

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA DETERMINAR MASAS VOLUMÉTRICAS, CON RESPECTO AL MÉTODO DEL CONO ARENA EN SUELOS COMPACTOS

Comparative analysis of the methods to determine volumetric masses, with respect to the method of the cone compact ground sand

M.I. Rommel de Jesús Miranda Cuesta¹.
José Inocente Espinosa Vicente.

RESUMEN

La presente investigación pretende determinar el método más apropiado y eficaz para la determinación de los pesos volumétricos compactos del lugar (masas volumétricas) las cuales pueden ser realizadas por los métodos siguientes; Método de la probeta y pesos directos, método del cono-arena y método de la trompa de elefante, tales métodos tienden a tener una variabilidad debido a ciertas características, las cuales se conocerán con la investigación aquí propuesta. En esta investigación se realizó un análisis estadístico comparativo entre los métodos mencionados con la finalidad fundamental de decir con absoluta precisión cual es la variabilidad que existe en la aplicación de estos métodos y mencionar cual es el más confiable en la determinación de la compactación de los suelos.

1. INTRODUCCIÓN

Debe ser del conocimiento de los profesionales y personas dedicadas a la construcción, que dentro de los estudios geotécnicos que se realizan al suelo, la "compactación" es el más importante, por el aumento de la resistencia, al menos en lo cuantitativo.- Aunque también en for-

ma cualitativa, constituye uno de los componentes de la técnica actual.

Ya que la mayoría de los suelos en que se alojan las cimentaciones, se requieren de esfuerzos internos que equilibren de alguna manera las solicitaciones emanadas por la superestructura.- Es decir, que de una adecuada compactación del suelo en el laboratorio. En congruencia con la energía de compactación de campo enviada por los modernos rodillos pesados, depende el éxito de la obra.

Como un material de construcción el suelo ha sido utilizado desde la antigüedad, la disponibilidad generalizada y su relativa economía de este material de tierra continua siendo atractivo para construir cimentaciones, terraplenes, muros de contención de tierra, etc. Esto se ha reconocido de una manera muy importante primero de manera empírica, y posteriormente de forma científica.

La compactación ha figurado entre las técnicas de construcción desde las épocas más remotas de que se tienen noticias. 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 zonas hidráulicas en diversas partes de Asia, aunque en realidad en esa época su aplicación no era ni general ni sistemática. Ahora se entiende por compactación de los suelos el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos. Se distinguen de la consolidación de los suelos en este proceso, porque el peso específico del material crece gradualmente bajo la acción natural de sobrecargas impuestas que provocan expulsión de agua por un proceso de difusión; ambos procesos involucran disminución de volumen, por lo que en el fondo son equivalentes.

¹ Académico de Geotecnia, Facultad de Ingeniería, UNACH.
Egresado de la Facultad. E-mail: rommelmc@yahoo.com.

La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación que se obtiene al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos. Las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales, tales como cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordos de defensa, muelles pavimentos, etc.]

Los métodos más usados para la compactación de los suelos dependen del tipo de materiales con los que se trabaje en cada caso; para los materiales puramente friccionantes, como las arenas, se compactan eficientemente por métodos vibratorios, en tanto que en los suelos plásticos el procedimiento de carga estática resulta el más ventajoso. En la práctica, estas características se reflejan en los equipos disponibles para el trabajo, tales como plataformas vibratorias, rodillos lisos, neumáticos o "pata de cabra". En las últimas épocas los equipos de campo han tenido un gran desarrollo y hoy existen en gran variedad de sistemas o pesos, de manera que el ingeniero tiene posibilidad de elegir entre muchos, los implementos adecuados a cada caso particular.

La eficiencia de cualquier equipo de compactación depende de varios factores y para poder analizar la influencia particular de cada uno, se requiere disponer de procedimientos estandarizados que produzcan en el laboratorio la compactación que pueda lograr en el campo con el equipo disponible. De entre todos los factores que influyen en la compactación obtenida en un caso dado, podría decirse que dos son los más importantes: el contenido de agua del suelo, antes de iniciar el proceso de compactación y la energía específica empleada en dicho proceso. Por energía específica se entiende la energía de compactación suministrada al suelo por unidad de volumen.

En el establecimiento de una prueba simple de compactación en el laboratorio cubre, principalmente, dos finalidades. Por un lado disponer de muestras de suelo compactadas teóricas con las condiciones de campo, a fin de investigar sus propiedades mecánicas para conseguir datos firmes de proyecto; por otro lado, es necesario poder controlar el trabajo de campo, con vistas a tener la seguridad de que el equipo usado está trabajando efectivamente en las condiciones previstas en el proyecto.

Por ello la finalidad fundamental de este proyecto de investigación es la de poder decir con acertada precisión, cual es la variabilidad que existe en los métodos para determinar masas volumétricas con respecto al método cono-arena para así determinar el peso volumétrico del lugar de un suelo compacto. Así también mencionar si todos estos métodos son usuales para un mismo tipo de suelo o si hay alguna excepción.

2. ANTECEDENTES

Considerando que el suelo es un material permanente en la construcción, es de pensarse entonces que el hombre de la antigua edad descubrió los beneficios que podía obtenerse para la construcción de múltiples obras básicas. De alguna manera el suelo a sido desde épocas muy remotas, sometida a técnicas rusticas de compactación.

Posteriormente la necesidad de construir estructuras más seguras en lo que en asentamientos se refiere, surgió por tanto la necesidad de conocer las características que lo originan por su replanteamiento y su solución adecuada. Se hizo necesidad primordial, desarrollar técnicas modernas de compactación de los suelos.- Consecuencia normal, el surgimiento de equipos de compactación como lo fue la aparición en 1906 del rodillo "patas de cabra" del DR. Fitzgerald de 2000kg. Aproximadamente.

Con posterioridad a estas épocas, a sido explosivo el desarrollo de equipos de compactación y se han investigado bastantes propiedades de los suelos compactados de campo y de laboratorio.

Actualmente existen muchos métodos destinados a producir aunque de manera teórica en el laboratorio, algunas condiciones dadas de compactación de campo es el caso de la que aquí se presenta para ejemplificar los distintos métodos es la "Proctor Estándar", o A.A.S.H.O. (American Association Of. State Highway Officials) el mismo método ligeramente modificada como "PROCTOR MODIFICADA" o A.S.STHO MODIFICADA

De conformidad a los requisitos y exigencias del control de las técnicas de compactación en campo, se trata de estudiar de un modo más riguroso el efecto de tales técnicas y establecer un procedimiento de control de calidad y verificación de los resultados

que se producen en campo, de ahí entonces el surgimiento de las pruebas de compactación en el laboratorio, es decir representar la eficiencia del equipo de compactación disponible.

Debido a la gran importancia que tienen los ensayos de muestras de suelo en el laboratorio y a la gran variedad de pruebas que se llevan a cabo, se hace imprescindible modernizar el proceso manual que comúnmente se realiza, específicamente para compactar los suelos se requiere de un programa que permita resolver un proceso de cálculo computarizado, la determinación del peso específico seco máximo y la humedad óptima de compactación de un suelo que puede emplearse de acuerdo a las especificaciones como material de construcción en campo, para formar terraplenes en caminos o para la formación de terrazas o plataformas en la construcción de viviendas.

Actualmente existen programas de cómputo que resuelven el grado de compactación que se puede alcanzar para determinado tipo de suelo a utilizar.

Además, el proceso de compactación computarizada tiene y cuenta con posibilidades de impresión de los datos y cálculos, así como el trazado de la curva de compactación y la línea de saturación teórica.

Generalmente se efectúa este proceso de compactación a rellenos artificiales, así también para la construcción de cortinas de presas de tierra, bordes de defensa, diques, muelles, etc.- el objetivo que persigue la compactación es obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento adecuado durante toda la vida útil de la obra.

Para eso se requiere de un proceso que permita encontrar las propiedades básicas de resistencia y compresibilidad, además de una adecuada relación Esfuerzo de formación, aunque también lleve consigo la obtención de las características de permeabilidad y flexibilidad.

Resulta entonces importante que el ingeniero constructor prevea con anticipación las dificultades que encierra este proceso, y logre en consecuencia se cumpla con una adecuada aplicación de las normas y especificaciones del proyecto, los parámetros de medición serán entonces, los objetivos que persiguen este proceso, ya que la compactación en sí es un proceso de objetivos múltiples, y ello entonces propicia algunas complicaciones.

3. TEORÍA SOBRE LA COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS

Normalmente cualquier tipo de suelo puede utilizarse para rellenos estructurales, previendo y verificando que estos no contengan material orgánico o extraños que pudieran descomponer su estructura final, o de otra manera experimentar cambios volumétricos de consideración después de ser colocado en el lugar.

Cuando el suelo es utilizado con propósitos de construcción, es típico colocarlo en capas para darle forma y elevación final.- Cada capa debe ser compactada antes de ser cubierta con la capa siguiente la colocación y adecuada compactación tiene como resultado una masa de suelo con esfuerzos y capacidades de soporte de consideración o por lo menos mejor que muchas formaciones de suelo en estado natural (fig. A).

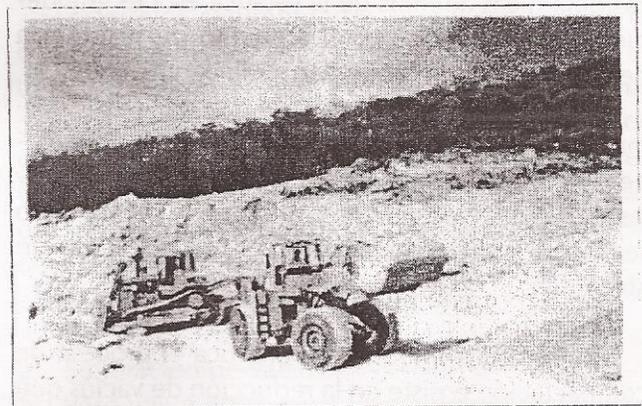


Fig. A. Materiales cohesivos

En los suelos Cohesivos su estructura lo determinan principal los minerales arcillosos y las fuerzas que actúan entre ellas. Cuando las partículas de arcilla se encuentran sumergidas en agua, en el interior de estas, actúa una serie de fuerzas complejas algunas de las cuales incluyen las fuerzas de atracción universal y las de atracción mutua y en sus propios cationes individuales, estas tienden a girar de las partículas simultáneamente, por lo tanto la compactación se efectúa por la reorientación y por

la distorsión de sus partículas y sus capas adsorbidas, por lo que la compactación es más efectiva por la carga estática (Fig. B).

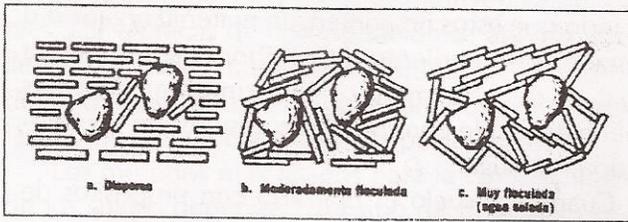


Fig. B. Estructura de los suelos cohesivos.

La compactación se produce por la reorientación y por la distorsión de sus partículas y sus capas adsorbidas, esto se logra con una fuerza que sea lo suficiente grande para vencer la resistencia de cohesión o las fuerzas entre las partículas.- La vibración y el choque ayudan poco, pues aunque producen fuerzas dinámicas además de la estática esta es grandemente neutralizada por el aumento de resistencia de la cohesión que acompaña a la carga dinámica.

Cuando el espacio entre las partículas es extremadamente pequeño como el de los suelos que tiene poca unidad, la atracción excede a la repulsión y las partículas permanecen unidas en un sólido o semisólido coherente separadas por sus capas de adsorción.

La mecánica interna que provoca el proceso de compactación consiste en la reducción de vacíos que se producen de varias maneras.

- 1.- Reorientación de las partículas.
- 2.- Fractura de los granos o de ligaduras entre ellos, seguida por la reorientación.
- 3.- Flexión o distorsión de las partículas y sus capas adsorbidas.

La que se gasta en este proceso es suministrada por el esfuerzo de compactación de la máquina de compactar. Recomendable es el rodillo "pata de cabra" la eficiencia de la energía gastada depende del tipo de partículas que componen el suelo y de la manera como se aplica el esfuerzo de compactación que esta acompañada principalmente por distorsión

y reorientación.- las cuales son resistidas por las fuerzas atractivas de la "cohesión" y a medida que la humedad del suelo aumenta la "cohesión" disminuye la resistencia se hace menor y el esfuerzo más efectivo.

La reorientación es resistida por el rozamiento entre las partículas. La tensión capilar de la película de humedad entre los granos, aumenta la presión de contacto y por tanto la fricción. A medida que la humedad aumenta, la tensión capilar disminuye y el esfuerzo de compactación se hace más efectivo.

Si la humedad es muy alta, la compactación y la reducción de la relación de vacíos de los suelos, tanto "cohesivos" como "no cohesivos", los lleva a la saturación. El esfuerzo neutro que se crea impide que continúe disminuyendo la relación de vacíos y, por lo tanto, el esfuerzo adicional que se aplique se perderá. La saturación es, por lo tanto el límite teórico de la compactación para una humedad dada.

Si el material cementante es arcilla, se trata de una estructura meramente "cohesiva" y las propiedades físicas que poseen son esencialmente de un suelo cohesivo. El término Cohesivo ha sido tradicionalmente en mecánica de suelos, con referencia a aquellos suelos que sin presión normal exterior apreciable, presentan características de resistencia a los esfuerzos cortantes.

Cuando el espacio entre las partículas es extremadamente pequeño, como el de los suelos que tienen poca humedad, la tracción excede a la repulsión y a las partículas permanecen unidas en un sólido o semisólido coherente separadas únicamente por sus capas de adsorción.

Una característica que hace muy distintivos a diferentes tipos de suelo es la cohesión debido a ellos los suelos clasifican en "Cohesivos y no Cohesivos (FRICCIONANTES)" los suelos cohesivos son los que poseen cohesión, es decir, la propiedad de atracción intermolecular, como las arcillas. Los suelos no cohesivos (FRICCIONANTES) son los formados por las partículas de roca sin ninguna cementación, como la arena y la grava (por gravedad).

El conocer las principales características físicas de los suelos es de vital importancia en el estudio de la mecánica de suelos, ya que mediante su acertada interpretación se puede predecir el futuro comportamiento de un terreno bajo las acciones expuestas.

Este tipo de suelo, su estructura la determinan principalmente los minerales arcillosos y las fuerzas que actúan entre ellos:

- a).- Estructura dispersa
- b).- Moderadamente floculada.
- c).- Muy Floculada.

Generalmente los suelos Cohesivos (arcillosos) contienen cierta cantidad de agua, que va de 10 al 50% por peso. Esta agua tiende a mantener unidas las partículas de material y por otra parte, posee tensión superficial, por lo que actúa como un pegamento ligero. Cuando la capa de agua se hace muy delgada aumenta la tensión superficial y se hace mayor el efecto de adherencia, es decir que las partículas sólidas de arcilla casi secas se vuelven muy duras.

Los suelos arcillosos varían de muy blandos (húmedos) a firmes (relativamente secos). Por lo general la arcilla firme es un buen material para alojar las cimentaciones. Sin embargo la tendencia de absorber agua, hace que la arcilla firme se dilate por lo cual puede generarse fenómenos de expansión y tiendan a elevarse las cimentaciones y el suelo se imponga mayores presiones a los muros de retención.

Las excavaciones en arcillas suelen ser muy estables. En paredes altas y muy pendientes, las arcillas firmes no se desploman. El exceso de altura o verticalidad provoca deslizamientos de tierra, una de las principales causas de estos deslizamientos, es la adición de agua al suelo y la reducción consiguiente de la tensión superficial en las pequeñas partículas del mismo. Se sabe que en los suelos cohesivos la resistencia depende de la relación de vacíos y de la humedad y es mayormente independiente del confinamiento.

La resistencia de un material (suelo) aumenta con la disminución de la humedad y la relación de vacíos (o aumento de peso específico). Cuando la calidad del suelo disponible es pobre, es posible frecuentemente, compensar la deficiencia aumentando su peso específico.

El asentamiento debido a la consolidación y a la deformación elástica es importante en todas las aplicaciones del suelo a construirse, pero es particularmente crítico en la subrasante y en los terraplenes que soportan pavimentos o estructuras.

Las condiciones resultantes de una adecuada compactación son: que el suelo debe poseer un adecuado esfuerzo, debe ser relativamente incomprensible, para que en caso necesario a futuro el arreglo no sea de consideración, debe ser también estable y seguro contra el deterioro, y debe poseer propiedades de permeabilidad.

Estas características deseables pueden ser logradas con una adecuada selección del relleno compactado. La propiedad compactada puede ser verificada de manera independiente, pero las características más deseables son: *Alto esfuerzo, baja permeabilidad y compresibilidad*, todos estos parámetros están normalmente asociados con una alta densidad (peso por unidad de volumen) generalmente estos valores, son el resultado de una alta compactación.

Generalmente los sedimentos compactados son estables y son capaces de devolver grandes esfuerzos y tienen limitadas tendencias a los cambios volumétricos.

→ Los suelos sedimentados pueden dificultar la compactación si están húmedos, o si se ejecuta el trabajo de compactación en periodos de alta humedad. El estudio de las propiedades de los suelos finos cohesivos compactados requiere de un análisis previo de la influencia de las variables de compactación que condicionan las propiedades mecánicas de dichos suelos.

Estas variables tienen que ver con:

- a) Su relación de vacíos
- b) Peso volumétrico seco
- c) Grado de saturación
- d) La estructuración que adquieren sus partículas sólidas

De estas variables se sabe que la interacción de la fase sólida y líquida de un sistema de agua, aire y arcilla, se vio que cada cristal de arcilla parece comportarse como si tuviese una carga eléctrica negativa, atrayendo una atmósfera de carga eléctrica de "iones positivos (doble carga eléctrica)"

Análisis de los efectos de las condiciones de compactación que gobiernan el comportamiento mecánico:

1. Peso volumétrico seco
2. Grado de saturación
3. La estructuración que adquieren sus partículas sólidas

Dichas condiciones que se consideran son:

- a. Efecto del contenido de agua.
- b. Efecto de la energía de compactación.
- c. Efecto del método de compactación.
- d. Efectos de la fracción gruesa.

En el caso particular del efecto que produce el contenido de agua en el "peso volumétrico seco" sabemos que se alcanza con el contenido de agua que sea el óptimo. Tiene que ver con la cantidad uniforme de inclusión del agua, el contenido de humedad inicial de la muestra del suelo a compactar, con la temperatura ambiente.

Para el "grado de saturación": este efecto se puede ver en la curva de compactación, es decir que para cualquier par de valores $\gamma_d - w$, "Gw" se calcula con la expresión:

$$G_w = \frac{W}{S_s} \frac{\gamma_d}{\gamma_w \gamma_d} S_s \quad (\text{Fórmula uno!})$$

O también para fines prácticos y se establece que es la relación del volumen de agua con respecto a su volumen de vacíos. Que generalmente los valores se representan en porcentaje.

$$G_w \% = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (\text{Fórmula dos})$$

Generalmente estos valores desde 0 en un suelo seco hasta 100% en un suelo totalmente saturado.

Donde G_w y W están en porcentajes y S_s es el peso específico relativo de los sólidos. Por lo tanto "El Grado de Saturación" disminuye rápidamente para contenidos de agua bajos del óptimo, pero que es casi constante para contenidos de agua arriba de dicho punto óptimo. Referente a la estructura se puede decir que cuando el contenido de agua es bajo, se limita al desarrollo de la doble capa eléctri-

ca, y la concentración de iones es muy alta. A esta situación corresponden pequeñas repulsiones entre las partículas y altos esfuerzos efectivos por capilaridad; y como consecuencia se tendrá un suelo de alta resistencia a la deformación y bajo grado de orientación de las partículas. Si aumenta el contenido de agua, crecen las partículas de repulsión y disminuyen los esfuerzos capilares, con lo que se reduce la resistencia del suelo a la deformación con el método de energía de compactaciones iguales, un suelo compactado con mayor contenido de agua sufrirá mayores deformaciones angulares y alcanzará una estructura con mayor grado de orientación. Si se hace variar la energía de compactación, uno con mayor energía habrá mas tendencia a lograr una mayor orientación de las partículas. Referente al efecto que produce la "energía de compactación" este se presenta en tres parámetros:

- a. Peso volumétrico seco
- b. Grado de saturación
- c. La estructura

Peso Volumétrico. De la figura 1 se observa que la curva de compactación cambia al variar la energía de compactación; al aumentar esta, el aumento del peso volumétrico será tanto mayor cuanto menor sea el contenido de agua del suelo.

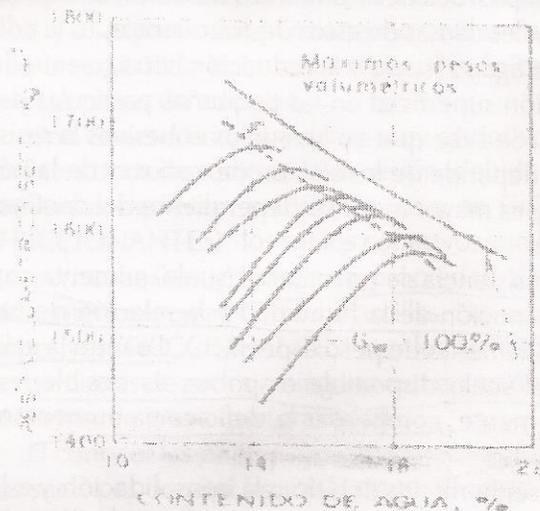


Fig. 1. Diagrama de γ_d y w para diversas energías de compactación.

Cualquier incremento de energía que se aplique a un suelo con contenido de agua superior al óptimo, producirá deformaciones angulares, pero no de reducción de volúmenes, esto se debe a que un suelo con contenidos de agua alto, es más deformable y tiene bajos contenidos de aire, y por tanto, tiene fases de fluidez menos compresibles.

En la Estructura: La energía de compactación que se aplica al suelo se emplea para reducir su volumen, y para deformarlo angularmente, por tanto, el aumento de la energía de compactación produce una orientación adicional de las partículas de arcilla, que es una función creciente del contenido de agua, si el suelo tiene una humedad superior a la óptima, todo aumento de energía de compactación se empleará para acercar al suelo a la condición de dispersión extrema.

Contenido de humedad (w%)

El contenido de agua de un suelo se establece en la relación entre: el peso del agua contenida en la muestra, con respecto a el peso de su fase sólida, también este valor suele expresarse en porcentaje.

En forma de ecuación se representa así:

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

formula 3

La relación de vacíos: (e)

En los ensayos de las muestras tanto en campo, así como en el laboratorio, indican que si la humedad es muy alta, la compactación y la reducción de la relación de vacíos de los suelos, tanto "cohesivos", como "no cohesivos", los lleva a la saturación. El esfuerzo neutro que se crea impide que continúe disminuyendo la relación de vacíos y, por lo tanto, el esfuerzo adicional que se aplique se perderá. La saturación es, por lo tanto el límite teórico de la compactación para una humedad dada

En los suelos cohesivos la resistencia depende de la relación de vacíos y de la humedad y es mayormente independiente del confinamiento

- la definición de la humedad
- la relación de vacíos

En un suelo determinado, cuanto mayor es el peso específico seco, "menor es la relación de vacíos, cualquiera que sea la humedad. A sí pues, el peso específico máximo es justamente otra manera de expresar la relación de vacíos o la porosidad mínima.

En forma analítica la relación de vacíos, se utiliza de manera importante para representar conceptos, cuya variación sirve para definir fenómenos importantes. Por tanto la relación de vacíos en su expresión queda.

Porosidad. (n %)

Debido a las propiedades mismas de las características del suelo, se establecen correlaciones entre la "Relación de Vacíos con respecto a la porosidad.

$$n\% = \frac{V_v}{V_w} \times 100$$

formula 4

Los valores reales en estado natural puede variar desde 20% al 95%, y en un suelo ideal puede llegar hasta un 100%.

insertar simbolo

Pesos específicos. P o (γ)

El peso volumétrico de un suelo, es el peso de las partículas sólidas del suelo contenido en la unidad de volumen, considerando los huecos que quedan entre ellos.

$$P_v = \frac{P}{V}$$

formula 5

Se entiende por compactación de suelos al mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos. Su importancia estriba en el aumento de resistencia y disminución de la capacidad de deformación, que se obtiene al sujetar al suelo a técnicas convenientes que aumentan su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos.

Los métodos más usuales para la compactación

de suelos dependen del tipo del material con los que se trabaje en cada caso

Para los suelos plásticos, el procedimiento de carga estática resulta el más ventajoso (ver fig. 2). En la práctica estas características se reflejan en los equipos disponibles para el caso en particular de los suelos cohesivos, el rodillo Pata de cabra es el más eficiente.

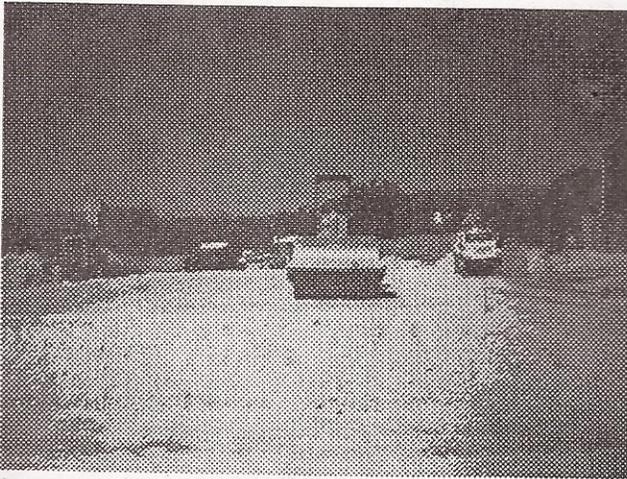


Fig. 2 Compactador de rodillo liso (carga estática)

La eficiencia de cualquier equipo de compactación depende de varios factores y para poder analizar la influencia particular de cada uno, se requiere disponer de procedimientos estandarizados que produzcan en el laboratorio la compactación que pueda lograr en el campo con el equipo disponible.

De entre todos los factores que influyen en la compactación obtenida en un caso dado, podría decirse que dos son los importantes: El contenido de agua del suelo antes de iniciarse el proceso de compactación, y la energía específica empleada en dicho proceso. Por energía específica se entiende, como la energía de compactación suministrada al suelo por unidad de volumen. Actualmente existen muchos métodos para reproducir, al menos teóricamente, en el laboratorio unas condiciones dadas de compactación de campo.

Históricamente el primer método, en el sentido de la técnica actual, es el que se debe a R. R. Proctor y es conocido como la prueba proctor estándar o A. S. H. O (American Associations of State Highway

Officials) Estándar. Esta prueba consiste en compactar al suelo en cuestión de tres capas. Arrojando una magnitud de Energía Específica de compactación de 6 Kg.- cm. / cm³.

Con el procedimiento de compactación Proctor estudió la influencia que ejercía en el proceso el contenido inicial de agua del suelo, encontrándose que tal valor era de vital importancia en la compactación lograda.

En efectos, observó que a contenidos de humedad crecientes, a partir de valores bajos, se obtenían más altos pesos específicos secos, y por tanto mejores compactaciones del suelo, pero que esta tendencia no se mantenía indefinidamente, sino que al pasar la humedad de un cierto valor, los pesos secos específicos obtenidos disminuían, resultando compactaciones menores en la muestra de prueba, es decir, que proctor puso de manifiesto que, para un suelo dado y utilizando el procedimiento en cuestión, existe una humedad denominada " óptima " que produce el peso específico seco máximo, al que puede lograrse con este procedimiento de compactación.

Con la fabricación de modernos equipos de compactación de campo, se encuentran disponibles comercialmente en el mercado, ha traído como consecuencia, que el procedimiento de compactación Proctor estándar, no logre representar en forma adecuada las compactaciones que puede lograrse con los nuevos equipos. Condujo entonces a una modificación en aumento de las especificaciones de la compactación del procedimiento estándar a un procedimiento denominado Proctor modificada (Tabla No. 1).