la mezcla suelta:

$$Cv(1 \text{ y } 2) / ms = Vms / V1 + V2$$

O sea

$$Cv(1 \text{ y } 2)/ms = \frac{1}{((PVSSm \times A\%)/(PVSS(1))) + ((PVSSm \times B\%)/(PVSS(2)))}$$

donde PVSSm = Peso volumétrico seco y suelto de la mezcla.

Coefficiente de variación volumétrica de la mezcla suelta de dos materiales con respecto a cada material suelto (1 y 2) separado:

$$\begin{array}{ll} Cvms/1s = V1/Vms & Cvms/1s = (A\%)(PVSSm)/PVSS(1) \\ Cvms/2s = V2/Vms & Cvms/2s = (B\%)(PVSSm)/PVSS(2) \end{array}$$

ESTABILIZACIÓN QUÍMICA CON CAL Y CEMENTO PORTLAND.

Un suelo se estabiliza químicamente cuando interviene el agua en la mezcla de los materiales y se presentan reacciones químicas. Hay diferentes materiales de tipo industrial como el cemento Pórtland y la cal hidratada.

Con el uso de la cal o el cemento Pórtland es posible bajar la plasticidad y aumentar la resistencia. Usualmente los porcentajes de cal empleados varían del 2 al 7%. Si el objetivo es reducir la plasticidad, las proporciones varían del 2 al 7%; en cambio, si se desea aumentar de manera considerada la resistencia, la proporción es del 5 al 15%.

En el primer caso las mezclas son de mejoramiento del suelo (suelo mejorado); en el segundo, se obtiene el llamado suelo-cemento.

Una vez que se humedece la mezcla para el suelo mejorado no se permite que el cemento Pórtland aglutine el suelo al fraguar, por lo que el material se remueve cuando menos tres veces al día durante tres días. En cambio, una vez que se incorpora el agua necesaria a la mezcla para el suelo-cemento, de inmediato se elabora el espécimen en el laboratorio, o en la obra se forma y compacta la capa correspondiente a fin de favorecer el aglutinamiento del material.

ESTABILIZACIÓN CON ASFALTO.

Cuando se usan materiales inertes como arena o la grava-arena (bases negras o carpetas asfálticas), en definitiva la estabilización es mecánica.

3.- ENSAYO PORTER.

Objetivo.

Determinar el valor relativo de soporte, sobre la fracción de suelo que pasa la malla de 1”, elaborando un espécimen con la humedad óptima del material por estudiar, de acuerdo con el procedimiento de compactación por carga estática, dicho espécimen se somete a un periodo de saturación antes de efectuar la determinación del valor relativo de soporte, y se obtiene como dato adicional la expansión del espécimen originada por su saturación.



Equipo para elaborar la prueba porter estándar,

Equipo.

- 1.- Molde cilíndrico de compactación de (157.5 mm) de diámetro interior y de (127.5 mm) de altura.
- 2.- Maquina de compresión con capacidad mínima de (30 ton) provista de (1) pistón de penetración, de acero, con diámetro de (49.5 mm) y sección de (19.35 cm²).
- 3.- Varilla metálica de (19 mm) de diámetro y (300 mm) de longitud, con punta de bala.
- 4.- Placa circular para compactar, de (154.5 mm) de diámetro.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

5.- Malla no. 25.

6.- Malla no. 4.75.

7.- Balanza con capacidad mínima de (20) kilogramos de aproximación de (5 grs).

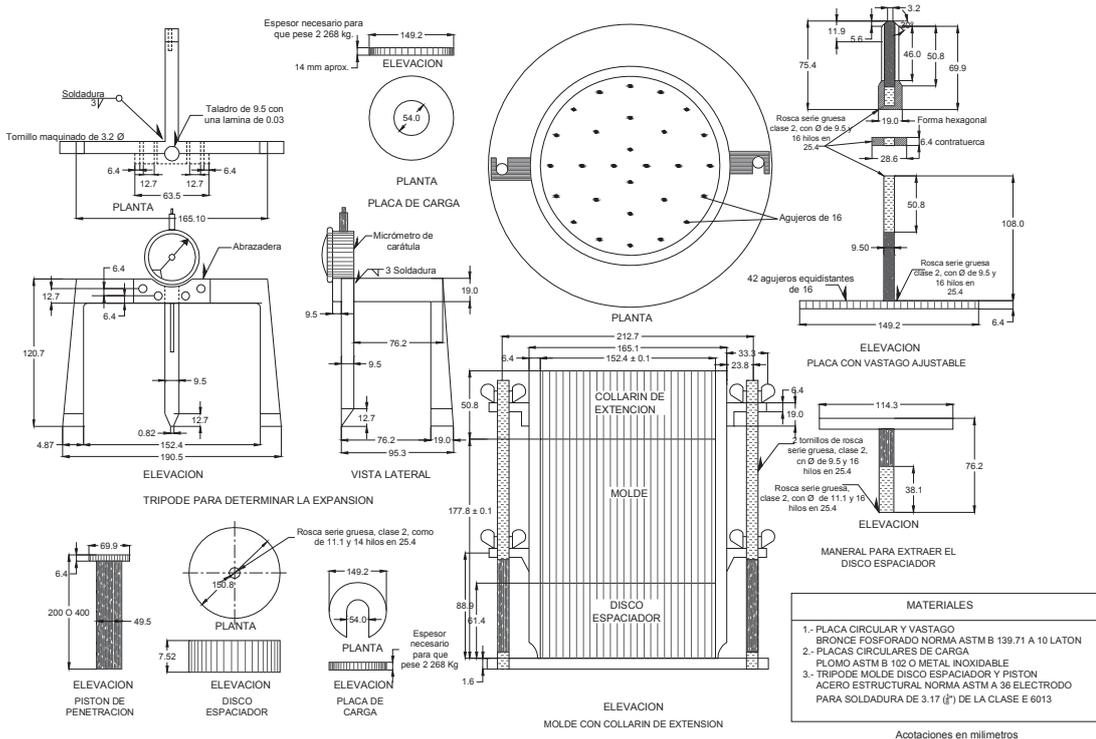
8.- Calibrador vernier.

9.- Tanque de saturación con altura mínima de (30 cm).

10.- (2) placas circulares de carga con diámetro de (154 mm), teniendo un orificio central de (5.4 cm) de diámetro y un peso de (3 kg) cada una.

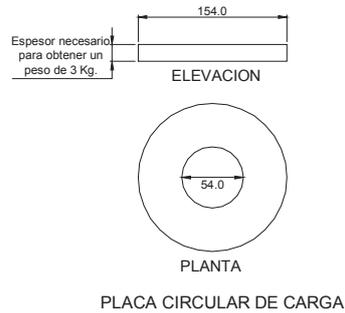
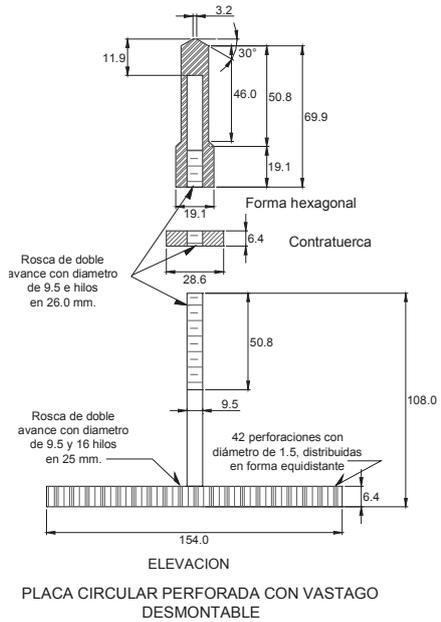
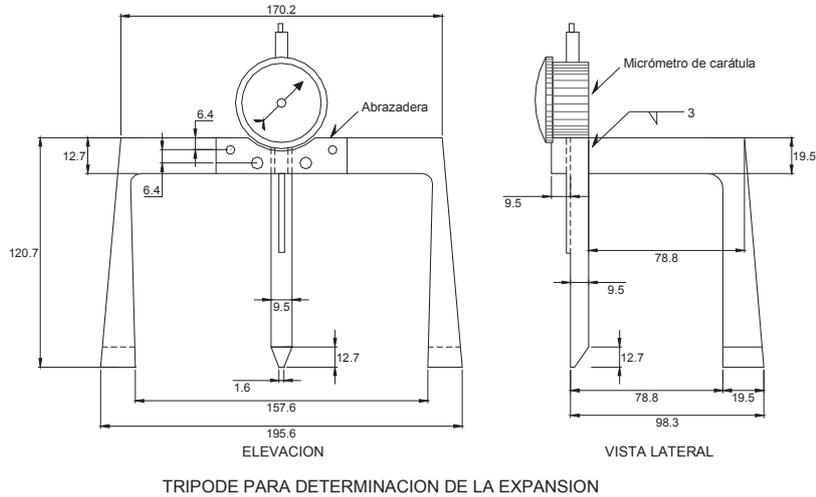
11.- Cronómetro.

12.- Hojas de papel filtro con diámetro de (154 mm)



Equipo para la prueba de Valor Relativo de Soporte (VRS) del cuerpo de ingenieros de E.U.A.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”



MATERIALES
1.- Placa circular perforada y vástago de bronce fosforado, norma ASTM. b 139-71 a.
2.- Placa circular de carga y trípode de acero estructural, norma ASTM a 36-70 a.
3.- Electrodo para soldadura de 3.17 ($\frac{3}{16}$) de la clase E 6013.

Acotaciones en milímetros.

Placa circular perforada, placas circulares de carga y trípode que se utilizan en la prueba porter estándar.

Procedimiento.

- a) De una muestra se toma por cuarteo una porción suficiente para obtener aproximadamente dieciséis (16 kg) de material que pase por la malla no. 25 y se pesa dicha porción.
- b) A continuación se criba el material por la malla no. 25
- c) Se elabora el espécimen con la humedad óptima del material y se le toma su altura con aproximación al mm.
- d) Se colocan en la parte superior del espécimen, en el orden que se indica, una (1) o dos (2) hojas de papel filtro, la placa perforada y las dos (2) placas de carga; enseguida se introduce al tanque de saturación el molde contenido el espécimen, procurando que este quede totalmente cubierto con el agua, con un tirante aproximado de dos (2 cm) sobre el borde superior del molde.



La presión de compactación, puede variar de acuerdo a cada prensa para el caso es de 5400

- e) Inmediatamente después con el objeto de determinar la expansión del espécimen por saturación, se mide el incremento de altura que experimenta el espécimen con el vernier, tomando cuatro (4) lecturas en diferentes partes para así poder sacar el promedio general de la expansión, se seguirán tomando medidas cada 24 hrs., y estas se pararan

hasta que dos sean sucesivas, por lo general se lleva de tres (3) a cinco (5) días. Mediante la siguiente expresión:

$$E = \frac{(I_f - I_i)}{h_e} (100)$$

Donde:

E : Es la expansión, en %

I_f : Lectura del vernier al final, en cms.

I_i : Lectura del vernier al inicio, en cms.

h_e: Altura inicial del espécimen, en cms.

f) Después se coloca el molde que contiene el espécimen y las placas en posición horizontal y se deja así durante tres (3 min), a la sombra, con la finalidad de que se escurra el agua. Inmediatamente después se retiran las placas y el papel filtro, y se vuelven a colocar únicamente las placas de carga.

g) Se instalan en la prensa el extensómetro y el molde con el espécimen y las placas de carga, introduciendo el cilindro de penetración, montado con el vástago de la prensa, a través de los orificios de las placas, hasta tocar la superficie de la muestra; se aplica una carga inicial de diez (10 kg) e inmediatamente, sin retirar la carga, se ajusta el extensómetro.

h) Se aplica carga para que el pison penetre en el espécimen con una velocidad uniforme de (1.27 mm) por minuto.

Cálculo.

1.- Se determina la altura promedio del borde superior del collarín al PL de carga.

$$A_p = (A_1 + A_2 + A_3 + A_4)$$

Donde:

A_p: Es la altura promedio, en cm

A₁ + A₂ + A₃ + A₄: Son las alturas tomadas de cada esquina, en cm

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

2.- Se determina la altura real.

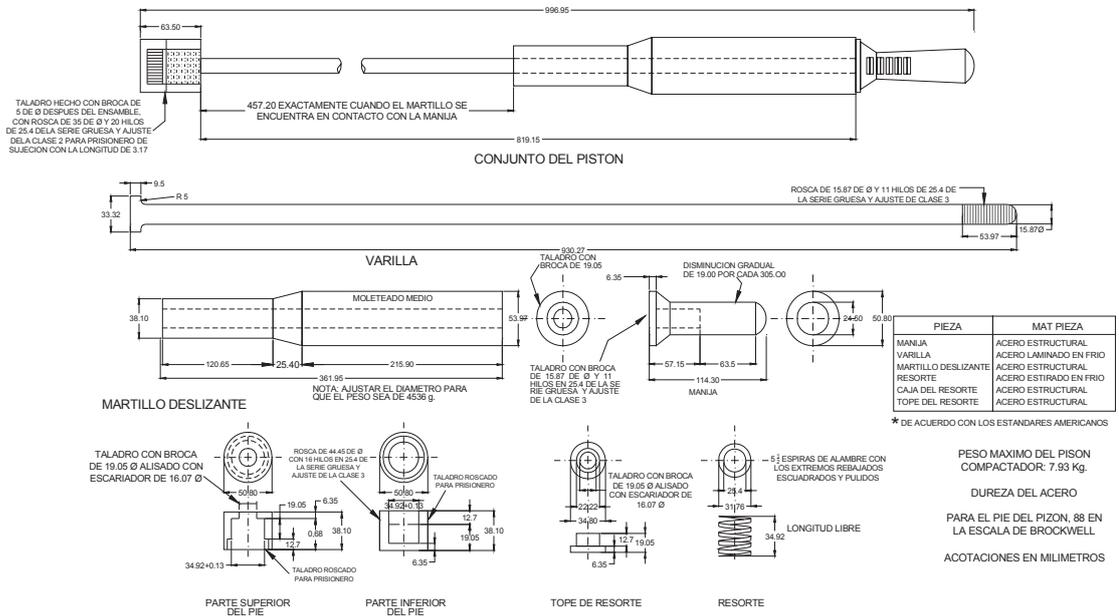
$$Ar = (\text{Altura del molde} - Ap)$$

Donde:

Ar: Es la altura real, en cm

Altura del molde: Es la altura del collarín del molde, en cm

Ap: Es la altura promedio, en cm



Pison Compactador.

3.- Se obtiene el volumen

$$\text{Volumen} = (\text{Área del molde})(Ar)$$

Donde:

Volumen: Es el volumen, en cm³

Área del molde: Es el área del molde, en cm²

Ar: Es la altura real, en cm

4.- Se determina el PVH (peso volumétrico húmedo)

$$\text{PVH} = (4000)/(\text{Volumen})$$

Donde:

PVH: Es el peso volumétrico húmedo, en grs / cm³

Volumen: Es el volumen, en cm³

4000: Es la cantidad de material, que le cabe al molde, en grs

5.- Se calcula el contenido de agua mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ humedad} = \left(\frac{Ph - Ps}{Ps} \right) (100)$$

Donde:

% humedad , en %

Ph: Peso húmedo, en grs.

Ps: Peso seco, en grs.

6.- Se determina el peso específico seco máximo (γd máx.)

$$\gamma d \text{ máx.} = (\text{PVH})/(1 + \% \text{ humedad})$$

Donde:

γd máx.: Es el peso específico seco máximo, en grs / cm³ para fines prácticos puede expresarse en kg / m³

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

% humedad , en %

PVH: Es el peso volumétrico húmedo, en grs / cm³



PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

DESCRIPCION DE LA MUESTRA <u>Tesis</u>	ENSAYE <u>3</u>
ESTUDIO QUE SE LE VA A EFECTUAR <u>Porter Estandar</u>	FECHA DE INICIACION <u>26/abril/05</u>
PROCEDENCIA <u>Banco de cerritos</u>	FECHA DE TERMINACION <u>27/abril/05</u>
	LABORATORISTA <u>Daniel Tena Hernandez</u>

DATOS GENERALES DEL MOLDE

NÚMERO DE MOLDE <u>02</u>					
AREA = 191.100					
ALTURA = 12.72					
ALTURA BORDE SUP. COLLARÍN A PL. DE CARGA(cm)	1.50	1.49	1.49	1.50	
PESO ESPECÍFICO SECO MÁXIMO (γ_{dm}) kg/m ³	1652. kg/m ³		HUMEDAD ÓPTIMA(w) <u>2.56 %</u>		
ALTURA PROMEDIO [Ap]	Ap= [(1.50+1.49+1.49+1.50)]/(4)=1.495 cm.				% de H= $\frac{Ph - Ps}{Ps} (100)$
ALTURA REAL [Ar]	Ar= [(12.72-1.495)]=11.225 cm.				
VOLUMEN [Vol]	Vol= [(191.100)(11.225)]=2145.09 cm ³ .				
PESO VOLUMETRIC HUMEDO [PVH]	PVH= [(1400)/(2145.09)]=1.86 grs/cm ³				
PESO ESPECÍFICO SECO MÁXIMO [γ_{dm}]	$\gamma_{dm\max} = [(1.86)/(1+0.256)]=1.652$ grs/cm ³				

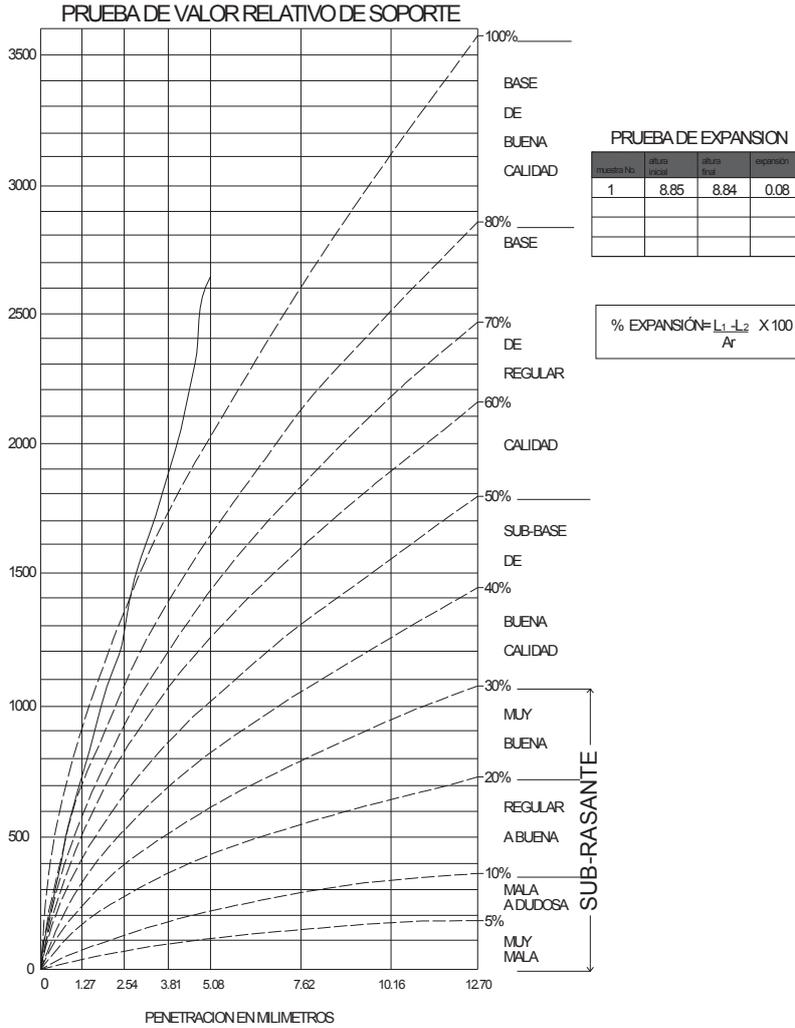
RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN(kg)

CONSTANTE DEL ANILLO Y= 8.274X +66.837	1.27 mm	76	696	51		
	2.54 mm	140	1225	90		
	3.81 mm	210	1804	133		
	5.08 mm	315	2673	197		
	7.62 mm					
	10.16 mm					
12.70 mm						
VALOR RELATIVO DE SOPORTE CORREGIDO						

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”



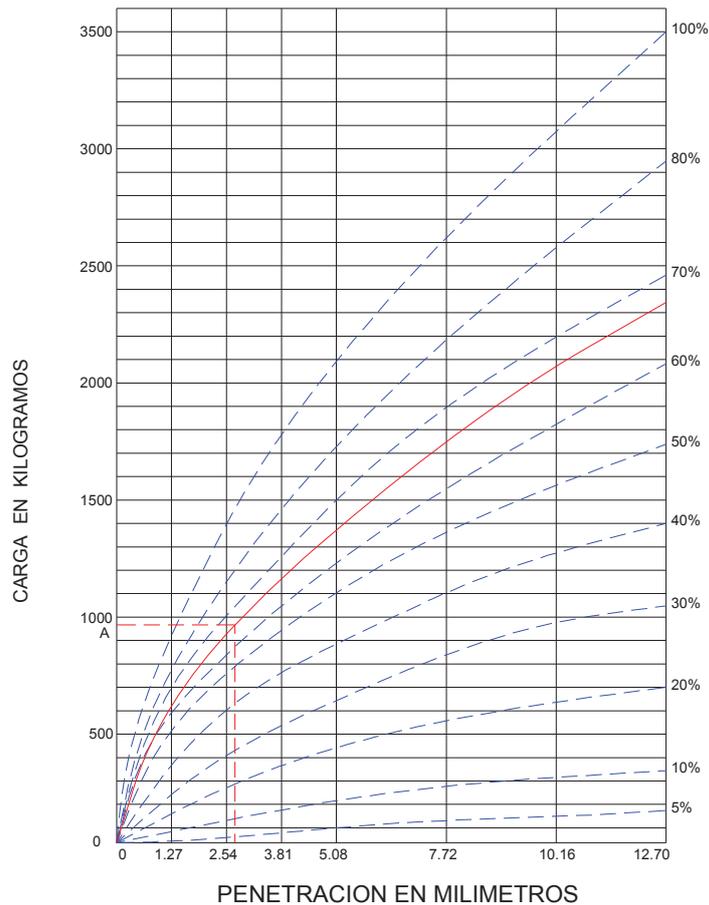
MUESTRA No. 3 LABORATORISTA Daniel Tena Hernandez FECHA 27/abril/05



OBSERVACIONES:

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

Para obtener el VRS de cada espécimen, se coloca en una prensa y se hacen las lecturas correspondientes a las penetraciones de (1.27, 2.54, 3.81, 5.08, 7.62, 10.16, y 12.70 mm) con estos datos se dibuja una grafica, colocándose en las abscisas la penetración y en las ordenadas las cargas correspondientes.



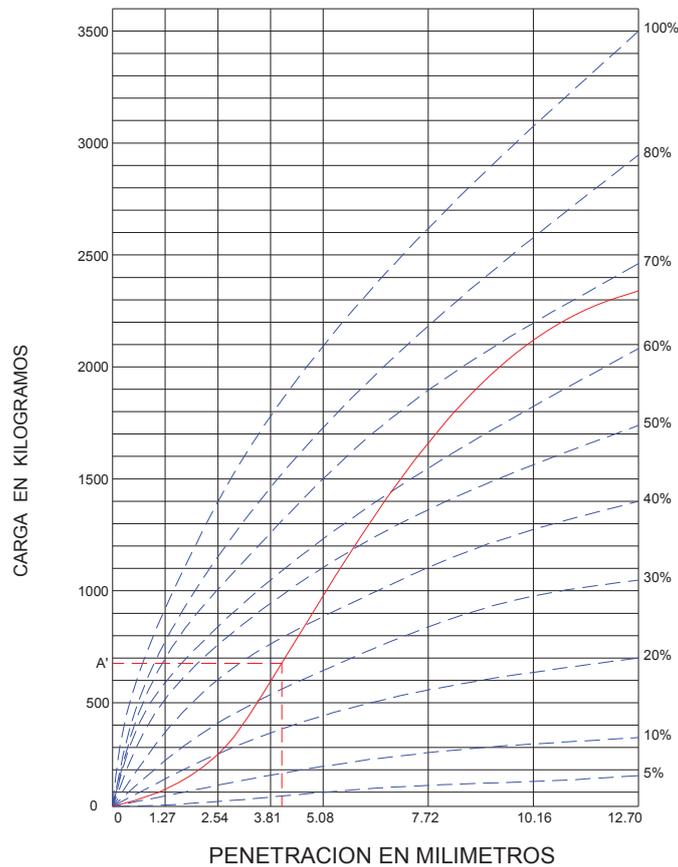
Grafica de penetración – carga sin cambios bruscos

Si la curva no tiene cambios bruscos, el valor relativo de soporte se calcula con la carga (A) correspondiente a la penetración de 2.54 mm, o sea,

$$VRS = \frac{(A)}{1360} (100)$$

En la cual 1360 es la resistencia en kilogramos del material estándar a la misma penetración de 2.54 mm.

En ocasiones se obtienen curvas no continuas por errores al realizar la prueba. En este caso es preciso efectuar algunas correlaciones. Por ejemplo, cuando la curva es del siguiente tipo:



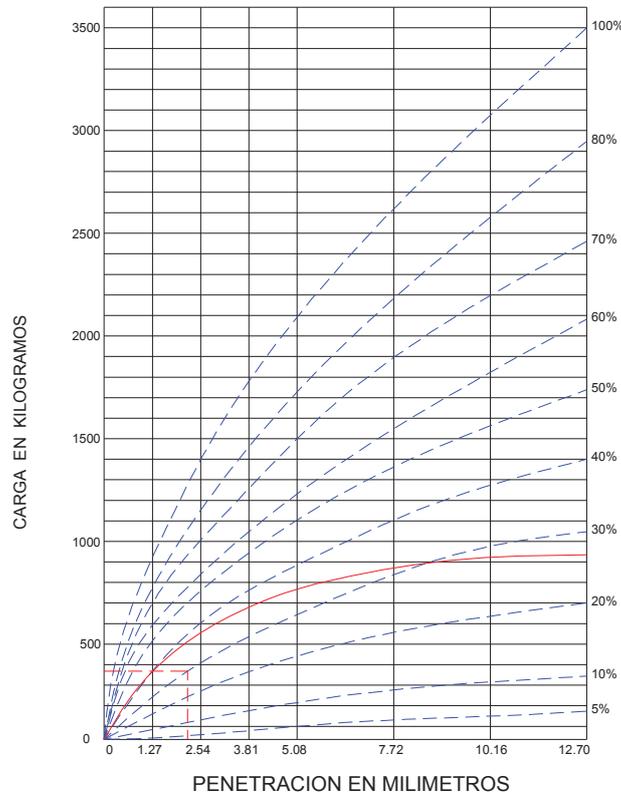
Grafica de penetración – carga que requiere la corrección mostrada para calcular el VRS por un error cometido al inicio de la prueba.

Se corrige al pasar una tangente por la zona de cambio de curvatura y se coloca el nuevo origen en donde esta línea corta a las abscisas; se encuentra entonces la nueva posición de la penetración de 2.54 mm, y la carga (A') que se usa para calcular el VRS se obtiene así:

$$VRS2 = \frac{(A')}{1360} (100)$$

A menudo se obtienen curvas como la que se muestra a continuación:

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”



Grafica de penetración – carga que se obtiene de materiales con superficies lisas como las de playones de arroyos o ríos. La corrección del calculo de VRS puede ser analítica o grafica.

Estas curvas contienen materiales granulares redondeados. En este caso, si el VRS se calcula en forma directa con el valor de 2.54 mm, se corre el riesgo de obtener una resistencia mayor a la que en realidad presenta el material. Para evitar lo anterior, se puede encontrar el VRS corregido calculando los correspondientes a cada penetración y obteniendo así el promedio:

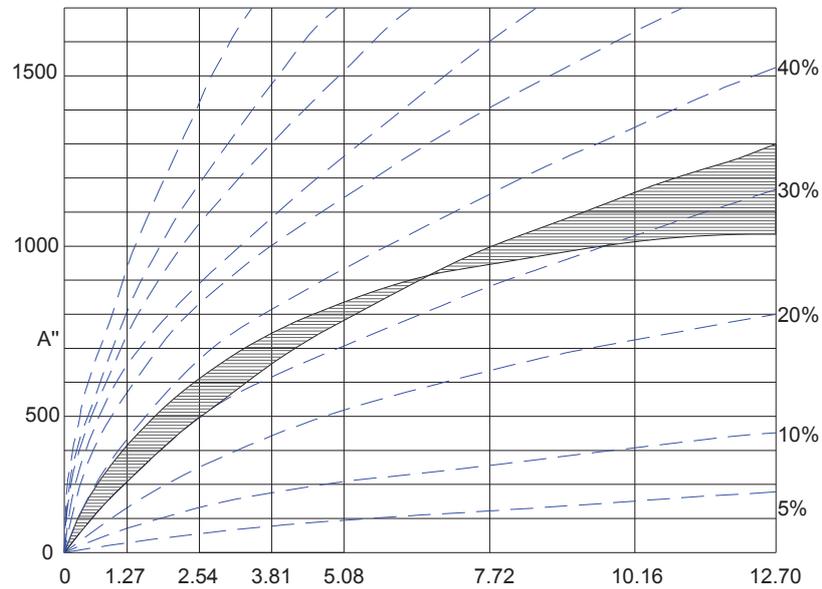
$$\underline{VRS3 = \frac{VRS1.27 + VRS2.54 + VRS3.81 + VRS 5.08 + VRS7.62 + VRS10.16 + VRS 12.70}{7}}$$

7

En este caso, otra manera de llegar al VRS, consiste en trazar una línea como la discontinua, de tal forma que el área 1 sea aproximadamente el área 2; con la carga A" correspondiente a la línea punteada, se obtiene entonces el VRS:

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

$$VRS3 = \frac{A''}{1360} (100)$$



Corrección grafica a la curva de penetración – carga de materiales que fallan al ser penetrados y que presentan por ello una curva discontinua.

4.- ENSAYO PROCTOR.

Objetivo.

Determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima, con la cual se logra la máxima compactación de un suelo con cementante.

Equipo.

- 1.- Equipo Proctor.
- 2.- Charolas de lámina rectangulares.
- 3.- Dos (2) charolas circulares.
- 4.- Vidrio de reloj de aproximadamente 20 x 20 centímetros.



Equipo necesario , para la realización de la prueba proctor estándar , las reglas metálicas pueden ser sustituidas por cuchillos de hoja larga y delgada.

- 5.- Una parrilla eléctrica.
- 6.- Báscula con capacidad de 20 kilogramos con aproximación al gramo.
- 7.- Dos (2) probetas graduadas de 1 y de ½ litros respectivamente.
- 8.- Balanza con capacidad de 2 kilogramos con aproximación al décimo de gramo.

9.- Cucharón.

10.- Flexómetro.

11.- Lubricante.

12.- Un tamiz no.4

13.- 10.5 kilogramos de material cribados por el tamiz No.4, que pase más del 90%.

14.- 2 litros de agua destilada o en su defecto agua potable.

Procedimiento.

a) Se preparan 10.5 kilogramos de material

b) Se determina el contenido de humedad del material en su estado natural con 500 gramos.

c) Se fraccionan los 10 kilogramos restantes de la muestra en 5 partes de 2 kilogramos cada una.



El molde se llenara en tres capas, obsérvese que la capa inferior que va quedando, deberá ser escarificada (rayarse) para que tenga mejor adherencia con la subsecuente .

d) Se toma una de las muestras de 2 kilogramos y se le agrega la cantidad de agua necesaria para que al ser repartida uniformemente, se tenga una humedad inferior en 4 a 6% a la optima estimada (se considera que cumple con lo anterior cuando se presenta una consistencia tal que, al comprimir una porción de la muestra en la palma de la mano, no deje partículas adheridas a esta, ni la humedezca y que a la vez, el material comprimido pueda tomarse con dos dedos sin que se desmorone).

e) Se mezcla cuidadosamente la muestra para homogeneizarla, se disgregan los grumos y se divide en 3 fracciones aproximadamente iguales; se coloca una de las fracciones en el cilindro de prueba, se apoya sobre una superficie dura y se compacta con 25 golpes del pisón, manteniendo la altura de caída de 30.5 cm y repartiendo uniformemente los golpes en la superficie de la capa. Se

escarifica, ligeramente la superficie de la capa y se repiten estas operaciones con cada una de las dos fracciones restantes.

f) Terminada la compactación, se retira la extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del cilindro en un promedio de 1.5 centímetros pues de lo contrario la prueba deberá repetirse, utilizando una nueva muestra con peso ligeramente menos que el inicial; se enrasa cuidadosamente el espécimen con la regla metálica y se deposita en una charola el material excedente.

g) Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de su parte central se obtiene una porción representativa, a la cual se le determinara la humedad.

h) Se toma otra de las muestras de 2 kilogramos y se incorpora a las fracciones del espécimen que sobró al enrasarlo, se disgregan los grumos, se agrega 2% de agua, aproximadamente, con respecto al inicial de la muestra y se repiten los incisos del e), f) y g).

i) Con la misma muestra de prueba se repite lo indicado en el paso anterior, incrementando sucesivamente su contenido de agua, hasta que la muestra este muy húmeda y el último espécimen elaborado presente una disminución apreciable en su peso con respecto a lo anterior.

j) Para definir convenientemente la variación del peso especifico de los especimenes elaborados, se requiere que las determinaciones sean 4 ó 5; así también que en la segunda determinación el peso del cilindro con el

espécimen húmedo, sea mayor que en la primera, y que en la penúltima determinación sea mayor que la última.

k) Se determinan las características del molde proctor; como son peso y volumen.

Cálculo.

1.- El peso del suelo húmedo resulta:

$$\text{Peso del suelo húmedo} = (\text{Peso del molde} + \text{suelo húmedo} - \text{Peso del molde})$$

Donde:

Peso del suelo húmedo, en gr

Peso del molde + suelo húmedo, en gr

Peso del molde, en gr

2.- El peso específico húmedo se determina mediante:

$$\text{Peso específico húmedo} = \frac{(\text{Peso del suelo húmedo})}{(\text{Vol. del molde})}$$

Donde:

Peso específico húmedo, en Ton/m³

Peso del suelo húmedo, en gr

Volumen del molde, en cm³

* Verificar la conversión de unidades al calcular dichos parámetros.

3.- Se calcula el contenido de agua mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ humedad} = \left(\frac{Ph - Ps}{Ps} \right) (100)$$

Donde:

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

% humedad, en %

Ph: Peso húmedo, en grs.

Ps: Peso seco, en grs.

*Para los siguientes, puntos en estudio se le suma el 3% directamente, haciendo la analogía, que se trata del mismo material.

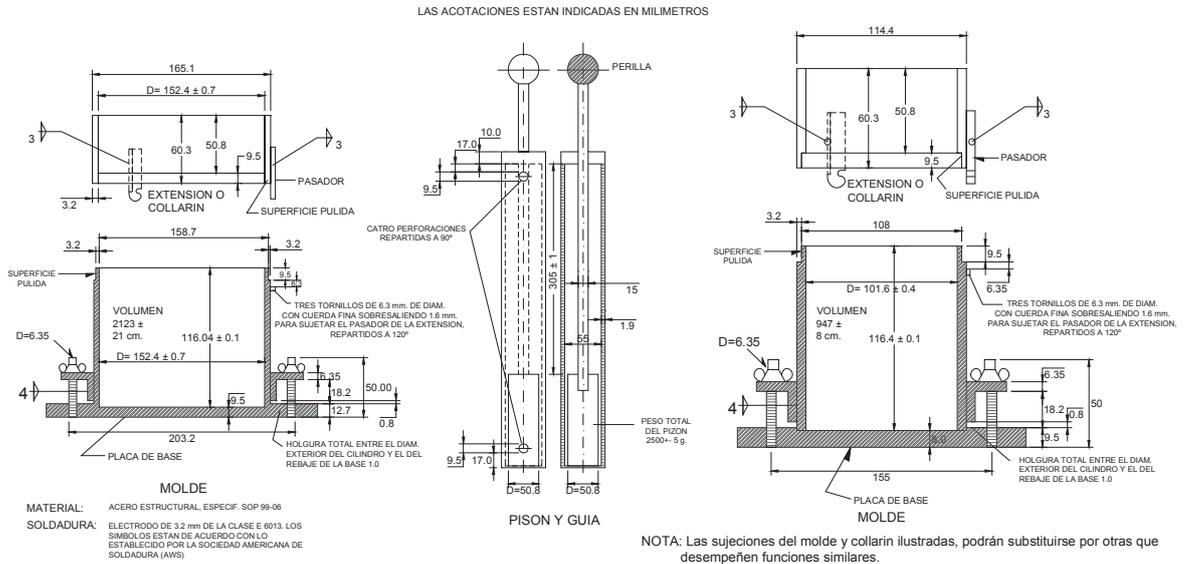
4.- El peso específico seco se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Peso específico seco} = \frac{(\text{Peso específico húmedo})}{(1 + \text{contenido de agua})}$$

Donde:

Peso específico seco, en tn/m³

Contenido de agua, en %



Moldes cilíndricos y pison para la prueba de compactación AASHTO estándar.

El método consiste esencialmente en preparar especímenes utilizando una misma muestra de material con diferentes contenidos de agua, compactándolos mediante impactos, para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima. La prueba tiene cuatro variantes.

Prueba Proctor Variante A.

Se aplica a materiales que pasan por la malla número 4.75 (4”) y se compactan en molde de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior.

Equipo.

- 1.- **Equipo de compactación compuesto de un cilindro metálico de peso W_t conocido, de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior y ciento dieciséis punto cuatro (116.4) milímetros de altura; una placa de base, metálica, de nueve punto cinco (9.5) milímetros de espesor, la cual se asegurara convenientemente al cilindro; una extensión o collarín removible de sesenta punto tres (60.3) milímetros de altura exterior, con diámetro interior igual al del cilindro. Cilindro metálico de peso W_t conocido, con diámetro interior de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros y altura de ciento dieciséis punto cuatro (116.4) milímetros, provisto de una placa base, metálica, de doce punto siete (12.7) milímetros de espesor; un collarín del mismo diámetro interior del cilindro y altura exterior de sesenta punto tres (60.3) milímetros. Pisón metálico con peso de dos punto cinco (2.5) kilogramos, con superficie circular de apisonado de cincuenta punto ocho (50.8) milímetros de diámetro, acoplado a una guía metálica tubular, para que tenga una caída libre de treinta punto cinco (30.5) centímetros. Regla metálica de arista cortante de veinticinco (25) centímetros de largo, aproximadamente.**
- 2.- **Balanza con capacidad mínima de quince (15) kilogramos y aproximación de cinco (5) gramos.**
- 3.- **Balanza con capacidad mínima de dos (2) kilogramos y aproximación de cero punto un (0.1) gramo.**
- 4.- **Horno para secado de muestras, provisto de control termostático para mantener una temperatura de ciento cinco mas menos cinco grados centígrados (105 ± 5 ° C).**
- 5.- **Base cúbica de concreto o de otro material de rigidez similar, con dimensiones mínimas de cuarenta (40) centímetros por lado.**
- 6.- **Probeta con capacidad de mil (1000) centímetros cúbicos y graduaciones de diez (10) centímetros cúbicos.**
- 7.- **Mallas numero 19 y 4.75**
- 8.- **Cápsulas metálicas con tapa.**
- 9.- **Charolas rectangulares.**

10.- Aceite para lubricar las paredes de los moldes.

Procedimiento.

a) **Se le agrega a la muestra de prueba, la cantidad de agua necesaria para que al ser repartida uniformemente, se tenga una humedad inferior en cuatro a seis por ciento (4 a 6%) a la optima estimada; en el caso de suelos que pasan la malla no. 4.75, se considera que cumple lo anterior cuando presenten una consistencia tal que, al comprimir una porción de la muestra en la palma de la mano, no deje partículas adheridas en esta, ni la humedezca y que a la vez, el material comprimido pueda tomarse con dos (2) dedos sin que se desmorone.**

b) **Se criba la muestra de prueba por la malla no. 4.75 en el caso de esta variante, disgregando los grumos que se hayan formado durante la incorporación del agua. Se mezcla cuidadosamente la muestra para homogeneizarla, se disgregan los grumos y se divide en tres (3) fracciones aproximadamente iguales; se coloca una de las fracciones en el cilindro de prueba seleccionado de acuerdo con la variante respectiva, se apoya sobre el bloque de concreto y se compacta con veinticinco (25) golpes del pisón, manteniendo la altura de caída de treinta punto cinco (30.5) centímetros y repartiendo uniformemente los golpes en la superficie de la capa y se repiten estas operaciones con cada una de las dos (2) fracciones restantes.**

c) **Terminada la compactación, se retira la extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del cilindro en un espesor promedio de uno punto cinco (1.5) centímetros, pues de lo contrario la prueba deberá repetirse, utilizando de preferencia una nueva muestra con peso ligeramente menor que el inicial; se enrasa cuidadosamente el espécimen con la regla metálica y se deposita en una charola el material excedente. A continuación se pesa el cilindro con su contenido y se anota en la hoja de registro su valor W_i en gramos.**

d) **Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de su parte central se obtiene una porción representativa, a la que se le determina su humedad de acuerdo con lo indicado anteriormente, en la hoja de registro correspondiente.**

e) **Se incorporan las fracciones del espécimen al material que sobro al enrasarlo, se disgregan los grumos, se agrega dos por ciento (2%) de agua, aproximadamente, con respecto al peso inicial de la muestra y se repiten los pasos descritos en los incisos del b al d.**

f) **Con la misma muestra de prueba se repite lo indicado en el inciso e, incrementando sucesivamente su contenido de agua, hasta que la muestra este muy húmeda y el último espécimen elaborado presente una disminución apreciable de su peso con respecto al anterior. Para definir convenientemente la variación del peso específico de los especimenes**

elaborados, se requiere que las determinaciones sean cuatro (4) o cinco (5); así también, que en la segunda determinación el peso del cilindro con el espécimen húmedo, sea mayor que en la primera, y que en la penúltima determinación sea mayor que en la última.

Cálculo.

1.- Se calcula el peso específico del material húmedo por medio de la siguiente expresión:

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V} (1000)$$

Donde:

γ_m : Es el peso específico del material húmedo, en kilogramos por metro cúbico.

W_i : Es el peso del material húmedo compactado mas el peso del cilindro en gramos.

W_t : Es el peso del cilindro, en gramos.

V : Es el volumen del cilindro, en centímetros cúbicos.

2.- Se calcula el peso específico de cada espécimen en estado seco, mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{(100 + w)} (100)$$

γ_d : Es el peso específico del espécimen húmedo, en kilogramos por metro cúbico.

γ_m : Es el peso específico del espécimen húmedo, en kilogramos por metro cúbico.

w : Es el contenido de agua, en porciento.

3.- Se determina el peso específico seco máximo del material en estado seco, partiendo de la curva que se muestra mas adelante. En donde las ordenadas representan los pesos específicos y las abscisas los

contenidos de agua, de cada uno de los especímenes. El punto mas alto de dicha curva es el que representa el peso específico seco máximo γ_{dmax} y la humedad óptima w_o , es la óptima del material.

4.- Se reportan el peso específico seco máximo γ_{dmax} , en kilogramos por metro cúbico y la humedad óptima w_o , en por ciento.

Al efectuar la prueba deberán tomarse las siguientes precauciones:

1.- La muestra utilizada para la prueba de compactación, se secará solamente lo necesario para poderla disgregar.

2.- Durante la compactación, los golpes del pisón se repartirán uniformemente en toda la superficie del espécimen, manteniendo la guía en posición vertical, verificando que la caída del pisón sea libre y que la superficie del mismo se mantenga limpia.

3.- La curva peso específico seco – humedad, se obtendrá de una sola muestra de prueba y no se secará ésta, para determinar puntos de la curva que correspondan a humedades menores de la que ya tiene el material.

4.- La humedad del primer espécimen será inferior a la óptima y cada una de las ramas de la curva mencionada se definirá con dos (2) puntos.

Prueba Proctor Variante B.

Se aplica a materiales que pasan por la malla número 4.75 (4”) y se compactan en molde de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de diámetro interior.

La muestra se selecciona como en el caso del método A, pero ahora deberá pesar unos 7 kilogramos.

El procedimiento de prueba será el mismo que se describió para el método A, excepto que se utilizará un molde de 15.24 cm (6”) con extensión y que el suelo se colocará en 3 capas iguales, hasta un espesor total compactado de la muestra de unos 13 cm; se darán a cada capa 56 golpes uniformemente distribuidos en su superficie, con 30.48 cm (12”) de altura de caída.

Prueba Proctor Variante C.

Se aplica a materiales con retenido en la malla no. 4.75 (4”) ; se efectúa utilizando la fracción que pasa la malla no. 19 y se compacta en molde de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior.

Si la muestra de suelo que se reciba en el laboratorio tiene humedad en exceso, séquese hasta que se desmorone con facilidad y se haga manejable; el secado puede hacerse al aire o en un horno cuya temperatura no exceda de unos 60° C.

A continuación disgréguese el material hasta reducirlo a sus partículas originales y cribesele a través de la malla de 3/4", desechando el material retenido. Si es aconsejable mantener en la muestra el mismo porcentaje de material grueso (material entre la malla de 2" y la no. 4) que tenía el material original de campo, el que se retenga en la malla de 3/4" se debe reemplazar mediante la siguiente operación:

Críbese una cantidad adecuada de suelo bien disgregado por la malla de 2" y de 3/4", deséchese el retenido de la malla de 2" ; retírese el material que paso la malla de 2" y se retuvo en la malla de 3/4" y remplácese con un peso igual de material que pase la malla de 3/4", pero al que retenga la no. 4 tómese el material de reemplazo de una porción que no se utilizó de la muestra de campo original. Para el método C deberá disponerse de una muestra de suelo para compactación de aproximadamente 5 kg.

Procedimiento.

a) Mézclese el suelo con la suficiente cantidad de agua como para darle una humedad de 4 a 6 puntos debajo de la óptima.

b) Fórmese un espécimen compactando el suelo en el molde de 10.16 cm (4") en 3 capas iguales hasta obtener un espesor compacto total de unos 13 cm. Sígase el procedimiento de compactación que se detallo para el método A, hasta determinar el peso volumétrico húmedo y el contenido de agua de la muestra.

c) Desmenúcese el material sobrante hasta que todo el pase la malla de 3/4" y el 90% pase la malla no. 4; el criterio al respecto puede establecerse a ojo. añádase a la muestra el agua necesaria para que gane uno o dos puntos en el porcentaje de humedad y repítase todo el procedimiento de prueba para obtener otro punto en la curva de compactación. Continúese el procedimiento hasta que no cambie o disminuya el peso volumétrico húmedo del suelo. Caben los mismos comentarios que se hicieron en el método A respecto al reuso.

Prueba Proctor Variante D.

Se aplica a materiales con retenido en la malla no. 4.75 (4") ; se efectúa utilizando la fracción que pasa la malla no. 19 y se compacta en molde de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de diámetro interior.

La muestra deberá prepararse como en los demás casos, pero conviene que su peso al final sea alrededor de 12 kilogramos. El procedimiento de

prueba es el mismo que se detallo para el método C, pero se utiliza el molde de 15.24 cm (6”), con 3 capas y 56 golpes por capa.

Existe la prueba de compactación dinámica AASHTO estándar modificada en tres (3) capas, que sirve para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima en suelos que se emplean en la construcción de terracerías; consiste en preparar especímenes de prueba, utilizando la misma muestra de material con diferentes contenidos de agua, la que se compacta en tres (3) capas en molde de dimensiones especificadas, mediante la aplicación de impactos con un pison de cuatro punto cincuenta y cuatro (4.54) kilogramos de peso y altura de caída de cuarenta y cinco punto siete (45.7) centímetros.

Esta prueba tiene cuatro (4) variantes:

Variante A, que se aplica a materiales que pasan la malla num. 4.75, y se compactan en molde de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro.

Variante B, que se aplica a materiales que pasan la malla no. 4.75, y se compactan en un molde de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de diámetro interior.

Variante C, que se aplica a materiales con retenido en la malla no. 4.75, se efectúa utilizando la fracción que pasa la malla no. 19 y se compacta en molde de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior.

Variante D, que se aplica a materiales con retenido en la malla no. 4.75, se efectúa en la fracción que pasa la malla no. 4.75, se efectúa en la fracción que pasa la malla no. 19 y se compacta en molde de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de diámetro interior.

Los materiales que pasen la malla no. 4.75, o los que representan retenido en dicha malla, de acuerdo con las variantes antes mencionadas, pueden compactarse en molde de ciento uno punto seis (101.6) milímetros o en molde de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de diámetro interior.

Para seleccionar cual de dichos moldes es el mas apropiado y por tanto la variante correspondiente, se tomará en cuenta la conveniencia de utilizar especímenes de prueba mas pequeños o la necesidad de emplear muestras de mayor tamaño, según los problemas de cada obra en particular; por ejemplo en los materiales que con frecuencia contengan partículas retenidas en la malla no. 4.75 , o que se degraden fácilmente, o bien , que por diferentes razones presenten problemas de reproducibilidad, es conveniente utilizar el molde de mayor tamaño.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”

En resumen de las variantes se tiene que:

Tipo de prueba	Estándar		Modificada	
Masa del pison, Kg	2.5 ± 0.01		4.54 ± 0.01	
Diámetro del pison,mm	50.8		50.8	
Altura de caída del pison, cm	30.5 ± 0.1		45.7± 0.1	
Numero de capas	3		5	
Variantes	A y C	B y D	A y C	B y D
Tamaño del material, mm	4.75 (No. 4)	19.0 (3 / 4”)	4.75 (No. 4)	19.0 (3 / 4”)
Diámetro interior del molde, mm	101.6 ± 0.4	152.4 ± 0.7	101.6 ± 0.4	152.4 ± 0.7
Numero de golpes por capa	25	56	25	56
Tamaño de la muestra de prueba,	4.0	7.5	4	7.5

Características de las variantes de las pruebas de compactación.

“ CORRELACION DE VALORES DE COMPACTACION ENTRE LA PRUEBA PORTER Y LA PROCTOR ”



COMPACTACIÓN DE SUELOS, PRUEBA PRÓCTOR

OPERADOR: Daniel Tena Hernandez CALCULISTA: Daniel Tena Hernandez FECHA: 28/abril/05

OBRA: Tesis TIPO DE PRUEBA: Estandar

LOCALIZACIÓN: Banco del "AGA" MOLDE No. 01 VOL.: 943.02 cm³ PESO 2,000 gr.

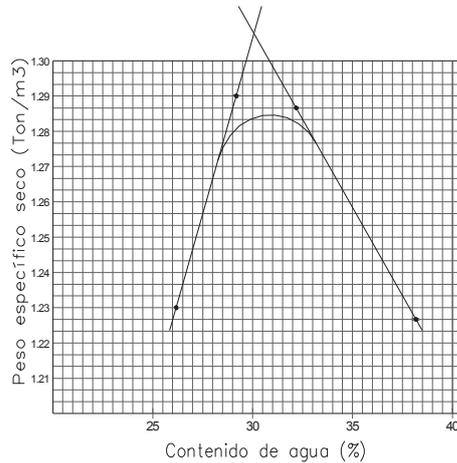
SONDEO: 1 ENSAYE No.: 2 PESO MARTILLO: gr. ALTURA CAIDA cm.

MUESTRA No.: 1 PROF.: superficial No. DE CAPAS: 3 No. DE GOLPES POR CAPA 30

DESCRIPCIÓN: material cementante

PRUEBA	No.	1	2	3	4				
Agua empleada (ml)		380	440	500	560				
Peso molde + Suelo húmedo (gr.)		3,480	3,570	3,600	3,590				
Peso molde (gr.)		2,000	2,000	2,000	2,000				
Peso suelo húmedo (gr.)		1,470	1,570	1,600	1,590				
Peso específico húmedo (t/m ³)		1.558	1.664	1.696	1.686				
Contenido de agua (%)		26.18	29.18	32.18	38.18				
Peso específico seco (t/m ³)		1.23	1.29	1.28	1.22				

$$\text{Peso específico seco} = \frac{\text{Peso específico húmedo}}{1 + \text{contenido de agua}}$$



γ_d max = 1.285 ton/m³
 Humedad óptima W_o = 30.00%

5.- Normas ASTM.

D 422 **Método de prueba para análisis granulométrico.**

D 698 **Método de prueba para determinar las características de compactación de un suelo utilizando energía de compactación Próctor Estándar** (12,400 ft-lbf/ft³ = 600 kN-m/m³)².

D 1557 **Método de prueba para determinar las características de compactación de un suelo con energía de compactación modificada** (56,000 ft-lbf/ft³ = 2700 kN-m/m³)².

D 2168 **Método de prueba para la calibración de los pisones de compactación mecánicos.**

D 2216 **Método de prueba para la determinación del contenido de agua de los suelos y rocas.**

D 2487 **Clasificación de los suelos con propósitos ingenieriles (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).**

D 2488 Práctica para la descripción e identificación de suelos (Procedimiento visual).

D 3740 **Práctica para la evaluación de las agencias comprometidas en pruebas y/o inspección de suelos y rocas como se usan en la construcción y diseño de ingeniería.**

D 4318 **Método de prueba para la determinación de los límites de consistencia y plasticidad de los suelos.**

D 4429 **Método de prueba para determinación del CBR in situ.**

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- 1.- Estandarizar la prueba a un procedimiento dinámico.
- 2.- Se recomienda utilizar la prueba ASTM – D698, debido a que se aproxima mas al objetivo que se persigue, siempre y cuando se este empleando material mezclado y cumpla con las características granulométricas de la prueba.
- 3.- Establecer la aplicación rígida de la normatividad a fin de que la prueba se ejecute con apego estricto, sobre todo ser cuidadosos en no aplicarle una presión inicial al momento de apoyar el vástago sobre el material.
- 4.- De los resultados obtenidos observamos que para la mezcla 85 – 15 hay diferencias significativas, para una misma metodología de prueba, entre los resultados presentados por diferentes laboratorios de esta manera podemos decir que tenemos una desviación estándar igual a 17.53%.
- 5.- Si consideramos a los ensayos efectuados de mezcla 85 – 15 con las tres variantes empleadas es decir: (Estandar, NMXC-416 y ASTM – D698), presenta una media igual a 85.88% y su desviación estándar igual a 40.78% lo cual refuerza nuestra consideración anterior.
- 6.- De la mezcla 80 – 20 podemos observar que los valores del VRS, son significativamente bajos y los resultados obtenidos entre un laboratorio particular y nuestro laboratorio nos dan una media igual a 75.70% y el error de estima es igual a 20.75%.
- 7.- De los resultados obtenidos también se pueden apreciar resultados muy variados de los obtenidos, tanto en el laboratorio propio, como los obtenidos en el medio particular, de tal manera que la media global arroja un resultado igual a 85.90% y la desviación estándar es de 27.84% considerando que las mezclas elaboradas para base consideran la 90 – 10 y la 85 – 15.
- 8.- Conviene realizar un estudio del banco para conocer el estado físico mineralógico del material a emplear.
- 9.- Los materiales ensayados fueron del banco de cerritos, como material granular detectando, que posiblemente seria conveniente, explotar otro frente que presente mejores características mineralogicas, para el comportamiento final de este material en la integración del cuerpo del pavimento.

10.- Se recomienda estar en constante capacitación a los laboratorios, para que se vayan acoplando a la nueva reglamentación. Evitando con esto una mala elaboración de las pruebas que se estén manejando.

11.- Además se recomienda que para la elaboración y ejecución de dicha prueba se cuente con el instrumental y el equipo necesario y que además se encuentre en muy buen estado.

BIBLIOGRAFIA

* Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1981) “ Mecánica de Suelos “ Fundamentos de la Mecánica de Suelos, Tomo 1. Tercera Edición, Editorial Limusa.

* Rico Rodríguez A; Del Castillo H. (1976) “ La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres (Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas)”, Tomo 1. Primera Edición, Editorial Limusa.

* Rico Rodríguez A; Del Castillo H. (2002) “ La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres (Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas)”, Tomo 2. Décimo quinta Edición, Editorial Limusa.

* Crespo Villalaz C. (1976) “ Mecánica de Suelos y Cimentaciones “ Cuarta Edición, Editorial Limusa.