

241 133

---

FACULTAD DE INGENIERIA

U. N. A. M.

# TRABAJO DEL EQUIPO DE COMPACTACION

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a :

ALEJANDRO PONCE SERRANO

---

México, D. F.

1981





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## I N D I C E

I.	INTRODUCCION _____	2
II.	TRABAJO DE COMPACTACION _____	7
III.	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACION _____	12
IV.	EQUIPO DE COMPACTACION _____	27
V.	SELECCION DE COMPACTADORES _____	51
VI.	GUION DEL AUDIOVISUAL _____	56
VII.	CONCLUSIONES _____	85

## I. INTRODUCCION

Se entiende por compactación de los suelos el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas mediante equipo o maquinaria de construcción.

La compactación es importante, ya que al aumentar el peso volumétrico de un suelo también aumenta su resistencia mecánica y su impermeabilidad, disminuyendo, así mismo, su tendencia a las deformaciones.

Por lo que las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales tales como: Cortinas de Presas de Tierra, Caminos, Aeropuertos, Diques, Ferrocarriles, Bordos de Defensa, Muelles, Pavimentos, etc.

Este trabajo es consecuencia de otro tema de -- Tesis, en el cual se alude a la Clasificación de Suelos y las Pruebas de Compactación, como son: Proctor, Proctor Modificada y Prueba Porter; en esta tesis se explica en el Capítulo II, como se transmiten los -- esfuerzos de compactación al suelo por compactar, -- recurriendo a la teoría de Bulbos de Presión desarrollada por Boussinesq para un medio elástico, que para fines prácticos de construcción todos los suelos son elásticos y la teoría resulta razonablemente -- cierta aún para materiales granulares.

Se identifican en el Capítulo III, los principales Factores que influyen en la Compactación, los

cuales son: Tipo de Material, Humedad y Esfuerzo de Compactación; en estos factores hacemos énfasis en la Granulometría del Material, Humedad Optima del mismo así como la Identificación de Los Tipos de Esfuerzos Mecánicos empleados en la Compactación, que pueden ser; Presión Estática, Amasamiento, Impacto y Vibración.

En cuanto al Equipo de Compactación, en el Capítulo IV, se describen las características básicas de los diferentes tipos de compactadores, así como algunas recomendaciones para su uso en determinado tipo de suelo para obtener mejores rendimientos. Estos equipos a los que hacemos referencia son: Rodillos Metálicos, Rodillos Pata de Cabra, Rodillo de Reja, Rodillo de Impacto, Rodillos Vibratorios y Rodillos Neumáticos.

Por último en el Capítulo V, se presenta la forma de seleccionar el compactador más adecuado haciendo uso de una gráfica en la cual están representados los tipos de suelo de finos a gruesos, el tipo de trabajo a realizar y el tipo de compactador recomendado para un determinado esfuerzo mecánico.

La consecuencia de este trabajo es un audiovisual, el cual será de gran ayuda para los alumnos y profesores que cursan e imparten respectivamente la materia de "Construcción III" del Departamento de Construcción, en el cual los profesores han adoptado el sistema audiovisual para impartir sus

clases que es de mucha ayuda para el aprendizaje.

Los profesores del Departamento de Construcción han impulsado la elaboración de temas de tesis complementados con audiovisuales, con la finalidad de - que estos, formen parte del material de consulta y - con ello elevar la enseñanza en las materias de construcción.

**II**  
**TRABAJO**  
**DE**  
**COMPACTACION**

## II. TRABAJO DE COMPACTACION

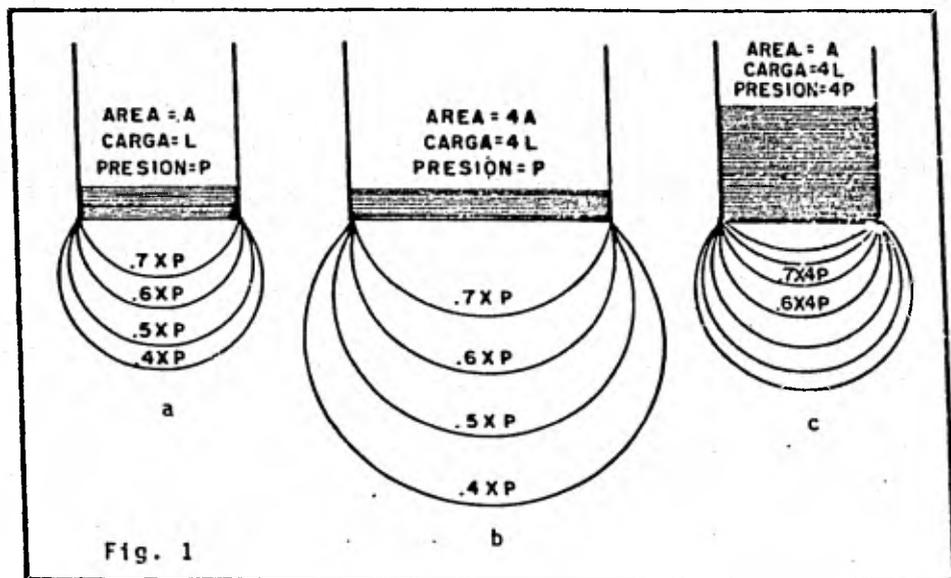
### TRANSMISION DE ESFUERZOS

Decir que un material es homogéneo equivale a decir que en todos sus puntos las propiedades físicas son iguales. Indudablemente que no podemos decir que un suelo saturado de agua sea homogéneo, ya que en algunos puntos tenemos partículas pétreas y en puntos cercanos encontramos agua. Decir que un material es isótropo equivale a decir que para cada punto del material las propiedades físicas son las mismas en todas direcciones. En los suelos tampoco podemos decir que rige esta hipótesis ya que siendo los suelos formaciones naturales que se han consolidado y por lo tanto las propiedades de resistencia en dirección horizontal son diferentes a las de resistencia en dirección vertical.

Se dice que un material es elástico cuando sigue la Ley de Hooke, o sea en el cual las deformaciones son proporcionales a los esfuerzos. Si se considera un sólido elástico, homogéneo e isótropo que se extiende en todas direcciones, con una carga aplicada sobre él, se puede determinar la distribución de presiones en su interior.

Para comprender la transmisión de los esfuerzos de compactación a un suelo, consideremos una placa rígida, circular, con una área de contacto

"A", colocada sobre un suelo, a la que se aplica una carga "L", dando una presión de contacto "P".  
 (Fig. 1-a).



Bajo estas condiciones en el suelo se desarrollan presiones, las cuales podemos graficar uniendo los puntos de igual presión, con lo cual obtendremos superficies llamadas isobaras o bulbos de presión.

Si cambiamos las condiciones que consideramos, podemos observar lo siguiente:

a) Si aumenta el tamaño de la placa pero la presión permanece constante, incrementando la carga, la profundidad del bulbo de presión aumenta. (Fig. 1-b).

b) Si aumenta la presión y el área permanece -- constante (Fig. 1-c), la profundidad del bulbo no -- aumenta significativamente, pero la presión sí, por lo tanto la energía de compactación aumenta.

Si consideramos un cierto equipo de compacta -- ción, trabajando capas de un determinado espesor:

De (a) y (b) se deduce que es necesario contro -- lar el espesor de las capas para tener suficiente - presión en el suelo para obtener la compactación --- deseada.

De (b) se deduce que no podemos aumentar signi -- ficativamente el espesor de la capa de compactación simplemente lastrando excesivamente el equipo.

De (a) se deduce que para aumentar el espesor - de la capa, debemos cambiar el equipo por otro que - tenga mayor superficie de contacto, aunque la pre--- sión permanezca constante.

La Teoría de los Bulbos de Presión fue desarro -- llada por Boussinesq para un medio elástico y conti -- nuo. Para fines prácticos todos los suelos son elás -- ticos y la teoría es razonablemente cierta aún para suelos granulares.

Otra manera de determinar los esfuerzos trans -- mitidos al suelo es con la Carta de Newmark, para - cualquier condición de carga uniformemente reparti -- da sobre la superficie del suelo. Esta carta es -- especialmente útil cuando se tienen varias áreas --

cargadas, aplicando en cada una de ellas diferentes presiones a la superficie del suelo.

**III**  
**FACTORES**  
**QUE**  
**INFLUYEN**  
**EN LA**  
**COMPACTACION**

### III. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACION

Una correcta compactación da como resultado, -- mayor estabilidad y menor permeabilidad. La mayor -- estabilidad de un suelo se traduce en menores asenta mientos o deformaciones.

El aumento en el grado de compactación propor-- ciona una mejor capacidad de carga y una mayor resis tencia al esfuerzo cortante.

Podemos afirmar que la vida útil de una carre-- tera, aeropista o presa de tierra dependerá en gran parte del grado de compactación obtenido. Por lo -- que es conveniente considerar los factores que influ yen en la obtención de una buena y económica compac-- tación.

Los factores más importantes son:

- TIPO DE MATERIAL
- CONTENIDO DE HUMEDAD
- ESFUERZOS DE COMPACTACION

#### TIPO DE MATERIAL

Es claro que la naturaleza o tipo de suelo con que se trabaja influye de manera decisiva en el pro ceso de compactación.

Prevalece aún la clasificación usual entre sue los finos y gruesos o entre cohesivos y no cohesi-- vos o friccionantes.

# CLASIFICACION DE SUELOS

## FINOS

## GRUESOS

**COHESIVOS**

**SEMI-COHESIVOS**

**NO COHESIVOS**

**ARCILLAS**

**LIMOS  
ARCILLOSOS**

**LIMOS**

**ARENAS-LIMOSAS**

**ARENAS**

**GRAVAS**

**ROCAS**

MALLA

200

4

TAMANO (mm)

0.074

4.76

Los finos son aquellos cuyas partículas son menores que la malla No. 200 y los gruesos son los que se retienen en ella.

Los suelos finos comprenden las arcillas y limos.

Los suelos gruesos comprenden las arenas y gravas, siendo la frontera entre ellas la malla No. 4.

Un suelo que contiene un tamaño muy uniforme de partículas (mal graduado), será difícilmente compactado. En cambio un suelo con amplia gama de tamaños (bien graduado), se compacta mejor ya que las partículas de menor tamaño ocuparán los espacios formados entre las partículas de mayor tamaño.

Por lo que es muy importante considerar el Coeeficiente de Uniformidad de Lars Forssblad, que es -- la relación entre el  $D_{60}$  y el  $D_{10}$ .

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

En donde:

El  $D_{60}$ : Es el tamaño de malla por el que pasa el 60% del material.

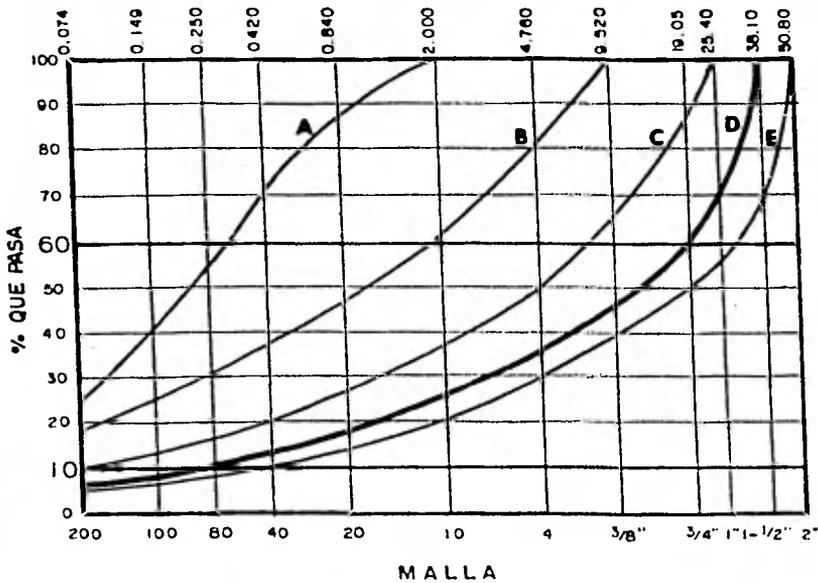
El  $D_{10}$ : Es el tamaño de malla por el que pasa el 10% del material.

Si el  $Cu \geq 7$ , se tiene un excelente suelo -- (bien graduado) para compactar. Con amplio margen de tamaños de partículas y cantidades apreciables --

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD. ( Cu )

DE LARS FORSSBLAD.

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

de cada tamaño intermedio.

Si el  $7 > Cu \geq 3$ , se tienen suelos, que presentan ciertos problemas para la compactación, las que podemos eliminar mejorando la granulometría y así -- obtener buenos resultados.

Si el  $Cu \leq 3$ , se tiene un pésimo suelo (mal graduado) para compactar.

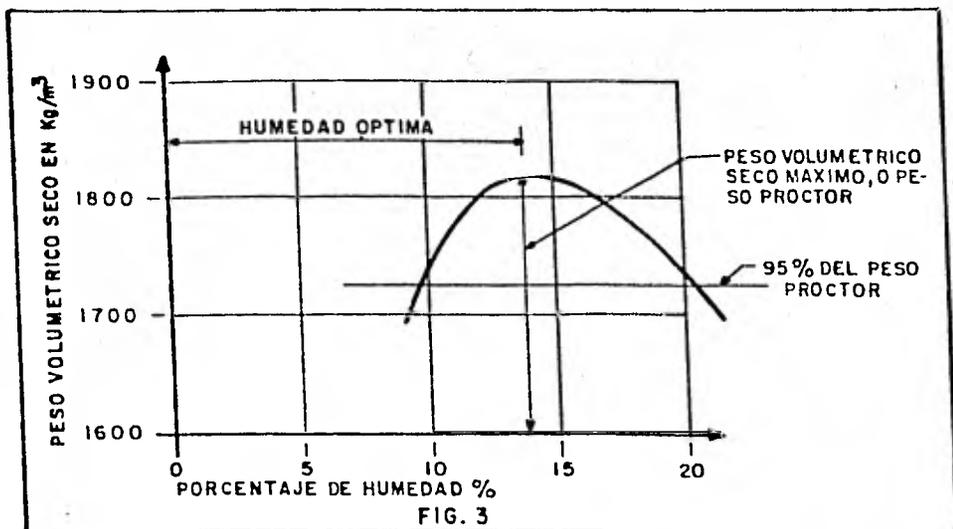
Por ejemplo en la gráfica de composición granulométrica, podemos observar de la curva (D), el  $D_{60}$  corresponde al material que pasa por la malla de  $1\frac{1}{2}$ ", tamaño igual a 19.05 mm y el  $D_{10}$  corresponde al material que pasa por la malla 80, tamaño igual a 0.250 mm. Si calculamos el coeficiente de uniformidad tenemos que:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{19.05 \text{ mm}}{0.250 \text{ mm}} = 76.2$$

lo que nos indica que es un excelente suelo para -- compactar, porque tiene una amplia gama de tamaños.

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

El agua es un lubricante entre las partículas del material a compactar. La falta o exceso de humedad exigirá un mayor esfuerzo de compactación, -- por lo que debe recordarse que todo material tiene un contenido de humedad, para el cual se obtiene, -- bajo una cierta energía de compactación, una densidad máxima. Por lo que no debemos olvidar compactar siempre en la humedad óptima.

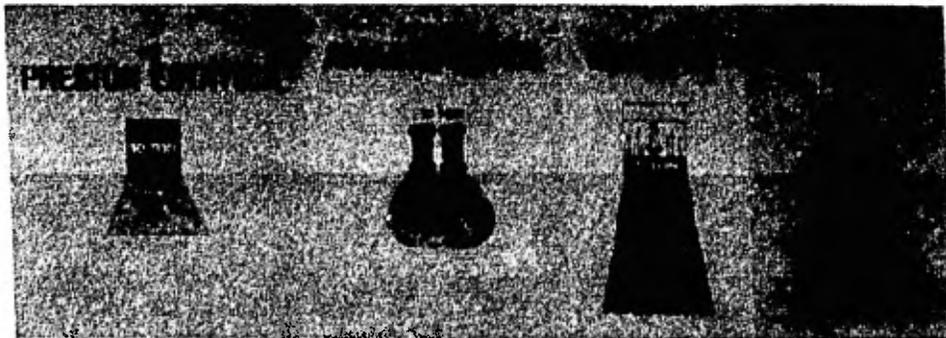


La influencia de la humedad resulta fundamental respecto a la densidad. Las curvas de densidad seca en relación con la humedad presentan una convexidad hacia arriba con un máximo que corresponde a la humedad óptima, y a ambos lados del cual la densidad disminuye de modo apreciable. A cada tipo de compactación aplicado corresponde una curva diferente, todos parecidos pero cuyos máximos no coinciden ni en su valor numérico ni en cuanto a la humedad a la cual corresponden. Cuanto más enérgico es el tipo de compactación más alta resulta la curva de densidad y más se traslada su máximo hacia zonas con menor humedad.

## ESFUERZOS DE COMPACTACION

Los esfuerzos mecánicos empleados en la compactación de suelos, son los siguientes efectos o combinación de ellos:

- PRESION ESTATICA .- La aplicación de una fuerza por unidad de área.
- AMASAMIENTO.- Es la acción de amasado, - reorientación de las partículas próximas causando una reducción de vacíos.
- IMPACTO.- Golpeo con una carga de corta duración, baja frecuencia y alta amplitud.
- VIBRACION.- Golpeo con una carga de corta duración, alta frecuencia y baja amplitud.



## COMPACTACION POR PRESION ESTATICA

Se basa en la aplicación de pesos más o menos grandes sobre la superficie del suelo. Su acción es de arriba hacia abajo; es decir, las capas superiores alcanzan primero mayores densidades que las de abajo.

El principio de presión estática tiene el inconveniente de que a mayor presión, mayor es la fuerza de fricción que desarrollan las partículas de un material. La fricción interna podemos definirla como: la resistencia de las partículas de un suelo para -- deslizarse dentro de la masa del mismo. Para arenas, la fricción interna depende de la graduación, densidad y forma de los granos y es relativamente independiente del contenido de humedad. Para arcillas variará con el contenido de humedad.

Al aumentarse el peso de un compactador estático, el suelo desarrolla mayor fricción interna la cual se opone a la compactación; lo que se logra es romper o quebrar más el material por compactar.

Para este tipo de compactación se necesitan -- riegos intensivos de agua, cuando el material así -- lo soporte, con el fin de vencer la fricción interna.

## COMPACTACION POR AMASAMIENTO

Es la acción de amasado, reorientación de las partículas próximas, causando una reducción de --

vacíos.

Amasar en este caso puede confundirse con exprimir, es decir el efecto de una pata de cabra al penetrar en un material ejerce presión hacia todos la dos, obligando al agua y/o al aire a salir por la superficie.

La compactación por este principio se lleva a cabo de abajo hacia arriba; es decir, las capas inferiores se densifican primero y las superiores posteriormente. Por esto se dice que un rodillo pata de cabra emerge o sale cuando el material se encuentra compactado debidamente.

#### COMPACTACION POR IMPACTO

Cuando un Cuerpo se levanta a una cierta altura sobre una superficie y se deja caer, la presión que ejerce sobre ésta es varias veces mayor que la presión que ejerce el mismo cuerpo estando apoyado estáticamente sobre dicha superficie.

En esta característica se basa el principio -- de compactación por impacto.

Si un compactador tiene una frecuencia o número de impactos baja y una amplitud muy grande (altu ra de caída), el compactador cae dentro de este tipo de compactación. Generalmente se trata de martillos neumáticos.

La baja producción de este tipo de compacta -- ción nos obliga a relegarla a segundo término.

## COMPACTACION POR VIBRACION

Este principio de compactación se ha desarrollado más en los últimos años y prácticamente ha invadido todos los materiales por compactar es decir, desde arcillas con partículas inferiores a 0.002 mm hasta rellenos de roca con piedras de un diámetro de -- 1.5 m. o superior. También pueden compactarse suelos estabilizados con cemento o cal y superficies -- asfálticas.

Su empleo en varias obras en construcción, tales como : Carreteras, autopistas, calles, aeropuertos, presas con relleno de tierra y de roca, recubrimiento de canales, construcción de puertos, terraplenes para ferrocarriles, estacionamientos, zonas -- industriales; rellenos en cimentaciones para edificios, en muros, en zanjas, puentes, etc., ha provocado que las ventas de compactadores vibratorios -- representen del orden del 50 al 80% de las ventas -- totales de equipos de compactación.

Como en la compactación por presión estática - en este tipo de compactación también se aplica una cierta presión, pero al mismo tiempo se somete al material a rápidos y fuertes impactos o vibraciones, que oscilan entre 700 y 400 vibraciones por minuto, dependiendo del tipo de compactador.

Las vibraciones producidas por el compactador, eliminan la fricción interna del material, logrando que las partículas de suelo se acomoden apropiada -

mente. Esto se demuestra fácilmente mediante el -- experimento de fijar una perforadora de álabes dentro de un recipiente que contenga arena o grava, primero en estado estático y luego colocado sobre una placa vibratoria.

La vibración multiplica la movilidad interna del material en forma contundente; en suelos de granulometría gruesa, la movilidad dinámica es de 10 a 30 veces mayor que la movilidad estática. Lo anterior se deduce de la siguiente tabla, producto de la experiencia sueca:

Material	Contenido de Agua	Movimiento (%) En reposo	Resistivo (Kg - Cm) Con vibraciones
Grava	0	1700	40
Arena	10	600	45
Limo	12	150	25

Además, la compactación por vibración tiene un defecto de penetración como el sonido (el cual también es dinámico, pero tiene una frecuencia mayor y audible), evita los efectos de arco y disminuye la fricción interna del suelo permitiendo que las fuerzas trabajen a mayor profundidad y mayor anchura.

Las partículas del suelo pueden desplazarse con mayor facilidad debido a la reducción de la fricción interna; en resumen, las partículas se ven

sujetas a la acción de la gravedad, a la presión estática y a los impulsos dinámicos de las fuerzas vibratorias, con lo que los espacios vacíos entre partículas de mayor tamaño son llenados por partículas menores, obteniéndose así una masa compacta de extraordinaria densidad.

#### VENTAJAS DE COMPACTACION POR VIBRACION

- 1) Es posible compactar hasta las más altas densidades, facilita la obtención de los últimos porcentos del grado de compactación que son tan difíciles de obtener -- (en algunos casos imposibles de obtener), con compactadores estáticos.
- 2) Permite el uso de compactadores ligeros, obteniendo la misma o mejor eficiencia - del trabajo de otros compactadores, esto se traduce en ahorro de fletes.
- 3) Se puede trabajar sobre capas de material de mayor espesor, lo que significa rapidez y ahorro en el tendido y en la compactación.
- 4) Permite hacer trabajos más rápidos con - menor número de pasadas, los compactadores vibratorios autopropulsados alcanzan el - grado de compactación deseado en 2 a 4 pasadas.
- 5) Por las razones anteriores los costos de

compactación resultan más económicos.

## VIBRACION EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS

### SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO

Los rodillos vibratorios han resultado ser muy eficientes para los suelos estabilizados con cemento. Al igual que para otros materiales de tipo similar (Concreto de cemento normal, Concreto asfáltico, etc.), el grado de compactación ejerce una influencia decisiva sobre la calidad. Un incremento en la densidad del 5% aumenta la resistencia, digamos del 10 al 25%. Para los suelos de cemento, el peligro de las contracciones conducen a grietas, lo cual está siempre presente. También en este caso el grado de compactación es de gran importancia.

Los rodillos vibratorios requieren normalmente de 3 a 4 pasadas para alcanzar de 95 a 100% de la Proctor Modificada (100 - 105% de la Proctor Standard) en suelos cemento. La posibilidad de ajustar la intensidad de las vibraciones resulta muy útil para la compactación de suelos cemento.

### ESTABILIZACION DE CAL

Una forma de mejorar la capacidad de sustentación y otras propiedades cualitativas de las arcillas húmedas, método que se emplea cada vez más. La compactación de arcilla estabilizada con cal es otra aplicación adecuada de los rodillos para de

cabra vibratorios.

#### COMPACTACION VIBRATORIA DEL ASFALTO

La compactación vibratoria de superficies de -  
asfalto representa una línea nueva de desarrollo --  
realmente nueva y muy interesante.

Los compactadores de placa y los pequeños tipos  
de rodillos vibratorios se emplearon ya durante la -  
década de 1950 para la reparación de asfalto y para  
pequeños trabajos de pavimentación. La idea de --  
desarrollar rodillos vibratorios con la suficiente  
capacidad de modo que pudiera emplearse para pavi--  
mentación en carreteras, autopistas, aeropuertos, -  
etc., ésto es consecuencia natural de los excelentes  
resultados que se obtuvieron con compactadores vi-  
bratorios pequeños al trabajar sobre asfalto.

**IV**  
**EQUIPO**  
**DE**  
**COMPACTACION**

## IV EQUIPO DE COMPACTACION

### TIPOS DE COMPACTADORES

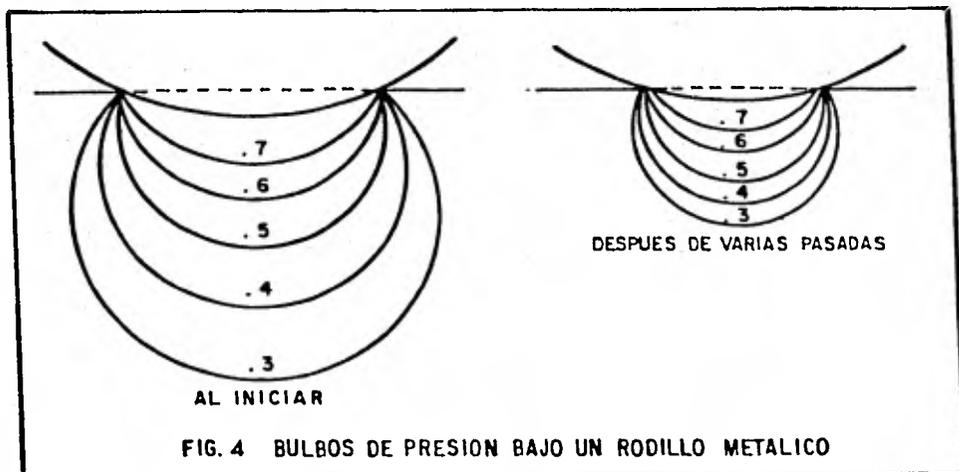
Hay una gran variedad de equipos de compactación, por lo que no los describiremos todos, sino únicamente los diferentes tipos de compactadores agrupados por su forma de trabajar.

### RODILLOS METALICOS

Un rodillo metálico utiliza solamente presión estática con un mínimo de amasamiento 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 con una cierta profundidad, al ir avanzando la compactación, el ancho del área de contacto se reduce y como consecuencia la profundidad del bulbo de presión también se reduce y aumenta la presión en la cercanía de la superficie. (Fig. 4). Esta presión es con frecuencia suficiente para triturar los agregados en materiales granulares, e invariablemente causan la formación en la superficie de la capa de una costra (encarpetamiento).

Si a esto se agrega la costumbre de hacer riegos adicionales durante la compactación, para compensar la evaporación, en una capa en donde la penetración del agua es difícil por la misma compacidad



del suelo, llegaremos a un estado de estratificación de la humedad, en este momento la formación de la costra es inevitable.

El sobre lastrar estos equipos, es costumbre -- generalizada, cuando no se esta obteniendo la compactación deseada, con el fin de aumentar la penetración y la profundidad del bulbo de presión, esto tiene como consecuencia el sobre esforzar la superficie.

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

Los compactadores metálicos, tienen su utilización máxima en las primeras pasadas de compactación de aglomerados y sellado de superficies regadas con emulsiones asfálticas. Para evitar la adherencia de la mezcla asfáltica, van provistos de depósitos de agua que mojan constantemente los rodillos. La pericia del operador es muy importante, sobre todo, para borrar sus propias huellas y no impulsar el material delante de los rodillos, para lo cual hay que esperar a que la mezcla se enfríe algo y alcance la temperatura adecuada.

Dentro de este grupo se puede encontrar los siguientes equipos:

- Planchas Tandem

### - Planchas de Tres Ruedas

Planchas Tandem.- Son aquellas que tienen dos rodillos metálicos lisos 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 maquina sin lastre y el segundo es el peso de la maquina -- lastrada totalmente.



Planchas de Tres Ruedas.- El diseño de este tipo de compactador es quizás el más antiguo, tiene dos ruedas grandes traseras paralelas y una rueda pequeña delantera, que se traslapan de manera que cubren una franja uniforme, las cuales pueden ser huecas para ser lastradas o formadas por placas de acero roladas con atezadores.



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 granulares; donde su efecto triturador puede ser necesario.

Resumiendo puede concluirse que estos compactadores por su lentitud y poca profundidad de acción, provoca bajos rendimientos por lo que han perdido terreno en la compactación de grandes movimientos de tierra, así como en la compactación de carpetas asfálticas, siendo reemplazadas por otros equipos de compactación.

## RODILLOS PATA DE CABRA

El rodillo de Patas de Cabra que empezó imitando fielmente la acción de los animales. Son ahora raramente usados, excepto para amasamiento y compactación de arcillas donde la estratificación debe ser eliminada. Este compactador ha ido estilizándose -- y estandarizándose hasta el modelo actual.

Estos compactadores concentran su alto peso sobre la pequeña área de contacto de las patas, ejerciendo por lo tanto unas presiones estáticas muy grandes en los puntos en que las mencionadas patas penetran en el suelo, produciendo un bulbo de presión -- muy intenso y poco profundo. La compactación se consigue por penetración y amasamiento más que por efecto del bulbo de presión. (Fig. 5 )

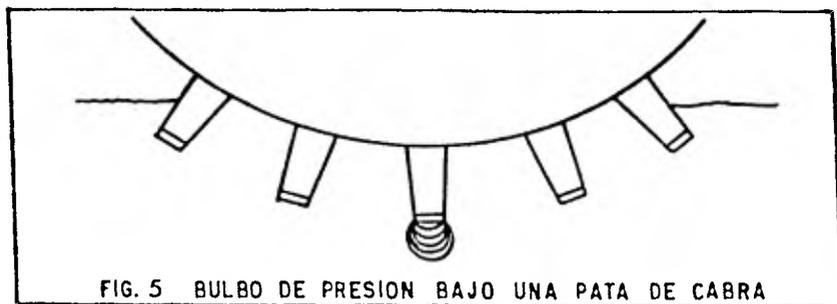


FIG. 5 BULBO DE PRESION BAJO UNA PATA DE CABRA

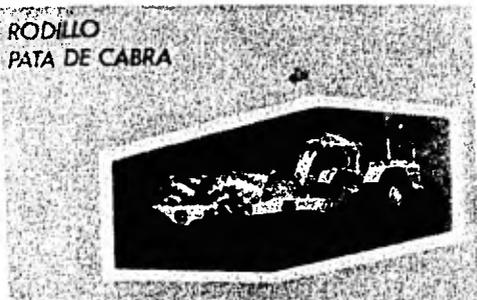
Conforme se van dando pasadas y el material se compacta, las patas profundizan cada vez menos en el terreno, llegando el momento en que no se aprecia -- mejora alguna, quedando siempre distorsionada la -- superficie. Al pasar la máquina sobre la nueva ca-

pa de material se compacta perfectamente la superficie distorsionada de la capa anterior.

El Rodillo Pata de Cabra está sostenido por un bastidor, que lleva en la parte posterior unas cajas suplementarias para recibir el lastre de agua o arena ( en algunos son bloques de concreto).

Los rodillos Pata de Cabra son lentos, tienen una gran resistencia al rodamiento, por lo que consumen mucha potencia. Este equipo es todavía pedido en especificaciones algunas veces pero su uso está declinando debido a los altos costos que tienen, -- usualmente por unidad de Volúmen compactaáo. - - -

RODILLO  
PATA DE CABRA



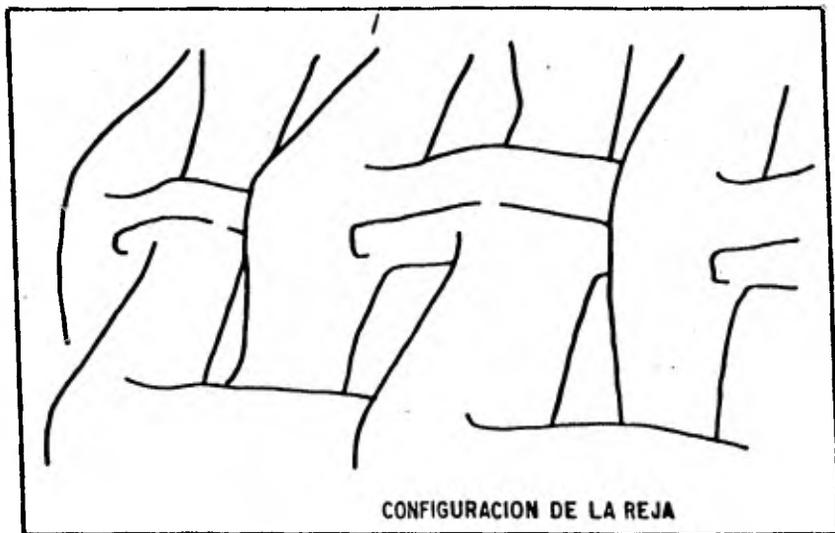
## RODILLO DE REJA

Este compactador fué desarrollado originalmente para disgregar y compactar rocas poco resistentes a la compresión, como rocas sedimentarias y algunas metamórficas, para hacer caminos de penetración transitables todo el año.

El Rodillo transita sobre la roca suelta en el camino, quebrándola y produciendo finos que rellenan los vacíos formando una superficie uniforme y estable.

Esta formado por una superficie cilíndrica reticular, semejante a un entramado de malla, que va soportado por un bastidor metálico, para ser jalado por un tractor. En el bastidor hay espacio para -- colocar bloques de concreto que sirven como lastre.

Este equipo tiene un diseño de puntos altos y bajos que al rodar producen efecto de impacto y amasamiento, y cuando es remolcado a alta velocidad, produce efecto de vibración como también produce presión estática, por lo que este equipo es capaz de compactar todo tipo de suelo.



CONFIGURACION DE LA REJA

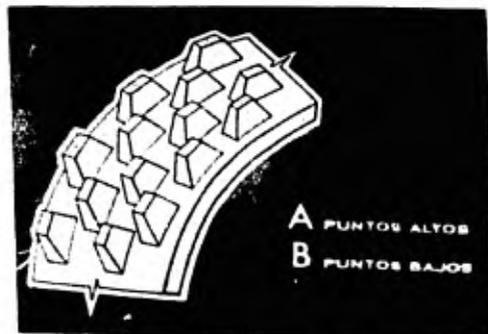
Sin embargo estos rodillos, debido a su configuración no pueden dejar una superficie tersa como puede ser una base, por lo que su uso se limita a terracerías, como estas son generalmente plásticas, -- estos rodillos tienden a atascarse con el material, perdiendo el efecto de impacto, necesitando ser limpiados con mucha frecuencia, reduciendo la eficiencia.



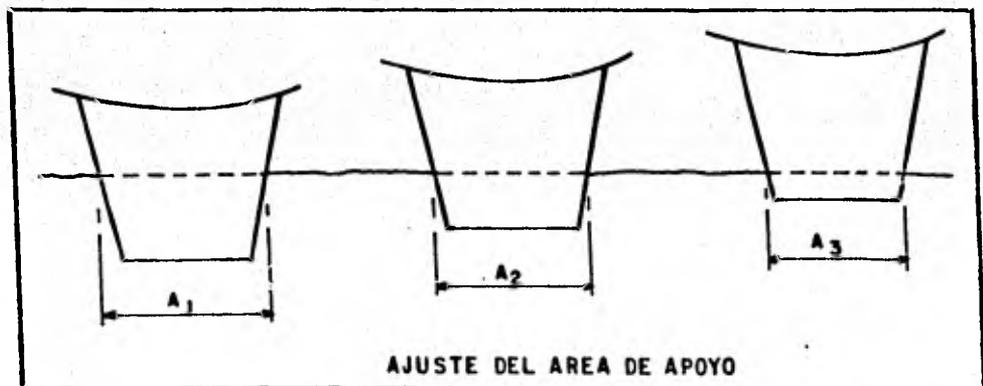
## RODILLO DE IMPACTO

Buscando mantener las ventajas del rodillo de Reja, pero sin sus desventajas, se diseñó el rodillo de impacto.

Este es un rodillo metálico con salientes en forma de pirámide, diseñadas de tal forma que unas son más altas que otras, siguiendo el mismo diseño de puntas altos y bajos del rodillo de reja, esto le permite tener las mismas ventajas, limpiándose fácilmente por medio de dientes sujetos a un marco.



El diseño de las salientes de este rodillo, -- permite que el área de contacto, se incremente con -- la penetración, ajustándose inmediatamente la pre-- sión a la resistencia del suelo compactado.



Además el diseño permite una fácil entrada y salida a la capa, lo que disminuye la resistencia al rodamiento.

Al comenzar a compactar una nueva capa con un rodillo de impacto, los bulbos de presión y las ondas de impacto, proveen suficiente amasamiento con la capa inferior para eliminar la estratificación, lo cual es muy importante en corazones impermeables de presas, por lo que sustituye con muchas ventajas al Pata de Cabra.

El rodillo de impacto, es un compactador muy versátil y económico, por su eficiencia puede compactar casi todos los suelos, limitándose generalmente a terracerías, por que tampoco es capaz de realizar una superficie tersa.



## RODILLOS VIBRATORIOS

En la actualidad es el compactador más utilizado. Se emplean en toda clase de suelos sin distinción: bases granulares artificiales, sub-bases naturales, suelo-cemento, rellenos rocosos, asfaltos, arcillas, arenas, etc.

Los compactadores vibratorios trabajan en una sucesión de impactos contra la superficie del suelo. Desde la superficie, las ondas de presión penetran hacia adentro del suelo. Las partículas del suelo se ponen en movimiento y la fricción interna entre ellas queda prácticamente eliminada. Durante el estado de movimiento, las partículas encuentran posiciones tales que hacen que su volumen sea el menor posible.

Los rodillos vibratorios tienen un bastidor el cual está aislado del tambor (o tambores) por medio de elementos de goma. El peso estático del rodillo se compone de la masa del bastidor y de la masa del tambor.

Las vibraciones se generan normalmente por la rotación de la excéntrica, cuya velocidad determina directamente la frecuencia. La masa y el tamaño del peso de la excéntrica determina la amplitud del tambor.

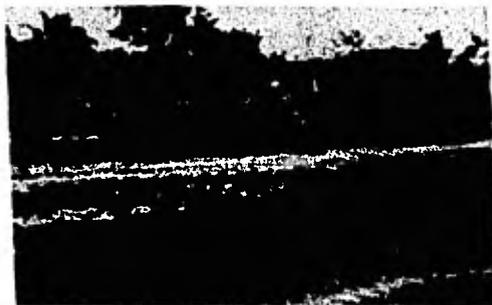
Los rodillos vibratorios pueden ser remolcados o autopropulsados.

Rodillos Vibratorios Remolcados.- Constituyen el equipo standard para la compactación de terraplenes, sub-bases y bases en la construcción de carreteras. También se emplean en aeropuertos, presas y en otras construcciones grandes. Estos rodillos pesan generalmente entre 4 y 6 Ton. Aunque se han desarrollado algunos hasta de 15 Ton. para construcciones grandes.



Los rodillos vibratorios remolcados pata de cabra se utilizan para la compactación de arcillas y otros suelos cohesivos, con estos compactadores se han aumentado la fuerza y la amplitud de la vibra---

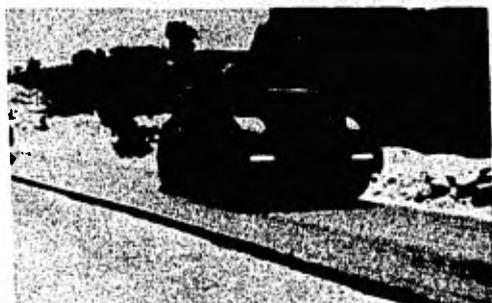
ción. Con el mismo objeto se han acoplado dos rodillos vibratorios, "fuera de fase", a un marco rígido para obtener un gran efecto de amasamiento entre los rodillos.



Rodillos vibratorios autopropulsados.- Este compactador está provisto de dos ruedas neumáticas, para darle cierta tracción. Es un rodillo mucho más rápido y fácil de maniobrar que los remolcados.

El peso de estos rodillos es de 9 a 10 Tons., la mitad de este peso recae sobre el tambor vibrador y por consiguiente el efecto de compactación es similar al de un rodillo remolcado de 4 a 5 Tons.

Los rodillos vibratorios Tándem se emplean cada vez más, actualmente se usan en los trabajos de reparación y construcción de carreteras, calles y aeropuertos. El tamaño de estas máquinas ha aumentado paulatinamente, en la actualidad se usan con pesos hasta de 15 Tons. Se ha aumentado el uso de-



estos rodillos con vibración y propulsión en ambos -  
tambores. Todas estas características dan como re--  
sultado un mejoramiento de los efectos de compacta--  
ción, tracción y capacidad en pendientes. Se ha de--  
sarrollado con bastante interés el uso de rodillos -  
vibratorios tándem para la compactación de superfi--  
cies asfálticas.



## RODILLOS NEUMATICOS

Estas máquinas trabajan principalmente por el efecto de la presión estática que producen debido a su peso, pero hay un segundo efecto de amasamiento, debido al modo de transmitir esta presión por los neumáticos.

Sus bulbos de presión son semejantes a los de los rodillos metálicos, pero el área de contacto permanece constante por lo que no se produce el efecto de reducción del bulbo. Por otra parte, el efecto de puenteo del rodillo metálico, sobre zonas suaves y bajas, se elimina con llantas de suspensión independiente.

Las superficies de contacto de un neumático dependen de la carga que soporta y de la presión a que esté inflado, pero la presión que transmite al suelo el neumático a través de la superficie elíptica de contacto no es uniforme. Por lo anterior para simplificar el problema se emplea el término "Presión media" de contacto que se obtiene dividiendo la carga sobre cada rueda por la superficie de contacto. Estas superficies de contacto se obtienen para las diferentes presiones de inflado y cargas sobre rueda, marcando las huellas de contacto sobre una placa de acero con el neumático en posición estática.

Es norma general esperar una presión del orden del 90% de la presión en la superficie a profundidades de 70 cm. y actuando en un ancho de unos 2/3 del ancho de la huella de neumático. Esto obliga a procurar un cierto solape entre las huellas de los neumáticos delanteros y traseros.



Los compactadores de llantas neumáticas pueden ser autopropulsados o remolcados por tractores de grandes potencias. Por el tamaño de sus llantas -- pueden clasificarse en:

- De llantas pequeñas
- De llantas grandes

De llantas pequeñas.- Por lo general estos -- compactadores tienen dos ejes en tándem y el número de llantas varía entre 7 y 13. Las llantas están --

dispuestas de tal forma que las traseras traslapan con las delanteras. El chasis es de una sola pieza y sirve también como caja para el lastre.

El montaje de las ruedas de estos compactadores, permite que oscilen al rodar, logrando con ésto el aumento del efecto de amasamiento,

Estos equipos no deben sobrecargarse o moverse a velocidades excesivas ya que como resultado se tendrá desgaste de rodamientos y llantas, aunque sí se tendrá mayor área compactada.

Estos compactadores proporcionan una presión de contacto semejante a la que proporcionan los de llantas grandes; tienen mayor maniobrabilidad, con menor fuerza motriz; tienen poca profundidad de acción, poca flotación en materiales sueltos y no empujan mucho material adelante de ellos.

De llantas grandes.- Estos generalmente son remolcados por un tractor y pesan entre 15 a 50 Tons. Cuentan con 4 ó 6 llantas en un mismo eje. Su costo horario por lo general es caro por el tipo de tractor que debe usarse para remolcarlos. Su mejor aplicación es como compactadores de prueba.

Los factores más importantes que deben tomarse en cuenta en este tipo de compactador son: el peso total y la presión de inflado.

Peso total.- Dependiendo del número de llantas y del sistema de suspensión del compactador, se puede conocer el peso o fuerza aplicada por llanta. Si

se trata de una suspensión isostática, a mayor peso total, mayor carga por llanta.

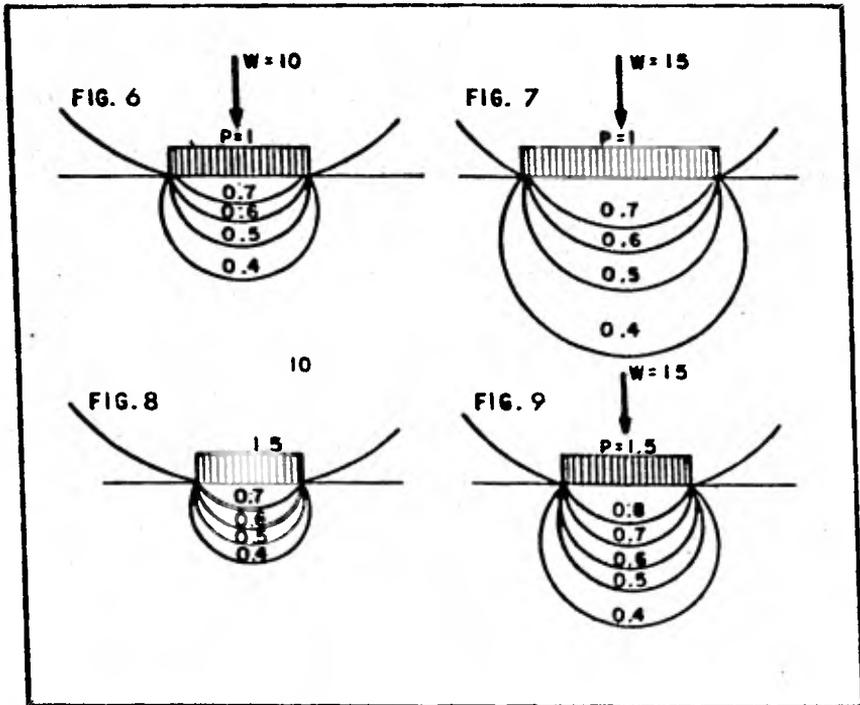
Presión de inflado.- Es importante, pero está ligada íntimamente a la carga de la llanta. Si "W" es el peso del compactador, y "p" es la presión de contacto (Fig. 6 ):

Podemos observar que si aumentamos el peso sin aumentar la presión (Fig. 7 ), aumenta la profundidad del bulbo, esto nos permitiría trabajar capas - relativamente mayores, sin aumentar la eficiencia - y la duración de las llantas se reduce porque estaríamos aumentando el trabajo de deformación de las mismas.

Si aumentamos la presión manteniendo constante la carga (Fig. 8 ), 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 (Fig. 9 ), aumenta la presión efectiva sobre la capa y por lo tanto el trabajo de compactación, sin embargo esto nos puede disminuir la vida útil de las llantas y - del equipo.

En los compactadores neumáticos 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 recomendable no alejarse mucho de las espe



cificaciones del fabricante).

Por lo anterior los fabricantes de equipo han provisto a sus máquinas con dispositivos 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 -- Ton.) y pueden llegar hasta 80 psi en compactadores grandes (de 10 a 60 Ton.)

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

Los compactadores neumáticos de llantas grandes, son poco maniobrables por lo que suelen usarse donde haya pequeñas pendientes, tramos largos y anchos y de fácil acceso, son casi específicos de aeropuertos.



**V**  
**SELECCION**  
**DE**  
**COMPACTADORES**

## SELECCION DE COMPACTADORES

La selección del compactador más adecuado no siempre es sencilla, ya que depende de muchos factores regidos por el aspecto económico: tipo de suelo, tipo de trabajo, método de movimiento de tierras, compatibilidad con equipos de otras actividades, compactadores disponibles, continuidad de trabajo.

Hay una gran variedad de compactadores, desde el más elemental pisón, hasta los más modernos compactadores altamente sofisticados.

Es frecuente y muy eficiente el uso de varios equipos que combinen los diferentes efectos de compactación.

Los factores más importantes que deben tomarse en cuenta para esta selección son:

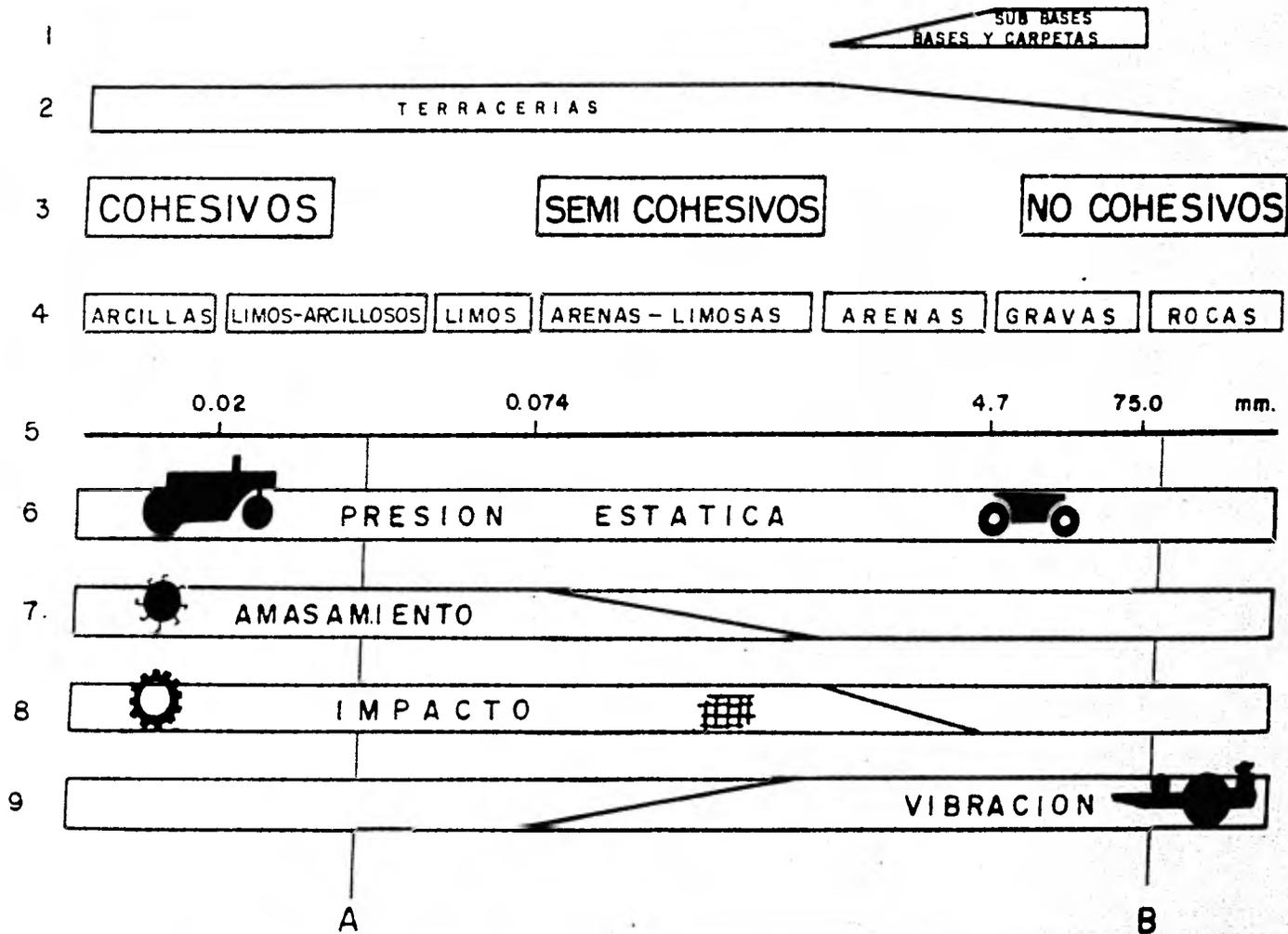
- El material a compactar
- El tamaño de la obra
- Requerimientos especiales

El tamaño de la obra y los requerimientos especiales son específicos de cada trabajo por lo que sólo aprenderemos a seleccionar compactadores para los diferentes materiales.

En la gráfica de selección de equipo se muestra, en los renglones 4 y 5, los diferentes materiales y su respectivo tamaño en mm.

En el renglón 3 se clasifican en cohesivos, se

# SELECCION DE EQUIPO



micohesivos y no cohesivos (una clasificación de finos a granulares).

En los renglones 1 y 2 se indica su uso más frecuente.

Renglón 1, son materiales que se usan para sub-bases, bases y carpetas, siempre materiales no cohesivos (arenas y gravas).

Renglón 2, son materiales que se usan para terracerfas, normalmente materiales cohesivos y semicohesivos, a veces no cohesivos.

En el renglón 6, se representa la compactación por presión estática, la que se puede aplicar con rodillos metálicos y neumáticos a todos los suelos. La única limitación de estos equipos es el bajo rendimiento, excepto en los compactadores de neumáticos grandes.

En el renglón 7, se representa la compactación por amasamiento utilizando rodillo pata de cabra vibratoria en suelos cohesivos y semicohesivos, como arcillas, limos y algo de arenas limosas. La única limitación es el alto costo de la pata de cabra estática.

En el renglón 8, se representa la compactación por impacto la cual se realiza con rodillo de impacto y rodillo de reja en todos los tipos de suelo. Por el mal acabado que dan a la capa sólo se aplican en terracerfas, normalmente arcillas y limos a veces arenas. La única limitación es que el rodillo

de reja se atasca con los materiales cohesivos y hay que parar frecuentemente para limpiarlo, sin embargo es un magnífico disgregador en terracerías.

En el renglón 9, se representa la compactación por vibración, utilizando rodillo liso vibratorio, - para suelos no cohesivos como son las arenas y gravas, algunas veces en suelos semicohesivos como arenas limosas.

En resumen podemos considerar las siguientes conclusiones:

- Para suelos cohesivos se debe preferir pata de cabra vibratoria o rodillo de impacto.
- Para suelos no cohesivos es más usual el rodillo liso vibratorio.
- Para todos los suelos, rodillo neumático.

Las mejores combinaciones las podemos observar en las líneas "A" y "B".

Por ejemplo en la línea "A", para suelos cohesivos podemos combinar neumático grande y pata de cabra o neumático y rodillo de impacto.

En la línea "B", para suelos no cohesivos se puede combinar el neumático grande y rodillo vibratorio.



**VI  
GUION  
DEL  
AUDIOVISUAL**



COMPACTACION  
ES EL AUMENTO ARTIFICIAL, POR ME-  
DIOS MECANICOS, DEL PESO VOLUME--  
TRICO DE UN SUELO,



ESTO SE LOGRA A COSTA DE LA REDUC-  
CION DE LOS VACIOS DEL MISMO, AL  
CONSEGUIR UN MEJOR ACOMODO DE LAS  
PARTICULAS QUE LO FORMAN, MEDIAN-  
TE LA EXPULSION DE AIRE Y AGUA -  
DEL MATERIAL.

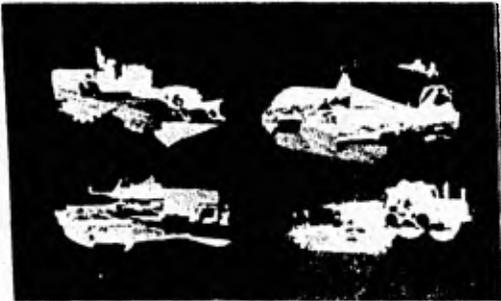


## RESISTENCIA MECANICA

IMPERMEABILIDAD



LA COMPACTACION ES IMPORTANTE, -- PORQUE AL AUMENTAR EL PESO VOLUMETRICO DE UN SUELO, TAMBIEN AUMENTAN SU RESISTENCIA MECANICA Y SU IMPERMEABILIDAD, DISMINUYENDO, -- ASI MISMO, SU TENDENCIA A LAS DEFORMACIONES.

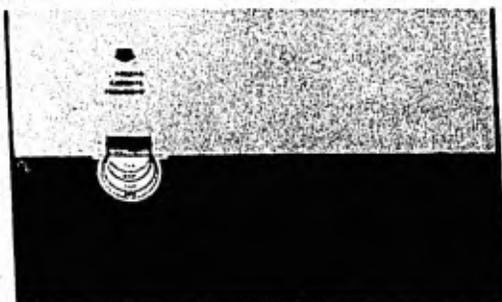


LAS TECNICAS DE COMPACTACION SE APLICAN A RELLENOS ARTIFICIALES, TALES COMO: CORTINAS DE TIERRA, CAMINOS, AEROPUERTOS, FERROCARRILES, PAVIMENTOS, ETC., HACIENDO USO DEL EQUIPO DE CONSTRUCCION ADECUADO.

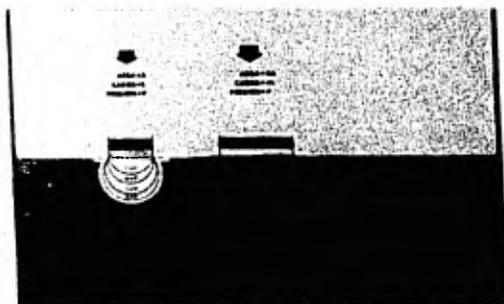
PARA COMPRENDER MEJOR EL TRABAJO DEL EQUIPO DE COMPACTACION SOBRE UN SUELO,



CONSIDEREMOS UNA PLACA RIGIDA -- CIRCULAR, DE AREA "A", COLOCADA SOBRE UN SUELO, A LA QUE SE APLICA UNA CARGA "L", DANDO UNA PRESION DE CONTACTO "P".

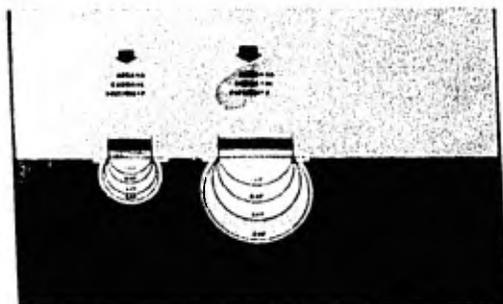


EN EL SUELO SE DESARROLLAN PRE--  
SIONES, SI UNIMOS LOS PUNTOS DE  
IGUAL PRESION, OBTENDREMOS SUPER  
FICIES LLAMADAS BULBOS DE PRESION

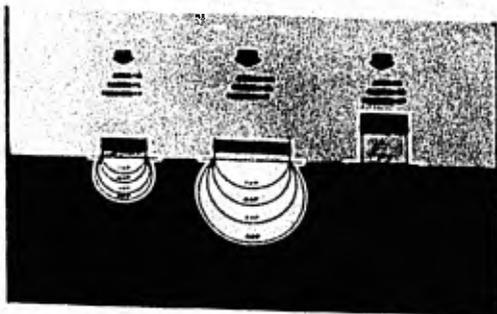


OBSERVESE LO SIGUIENTE:

SI AUMENTA EL TAMAÑO DE LA PLACA  
PERO LA PRESION PERMANECE CONS -  
TANTE, INCREMENTANDO LA CARGA, -

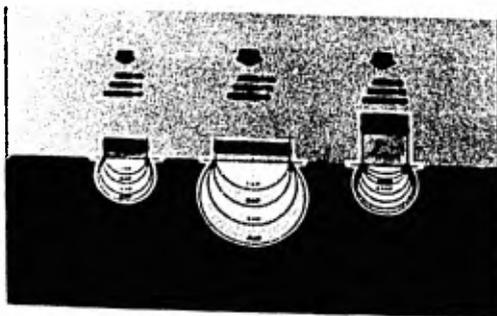


LA PROFUNDIDAD DEL BULBO DE PRE--  
SION AUMENTA,



SI AUMENTA LA PRESION Y EL AREA PERMANECE CONSTANTE,

LA PROFUNDIDAD DEL BULBO NO AUMENTA SIGNIFICATIVAMENTE, PERO LA PRESION SI, POR LO TANTO LA ENERGIA DE COMPACTACION AUMENTA.

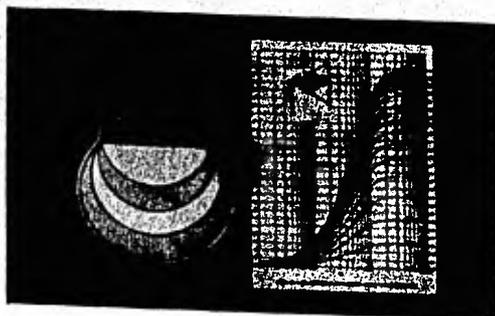


SI CONSIDERAMOS UN CIERTO EQUIPO DE COMPACTACION, TRABAJANDO CAPAS DE UN DETERMINADO ESPESOR:

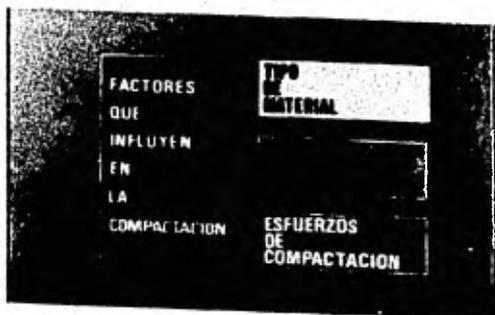
DE (A) Y (B) SE DEDUCE QUE ES NECESARIO CONTROLAR EL ESPESOR DE LAS CAPAS PARA TENER SUFICIENTE PRESION EN EL SUELO Y OBTENER LA COMPACTACION DESEADA.

DE (B) SE DEDUCE QUE NO PODEMOS AUMENTAR SIGNIFICATIVAMENTE EL ESPESOR DE LA CAPA DE COMPACTACION SIMPLEMENTE LASTRANDO EXCESIVAMENTE EL EQUIPO.

DE (A) SE DEDUCE QUE PARA AUMENTAR EL ESPESOR DE LA CAPA, DEBEMOS CAMBIAR EL EQUIPO POR OTRO QUE TENGA MAYOR SUPERFICIE DE CONTACTO, AUNQUE LA PRESION PERMANEZCA CONSTANTE.



LA TEORIA DE LOS BULBOS DE PRE --  
 SION FUE DESARROLLADA POR BOUSSI --  
 NESQ, PARA UN MEDIO ELASTICO Y --  
 CONTINUO. PARA FINES PRACTICOS --  
 TODOS LOS SUELOS SON ELASTICOS Y  
 LA TEORIA ES RAZONABLEMENTE CIER --  
 TA AUN PARA SUELOS GRANULARES.



LOS FACTORES MAS IMPORTANTES QUE --  
 INFLUYEN EN LA COMPACTACION SON:

- TIPO DE MATERIAL
- CONTENIDO DE HUMEDAD Y
- ESFUERZOS DE COMPACTACION

TIPO DE MATERIAL

ES CLARO QUE LA NATURALEZA O TIPO --  
 DE SUELO CON QUE SE TRABAJA INFLU --  
 YE DE MANERA DECISIVA EN EL PROC --  
 SO DE COMPACTACION.

## CLASIFICACION DE SUELOS



PREVALECE AUN LA CLASIFICACION --  
 USUAL ENTRE SUELOS FINOS Y GRUE --  
 SOS O ENTRE COHESIVOS Y NO COHESI --  
 VOS O FRICCIONANTES.

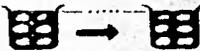
LOS FINOS SON AQUELLOS CUYAS PAR --  
 TICULAS SON MENORES QUE LA MALLA --  
 N° 200.  
 Y LOS GRUESOS LOS QUE SE RETIENEN --  
 EN ELLA.

LOS SUELOS FINOS COMPREDEN LAS --  
 ARCILLAS Y LIMOS.

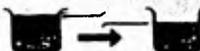
LOS SUELOS GRUESOS, LAS ARENAS Y --  
 GRAVAS, SIENDO LA FRONTERA ENTRE --  
 ESTAS ULTIMAS LA MALLA N° 4.

## INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA

SUELO MAL GRADUADO



COMPACTACION



SUELO BIEN GRADUADO

UN SUELO QUE CONTIENE UN TAMAÑO -- MUY UNIFORME DE PARTICULAS, MAL -- GRADUADO, SERA DIFICILMENTE COM-- PACTADO. EN CAMBIO UN SUELO CON AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS, BIEN GRA-- DUADO, SE COMPACTA MEJOR YA QUE -- LAS PARTICULAS DE MENOR TAMAÑO -- OCUPARAN LOS ESPACIOS FORMADOS -- ENTRE LAS PARTICULAS DE MAYOR TA-- MAÑO.

POR LO ANTERIOR ES MUY IMPORTANTE CONSIDERAR EL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu), QUE ES LA RELACION ENTRE EL  $D_{60}$  Y EL  $D_{10}$

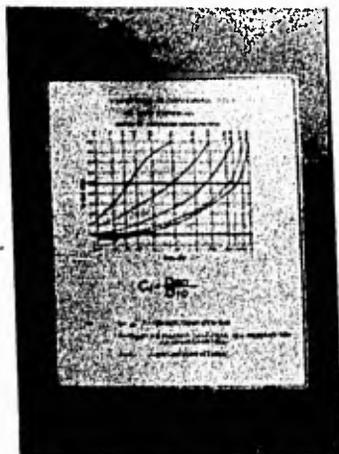
EL  $D_{60}$  : ES EL TAMAÑO DE MALLA POR EL QUE PASA EL 60% DEL -- MATERIAL.

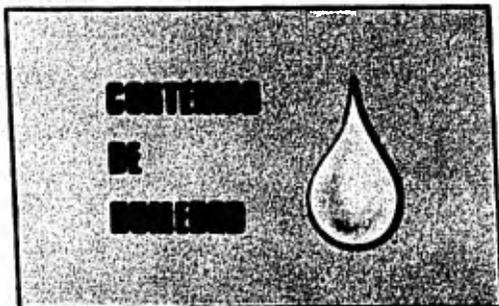
EL  $D_{10}$  : ES EL TAMAÑO DE MALLA POR EL QUE PASA EL 10% DEL -- MATERIAL

SI EL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD ES MAYOR O IGUAL A 7, SE TIENE -- UN EXCELENTE SUELO PARA COMPAC-- TAR.

SI EL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD ES MENOR QUE 7 Y MAYOR O IGUAL -- QUE 3, SE TIENEN SUELOS, CON CIER-- TOS PROBLEMAS PARA LA COMPACTA -- CION. SI SE MEJORA LA GRANULOME-- TRIA SE OBTIENEN BUENOS RESULTA-- DOS.

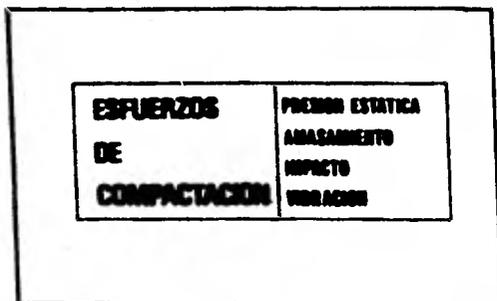
SI EL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD ES MENOR O IGUAL QUE 3 NO SE PUE-- DE COMPACTAR.





#### CONTENIDO DE HUMEDAD

EL AGUA ES UN LUBRICANTE ENTRE LAS PARTICULAS DEL MATERIAL A COMPACTAR. LA FALTA O EXCESO DE HUMEDAD EXIGIRA UN MAYOR ESFUERZO DE COMPACTACION, POR LO QUE DEBE RECORDARSE QUE TODO MATERIAL TIENE UN CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD, PARA EL CUAL SE OBTIENE, BAJO UNA CIERTA ENERGIA DE COMPACTACION UNA DENSIDAD MAXIMA. NO OLVIDAR COMPACTAR SIEMPRE EN LA HUMEDAD OPTIMA.



#### ESFUERZOS DE COMPACTACION

LOS ESFUERZOS MECANICOS EMPLEADOS EN LA COMPACTACION, SON COMBINACION DE UNO O MAS DE LOS SIGUIENTES EFECTOS:

- PRESION ESTATICA
- AMASAMIENTO
- IMPACTO Y
- VIBRACION



PRESION ESTATICA.- ES LA APLICACION DE UNA FUERZA POR UNIDAD DE AREA.

## AMASAMIENTO



AMASAMIENTO.- ES LA ACCION DE --  
AMASADO, REORIENTACION DE LAS --  
PARTICULAS PROXIMAS CAUSANDO UNA  
REDUCCION DE VACIOS.

## IMPACTO



IMPACTO.- GOLPEO CON UNA CARGA -  
DE CORTA DURACION, BAJA FRECUEN-  
CIA Y ALTA AMPLITUD.

## VIBRACION



VIBRACION.- GOLPEO CON UNA CARGA  
DE CORTA DURACION, ALTA FRECUEN-  
CIA Y BAJA AMPLITUD.



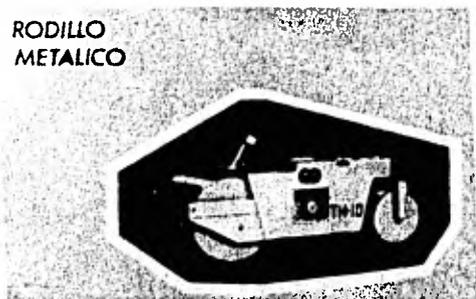
## COMPACTADORES

CON ESTOS CONOCIMIENTOS PASEMOS A ESTUDIAR LOS DIFERENTES TIPOS DE COMPACTADORES.



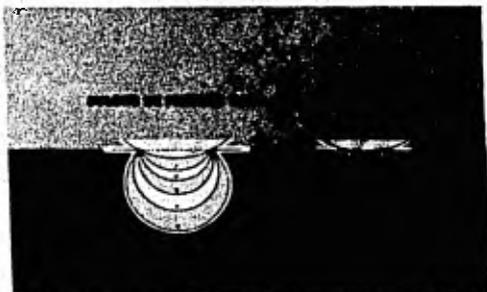
HAY UNA GRAN VARIEDAD DE EQUIPOS DE COMPACTACION, POR LO QUE NO -- LOS DESCRIBIREMOS TODOS, SINO UNICAMENTE LOS DIFERENTES TIPOS DE -- COMPACTADORES, AGRUPADOS POR SU -- FORMA DE TRABAJAR.

### RODILLO METALICO



### RODILLOS METALICOS

UN RODILLO METALICO UTILIZA SOLAMENTE PRESION ESTATICA, CON UN -- MINIMO DE AMASAMIENTO EN MATERIALES PLASTICOS.



CUANDO ESTOS RODILLOS INICIAN LA COMPACTACION DE UNA CAPA, EL AREA DE CONTACTO ES MAS O MENOS GRANDE PRODUCIENDOSE UN BULBO DE PRESION CON CIERTA PROFUNDIDAD, CONFORME AVANZA LA COMPACTACION EL AREA DE CONTACTO SE REDUCE, Y -- POR LO TANTO TAMBIEN SE REDUCE -- LA PROFUNDIDAD DEL BULBO DE PRESION, AUMENTANDO LOS ESFUERZOS -- DE COMPRESION EN LA CERCANIA DE LA SUPERFICIE.



ESTOS ESFUERZOS SON CON FRECUENCIA SUFICIENTES PARA TRITURAR -- LOS AGREGADOS EN MATERIALES GRANULARES Y PUEDEN CAUSAR LA FORMACION DE UNA COSTRA EN LA SUPERFICIE DE LA CAPA.

SI A ESTO SE AGREGA LA COSTUMBRE DE HACER RIEGOS ADICIONALES DURANTE LA COMPACTACION PARA COMPENSAR LA EVAPORACION, EN UNA CAPA EN DONDE LA PENETRACION DEL AGUA ES DIFICIL, POR LA MISMA -- COMPACTACION DEL MATERIAL, LLEGAREMOS A UN ESTADO DE ESTRATIFICACION DE LA HUMEDAD. EN ESTE MOMENTO LA FORMACION DE LA COSTRA ES INEVITABLE.



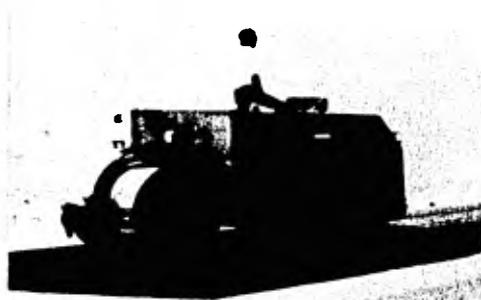
TAMBIEN ES COSTUMBRE MAS O MENOS GENERALIZADA, LASTRAR ESTOS EQUIPOS CUANDO NO SE ESTA OBTENIENDO LA COMPACTACION, PARA AUMENTAR -- LA PENETRACION Y PROFUNDIDAD DEL BULBO DE PRESION, ESTO GENERALMENTE TIENE COMO CONSECUENCIA -- CONTRARIA EL SOBRE-ESFORZAR LA CAPA.



UN RODILLO METALICO, NO COMPACTA PEQUEÑAS AREAS SUAVES O BAJAS, -- DEBIDO A QUE LA RIGIDEZ DE LA -- RUEDA LAS PUENTEA, ESTAS AREAS -- BAJAS SE PRESENTAN CON FRECUEN -- CIA EN TERRACERIAS DEBIDO A LA -- IRREGULARIDAD DE LA CAPA,

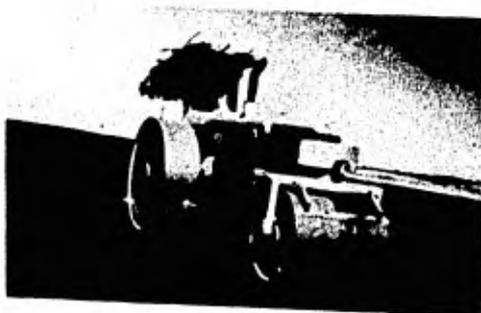
LOS RODILLOS METALICOS SON HUE -- COS Y SE PUEDEN LASTRAR CON AGUA O ARENA, DENTRO DE ESTE GRUPO SE PUEDEN ENCONTRAR LOS SIGUIENTES EQUIPOS:

- PLANCHAS TANDEM Y
- PLANCHAS DE TRES RUEDAS



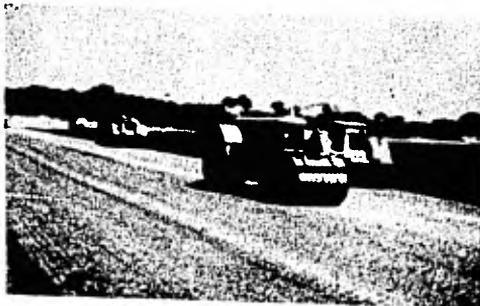
#### PLANCHAS TANDEM

QUE TIENEN GENERALMENTE DOS RODI -- LLOS PARALELOS IGUALES.



#### PLANCHAS DE TRES RUEDAS

SON QUIZAS LAS DE MAS ANTIGUO -- DISEÑO, TIENE DOS RUEDAS GRANDES TRASERAS Y UNA PEQUEÑA DELANTERA, QUE SE TRASLAPAN DE MANERA QUE -- CUBREN UNA FRANJA UNIFORME.



LAS PLANCHAS TIENEN BAJAS VELOCIDADES DE OPERACION CON POCA SEGURIDAD AL COMPACTAR LAS ORILLAS DE TERRAPLENES ALTOS, LO QUE PROVOCA BAJOS RENDIMIENTOS POR LO QUE HAN PERDIDO TERRENO EN LA COMPACTACION DE GRANDES MOVIMIENTOS DE TIERRA, ASI COMO EN LA COMPACTACION DE CARPETAS ASFALTICAS, SIENDO REEMPLAZADAS POR OTROS EQUIPOS DE COMPACTACION.

**RODILLO  
PATA DE CABRA**

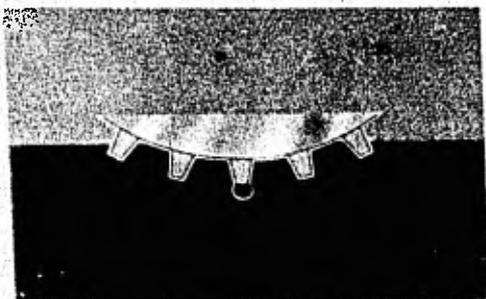


**RODILLOS PATA DE CABRA**

SON AHORA RARAMENTE USADOS, EXCEPTO EN COMPACTACION DE ARCILLAS, DONDE LA ESTRATIFICACION DEBE SER ELIMINADA.



COMO EN EL CORAZON IMPERMEABLE DE UNA CORTINA DE MATERIALES GRADUADOS, DONDE ALGUNAS VECES SON PEDIDOS EXPRESAMENTE EN ESPECIFICACIONES.



EL AREA DE CONTACTO DE UNA PATA DE CABRA Y EL ALTO PESO DE ESTOS EQUIPOS, HACE QUE EL BULBO DE PRESION SEA INTENSO Y POCO PROFUNDO, POR LO QUE LA COMPACTACION SE CONSIGUE POR AMASAMIENTO MAS QUE POR EFECTO DEL BULBO DE PRESION.



LOS RODILLOS PATA DE CABRA SON LENTOS, TIENEN UNA GRAN RESISTENCIA AL RODAMIENTO, POR LO QUE CONSUMEN MUCHA POTENCIA, CON POCO RENDIMIENTO POR LO QUE HAN SIDO REEMPLAZADOS POR OTROS EQUIPOS QUE HACEN LO MISMO MAS EFICIENTEMENTE.

#### RODILLO DE REJA



#### RODILLO DE REJA

ESTE COMPACTADOR FUE DESARROLLADO ORIGINALMENTE PARA DISGREGAR Y COMPACTAR ROCAS POCO RESISTENTES A LA COMPRESION, COMO ROCAS SEDIMENTARIAS Y ALGUNAS METAMORFICAS, PARA HACER CAMINOS DE PENETRACION TRANSITABLES TODO EL AÑO.

EL RODILLO TRANSITA SOBRE LA ROCA SUELTA EN EL CAMINO, QUEBRANDOLA Y PRODUCIENDO FINOS QUE RELLENAN LOS VACIOS FORMANDO UNA SUPERFICIE UNIFORME Y ESTABLE.



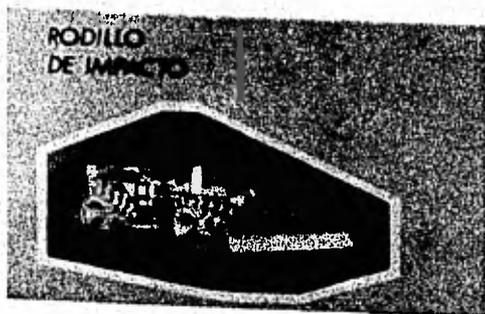
ESTE EQUIPO TIENE UN DISEÑO DE PUNTOS ALTOS Y BAJOS QUE AL RODAR PRODUCEN EFECTO DE IMPACTO Y AMA-SAMIENTO, Y CUANDO ES REMOLCADO - A ALTA VELOCIDAD, PRODUCE EFECTO DE VIBRACION COMO TAMBIEN PRODUCE PRESION ESTATICA, POR LO QUE ESTE EQUIPO ES CAPAZ DE COMPACTAR -- TODO TIPO DE SUELOS.



SIN EMBARGO ESTOS RODILLOS, DEBI-DO A SU CONFIGURACION NO PUEDEN - DEJAR UNA SUPERFICIE TERSA COMO - PUEDE SER UNA BASE, POR LO QUE SU USO SE LIMITA A TERRACERIAS,

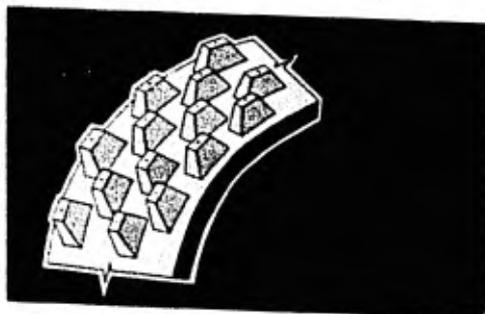


COMO ESTAS SON GENERALMENTE PLAS-TICAS, ESTOS RODILLOS TIENDEN A - ATASCARSE CON EL MATERIAL, PERDIEN-DO EL EFECTO DE IMPACTO, NECESI--TANDO SER LIMPIADOS CON MUCHA FRE-CUENCIA.



BUSCANDO MANTENER LAS VENTAJAS -- DEL RODILLO DE REJA, SIN SUS DES- VENTAJAS, SE CREO EL.

RODILLO DE IMPACTO



ESTE ES UN RODILLO METALICO CON - SALIENTES EN FORMA DE PIRAMIDE, - UNAS MAS ALTAS QUE OTRAS, SIGUIEN- DO EL MISMO DISEÑO DE PUNTOS AL- TOS Y BAJOS DEL RODILLO DE REJA,



ESTO LE PERMITE TENER LAS MISMAS VENTAJAS, LIMPIANDOSE FACILMENTE POR MEDIO DE DIENTES SUJETOS A - UN MARCO.



EL DISEÑO DE LAS SALIENTES DE --  
ESTE RODILLO, PERMITE QUE EL --  
AREA DE CONTACTO, SE INCREMENTE  
CON LA PENETRACION, AJUSTANDOSE  
INMEDIATAMENTE LA PRESION A LA --  
RESISTENCIA DEL SUELO COMPACTADO



EL DISEÑO PERMITE UNA FACIL ENTRA  
DA Y SALIDA A LA CAPA, LO QUE DIS  
MINUYE LA RESISTENCIA AL RODAMIE  
NTO.



CUANDO UN RODILLO DE IMPACTO CO--  
MIENZA UNA NUEVA CAPA, LOS BULBOS  
DE PRESION Y LAS ONDAS DE IMPACTO --  
PROVEEN SUFICIENTE AMASAMIENTO --  
CON LA CAPA INFERIOR PARA ELIMI--  
NAR LA ESTRATIFICACION, POR LO --  
QUE SUSTITUYEN CON MUCHAS VENTA -  
JAS AL RODILLO PATA DE CABRA.



EL RODILLO DE IMPACTO ES UNO DE -  
 LOS MAS VERSATILES Y ECONOMICOS -  
 COMPACTADORES, CAPAZ DE COMPACTAR  
 EFICIENTEMENTE LA MAYOR PARTE DE  
 SUELOS, LIMITANDOSE GENERALMENTE  
 A TERRACERIAS, PORQUE NO SON CAPA  
 CES TAMPOCO DE REALIZAR UNA SUPER  
 FICIE TERSA.

RODILLO  
 VIBRATORIO

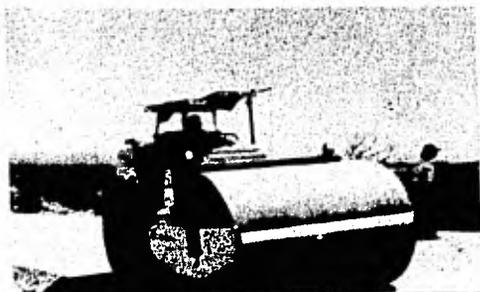


#### RODILLOS VIBRATORIOS

ESTOS RODILLOS DISMINUYEN TEMPO -  
 RALMENTE LA FRICCIÓN INTERNA DEL  
 SUELO POR LO QUE SU EFICIENCIA --  
 ESTA LIMITADA CASI A SUELOS GRANU  
 LARES (GRAVAS Y ARENAS), YA QUE -  
 LA RESISTENCIA A LA COMPRESION --  
 DEPENDE PRINCIPALMENTE DE LA FRIC  
 CION INTERNA.



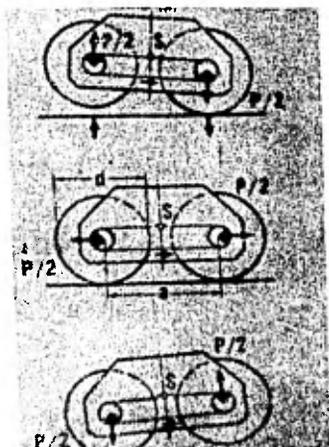
LA VIBRACION REACOMODA LAS PARTI  
 CULAS DEL SUELO, INCREMENTANDO SU  
 PESO VOLUMETRICO, ALCANZANDO PRO  
 FUNDIDADES HASTA DE 80 CM.



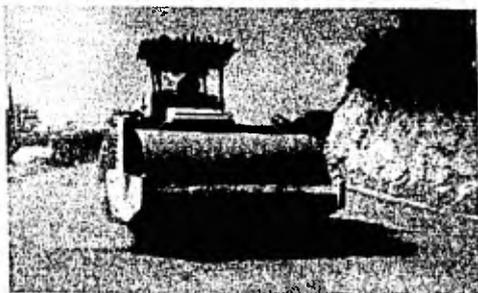
ESTOS RODILLOS PRODUCEN UN GRAN TRABAJO DE COMPACTACION EN RELACION A SU PESO ESTATICO YA QUE LA PRINCIPAL FUENTE DE TRABAJO ES LA FUERZA DINAMICA DE COMPACTACION.



PARA SUELOS COHESIVOS SE HAN DESARROLLADO RODILLOS PATA DE CABRA VIBRATORIOS, EN LOS QUE SE HAN AUMENTADO LA FUERZA Y LA AMPLITUD DE LA VIBRACION.



CON EL MISMO OBJETO SE HAN ACOPLADO DOS RODILLOS VIBRATORIOS, "FUERA DE FASE", A UN MARCO RIGIDO PARA OBTENER UN GRAN EFECTO DE AMASAMIENTO ENTRE LOS RODILLOS.



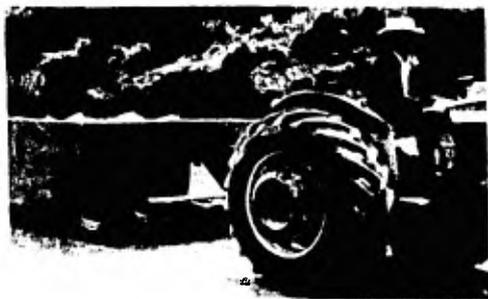
TODOS LOS RODILLOS VIBRATORIOS DE BEN MANEJARSE A VELOCIDADES DE -- 2.5 A 5 KM/H. VELOCIDADES MAYO -- RES NO INCREMENTAN LA PRODUCCION Y CON FRECUENCIA NO SE OBTIENE LA COMPACTACION.

RODILLO  
NEUMATICO



RODILLOS NEUMATICOS

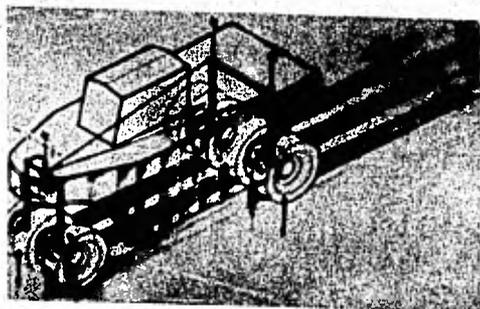
LOS RODILLOS NEUMATICOS SON MUY -- EFICIENTES EN LA COMPACTACION DE SUB-BASES, BASES Y CARPETAS, SUS BULBOS DE PRESION SON SEMEJANTES -- A LOS DE LOS RODILLOS METALICOS, PERO EL AREA DE CONTACTO PERMANE -- CE CONSTANTE POR LO QUE NO SE PRO -- DUCE EL EFECTO DE REDUCCION DEL -- BULBO.



ESTOS COMPACTADORES PUEDEN SER JA -- LADOS O AUTOPROPULSADOS.

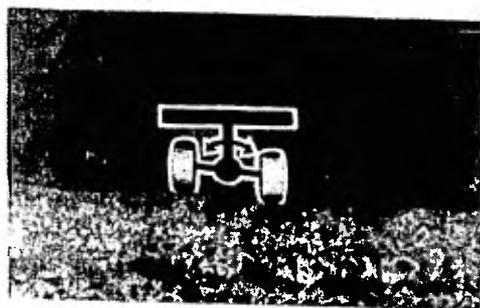
DEPENDIENDO DEL TAMAÑO DE SUS -- LLANTAS SE CLASIFICAN EN:

- COMPACTADORES DE LLANTAS PEQUEÑAS
- COMPACTADORES DE LLANTAS GRANDES

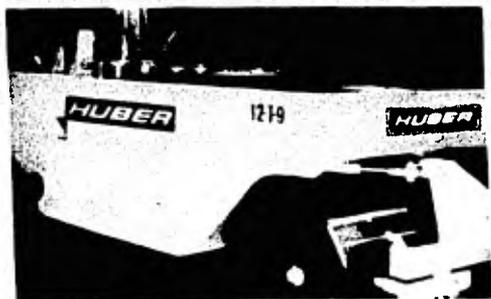


LOS DE LLANTAS PEQUEÑAS, GENERAL-  
MENTE TIENEN 2 EJES EN TANDEM Y -  
EL NUMERO DE LLANTAS VARIA DE 7 A  
13.

EL ARREGLO DE LAS LLANTAS ES  
TAL QUE LAS TRASERAS TRASLAPAN --  
CON LAS DELANTERAS.



ALGUNOS DE ESTOS COMPACTADORES -  
TIENEN SUS RUEDAS MONTADAS EN --  
TAL FORMA "QUE OSCILAN" AL RODAR,  
PARA AUMENTAR SU EFECTO DE AMASA-  
MIENTO, Y PODER COMPACTAR PEQUE-  
ÑAS AREAS BAJAS.



ESTOS COMPACTADORES PROPORCIONAN UNA PRESION DE CONTACTO SEMEJANTE A LA DE EQUIPOS DE MAYOR PESO, SON MUY MANIOBRABLES Y TIENEN POC<sub>U</sub>A PROFUNDIDAD DE ACCION.



LOS DE LLANTAS GRANDES SON GENERALMENTE ARRASTRADOS POR TRACTOR Y PESAN DE 15 A 50 TONS. TIENEN 4 O 6 LLANTAS EN UN MISMO EJE Y POR EL TAMAÑO DEL AREA DE TRABAJO PUEDEN COMPACTAR CAPAS HASTA DE 50 CM.



SON EQUIPOS PESADOS Y POCO MANIOBRABLES POR LO QUE SUELEN USARSE DONDE HAYA PEQUEÑAS PENDIENTES, - TRAMOS LARGOS Y ANCHOS, Y DE FACIL ACCESO, SON CASI ESPECIFICOS EN CONSTRUCCIONES DE AEROPUERTOS.



EN ESTOS COMPACTADORES ES IMPORTANTE LA PRESION DE INFLADO QUE ESTA LIGADA INTIMAMENTE A LA CARGA DE LA LLANTA. LA PRESION DE CONTACTO DEBE SER LA ADECUADA -- PARA EJERCER EL ESFUERZO DE COMPACTACION REQUERIDO (ES ACONSEJABLE NO ALEJARSE MUCHO DE LAS RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE) -- HAY QUE CUIDAR LA TENDENCIA AL REBOTE.



TIENEN GRAN UTILIDAD PARA SELLAR LAS CAPAS SUPERIORES, CON LO QUE SE LOGRA UNA BUENA IMPERMEABILIDAD.



#### SELECCION DE COMPACTADORES

LA SELECCION DEL COMPACTADOR MAS ADECUADO NO SIEMPRE ES SENCILLA, YA QUE DEPENDE DE MUCHOS FACTORES REGIDOS POR EL ASPECTO ECONOMICO:



TIPO DE SUELO, TIPO DE TRABAJO, METODO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS, COMPATIBILIDAD CON EQUIPO DE OTRAS ACTIVIDADES, COMPACTADORES DISPONIBLES, CONTINUIDAD DE TRABAJO, ETC.



COMO YA DIJIMOS HAY TAMBIEN UNA GRAN VARIEDAD DE COMPACTADORES, DESDE ESTE COMPACTADOR ELEMENTAL ACCIONADO CON MOTOR DE PULQUE,

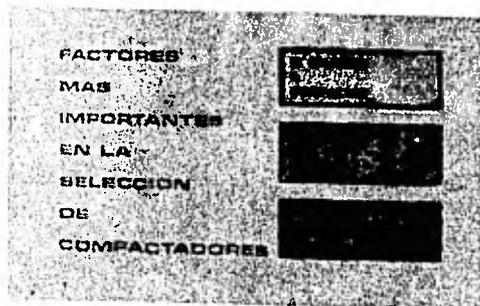


ESTA PLANCHA QUE TODAVIA COMPACTA



HASTA ESTE COMPACTADOR  
ALTAMENTE SOFISTICADO.

ES FRECUENTE Y MUY EFICIENTE EL  
USO DE VARIOS EQUIPOS QUE COMBI  
NEN LOS DIFERENTES EFECTOS DE  
COMPACTACION.



LOS FACTORES MAS IMPORTANTES QUE  
DEBEN TOMARSE EN CUENTA PARA --  
ESTA SELECCION SON:

- EL MATERIAL A COMPACTAR
- EL TAMAÑO DE LA OBRA
- REQUERIMIENTOS ESPECIALES

EL TAMAÑO DE LA OBRA Y LOS REQUE  
RIMIENTOS ESPECIALES SON ESPECIFI  
COS DE CADA TRABAJO POR LO QUE --  
SOLO APRENDEREMOS A SELECCIONAR--  
COMPACTADORES PARA LOS DIFEREN--  
TES MATERIALES.



EN LA GRAFICA SE MUESTRA, EN LOS  
REGLONES 4 Y 5, LOS DIFERENTES  
MATERIALES Y SU RESPECTIVO TAMA  
ÑO EN MM.

SELECCION DE TIPO DE MATERIAL

1.  COHESIVOS

2.  SEMICOHESIVOS

3.  NO COHESIVOS

4.  ARENAS

5.  GRAVAS

6.  PIEDRA

7.  MORTAR

8.  CEMENTO

9.  YESO

10.  OTROS

EN EL RENGLON 3 SE CLASIFICAN EN COHESIVOS, SEMICOHESIVOS Y NO -- COHESIVOS (UNA CLASIFICACION DE FINOS A GRANULARES)

SELECCION DE TIPO DE MATERIAL

1.  COHESIVOS

2.  SEMICOHESIVOS

3.  NO COHESIVOS

4.  ARENAS

5.  GRAVAS

6.  PIEDRA

7.  MORTAR

8.  CEMENTO

9.  YESO

10.  OTROS

EN LOS RENGLONES 1 Y 2 SE INDICA SU USO MAS FRECUENTE.

RENGLON 1) SON MATERIALES QUE SE USAN PARA SUB-BASES, BASES Y CARPETAS, SIEMPRE MATERIALES NO -- COHESIVOS (ARENAS Y GRAVAS).

SELECCION DE TIPO DE MATERIAL

1.  COHESIVOS

2.  SEMICOHESIVOS

3.  NO COHESIVOS

4.  ARENAS

5.  GRAVAS

6.  PIEDRA

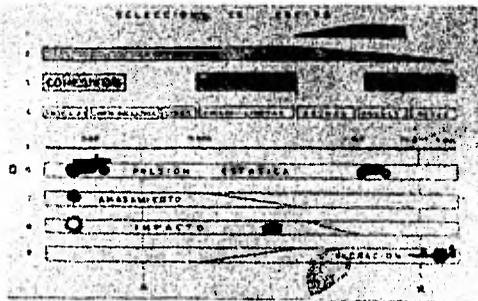
7.  MORTAR

8.  CEMENTO

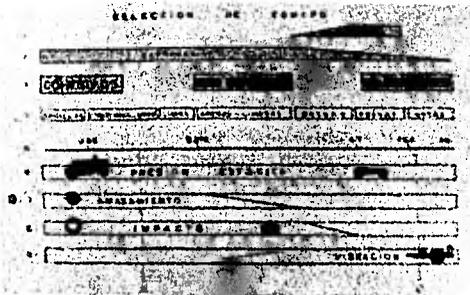
9.  YESO

10.  OTROS

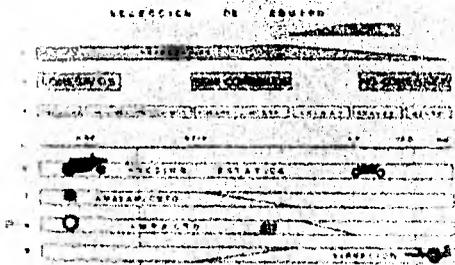
RENGLON 2) SON MATERIALES QUE SE USAN PARA TERRACERIAS, NORMALMENTE MATERIALES COHESIVOS Y SEMI--COHESIVOS, A VECES NO COHESIVOS.



EN EL RENGLON 6, SE REPRESENTA LA COMPACTACION POR PRESION ESTATICA, LA QUE SE PUEDE APLICAR CON RODILLOS METALICOS Y NEUMATICOS A TODOS LOS SUELOS. LA UNICA LIMITACION DE ESTOS EQUIPOS ES EL BAJO RENDIMIENTO, EXCEPTO EN LOS COMPACTADORES DE NEUMATICOS GRANDES.



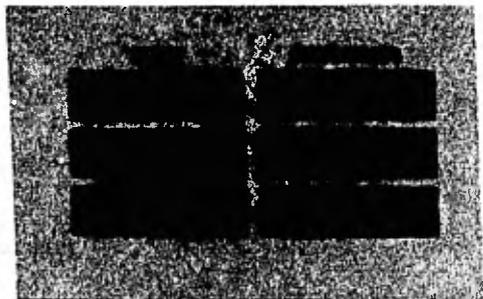
EN EL RENGLON 7, SE REPRESENTA LA COMPACTACION POR AMASAMIENTO UTILIZANDO RODILLO PATA DE CABRA -- VIBRATORIA EN SUELOS COHESIVOS Y SEMICOHESIVOS, COMO SON ARCILLAS, LIMOS Y ALGO EN ARENAS LIMOSAS. LA UNICA LIMITACION ES EL ALTO COSTO DE LA PATA DE CABRA ESTATICA.



EN EL RENGLON 8, SE REPRESENTA LA COMPACTACION POR IMPACTO LA CUAL SE REALIZA CON RODILLO DE IMPACTO Y RODILLO DE REJA EN TODOS LOS TIPOS DE SUELO. POR EL MAL ACABADO QUE DAN A LA CAPA SOLO SE APLICAN EN TERRACERIAS, NORMALMENTE ARCILLAS Y LIMOS A VECES ARENAS. LA UNICA LIMITACION ES QUE EL RODILLO DE REJA SE ATASCA CON LOS MATERIALES COHESIVOS Y HAY QUE PARRAR FRECUENTEMENTE PARA LIMPIARLO, SIN EMBARGO ES UN MAGNIFICO DISREGADOR EN TERRACERIAS.



EN EL RENGLON 9, SE REPRESENTA LA COMPACTACION POR VIBRACION, UTILIZANDO RODILLO LISO VIBRATORIO, PARA SUELOS NO COHESIVOS COMO SON LAS ARENAS Y GRAVAS, ALGUNAS VECES EN SUELOS SEMICOHESIVOS COMO ARENAS LIMOSAS.



EN RESUMEN PODREMOS CONSIDERAR LAS SIGUIENTES CONCLUSIONES :

PARA SUELOS COHESIVOS SE DEBE PREFERIR PATA DE CABRA VIBRATORIA O RODILLO DE IMPACTO.

PARA SUELOS NO COHESIVOS ES MAS USUAL EL RODILLO LISO VIBRATORIO

PARA TODOS LOS SUELOS; - RODILLO NEUMATICO.



LAS MEJORES COMBINACIONES LAS-PODEMOS OBSERVAR EN LAS LINEAS "A" Y "B".

POR EJEMPLO EN LA LINEA "A" PARA SUELOS COHESIVOS PODEMOS COMBINAR NEUMATICO GRANDE Y PATA DE CABRA O NEUMATICO Y RODILLO DE IMPACTO.

EN LA LINEA "B" PARA SUELOS NO COHESIVOS SE PUEDE COMBINAR NEUMATICO GRANDE Y RODILLO VIBRATORIO.



Y ES ASI, QUE CON ESTOS  
PRINCIPIOS BASICOS DE  
COMPACTACION, PODEMOS  
SELECCIONAR EL COMPACTADOR  
MAS ADECUADO EN NUESTRA  
VIDA PROFESIONAL, EN LA  
COMPACTACION DE CORTINAS  
DE TIERRA, CAMINOS, AEROPISTAS  
TERRAPLENES DE FERROCARRIL O  
PAVIMENTOS, DEPENDIENDO  
DEL TIPO DE SUELO . . .  
. . . Y LA MARAVILLA DE NUESTRA  
CIENCIA Y TECNOLOGIA,  
QUE AL AVANZAR EN ELLA,  
YA SEA EN NIVELES SENCILLOS  
O COMPLEJOS,  
EN LUGAR DE AGOTAR EL OBJETIVO  
DE NUESTRO ESTUDIO,  
ABRAMOS PUERTAS MAS LEJANAS  
Y A UN CONOCIMIENTO MAS  
ABUNDANTE . . .



F I N

# **VII CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

La forma de mejorar los elementos mecánicos de un suelo es la compactación, que se logra a través de la reducción de vacíos, con lo que se consigue una alta resistencia mecánica la cual elimina casi totalmente los asentamientos, y se aumenta la impermeabilidad de los suelos.

La compactación se logra transmitiendo esfuerzos al suelo con el equipo adecuado dependiendo de la aplicación de uno o la combinación de los siguientes efectos: Presión Estática, Amasamiento, Impacto y Vibración.

Los factores más importantes para obtener una buena compactación son: El tipo de suelo, Contenido de Humedad y los Esfuerzos de Compactación que se apliquen.

Las características propias de cada equipo de compactación, el tamaño de la obra y los requerimientos especiales de la misma y principalmente el tipo de suelo, nos permitirá seleccionar el compactador más adecuado, tomando siempre en cuenta el aspecto económico.

Los compactadores más versátiles son actualmente los equipos vibratorios autopulsados por la combinación de efectos que pueden aplicar al suelo y su fácil maniobrabilidad.

Se pueden usar varios equipos de compactación

con el fin de aplicar varios efectos y obtener los -  
acabados deseados, dependiendo del suelo a compactar.

Para la selección del equipo podemos considerar  
las siguientes conclusiones:

- Para suelos cohesivos, se debe preferir Pata  
de Cabra Vibratoria o Rodillo de Impacto.
- Para suelos No Cohesivos, es más usual el Ro  
dillo Liso Vibratorio.
- Para todos los suelos, el Podillo Neumático.

Las mejores combinaciones de equipo son:

- Para suelos cohesivos, Neumático Grande y Pa  
ta de Cabra  
o  
Neumático y Rodillo de Impacto.
- Para suelos No Cohesivos, el Neumático Gran-  
de y Rodillo Vibratorio.

B I B L I D G R A F I A

MOVIMIENTO DE TIERRAS

H. L. Nichols Jr.

MECANICA DE SUELOS - TOMO I y II

E. Juárez Badillo

A. Rico R. - 1970

LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS  
TERRESTRES - VOL. 1

Alfonso Rico

Hermilo del Castillo

Limusa

COMPACTACION DE TERRENOS TERRAPLENES  
Y PEDRAPLENES

Francisco Arredondo

Verdú Giménez

Editores Técnicos Asociados

MOVIMIENTO DE TIERRAS

Colegio de Ingenieros Civiles

MECANICA DE SUELOS

Carlos Crespo

BREVE DESCRIPCION DEL EQUIPO USUAL  
EN CONSTRUCCION

Departamento de Construcción

Facultad de Ingenierfa, UNAM.

**CURSO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS**

**"COMPACTACION"**

Ing. Federico Alcaraz Lozano

**"EQUIPO DE COMPACTACION"**

Ing. Conrado Luer Dorantes

Centro de Educación Continua,

Facultad de Ingeniería, UNAM - 1974

**CURSO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE  
PAVIMENTOS**

**"ELECCION DE EQUIPO"**

Ing. Roberto Pasquel Lujan

Centro de Educación Continua,

Facultad de Ingeniería, UNAM - 1974

**CURSO DE ESTABILIZACION DE SUELOS**

**"RODILLOS VIBRATORIOS"**

Industria del Hierro

Museo Tecnológico C.F.E. - 1973