29
139

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

"LA COMPACTACION EN TERRACERIAS"

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a :

SOTERO MONROY MENDEZ

México, D. F. 1983

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TITULO:

C O M P A C T A C I O N

E N

T E R R A C E R I A S .

ALUMNO: Monroy Méndez Sotero.
No. DE CUENTA: 7419379-0

1.- INTRODUCCION. I

2.- TEORIA DE LA COMPACTACION. 1

3.- PRINCIPALES MAQUINAS PARA LA COMPACTACION. 8

4.- PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD. 19

Profr.: Ing. Rafael Aburto Valdés.

I N T R O D U C C I O N

Con objeto de poder cumplir con plazos cada - vez menores en la ejecución de obras cada vez mayores, se ha llegado a la necesidad de utilizar equipos de gran producción.

Los grandes equipos de carga, acarreo y tiro- de material, han obligado a los fabricantes de - - equipo de compactación a diseñar máquinas compactadoras capaces de balancear el tiro con la compactación, para evitar interferencia de actividades.

Normalmente son necesarios dos o tres años para que un relleno o un talud de tierra alcance el- grado deseado de compactación. Así, se intenta reducir este lapso de tiempo comprimiendo las capas- de tierra por medios mecánicos.

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las caracte- rísticas de resistencia, compresibilidad, impermeabilización y esfuerzo-deformación de los mismos; - por lo general el proceso implica un aumento artificial del peso volumétrico de un material, mediante la reducción del porcentaje de vacíos del mis-- mo. Con este proceso mecánico se hace que las partículas encuentren acomodo correcto, teniendo como efecto la expulsión de aire y/o agua del material.

A mayor esfuerzo de compactación sobre un material, corresponde una mejor capacidad de carga y una mayor resistencia al esfuerzo cortante del mis

mo, se desprende pues, de lo anterior, que la vida útil de una obra, en la que interviene la compactación, dependerá en gran parte del grado de compactación especificado. Esto es dependiendo del tipo de obra de que se trate, el proyectista se encargará de especificar el grado de compactación necesario para el buen comportamiento de la estructura.

Se hace notar que compactar a mayores grados del especificado, puede resultar perjudicial. Ya que puede ser cierto con frecuencia que una compactación intensa produce un material muy resistente, pero sin duda muy susceptible al agrietamiento. Por ejemplo un suelo compacto podrá, en general absorber mucha agua si se dan las condiciones propicias y al hacerlo su resistencia podrá descender drásticamente, en tanto que ese mismo suelo inicialmente compactado en forma menos enérgica, con menor resistencia inicial, podrá resultar mucho más estable ante el agua, manteniendo en el tiempo una resistencia inicialmente menor que la del otro, pero probablemente suficiente.

Algunos de los casos más comunes en sobrecompactación perjudicial son los siguientes:

a).- Suelos en que la sobrecompactación produce un cambio estructural que los hace inadecuados. El caso más típico es el de los tezontles (espuma de basalto) que se utilizan como terraplenes ligeros sobre suelos compresibles blandos. La sobrecompactación rompe los fragmentos porosos, produciendo con esto pesos volumétricos más altos que-

las de cualquier material térreo convencional que-se hubiese usado, haciendo perder por completo la-ventaja de su utilización.

b).- Materiales expansivos o con resorte elástico. Los materiales expansivos son fuente de problemas muy graves, sobre todo donde las condiciones climáticas conducen a cambios significativos en el contenido de agua en diferentes épocas del año. También son problema cuando la construcción-se efectúa durante la época de secas y el suelo absorbe humedad en la subsecuente estación lluviosa. Si estos suelos se compactan en exceso, se expandirán mucho y generarán presiones de expansión-muy grandes al humedecerse tras la compactación; por el contrario, si se compactan con un contenido de agua apropiado y sólo hasta un límite justo, las expansiones se podrán reducir al mínimo. En este caso, la humedad y el peso volumétrico apropiados para la compactación deberán determinarse en un estudio de expansión. Es fundamental el control de la humedad de compactación durante el proceso.

c).- Otro tanto puede decirse de los suelos que exhiben rebote elástico, por ejemplo bajo el paso de cargas en movimiento; este efecto conduce-a la destrucción rápida de un pavimento, por ejemplo, es mucho más notable cuando el suelo se compacta más allá de un cierto límite, que deberá determinarse también con base en estudios especiales.

MEDIDA DE LA COMPACTACION.- Según la precedente, se concibe que el grado de compactación de un suelo pueda representarse por el porcentaje de vacíos. Pero en lugar de utilizar el índice de vacíos, se tiene por costumbre utilizar el peso del suelo seco en la unidad de volúmenes (densidad seca o aparente). Esta representación análoga facilita las medidas y los cálculos.

El método consiste, en determinar de antemano en una muestra de suelo estudiado, la densidad seca correspondiente al porcentaje de agua óptimo para una compactación fina, y luego compararla a la densidad seca del suelo después de su compactación in situ. La relación de las dos cifras determina el valor de la compactación efectuada. Se expresa en tanto por ciento.

En la práctica se emplean dos métodos:

A).- La densidad seca óptima se determina después de un apisonado estándar efectuado con el cilindro de proctor, ya sea en el laboratorio o en la obra. La densidad seca del suelo in situ se determina en la obra con una muestra recogida del suelo, en una cavidad cilíndrica cuyo volumen se mide. Es fácil medir el peso seco y el peso de agua (pesado antes y después del secado en horno). Para la medida del volumen de la cavidad, se emplea el cilindro hueco para la arcilla y la arena fina o el aceite para los demás suelos.

B).- En lugar de buscar las densidades secas-se determina las resistencias al punzón de suelo. Estos valores están en función de la densidad se--ca. Se emplea el penetrómetro de Proctor (aguja - tarada) que permite medidas muy rápidas y que se - utilizan mucho para el control de los trabajos.

ELECCION DEL APARATO.- El tipo de aparato - que es conveniente emplear para el apisonado de -- las distintas clases de suelos puede determinarse-del modo siguiente:

Para los suelos sin cohesión, la vibración es -con mucho- el mejor método de compactación, sobre todo cuando la frecuencia de las vibraciones del - aparato es parecida o igual a la frecuencia crítica del suelo. Así pues, los vibradores deben te--ner una frecuencia regulable.

Sin embargo, se emplean también rodillos en--ganchados a tractores-oruga, se riega abundante--mente. Con capas de espesor inferior a 0.30 mts.-se obtienen buenos resultados con 6 u 8 pasadas.

Para los suelos arenosos o margosos de cohe--sión mediana, el empleo del rodillo es lo normal:-Rodillos de pies de cordero (o de cabra) para los-suelos plásticos, Rodillos neumáticos para los suelos arcillo-arenosos (limos) no plásticos. La vibración no tiene efecto alguno.

Para la arcilla, si no se encuentra en el por

centaje óptimo de agua, no hay prácticamente ningún medio de hacerla más compacta por los procedimientos habituales.

T E O R I A D E L A C O M P A C T A C I O N.

La compactación se mide en el laboratorio mediante pruebas estandarizadas, en los cuales los factores más importantes son el contenido de agua del material y la energía específica constante aplicada, se determina el peso volumétrico seco máximo del material en cuestión; a este peso volumétrico seco máximo se le puede atribuir el 100% de compactación, para una determinada energía específica de compactación.

La medición del grado de compactación obtenido en el campo es básicamente una compactación entre el peso volumétrico seco máximo obtenido en el laboratorio.

Los resultados de un proceso de compactación dependen de varios factores, unos que atañen al tipo de suelo, otros relativos al método de compactación que se emplea y, por último, 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 de éstas se reseñan a continuación.

1).- LA NATURALEZA DEL SUELO. Es claro que la clase de suelo con que se trabaja influye de manera decisiva en el proceso de compactación; habrá

de diferenciarse las técnicas que se empleen y los resultados que se obtengan precisamente con base en el tipo de suelo.

2).- EL METODO DE COMPACTACION. En el laboratorio resulta bastante fácil clasificar los métodos de compactación en uso en tres tipos bien diferenciados: La compactación por impactos, por amasado y por aplicación de carga estática. Además, ya se comienzan a utilizar algunos dispositivos de laboratorio para compactar por vibración.

3).- LA ENERGIA ESPECIFICA. Se entiende por energía específica de compactación la que se entrega al suelo por unidad de volumen, mediante el proceso mecánico de que se trate.

Para evaluar la energía específica en una prueba de laboratorio en que se compacte al suelo por impactos dados con un pisón; está dada por la expresión:

$$Ee = \frac{NnWh}{V}$$

donde:

Ee = 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.

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

En las pruebas de laboratorio en que se compacta el suelo con la aplicación de presión estática, en principios la energía específica se puede evaluar de manera análoga en términos del tamaño del molde, el número de capas en que se dispone el suelo, la presión que se aplique a cada capa y el tiempo de aplicación. Sin embargo en este caso la evaluación no resulta ya tan sencilla y la energía específica se afecta por la deformabilidad del suelo y por el tiempo de aplicación de la presión.

4).- EL CONTENIDO DE AGUA DEL SUELO. Ya en los primeros estudios de Proctor se puso de manifiesto que el contenido de agua del suelo que se compacta es otra variable fundamental del proceso. Proctor observó que con contenidos de agua, a partir de valores bajos, se obtenían más altos pesos específicos secos para el material compactado, si se usa la misma energía de compactación; pero observó también que esta tendencia no se mantiene indefinidamente, ya que cuando la humedad pasa de cierto valor, disminuyen los pesos específicos secos logrados. Es decir, 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.

5).- EL CONTENIDO DE AGUA ORIGINAL DEL SUELO. Se refiere este concepto al contenido natural de agua que el suelo poseía antes de añadirle o quitarle humedad para compactarlo, en busca del contenido óptimo o cualquier otro con que se hubiere decidido realizar la compactación.

6).- LA TEMPERATURA. La 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. Además, puede llegar a ejercer algún efecto en la consistencia y manejabilidad de los suelos con que se trabaja.

7).- OTRAS VARIABLES. Además de las mencionadas, existe todo un conjunto de variables que afectan a las pruebas de compactación de laboratorio y campo, tales como 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.

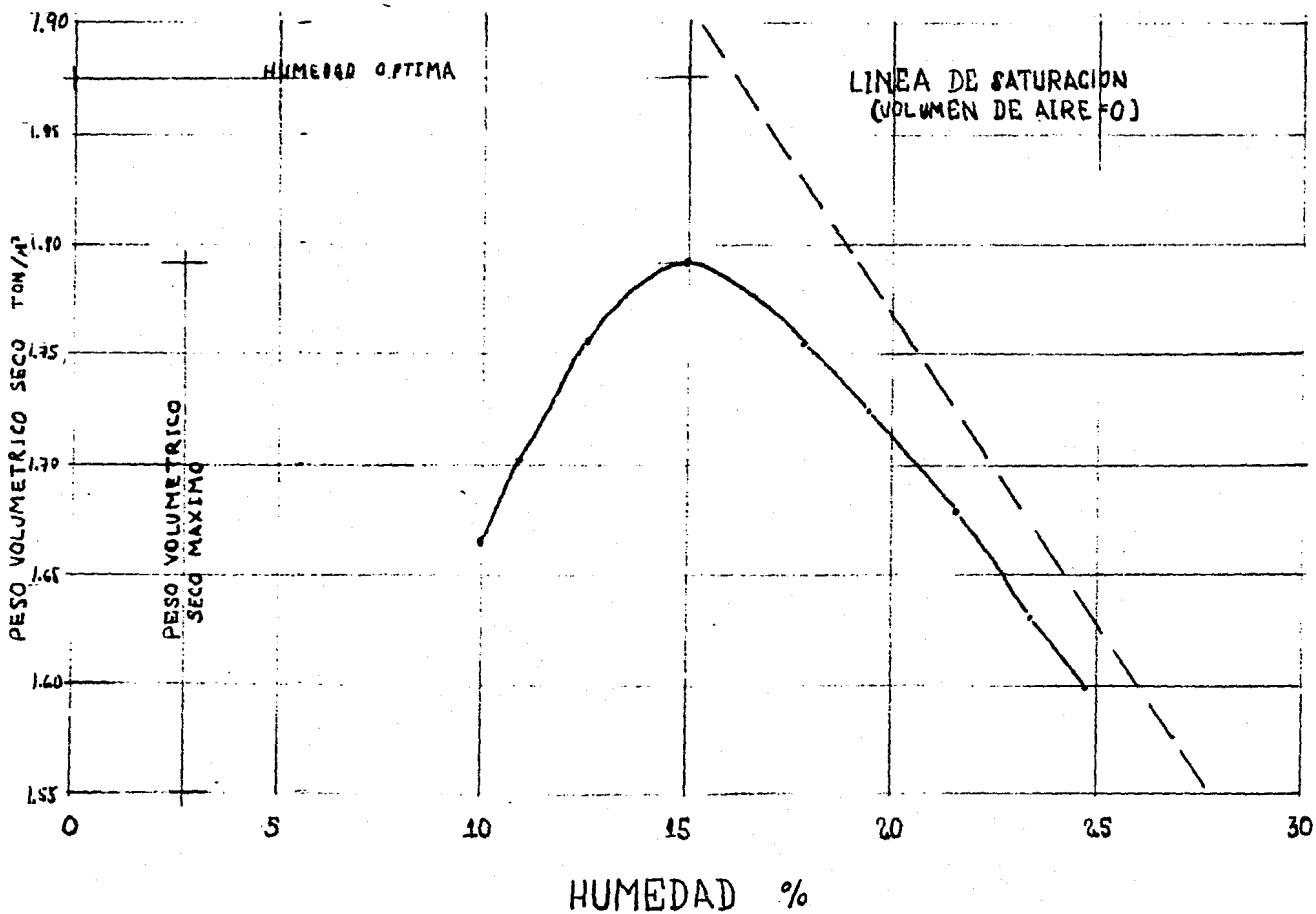
LA CURVA DE COMPACTACION

Proctor visualizó la corrección 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 del peso volumétrico seco que se logre; también comprendió el fundamental papel que desempeña el contenido de agua del suelo en la compactación que de él se obtiene, con un cierto procedimiento. Juntando estos dos aspectos, que consideró básicos, estableció la costumbre, que también ha subsistido hasta la actualidad, de representar la marcha de un proceso de compactación por medio de una gráfica en la que se haga ver el cambio de peso volumétrico seco al compactar al suelo con diversos contenidos de agua, utilizando varias muestras del mismo suelo, cada una de las cuales proporciona un punto de la curva. Como quiera que diferentes procesos de compactación producen al mismo suelo compactaciones distintas, un mismo suelo podrá tener diversas curvas de compactación, correspondientes a los diferentes modos de compactarlo que puedan usarse, sea en el campo o en el laboratorio.

Una representación tal como la anterior (γd-w) recibe por autonomasia el nombre de curva de compactación, que viene siendo el modo más usual de representación de los métodos que hoy se utilizan.

Sea cual fuere el procedimiento de compactación que se siga, la forma de la curva de compactación será parecida a la que se muestra en la figura.

CURVA DE COMPACTACION TIPICA



La curva muestra un máximo absoluto, alguna - vez acompañado de otro secundario, de menor valor. El peso volumétrico seco correspondiente al máximo absoluto recibe el nombre de peso volumétrico seco máximo; la humedad con la que tal máximo se consigue se denomina humedad óptima y representa el contenido de agua con el cual el procedimiento de compactación que se esté usando produce la máxima eficiencia, por lo menos si ésta se juzga por el peso volumétrico seco que se logre.

La curva γd-w puede dibujarse a partir de las parejas de valores aplicando la fórmula.

$$\gamma d = \frac{\gamma m}{1 + w}$$

cuya obtención es inmediata aplicando las definiciones de γd y w.

$$w\ \% = 100\ \frac{Ww}{Ws}$$

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 cierta - - abscisa de la curva, aplicando la fórmula:

$$\gamma d = \frac{Ss}{1 + wSs}\ \gamma w$$

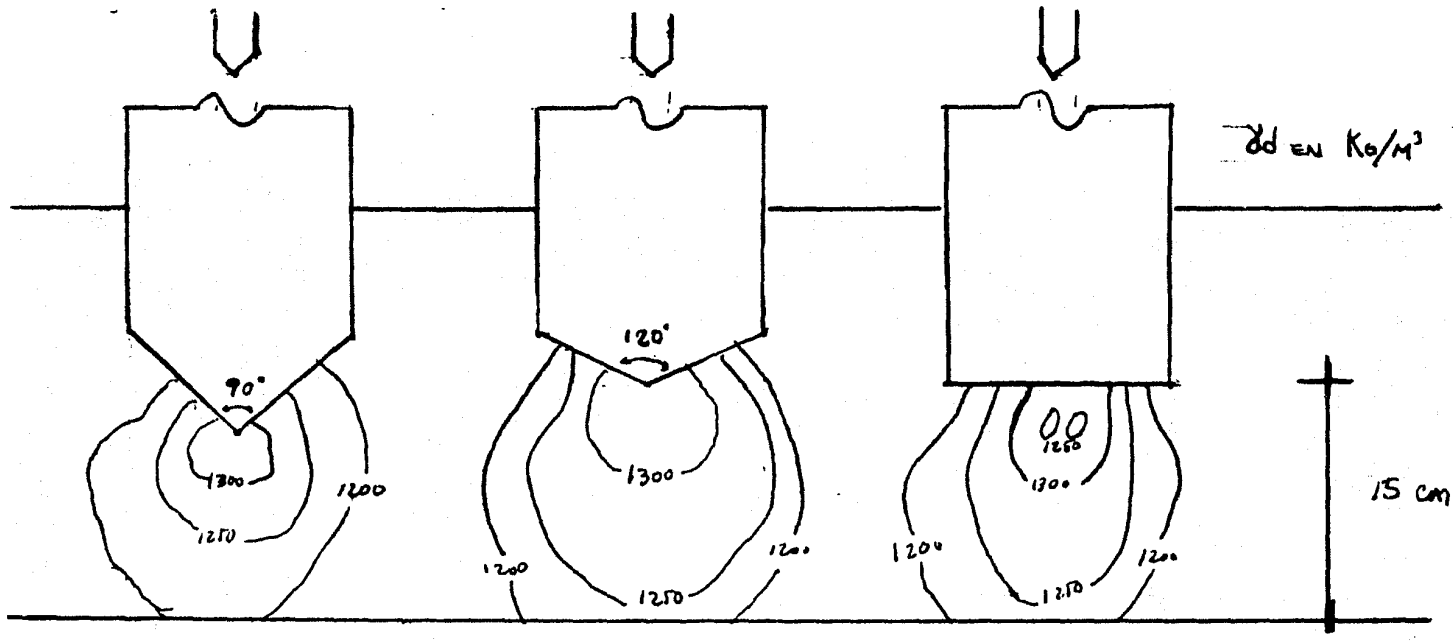
que corresponde a suelos saturados.

PRINCIPALES MAQUINAS PARA LA COMPACTACION.

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 se 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 tiende.

Existe una mayor eficiencia del vástago plano, así como la que está ligeramente biselado ya que dan zonas de compactación mayores, con el de 90°.


γd EN Kg/M³
90°
1300
1250
1200
120°
1300
1200
1250
1200
1200
1300
1250
1200
15 cm

Así también es notable la mayor eficiencia -- del vástago de 15 cms de lado contra el de 10 cms- de lado (sección cuadrada), así como la superioridad de la sección cuadrada sobre la redonda.

La sección 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 con 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 compacta- - ción de laboratorio, a fin de lograr mayor repre-- sentatividad en pruebas que se realizan sobre suelos que se compactan con rodillos pata de cabra.

Los rodillos más usuales tienen vástagos de - 20 a 25 cms de longitud y se usan para compactar - capas de suelo suelto de alrededor de 30 cms de espesor. 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.

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 pe

netraciones 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.

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.

Los rodillos pata de cabra rinden sus mejores resultados en suelos finos. La concentración de presión que producen los vástagos se ha revelado como muy útil para la rotura y disgregación de los grumos que se forman en las arcillas homogéneas por acción de fuerzas de naturaleza capilar entre sus partículas. En suelos finos no homogéneos, con diferentes rangos de tamaños, la acción de las patas de cabra también es muy benéfica para romper y disgregar las diferentes partículas y para unir entre sí las distintas capas de material compactado, pues al quedar distorsionada la superficie de cada capa, se compacta junto con la siguiente, lo que elimina la tendencia a la luminación. En arcillas blandas francas, además que tiene la posibilidad de eliminar grumos, el rodillo pata de cabra resulta muy conveniente por la acción de amasado ya descrita. En épocas recientes incluso se ha combinado la acción de los 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 compactado-- res que pueden considerarse como variantes del ro- dillo pata de cabra tradicional: El rodillo de re jillas y el segmentado.

En condiciones óptimas de humedad, un rodillo de pies de cordero necesita de 10 a 12 pasadas pa- ra compactar una capa de 25 cms de suelo disgrega- do y rellenado.

El rodillo apisonador deja en el suelo una ca pa no compactada de 2.5 a 5 cms, capa que debe com pactarse mediante otro aparato, rodillo compresor- de neumáticos o rodillo liso.

COMPACTACION POR NEUMATICOS.

El apisonado de abajo a arriba no es apropia- do para todas las clases de suelos. No es conve-- niente para el caso de arena fina, de suelos gra-- nulados, etc. Por otra parte, hemos visto que con los pies de cordero los últimos centímetros de la- capa superior escapan a la compactación. En los - dos casos precedentes, los compactadores de neumá- ticos dan buenos resultados. Los rodillos neumáti cos son muy eficientes y a menudo esenciales para- la compactación de sub-bases, bases y carpetas, - sus bulbos de presión son semejantes a los de los- rodillos metálicos, pero el área de contacto perma nece constante por lo que no se produce el efecto- de reducción del bulbo. Por otra parte, el efecto de puentes del rodillo metálico, sobre zonas sua--

ves, se elimina con llantas de suspensión independientes.

Estos compactadores pueden ser jalados o autopropulsados.

Se pueden dividir conforme al tamaño de las llantas en:

A).- DE LLANTAS PEQUEÑAS.

B).- DE LLANTAS GRANDES.

A).- Generalmente tienen dos ejes en tandem y el número de llantas puede variar entre 7 y 13. El arreglo de las llantas es tal que las traseras traslapan con las delanteras.

Algunos de estos compactadores tienen montadas sus ruedas en forma tal que oscilan o "bailan" al rodar, lo que aumenta su efecto de amasamiento. Estos compactadores proporcionan una presión de contacto semejante a la proporcionada por equipos de mayor peso y llantas grandes, tienen mayor maniobrabilidad, no empujan mucho material adelante de ellos, tienen poca profundidad de acción y poca flotación en materiales sueltos.

B).- Son generalmente arrastrados por tractor y pesa de 15 a 60 toneladas. Tienen 4 6 6 llantas en un mismo eje. Su costo horario es generalmente caro por el tipo de tractor que se utiliza para arrastrarlos.

Su mejor aplicación es usarlos como compactadores de prueba.

Los dos factores más importantes que intervienen en este tipo de compactadores son:

a).- PESO TOTAL.- Dependiendo del número total de llantas y del sistema de suspensión del compactador se puede conocer el peso o fuerza aplicada por llanta. A mayor peso total, mayor carga por llanta, en caso de tratarse de una suspensión isostática.

b).- LA PRESION DE INFLADO.- Es importante, pero está ligada íntimamente a la carga de la llanta.

-Al aumentar el peso sin aumentar la presión, aumentamos la profundidad del bulbo (peso del compactador y presión de contacto), esto nos permitirá trabajar capas relativamente mayores, pero el aumento de eficiencia es casi nulo, y las llantas durarán menos pues estamos aumentando el trabajo de deformación de la llanta.

-Si aumentamos la presión sin aumentar la carga disminuimos la profundidad del bulbo de presión y podemos llegar a encarpetar la capa. Esto puede ser eficiente si la capa es delgada como suele serlo en bases y sub-bases.

-Si aumentamos el peso y la presión estamos aumentando la presión efectiva sobre la capa y por

lo tanto el trabajo de compactación sobre la capa, sin embargo esto nos puede disminuir la vida útil de las llantas y del equipo.

-En el concepto moderno de un compactador neumático la carga sobre la llanta y la presión de inflado, deben ser las adecuadas para dar la presión de contacto suficiente para ejercer el esfuerzo requerido de compactación (es aconsejable no alejarse mucho de las recomendaciones del fabricante).

Por la razón anterior los fabricantes de equipo progresistas, han provisto, a sus máquinas con implementos para variar rápidamente la presión de inflado de sus equipos.

Las presiones de inflado usuales son del orden de 50 psi., para compactadores pequeños (hasta 10 tons.) y pueden llegar hasta 80 psi en compactadores grandes (de 10 a 60 tons.)

La presión de inflado no es igual a la de contacto ya que intervienen (en mucho) la rigidez de la llanta inflada.

Tienen aplicaciones especializadas como la compactación del terreno natural en aeropuertos (grandes extensiones, terreno plano, alto grado de compactación, fácil acceso, etc.), tienen gran utilidad para sellar las capas superiores, con lo que se logra una buena impermeabilidad.

En cuanto al rendimiento del apisonado por -

neumáticos, podemos decir que con humedad óptima,- un aparato apisonador de neumáticos compacta una - capa de 10 cms de tierra disgregada en 2 ó 4 pasadas, siendo la velocidad de operación de 16 a 24 - km/hr.

RODILLOS METALICOS.

Un rodillo metálico utiliza solamente presión estática con un mínimo de manipulación en materiales plásticos.

Cuando estos rodillos inician la compactación de una capa el área de contacto es más o menos ancha y se forma un bulbo de presión de una cierta - profundidad, conforme avanza la compactación, el - ancho del área de contacto se reduce, y por lo tanto también se reduce la profundidad del bulbo de - presión y aumentan los esfuerzos de compresión en- la cercanía de la superficie. Estos esfuerzos son con frecuencia suficientes para triturar los agregados en materiales granulares, e invariablemente- causan la formación de una costra en la superficie de la capa (encarpetamiento).

Si a esto se agrega la costumbre de hacer - - riesgos adicionales durante la compactación, para- compensar la evaporación, en una capa en donde la- penetración del agua es difícil por la misma capacidad del material, llegaremos a un estado de es-- tratificación de la humedad, en este momento la - formación de la costra es inevitable.

También es costumbre más o menos generalizada el sobre lastrar estos equipos cuando no se está obteniendo la compactación deseada, para aumentar la penetración y la profundidad del bulbo de presión, esto generalmente tiene como consecuencia el sobre esforzar la superficie.

Un rodillo metálico, no compacta pequeñas áreas suaves debido a que la rigidez de la rueda las puentea, estas áreas suaves se presentan con frecuencia en terracerías debido a la irregularidad de la capa.

Dentro de este grupo se puede hacer la división siguiente:

A) PLANCHAS TANDEM. Son aquellas que tienen dos ó tres rodillos metálicos paralelos. Los rodillos son generalmente huecos para ser lastrados con agua y/o arena. Tienen generalmente dos números por nomenclatura. El primero es el peso de la máquina sin lastre y el segundo es el peso de la máquina lastrada totalmente.

B) PLANCHAS DE TRES RUEDAS. Son quizás las de más antiguo diseño; estas planchas tienen dos ruedas traseras paralelas y una rueda delantera; las ruedas pueden ser huecas para ser lastradas o formadas por placas de acero roladas con atiesadores.

Las planchas Tandem, a pesar de que son generalmente de menor peso que las de tres rodillos, suelen tener mayor compresión por centímetro li-

neal de generatriz que las de tres rodillos, por - tener menor superficie de contacto con el material.

Tanto las planchas tandem como las de tres rodillos, tienen bajas velocidades de operación y poca seguridad al compactar las orillas de terraplenes altos.

Son efectivas en suelos de naturaleza granular donde su efecto triturador puede ser necesario; su efectividad se ve mermada en materiales granuloplásticos, donde se tiende a un encarpetamiento; - en materiales plásticos o cohesivos no tienen gran aplicación.

Resumiendo, puede decirse que estas máquinas- por su lentitud y poca profundidad de acción, han- perdido terreno en la compactación de grandes movimientos de tierra; también en algunas aplicaciones específicas que tienen estos equipos como la compactación de carpetas asfálticas, van siendo desplazados por otras máquinas compactadoras.

PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD.

En la construcción de terraplenes sería ideal poder medir la resistencia del suelo para determinar cuando se ha alcanzado la resistencia necesaria, pero el equipo para medir esta resistencia (especialmente a esfuerzos de compresión y cortante) es difícil de manejar, es caro y no es aplicable a todos los suelos, por lo tanto se han preparado las siguientes pruebas de laboratorio.

A) PROCTOR.

B) PROCTOR MODIFICADA.

C) PORTER.

A) PROCTOR.- Prueba de compactación en suelos que pasan la malla No. 4.

1.- FINALIDAD DE LA PRUEBA.

Esta prueba conocida bajo el nombre de Prueba de compactación de Proctor, se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen, así como de la resistencia a la penetración de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido, para distintos contenidos de humedad.

Los objetos de la prueba son los siguientes:

a) Determinar el peso volumétrico máximo que-

puede alcanzar el material de que se trate, así como la humedad óptima a que deberá hacerse la compactación.

b) Determinar el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o en caminos ya construídos, relacionando el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo Proctor.

2.- GENERALIDADES.

La prueba de Proctor reproduce en el laboratorio, el tipo de compactación que se obtiene con los rodillos pata de cabra, es decir, una compactación uniforme de la parte inferior hacia la superficie de la capa compactada.

En todos los suelos, al incrementar la humedad se proporciona un medio lubricante entre sus partículas que permite un cierto acomodo de éstas cuando se sujetan a un esfuerzo de compactación. Si se sigue incrementando la humedad, empleando el mismo esfuerzo de compactación, se llega a obtener el mejor acomodo de las partículas del suelo y por consecuencia el mayor peso volumétrico seco, con una cierta humedad que es llamada humedad óptima.

A esta humedad deberá procurarse siempre efectuar la compactación en el camino, ya que facilita el acomodo de las partículas con el menor trabajo del equipo de compactación. Si se aumenta o disminuye la humedad, para llegar a obtener el mismo pe

so sería necesario aumentar el trabajo de las máquinas de compactación. Si a partir de esta condición de humedad óptima y peso volumétrico seco máximo se hacen incrementos de humedad, se provoca un aumento del volumen de los huecos ocasionándose una satisfacción sucesiva de partículas de suelo por agua, en virtud de que el volumen de aire atrapado entre las partículas de suelo no puede ser disminuido apreciablemente con ese mismo esfuerzo de compactación, obteniéndose por consecuencia, pesos volumétricos secos que van siendo menores a medida que la humedad aumenta.

3.- LIMITACIONES DE LA PRUEBA.

Esta prueba está limitada a los suelos que pasen totalmente por la malla No. 4 o cuando más tengan un retenido de 10 % en esta malla, pero que pasen totalmente por la malla de 3/8".

No debe efectuarse, además, en las arenas de río, arenas de mina, arenas producto de una trituración, tezontles francamente arenosos, y en general en todos aquellos materiales que carecen de cementación.

Al tratar de hacer la prueba de Proctor con materiales de este tipo se obtienen resultados inciertos, siendo en muchos casos prácticamente imposible ejecutar la prueba, debido a que el agua que se adiciona no es retenida por el material, una vez satisfecha la absorción de éste, sino que escurre hacia el fondo del molde de prueba.

Una vez alcanzado el mejor acomodo de las partículas en un material de este tipo, al hacer incrementos posteriores de humedad, el aire es expulsado parcialmente por el agua adicionada, no alterándose en forma apreciable el tamaño de los huecos. En estas condiciones se incrementa el peso volumétrico húmedo sin que varíe sensiblemente el peso volumétrico seco. Este peso volumétrico seco permanece más o menos constante hasta cierto contenido de humedad. Ya en estas condiciones se dificulta la compactación durante la prueba, porque los impactos provocan un desalojamiento lateral de la mezcla de suelo y agua, no pudiendo obtenerse una masa compacta que permita hacer las determinaciones inherentes a la prueba.

4.- EQUIPO DE PRUEBA.

Un molde de compactación constituido por un cilindro metálico de 101.6 mm (4") de diámetro interior, por 116.8 mm (4.6") de altura. Este cilindro está provisto de una base constituída por una placa metálica a la cual puede asegurarse convenientemente, por una extensión removible de 63.5 mm (2 1/2 ") de altura y del mismo diámetro.

Un pisón metálico de 2.5 kilos (5.5 lbs) de peso, con superficie circular de apisonado de 50.8 mm (2") de diámetro.

Una guía de lámina de forma tubular de 35 cms de largo aproximadamente.

Una regla metálica con arista cortante de 25-cms de largo aproximadamente.

Una balanza de 20 kgs de capacidad y 1 gr de-aproximación.

Una balanza de 200 grs de capacidad y .01 gr. de sensibilidad para determinaciones de humedad.

Un horno que mantenga una temperatura constante entre 100-110 °C.

Cápsulas para las determinaciones de humedad.

Charolas de lámina.

Una probeta graduada de 500 c.c.

Una probeta graduada de 1000 c.c.

5.- PREPARACION DE LA MUESTRA.

Se obtiene por cuarteo una muestra de 3 kilos aproximadamente del material previamente secado al sol.

Esta muestra, constituida, por material que - pasa la malla No. 4 o que tiene un retenido máximo de 10 %. en esta malla, pasando todo por la de - - 3/8", se tamiza por la malla No. 10, y los grumos-que se hayan retenido se disgregan perfectamente y se vuelven a tamizar por la misma malla, continuándose este proceso hasta que las partículas que - - sean retenidas en la malla no puedan ya ser disgregadas. Terminada esta operación se mezcla perfec-

tamente todo el material y se adiciona la cantidad de agua necesaria para iniciar la prueba.

La cantidad de agua que se adicione deberá - ser la necesaria para que una vez repartida uniformemente, presente el material una consistencia tal que al ser comprimido en la palma de la mano, no - deje partículas adheridas en ella ni la humedezca, y que a la vez el material comprimido pueda tomarse con los dedos sin que se desmenuce.

6.- PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

El material que contiene ya la humedad necesaria para iniciar la prueba se tamiza por la malla- No. 4 mezclándolo para homogeneizarlo, y se compacta en el molde cilíndrico en 3 capas aproximadamente iguales.

La compactación se hace utilizando el pisón - metálico, el cual se dejará caer desde una altura- de 30 cms. utilizando la guía para mantener cons-- tante la altura de caída. Deberán darse 30 golpes repartidos uniformemente para apisonar cada capa.- Una vez apisonada la última capa se remueve la extensión y se elimina por medio de la regla metálica el excedente de material del molde cilíndrico y se pesa éste con todo y su contenido. A continuación se extrae la muestra compactada del cilindro, y se pone a secar una pequeña porción del corazón- del especimen para determinar la humedad.

La muestra que ha sido removida del model ci-

líndrico se desmenuza hasta que pasa de nuevo por la malla No. 4, se añade 60 c.c. de agua y se repite el procedimiento descrito. Esta serie de determinaciones se continua hasta que la muestra esté muy húmeda y se presente una disminución apreciable en el peso del suelo húmedo compactado.

7.- CALCULOS Y RESULTADOS DE LA PRUEBA.

El peso volumétrico húmedo se calcula con la siguiente fórmula:

$$\gamma_w = \frac{Pi - Pt}{V}$$

donde:

γ_w = Peso volumétrico húmedo, en grs/lt o kgs/m^3.

Pi = Peso del material compactado + peso del molde, en grs.

Pt = Peso del molde en grs.

V = Volumen del molde en lts.

El peso volumétrico seco se calcula aplicando la fórmula:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_w}{100 + w} 100$$

siendo:

γ_s = Peso volumétrico seco en grs/lt o kgs/m^3.

w = Humedad del especimen compactado.

Los pesos volumétricos secos obtenidos y las-humedades correspondientes, se utilizan para tra--zar la curva peso volumétrico seco-humedad, marcando en el eje de las ordenadas a escala logarítmi--ca, los pesos volumétricos y en el eje de las abscisas, a escala aritmética, los contenidos de humedad.

El punto superior de la curva resultante re--presenta el peso volumétrico seco máximo para el -material estudiado, bajo las condiciones de compactación indicadas en el procedimiento de prueba. La humedad correspondiente a este peso volumétrico representa el contenido óptimo con el cual se obtiene dicho peso volumétrico.

Es conveniente además, que en la misma gráfica en que se trazó la curva peso volumétrico seco-humedad se dibuje la "curva de saturación teorica" llamada también "curva de cero vacíos".

La curva de saturación teórica representa la-humedad, para cualquier peso volumétrico, que se--ría necesaria para que todos los vacíos que dejan-entre sí las partículas sólidas estuvieran llenos-de agua.

El peso volumétrico seco correspondiente a la curva de saturación teórica " c", para una hume--dad dada, se calcula con la siguiente fórmula:

$$\gamma_c = \frac{1000\ D}{100 + wD}\ 100$$

siendo:

γ_c = Peso volumétrico de la curva de saturación teórica.

D = Densidad relativa del material que pasa la malla No. 4.

w = Humedad correspondiente a " γ_c".

Para un peso volumétrico seco cualquiera - - " γ_s" y una humedad dada "w" de un suelo compactado, se puede determinar el por ciento de huecos - llenos de aire en función de la curva de saturación teórica por medio de la siguiente fórmula:

$$V_a = 100 \left(1 - \frac{\gamma_s}{\gamma_c}\right)$$

donde:

Va = Volumen de los huecos llenos de aire, expresado en por ciento.

γ_s = Peso volumétrico seco del suelo compactado correspondiente a una humedad "w".

γ_c = Peso volumétrico seco sobre la curva teórica de saturación correspondiente a la humedad "w".

La curva de saturación teórica tiene las siguientes aplicaciones principales:

a) Comprobar si la curva de Proctor fue correctamente determinada. La curva teórica de satu-

ración y la de Proctor nunca debe cortarse, dado que es imposible en la práctica llenar totalmente con agua los huecos que dejan las partículas del suelo compactado.

b) Determinar si un suelo, en el estado en que se encuentre en el lugar, es susceptible de adquirir mayor humedad o mayor peso volumétrico.- Una vez hecha la determinación del peso volumétrico seco y humedad en el lugar, se calcula el por ciento de huecos llenos de aire con la fórmula ya indicada. Si este valor es mayor de 6.5 %, el suelo se encuentra en condiciones de adquirir un peso volumétrico mayor con la humedad que contiene, o bien, sin variar su peso volumétrico seco, incrementar su humedad.

Para los suelos cuyo peso volumétrico máximo Proctor es mayor de 1300 kg/m^3, el por ciento de huecos llenos de aire, cuando alcanzan el 100 % de compactación con la humedad óptima, es en promedio de 6.5 % tomando como base la curva de saturación teórica para una densidad aparente de 2.65.

Puede admitirse una tolerancia de 1.5 % en la humedad para pesos volumétricos mayores de 1 300 kg/m^3. Para pesos volumétricos menores del antes mencionado, los resultados son algo discordantes, debiendo ser mayor la tolerancia.

8.- FACTORES QUE AFECTAN LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.

a) Secado excesivo de la muestra.- El material con que se verifique la prueba de compactación deberá haber sido secado sólo parcialmente, pues se ha observado un distinto comportamiento durante la compactación en los suelos en que se ha eliminado toda la humedad.

b) Repetición de la prueba en la misma muestra.- La curva peso volumétrico seco-humedad debe obtenerse de un solo intento, es decir, dando incrementos de humedad a una misma muestra. No deberá secarse la muestra para determinar puntos de la curva que correspondan a humedades menores de la que ya se le ha incorporado, ni deberá tampoco, para este mismo objeto, usarse una nueva muestra.

c) Repartición de la humedad.- La humedad de la muestra que va a ser compactada debe haber sido repartida uniformemente, manipulando el material de manera de desbaratar los grumos que se forman, a fin de conseguir siempre una lubricación correcta y homogénea de las partículas de suelo, principalmente en la primera adición de agua que se hace.

d) Variaciones en el sistema de compactación. Debe tenerse especial cuidado en que los golpes del pisón se repartan uniformemente en toda la superficie, y que la altura de caída sea la especifi

cada. El pisón deberá caer libremente sin rozar - en la guía y su superficie de apisonado deberá mantenerse limpia. Deberá comprobarse también que el apoyo sea rígido y su superficie sea plana y horizontal. Es además muy importante el que las capas compactadas sean siempre del mismo espesor, no debiendo ser éste excesivo para que al enrasar el especímen sea pequeña la cantidad de material que se elimine. Si al terminar la compactación de la última capa el exceso de material sobresale del molde en un espesor promedio mayor de 2.5 cms, la - - prueba deberá repetirse, usando menor cantidad de material.

e) Factor Personal.- Es indispensable que, afin de hacer constante el factor personal, un solo operador verifique la prueba completa, para que la compactación sea más uniforme durante la misma.

f) Número de puntos en que debe determinarse la curva peso volumétrico-humedad.- Es muy conveniente que el número de puntos en que se verifique la prueba no sea excesivo, para no fatigar demasiado el material y que a la vez no sea tan pequeño - que impida determinar correctamente el punto de inflexión de la curva. Comenzando la prueba siempre a una humedad cercana a la óptima, pero desde luego menor, puede determinarse la curva en cuatro o cinco puntos, debiendo corresponder dos de ellos a su rama derecha. Debe evitarse siempre hacer menos de cuatro determinaciones, o más de cinco, para definir la curva peso volumétrico-humedad.

B) PROCTOR MODIFICADA.- Conforme fueron aumentando las cargas sobre las terracerías por el uso de camiones y aeroplanos cada vez más pesados, se vió la necesidad de desarrollar mayores densidades y resistencias en muchos materiales usando trabajo de compactación. Por esta razón se desarrolló la prueba Proctor Modificada.

Para esta prueba se usa el mismo cilindro proctor, pero el material se compacta en 5 capas con un martillo de 4.5 kg y cayendo de una altura de 46 cms, dando 25 golpes por capa.

En todos los aspectos las dos pruebas son semejantes, únicamente el trabajo de compactación se ha incrementado aproximadamente 4.5 veces.

C) PORTER.-

1) Objeto de la curva.- Determinar la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte se refiere, midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y sujeto a un determinado período de saturación.

2) Equipo de prueba.- Un molde cilíndrico de compactación de 15.75 cms, de diámetro interior y 20.32 cms, (8") de altura, provisto de una base con dispositivo para sujetar el cilindro.

Una máquina de compresión con capacidad mínima de 30 toneladas y aproximación en las lecturas de más o menos 10 kgs para cargas bajas.

Una varilla de 1.9 cms de diámetro y 30 cms - de longitud con punta de bala, para el picado del- material en el molde.

Una placa circular para compactar con diáme-- tro de 15.5 cms, ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro, que pueda sujetarse a la cabeza de aplicación de la carga.

Una placa metálica circular perforada con un- vástago desplazable colocado en el centro, sobre - cual apoyará el pie del extensómetro.

Un tripié metálico para sostener el extensómetro durante la saturación.

Un tanque de lámina o mampostería de 30 cms - de altura.

Dos placas de carga con un diámetro ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro, - con un orificio central de 5.2 cms de diámetro y - un peso total de 6 kgs.

Un pistón cilíndrico para la prueba de pene-- tración con una sección de 19.35 cm^2 (3 $pulg^2$), - que pueda sujetarse a la cabeza de la máquina.

Un extensómetro de carátula, graduado en milésimos de pulgada, con carrera de una pulgada.

Una malla del No. 4 y una malla de 1".

Una balanza de 10 kgs de capacidad mínima y sensibilidad de 1 gr.

Una balanza con sensibilidad de 0.01 gr.

Cápsulas para la determinación de la humedad.

Un horno que mantenga la temperatura constante hasta 110°C.

Charolas de lámina galvanizada.

Una probeta graduada de 1000 c.c.

Una probeta graduada de 500 c.c.

Hojas de papel filtro de 15.75 cms de diámetro.

3) Preparación de la muestra.

La muestra para efectuar esta prueba deberá haber sido secada, disgregada y cuarteada. Cuando se ha logrado ya la disgregación de los grumos, se tamiza la muestra por la malla de 1". Si la muestra original contiene menos de 15% en peso de material que se retiene en la malla de 1", debe utilizarse para la prueba el material que pasó la malla. Cuando el retenido en la malla de 1" excede del 15%, será necesario sustituir este retenido por una cantidad igual en peso de material pétreo que pase la malla de 1" y se retenga en la No. 4, el cual deberá tomarse de otra muestra.

La cantidad necesaria de muestra para la prueba no deberá ser menor de 16 kgs, de los cuales se

tomarán por cuarteo porciones de 4 kgs para cada - determinación.

4) Procedimiento de Prueba.

La prueba consiste en medir la resistencia a- la penetración de un especimen compactado a la humedad óptima de Porter, con una carga unitaria de- 140.6 kgs/cm^2 aplicada con la máquina de compre- - sión, después de haber sido saturado en agua hasta lograr su máxima expansión.

Los pasos necesarios para verificar la prueba se detallan a continuación en su orden respectivo:

a) Obtención de la humedad óptima de Porter - por compactación de varios especímenes con la carga unitaria de 140.6 kgs/cm^2 a diversas humedades.

b) Saturación del especimen compactado a humedad óptima hasta que alcance su máxima expansión.

c) Determinación de la expansión sufrida du-- rante la saturación.

d) Determinación de las resistencias a la penetración.

a) Obtención de la humedad óptima y del peso- volumétrico seco máximo.

La humedad óptima de Porter es la humedad mínima requerida por el suelo para alcanzar su peso-

volumétrico seco máximo cuando es compactado con - la carga unitaria anteriormente indicada.

Para obtener el peso volumétrico seco máximo- y la humedad óptima se sigue el siguiente procedimiento:

Se incorpora cierta cantidad de agua, cuyo volumen se anota, a los 4 kgs de material preparado- de acuerdo con el inciso No. 3 y una vez lograda - la distribución homogénea de la humedad, se coloca en tres capas dentro del molde de prueba y a cada- una de ellas se le dan 25 golpes con la varilla metálica. Al terminar la colocación de la última capa se compacta el material aplicando cargas uniforme y lentamente de modo de alcanzar la presión de- 140.6 kg/cm^2 en un tiempo de cinco minutos, la que debe mantenerse durante un minuto e inmediatamente hacer la descarga en otro minuto.

Si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde, la humedad del especimen es inferior a la óptima.

Se determina la altura del especimen restando la altura del especimen entre la capa superior del especimen y el bordo del molde, de la altura total del molde.

Se conserva el material dentro del molde mientras no se haya definido cuál es el especimen que- se encuentra en la humedad óptima, o muy cercano a ella.

A otra porción de 4 kgs de material se le adiciona una cantidad de agua a la del especimen anterior más 80 c.c., y se repite el proceso descrito. Si al aplicar la carga máxima se observa que se humedece la base del molde por haberse iniciado la expulsión de agua, el material, se encuentra con una humedad ligeramente mayor que la óptima de Porter. En este caso, el primer especimen será el que deba ponerse a saturar en agua para después verificar la prueba de penetración.

En caso contrario, es decir si no se humedeció la base del molde, deberá repetirse todo el proceso indicado adicionando a una nueva muestra una cantidad de agua igual a la del primer especimen más 160 c.c.

El proceso deberá repetirse el número de veces necesario para lograr con incrementos de 80 c.c. de agua, que se humedezca la base del molde. Cuando esto se logra, se seleccionará para saturarlo y verificar la prueba de penetración, el especimen inmediato anterior a aquel en donde se inició la expulsión de agua.

b) Saturación del especimen.

Al especimen seleccionado se le colocan una o dos hojas de papel filtro en la cara superior, la placa perforada, las placas de carga y se introduce en el tanque de saturación. Sobre los bordes del molde se coloca el tripié con el extensómetro, anotándose la lectura inicial de éste. Se mantiene

el especimen dentro del agua y se hacen lecturas - diarias del extensómetro. Cuando se observe que cesa la expansión deberá anotarse la lectura final - del extensómetro y sacar del tanque el molde con - el especimen para sujetar éste a la prueba de penetración. El período de saturación varía entre 3 y- 5 días.

c) Determinación de la expansión.

La diferencia de lecturas final e inicial del extensómetro, expresado en mm., se divide entre la altura en mm. del especimen antes de sujetarlo a-- la saturación y este cociente multiplicado por 100 expresa el valor de la expansión.

d) Determinación de la resistencia a la penetración.

Al molde con el especimen que fue retirado - del tanque de saturación, se le quitan el tripié y el extensómetro y con todo cuidado se acuesta sin- quitar las placas, dejándolo en esta posición du-- rante tres minutos para que escurra el agua. Se - lleva a la prensa, se retiran las placas y el pa-- pel filtro y se colocan nuevamente las dos placas- de carga.

El pistón para la prueba de penetración debe- pasar a través de los orificios de las placas hasta tocar la superficie de la muestra; se aplica -- una carga inicial que no sea mayor de 10 kgs., e - inmediatamente después, sin retirar la carga, se - ajusta el extensómetro de carátula para registrar-

el desplazamiento vertical del pistón. Se procede a la aplicación lenta de cargas continuas con pe-- queños incrementos y se anotan las cargas corres-- pondiente a cada una de las siete penetraciones indicadas en el cuadro siguiente.

PENETRACIONES			CARGAS REGISTRADAS EN KGS.
	EN MM.	EN PULG.	
1a.-	1.27	0.05	
2a.-	2.54	0.10	
3a.-	3.81	0.15	
4a.-	5.08	0.20	
5a.-	7.62	0.30	
6a.-	10.16	0.40	
7a.-	12.70	0.50	

5) CALCULO DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE.

La carga registrada para la penetración de - 2.54 mm. (0.1"), se debe expresar como un porcentaje de la carga estándar de 1360 kgs., y si la prueba estuvo bien ejecutada, el porcentaje así obtenido es el valor relativo de soporte correspondiente a la muestra ensayada.

Con el fin de saber si la prueba estuvo bien-

ejecutada, se dibuja la curva carga penetración, - anotando en las abscisas las penetraciones y en -- las ordenadas las cargas registradas para cada una de dichas penetraciones. Si esta curva es defec-- tuosa, es debido probablemente a que la carga inicial para empezar la prueba fue mayor de los 10 -- kgs. especificados al comienzo de este inciso. En este caso deberá repetirse la prueba.

Si la curva de resistencias presenta en su - iniciación una concavidad hacia arriba, deberá hacerse la siguiente corrección:

Dibujese una tangente a la curva en el punto- de máxima pendiente (punto A), hasta cortar el eje de las abscisas en el punto B, que se tomará como- nuevo origen. Márquese los puntos C, D y E, que - se tomarán como las penetraciones de 2.54, 5.08 y- 7.62 mm., respectivamente, las ordenadas C'C, D'D- y E'E representarán las cargas corregidas para dichas penetraciones. El valor relativo de soporte- de la muestra, será el calculado con el valor de - la ordenada C'C, expresado como porcentaje de la - carga estándar de 1360 kgs.

$$\text{Valor Soportante Relativo} = \frac{\text{Ordenada CC' en kgs.}}{1360 \text{ kgs.}} \times 100$$

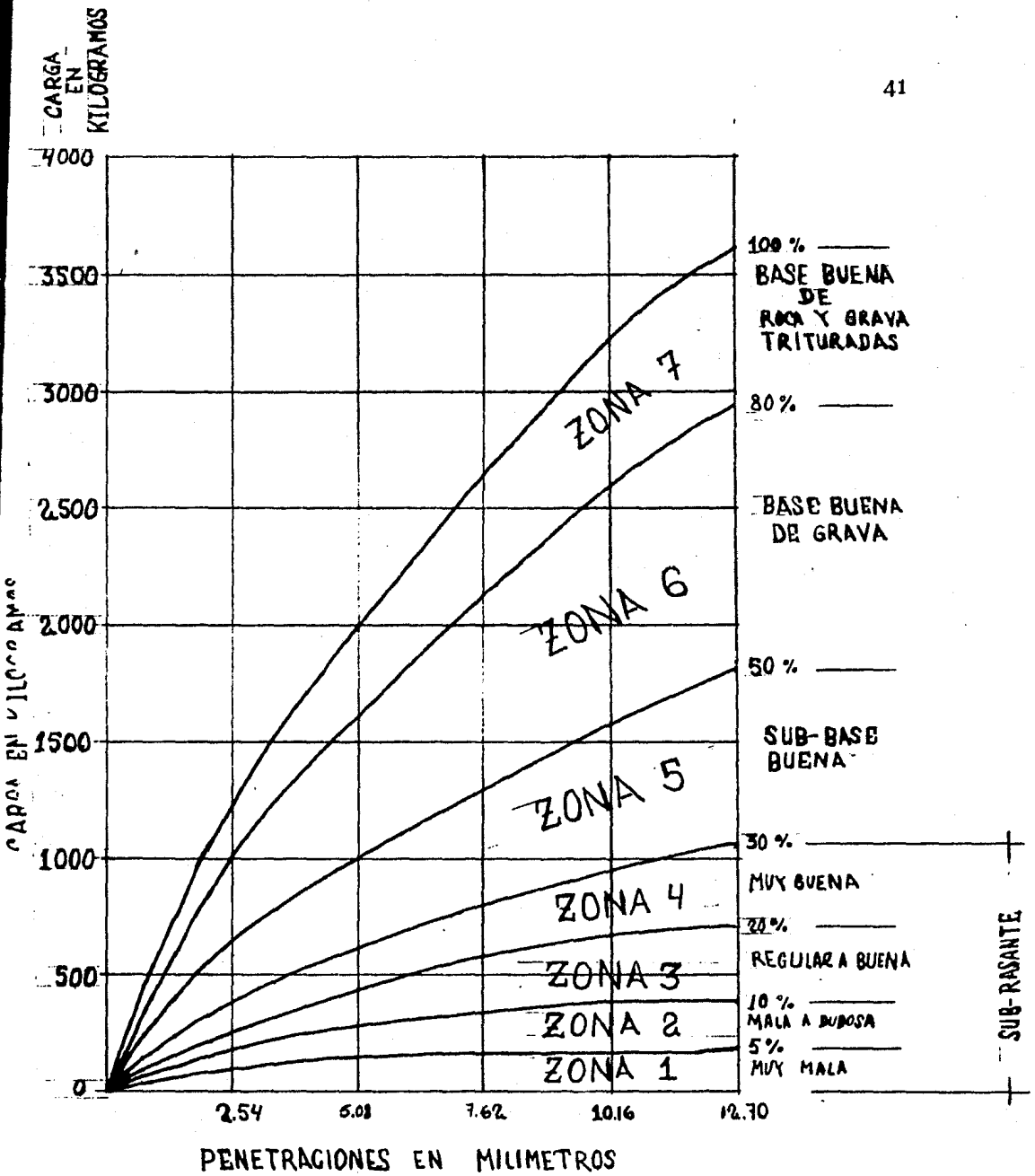
6) CLASIFICACION DEL MATERIAL POR LO QUE RESPECTA A SU VALOR RELATIVO DE SOPORTE.

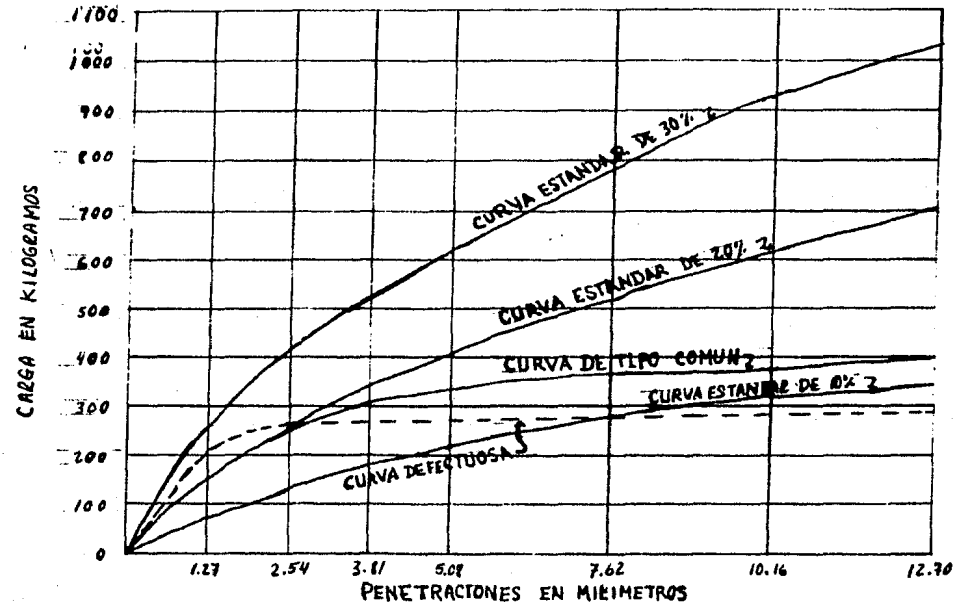
Con el resultado obtenido en esta prueba se - clasifica el suelo usando la siguiente tabla, que-

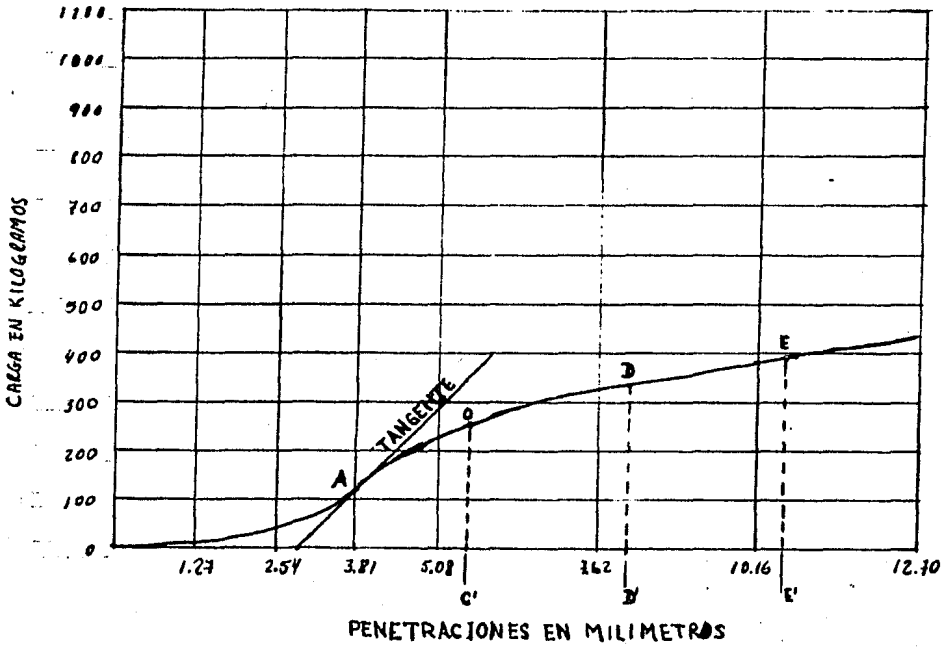
indica el empleo que puede dársele al material por lo que a valor relativo de soporte se refiere.

ZONA	VALOR RELATIVO DE SOPORTE	C L A S I F I C A C I O N
1	0-5	Subrasante muy mala.
2	5-10	Subrasante mala.
3	10-20	Subrasante regular a buena.
4	20-30	Subrasante muy buena.
5	30-50	Subrasante buena.
6	50-80	Base buena.
7	80-100	Base muy buena.

En la figura se reproducen las zonas indica-- das en el cuadro anterior.


CARGA EN KILOGRAMOS
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
2.54
5.08
7.62
10.16
12.70
PENETRACIONES EN MILIMETROS
ZONA 7
ZONA 6
ZONA 5
ZONA 4
ZONA 3
ZONA 2
ZONA 1
100 %
BASE BUENA DE ROCA Y GRAVA TRITURADAS
80 %
BASE BUENA DE GRAVA
50 %
SUB-BASE BUENA
30 %
MUY BUENA
20 %
REGULAR A BUENA
10 %
MALA A DUDOSA
5 %
MUY MALA
SUB-RASANTE





$$\text{VALOR SOPORTANTE RELATIVO} = \frac{\text{ORDENADA CC' EN KGS.}}{1360 \text{ KGS.}} \times 100$$

BIBLIOGRAFIA

1.- MANUAL DE LABORATORIO "SAHOP"

2.- LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES.
Alfonso Rico Rodríguez.
Hermilo del Castillo.

3.- MAQUINAS PARA OBRAS.
A. Gabay.
J. Zemp.

4.- METODOS, PLANEAMIENTOS Y EQUIPOS DE CONSTRUCCION.
Peurifoy.

5.- MAQUINARIA PARA LA CONSTRUCCION.
Hever Gubany Hinrichsen.

6.- MOVIMIENTO DE TIERRAS.
Centro de Educación Continua.