



24
Gen.

Universidad Nacional Autónoma de México

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PLANTEL ARAGON

PROCESO DE ESTABILIZACION Y
COMPACTACION DE SUELOS

T E S I S

Que para obtener el Título de
I N G E N I E R O C I V I L
P r e s e n t a

OSCAR RUIZ URBANO

México, D. F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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

	Págs.
INTRODUCCION	
CAPITULO I.- Pruebas de laboratorio para la- Elección de Suelos.	6
CAPITULO II.- Características de los Suelos Se- gún su clima y Geología.....	23
CAPITULO III.-Estabilización de Suelos.....	36
CAPITULO IV.- Compactación de los Suelos.....	74
Conclusiones y Recomendaciones	129
Bibliografía.....	131

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

Las fases fundamentales regidas en una Construcción, se remarcán, por la distribución adquirida de los planes y programas desarrollados durante el concurso de una obra, así mismo los papeles que juegan la calidad y economía reflejan la optimización y la experiencia desenvuelta en el transcurso de la obra y en la vida útil de esta.

La importancia de la mecánica de suelos es la base elemental y fundamental en cualquier construcción y de ella depende la seguridad y comodidad para el servicio social y sobre todo, para el buen desarrollo en el transcurso de la vida útil de la obra, es por eso la importancia de la estabilización y compactación no sólo por el simple hecho de utilizarlos, a fines técnicos, sino es una forma básica para reducir económicamente el Grado de Mantenimiento y sobre todo el costo inicial de la obra.

Existen distintos factores fundamentales, dentro de la reducción de costos en una obra, pero es fundamental pensar en las zonas previstas donde se pretende construir y sobre todo tomar en cuenta, los agentes naturales directos que influyen para la elaboración de una obra. Los datos Geotánicos son base fundamental, para el muestreo inmediato y de esta forma, lograr todas las pruebas requeridas para la obtención de pará-

metros indicadores en la solución rápida de las decisiones del proyecto.

Las cimentaciones son la fase inmediata de cualquier obra tanto en vías terrestres, como en presas y edificación, - por eso el mejoramiento de las calidades de los suelos, así como sus compactaciones son motivo de tomar en cuenta para el desarrollo vital de cualquier obra.

El hecho de compactar no quiere decir aplicar una carga al suelo para lograr una resistencia requerida sino también se hace necesario llevar no sólo una secuencia o proceso a elaborar, también requiere de un análisis minucioso del suelo para elegir la maquinaria indispensable y el elemento básico para obtener pesos volumétricos óptimos del suelo. En cuanto a las estabilizaciones es la parte inicial para tratar un suelo y de esta forma dar mayor calidad por medios reaccionantes a cualquier tipo de suelo, siempre que cuente con las características indispensables requeridas para su proceso.

Los diferentes procesos de estabilización se derivan principalmente, de la economía y su forma de trabajar, dando mayor variabilidad en el cambio estructural del suelo.

C A P I T U L O 1

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA LA ELECCION DE SUELOS.

Los grandes volúmenes manejados en una obra, requieren de buena calidad y una utilidad óptima para el adecuado -- trabajo de una construcción. Sus bases elementales se deducen de los diferentes tipos de suelo y de las propiedades presentadas por cada uno de ellos.

Las pruebas de los suelos deben ser controladas, y de estas dependen la seguridad y decisión de trabajo al discernir sus capacidades mecánicas afrontadas a los interperismos -- tanto mecánicos como químicos.

Los datos geotécnicos, son base fundamental para recibir las pruebas de muestras tanto alteradas como inalteradas y de ellas depende el análisis efectivo de las pruebas para -- dar mayor confianza y desempeño a realizarlas. Las pruebas más importantes dentro de una estabilización y una compactación, -- son en sí las consideradas como pruebas índice y pruebas mecánicas, sus valores se reflejan en su modo de empleo, en este -- caso las más importantes dentro de nuestro tema serían:

Prueba de granulometría

Prueba de sedimentación

Prueba de plasticidades

Prueba del V.R.S.

Pruebas de compactación

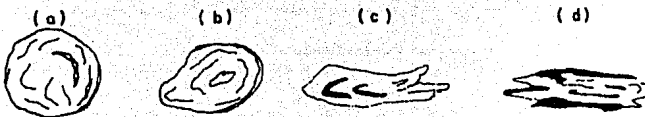
Es conveniente aclarar que cada suelo se compone de una inmensa cantidad de partículas y todas ellas obedecen a un sistema de orientación natural y a sus fases de alineación fundamental, es por eso que la forma y la textura también se emplean para tener una influencia bajo la sistemática forma de utilizarlos.

FORMA DE LA PARTICULA:

Se relaciona ampliamente con la relación de vacíos y las compacidades ofrecidas por cada uno de los suelos, deduciendo el método de trabajo a emplear.

Todos los suelos ofrecen una forma muy variada de sus partículas y cada una de estas es importante para su clasificación; (redondeadas, subredondeadas, semi-angulosas y angulosas, ver figura).

FIG. I. I



Formas Típicas de partículas de un suelo

En este caso las redondeadas son partículas de un suelo con características elementales, como la de los fondos de los ríos. Se adquiere esta forma debido al constante movi-

miento de las aguas. Este mismo caso sucede para los suelos -- con partículas subredondeadas, pero con una uniformidad y -- orientación diferente.

Las partículas semiangulosas y angulosas son elementos característicos de los suelos atacados con el intemperismo mecánico, su forma se altera en las aristas cuyo filo se refleja en la partícula. Un típico caso de estas partículas se puede observar en el confitillo artificial, extraído de las trituradoras o quebradoras industriales. En ocasiones estos suelos con dichas partículas son más recomendadas, por la relación de vacíos reducida cuando está combinada con suelos finos, para una mejor orientación por medio del vibrado.

Los suelos finos presentan una forma muy especial e interesante de conocerla, debido a la relación de vacíos y cohesión natural presentada al sedimentarse. Las estructuras más conocidas en estos suelos son panaloide y floculenta, la primera esta compuesta de partículas sumamente pequeñas que se adhieren entre sí antes de llegar a su destino de caída, formando en pequeños grumos semejados a panales de abeja.

La segunda se forma del mismo proceso pero con un -- conglomerado de partículas del suelo, dicha formación también se le denomina panaloide de orden superior.

TEXTURA DE LAS PARTICULAS:

La textura es muy importante en las partículas de los suelos, por la presentación del grado de fricción y cohesión de los suelos, así como el de analizar la resistencia al esfuerzo cortante de su compactación, dependiendo de los asentamientos y orientación natural de la partícula.

Las partículas angulosas y subangulosas son en su mayoría muy friccionantes por la rugosidad presentada en la superficie de esta, la rugosidad de las partículas muy friccionantes es provocado por el golpeteo mecánico o natural constante al suelo rocoso. Los suelos finos por lo general son cohesivos y su reacción química con el agua, liga a las partículas entre sí, dándoles mayor resistencia y compactación al suelo.

Los suelos cuya textura son lisas, en general son de forma redondeada debido al movimiento de las partículas conforme a el escurrimiento del cauce de los ríos.

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS:

El tamaño de las partículas desempeña un papel muy importante en la clasificación de un suelo, y liga su estructura y las formas de cada uno de ellos.

Sin duda alguna es la primera prueba realizada para poder identificar, a las gravas, arenas y suelos finos, aclarando que un suelo fino responde también a las propiedades plásticas del mismo suelo. Esta prueba es muy conocida como la

de lavado o granulométrica.

PRUEBA DE GRANULOMETRIA.

Anteriormente esta prueba se realizaba dividiendo la muestra en cuatro partes de diferente tamaño de partículas a cada división elaborada, esto no era muy conveniente por la gran variedad de tamaños de cada uno de los suelos, por los constantes errores y fallas en la prueba. Más tarde con la evolución de la técnica del disgregado de los suelos, se da mayor auge y confianza en los resultados, no fué hasta la invención de los tamices con malla de abertura variable y grado de intervalo entre 3" a 0.038 mm.; la prueba de granulometría no sólo abarca los tamaños indicados anteriormente, sino también enlaza a suelos finos que atraviesan la malla # 200; para conocer el diámetro de estos suelos se usa el método de suspensión de caída de la partícula por medio de la velocidad según la ley de STOKES, dicho aparato se le nombra hidrómetro. A continuación se mencionan los pasos para elaborar la prueba, marcando en su totalidad el proceso a realizar.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA:

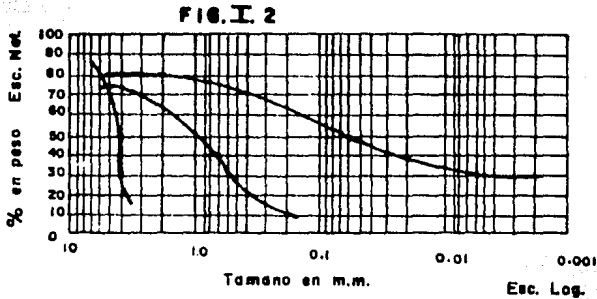
- 1.- Se pesa la muestra en estado seco de preferencia se recomienda, antes introducirla al horno para tener un control sobre la humedad.
- 2.- Se introduce la muestra a los tamices y se cie--

rra herméticamente para proseguir a colarlos, la distribución de tamaños se realiza de acuerdo con un agitador mecánico de función eléctrica.

3.- Se separa cada uno de los tamices y se pesan por separado para obtener los porcentajes de cada malla.

4.- Una vez sacado los porcentajes se prosigue a graficar los resultados.

La gráfica es de tipo semi-logarítmica, cuyas abscisas son el diámetro efectivo de las partículas y las ordenadas son el porcentaje del peso acumulado de cada malla, ver figura.



Al graficar la curva mostrada anteriormente, motivada a dar una solución inmediata de su granulometría, ya que una curva extendida como se muestra en la fig. 1.2 indica un suelo con una gran variedad de tamaños en sus partículas, caso contrario una curva casi vertical y corta nos indica un suelo con alto contenido de partículas homologas.

La siguiente expresión indica la uniformidad de cada suelo y depende del diámetro y su porcentaje en peso acumulado de cada tamiz:

$$U = \frac{D(60)}{D(10)}$$

Donde:

- U = Coeficiente de uniformidad.
- D(60) = El tamaño de la par. con un 60% de peso acumulado.
- D(10) = El tamaño de la par. con un 10% de peso acumulado.

Para que un suelo cumpla con las características de uniformidad, se le puede considerar cuando es menor a tres, -- aunque es muy raro encontrar un suelo natural con esas características. En la práctica cuando un suelo tiene una uniformidad de siete se le considera como un suelo adecuado para trabajar.

Para un suelo bien graduado se utiliza la siguiente expresión y comunmente se le denomina coeficiente de curvatura.

$$C_c = \frac{(D(30))^2}{D(60) \times D(10)}$$

Donde:

- C_c = Coeficiente de curvatura.
- D(30) = El tamaño de la par. con un 30% de peso acumulado.

Un coeficiente de curvatura ideal para un suelo se muestra cuando su rango oscila entre uno y tres, y es cuando un suelo está bien graduado.

CLASIFICACION DE LOS SUELOS SEGUN SU TAMAÑO:

Los tamaños de las partículas promueven e identifican la clase de suelo a la que pertenecen, debido a eso la S.A.H.O. P. ha definido claramente las dimensiones según su forma o tamaño físico.

	grandes	75 cm. a 100 cm.
ROCAS	medianas	30 cm. a 75 cm.
	chicas	7.5 cm. a 30 cm.
GRAVAS	las que pasan la malla de 3" y son retenidas por la malla # 4.	
ARENAS	son todos los que pasan la malla # 4 y son retenidas -- por la malla # 200.	
SUELOS FINOS	son todas las partículas cuyo diámetro es menor - que la malla # 200.	

PRUEBA DE SEDIMENTACION

Esta prueba es muy utilizada para saber las condiciones del suelo o sea, ver si es demasiado arenoso, arcilloso, limoso o con alto contenido de materia orgánica, aunque se tienen que hacer varias muestras para un sólo tramo, la práctica recomienda elaborarlas para evitar fallas en cualquier construcción.

PROCEDIMIENTO:

La muestra debe elegirse en diferentes zonas y profundidades y sobre todo la muestra debe ser pasado por la malla -- # 4.

1.- Se coloca una muestra en una probeta de 1000 mml.

2.- Se agrega agua destilada en la probeta con la muestra y se mezclan hasta saturar totalmente el suelo.

3.- Se dejan reposar durante 24 hrs. y se observan los resultados. La secuencia del asentamiento de las partículas es debido al peso que tienen las arenas, arcillas, limos y materia orgánica.

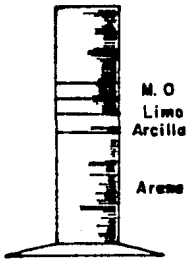


FIG. I. 3

Secuencia de Asentamiento -
en una muestra, en la prueba
de sedimentación.

Fig. I.3

PRUEBA DE PLASTICIDADES.

Todo suelo tiende a tener determinado tipo se características hidráulicas y cada uno de ellos responde a la capacidad de equilibrio y desequilibrio con la humedad. Así como el acero tiene un límite de esfuerzo para mantener su elasticidad, el suelo responde en tener una etapa donde no es semilíquido, ni semi-sólido y su grado de humedad, hace dependiente a el suelo para manejarlo.

SOLIDO	SEMI SOLIDO	INDICE DE PLASTICIDAD	SEMI LIQUIDO	LIQUIDO
--------	----------------	--------------------------	-----------------	---------

L. Plastico L. Liquido
Secuencia de los Estados Húmedos de un Suelo.
FIG. I. 4

Esta prueba es muy común para todos los suelos finos y responde a las exigencias básicas de limos y arcillas de alta y baja compresibilidad, ya que las arenas tienen siempre un índice plástico igual a cero.

PROCEDIMIENTO:

La prueba del límite plástico se basa principalmente, en la copa casagrande que en forma indicada se trabaja para obtener buenos resultados.

1.- Se toma una muestra de suelo que pasa la malla - # 40 y se mezcla con agua simple a experiencia del laboratorista.

2.- Se toma una porción de la mezcla con una espátula y se coloca en la copa casagrande, se recomienda que no exceda los ocho mm del fondo de la copa.

3.- Se divide la muestra con un ranurador de sección romboidal y dimensión de un cm. en la parte superior y dos mm. en la base inferior. Se recomienda también utilizar un ranurador plano para facilitar el procedimiento.

4.- Se prosigue a golpear la copa con una manivela - incluida en el aparato de la base de la copa, la altura tendrá que ser calibrada a manera de tener una caída de un cm. aproximadamente. La variación de los golpes debe de estar determinada con la cantidad de dos por segundo.

El número de golpes para poder graficar es hasta de 50, como máximo para cerrar la ranura; como mínimo se establece un total de cinco golpes para cerrar la ranura, es claro saber conocer que a mayor humedad es menor el número de golpes y viceversa. Normalmente se sacan tres testigos de prueba para cada muestra con diferente humedad o número de golpes. Para -- realizar la pendiente y de esta forma obtener el límite líquido. Para alcanzar el límite líquido de un suelo, los golpes deben de ser igualados a 25 para que la ranura se cierre y sea exacta la prueba, la dificultad radica en el porcentaje de humedad agregado en los testigos de prueba, es por eso que no -- conviene intentarlo de esta forma, ya que es demasiado tardado y también pueden existir errores humanos.

Los testigos de prueba se ponen a secar en un horno sencillo hasta 24 hrs., y en horno de micro-ondas máximo en -- una hora, es claro hacer notar que todos los testigos de prueba realizados se deben pesar antes de introducirlos al horno y después de sacarlos.

El procedimiento de la prueba para el límite plásti-

co resulta de menor grado de dificultad, ya que de cada prueba de límite líquido se usa la misma muestra pero en mínimas cantidades para formar hilos amasados con la palma de la mano sobre una superficie lisa, es recomendable usar un vidrio grueso, el diámetro del hilo debe de ser aproximadamente de tres mm. - cuando la superficie de el hilo presenta un agrietamiento entonces se dice que el suelo esta en su L.P., posteriormente se coloca en taras pequeñas o vidrio de reloj para poderlas pesar e introducirlos al horno.

La diferencia entre el límite líquido (L.L) y el límite plástico (L.P), nos da como resultado el índice plástico (I.P.) del suelo. El índice plástico de un suelo es el rango estable entre un líquido y un sólido y su intervalo se limita al resultado obtenido en la prueba.

Cuando se rebasa el límite líquido el suelo comienza a saturarse, y cuando comienza a perder humedad y rebasa el límite plástico, el suelo comienza a contraerse hasta agrietarse, sufriendo una contracción lineal el suelo. La contracción lineal se puede obtener de dos formas, una teóricamente en base a la plasticidad del suelo y la otra por medios prácticos, como es el de colocar la muestra analizada en un rectángulo de sección de uno x un cm., y longitud de diez cm., posteriormente se procede a colocar la muestra en el horno hasta estar totalmente seca. el porcentaje de contracción es el tanto por --

ciento contraído del suelo de prueba.

PRUEBA DEL V.R.S.

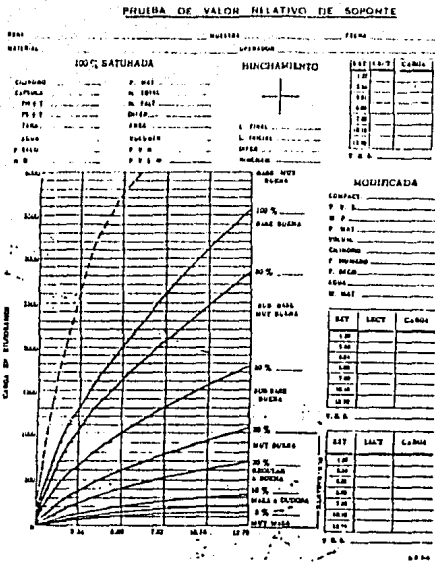
La prueba del valor relativo soporte (V.R.S.), es una prueba estandarizada bajo una serie de pruebas a suelos con una resistencia a diferentes cargas de presión.

La mayoría de las veces la prueba se ha estandarizado con suelos de caliza triturada por el departamento de carreteras de california. Su procedimiento a continuación se menciona de acuerdo con las normas establecidas por dicho departamento.

- 1.- Se compacta el suelo hasta su humedad óptima.
- 2.- La muestra debe estar sometida en un cilindro para colocarle una ahuja de sección aproximada a los 19.32 cm^2 .
- 3.- Se comprime a 0.125 cm./min. hasta 1.27 cm. de profundidad.

Las profundidades son calibradas por un deformímetro contenido en la prensa hidráulica, en la cual registra las cargas recibidas en cada minuto.

Una vez obtenido las deformaciones y las cargas, éstas se grafican en el patrón establecido, (ver figura).



Forma para calcular una --
 Prueba de V.R.S.

Fig. I.5

PRUEBAS DE COMPACTACION

Dentro de las pruebas de compactación para laboratorio encontramos dos de diferente forma para cada tipo de suelo. Estas pruebas se clasifican según la granulometría y de esta depende el proceso y elaboración de cada una de ellas.

La prueba PROCTOR Y PORTER son conocidas principalmente como las pruebas base para todo tipo de compactación.

PRUEBA PORTER

Es muy aplicable a suelos cuyas granulometrías o tamaño es mayor al 20% de retenidos por la malla # 4, su aplicación responde a los siguientes Pasos.

- 1.- Se coloca una muestra del suelo en un cilindro de

diámetro de 15 cm. con una altura de 20 cm., la muestra se deposita en tres capas apizonadas con una varilla de punta de bala con longitud igual a los 30 cm., el total de golpes por capa es de 25.

2.- Se somete a una presna y se le aplica hasta 26 - ton. con una presión de 140.6 Kg/cm^2 ., igual para toda su área durante cinco minutos.

3.- Al concluir la carga en el lapso de tiempo establecido; si se observa una impregnación de humedad en el cilindro entonces la prueba ha concluido ya que está en su peso volumétrico seco máximo.

4.- Se toma un testigo de prueba y se introduce en una tara para colocarla en el horno, dejandola secar durante 24 hrs. Es importante aclarar que antes y después de sacar el testigo de prueba se tiene que haber pesado.

Cuando no se tiene la suficiente experiencia, la prueba resulta ser de demasiado conflictiva, ya que a veces se requiere de bastantes intentos para lograr su humedad óptima.

Normalmente se requiere de un mínimo de 30 kg. de suelo para lograr esta prueba y en ocasiones cuando el laboratorista es falto de experiencia se requiere de más cantidad de la muestra.

PRUEBA PROCTOR

La prueba PROCTOR se utiliza en suelos cuyo porcenta

je de retenidos por la malla # 4, es menor al 20% en peso. Existen cuatro diferentes tipos de obtener el P.V.S.M. y cada uno de los métodos responde a las necesidades requeridas para la obra.

- 1.- Prueba proctor estandar.
- 2.- Prueba proctor AASHTO.
- 3.- Prueba proctor SAHOP.
- 4.- Prueba proctor miniatura.

Todas las pruebas llegan al mismo resultado aunque su procedimiento y material de trabajo sea diferente, ya que los porcentajes entre 20% y 0% son muy importantes para decidir el tipo de la prueba.

La cantidad del suelo requerido para elaborar la prueba es de aproximadamente 10 kg. para las tres primeras y la cuarta con dos kg., puede ser suficiente.

1.- Los materiales requeridos para la prueba proctor estandar es la muestra, un cilindro de 10 cm., de diámetro con una altura de 12.5 cm., se usa un martinete de 2.5 kg., parecido a una varilla con punta chata, que se deja caer a 30 cm., de altura. El número de capas por prueba es de tres, compactadas con 25 golpes por capa.

2.- La prueba proctor AASHTO, se realiza con un martinete de 5 kg., un cilindro de 15 cm., de diámetro con una altura de 20 cm. La caída del martinete es de 50 cm., y el número -

de golpes por cada capa es de 55.

3.- Prueba proctor SAHOP, su procedimiento es parecido a la prueba estandar únicamente difiere en el número de golpes por capa. La experiencia ha recomendado usar cada prueba -- por el número de los porcentajes retenidos por la malla # 4, -- sin exceder a el porcentaje anteriormente mencionado.

RECOMENDACIONES:

Proctor SAHOP: Suelos con más del 10% de retenidos -- por la malla # 4, en peso y menos del 15%.

Proctor estandar: Suelos con menos del 10% de retenidos en peso.

Proctor AASHTO: Para suelos con más del 15% y menos -- al 20% de retenidos por la malla # 4.

Prueba miniatura o Harvard: Su utilización se reduce a la carencia de la muestra o la insuficiente como para poder -- utilizar otra; el equipo necesario, es de un molde, con un diámetro de 3.3 cm. y una altura de 7.2 cm., cuenta el cilindro -- con una extensión removible de 3.5 cm. y una placa metálica para la base, el apizonamiento es con un martinete de 1.5 kg., -- con una caída de 30 cm. para compactarla, el número total de -- golpes por capa es de 20, enlazadas en tres capas por prueba.

C A P I T U L O I I

CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS SEGUN SU CLIMA Y GEOLOGIA.

Desde el inicio de la formación de la tierra, las formas geológicas y el clima han intervenido en la clasificación y distribución de los suelos, así como han marcado la pauta para dotar las características y propiedades de los suelos. Sin duda alguna los datos obtenidos por las pruebas elaboradas, dan un interesante resultado del comportamiento del suelo a través de las construcciones, aunque en ocasiones se debe contar determinantemente con el clima y la formación geológica de la zona donde se pretende construir, y de esta forma, tener un margen de seguridad, comodidad y vida útil de la obra.

Regularmente todos los datos obtenidos, no siempre responden al uso total de seguridad, y en ocasiones para facilitar los trabajos o dar una mayor estética en la construcción, traen como consecuencia problemas altamente costosos de mantenimiento y con un constante peligro de vidas. Tal es el caso de la carretera que va desde Ensenada a Tijuana, así como las construcciones altamente pesadas y que con el paso del tiempo, se reflejan hundimientos diferenciales, altamente apreciables.

Los suelos han tenido cambios considerables por las reacciones químicas hechas por las constantes lluvias y la humedad que dejan en algunas zonas determinadas, así pues los eg

tados secos y la influencia obtenida por las contracciones de alto grado y de un significado relevante para el ingeniero residente.

CLIMAS:

Fundamentalmente el clima juega un papel muy importante dentro de nuestro país, por la gran variedad, y permite tomar una serie de factores, por el alto o bajo grado de humedad del suelo. Las condiciones no solo se inclinan al poder ser manejados en la construcción, sino se adentran al aprovechamiento total en la agricultura. Es claro reconocer que un suelo - útil a la agricultura, no es útil para las obras civiles, reduciéndose de esta forma la amplia gama de variedades avocadas al suelo.

ZONAS FRIAS Y TEMPLADAS HUMEDAS:

Estas zonas son muy comunes en el centro del país y parte del norte, como son el estado de Sonora y Chihuahua; en su parte céntrica abunda la vegetación, con un grado regular activo que al morirse cae al suelo para reaccionar y transformarse con las humedades existentes de las zonas. Los lentos cambios aceleran la meteorización, debido a la disminución de ácidos reductores, provocando un alto grado de arcillas caolinitas, carbonatos soluble y minerales de hierro.

Como se sabe las arcillas caolinitas, son suelos muy-

estables en cuanto al ataque de las lluvias, permitiendo un margen de seguridad en cuanto a expansiones y contracciones. Son resistentes por la cohesión ejercida por su estabilidad con la mezcla de otros suelos granulares, estableciendo un margen de seguridad y vida útil.

CLIMAS SECOS:

En este tipo de climas la vegetación desciende a tal grado que resultaría complicado mantener una serie de relaciones vegetales con el suelo, su capacidad de absorción es mínima, debido al grado de evaporación formado por las altas temperaturas, su importancia radica en los compuestos solubles, como los carbonatos y sales minerales formadas por la cementación del suelo.

Por lo general en estos climas, los suelos son muy duros en estado seco, pero al recibir un indicio de humedad pierden rápidamente su resistencia y cementación, recomendando de esta forma, el usar este tipo de suelo con extremada precaución, cuidando las infiltraciones e impermeabilizar con otro tipo diferente de suelo.

ZONAS FRIAS:

En zonas frías como las del norte del país, en épocas de invierno, son atacadas en su mayoría por fuertes nevadas que alteran la resistencia del suelo, a veces alcanzando a congelar

las pequeñas corrientes subterráneas y de esta forma la capilaridad de la estructura.

El proceso se inicia al reducirse la temperatura para que la velocidad del agua disminuya y de esta forma se congele. Al congelarse el suelo, el volumen se incrementa hasta en un diez por ciento de sus dimensiones originales, ampliando la porosidad o el orificio donde corre el agua, posteriormente comienza el deshielo con el aumento de la temperatura, y de esta manera el agua trata de proseguir el camino que originalmente llevaba, pero con un mayor gradiente, por el amplio diámetro producido por la helada. Este fenómeno reduce la capacidad de la resistencia del suelo y por supuesto la permeabilidad se aumenta en esta zona.

Las investigaciones realizadas sobre la relación clima-suelo, han dado un grado tecnológico para prevención de proyectos por la relación de datos obtenidos mediante pruebas de laboratorio, sobre las formas y características presentadas en un suelo.

Los datos geotécnicos han elaborado una serie de indicadores modificando y facilitando el proceso constructivo, dando una mayor reducción económica y sobre todo una máxima eficiencia en el trabajo.

GEOLOGIA E INTEMPERISMOS.

Los problemas presentados recientemente en una obra han relacionado al suelo con su geología, así como los intemperismos que han atacado a dicha zona.

Por tal motivo se recomienda un estudio minucioso de la formología y situación historial del lugar en donde se pretende formar la obra. Los elementos a considerar son el grado destructivo por la intemperie, la sismología y los efectos con traproducentes; en última opción, las estratificaciones y asentamientos naturales provocados por las deterioraciones del suelo.

La humedad también influye en este factor, en cuanto a que, de esta depende la resistencia y cohesión del suelo, la capacidad infiltrante produce presiones internas con gradientes hidráulicos excesivos, provocando deterioraciones y efectos simultáneos en la construcción.

TUBIFICACIONES:

El agua es lo más servicial en una obra, pero cuando no se le controla los efectos producidos son de alto grado destructivo, provocando una inseguridad e incomodidad dentro de la obra y hasta en algunos casos pérdidas de vida.

La tubificación es un típico caso de los efectos de las infiltraciones de agua en épocas de lluvia o simplemente -

por desbordamientos de presas o ríos adjuntos a las zonas donde se pretende construir. La tubificación reduce la resistencia a la compresión simple, así como los pesos volumétricos debido al aumento de la porosidad, relación de vacíos y permeabilidad, -- siendo estos muy susceptibles a los agentes erosivos del suelo. El arrastre de las partículas y su movimiento en las zonas internas de las capas amplían las hoquedades con el paso del tiempo, hasta formar tubos de pequeñas dimensiones, pero en grandes cantidades, para debilitar completamente la resistencia del suelo.

Existen dos formas para predecir y localizar una tubificación, la primera es cuando hay un indicio de posibles corrientes subterráneas ya estratificadas con mantos impermeables y la segunda es debido a las cimentaciones de suelos transportados en ríos de temporal. Un ejemplo muy claro son las zonas de minas cuya perspectiva dan una secuencia a este problema, un típico caso son las que se encuentran al oeste del D.F. conocidas como las minas de SANTA FE, cuyo problema han sido los hundimientos repentinos del suelo con cualquier carga o movimiento suministrado.

Las zonas de Veracruz, Tabasco y Chiapas, también son ejemplos típicos a estos accidentes por tubificación, ya que la humedad y lluvias de la zona provocan una erosión al suelo para incrementar el nivel de infiltración y por consiguiente la tubi

ficación.

LICUACION:

Las zonas con alto grado sismológico y principalmente húmedas, como los estados de Oaxaca, Chiapas, Tabasco y Veracruz, son lugares muy propensos a la licuación de los suelos y de constante peligro a la deterioración con elevadas fuerzas de construcciones y objetos naturales. Es caracterizada en suelos con un contenido menor al 20% de finos, una uniformidad menor a siete y están propensos a tener constantemente humedades excesivas. Los sismos son también parte fundamental para llegar al colapso de la licuación, ya que un movimiento oscilatorio o tripidatorio condensa una gran energía dentro del suelo.

La energía condensada se almacena debido a las presiones internas provocadas por el agua infiltradas en las capas del suelo, cerrando totalmente los poros debido al movimiento, evitando el escape de las presiones y energía almacenada del agua, hasta llegar a un impacto impresionante en el suelo.

De hecho la licuación es un fenómeno recientemente estudiado debido a la gravedad estructurada que esto significa. La gravedad es dependiente de los siguientes cuatro puntos:

- 1.- La profundidad de las capas del suelo sujeto a licuación.

2.- El confinamiento de las capas y el área sujeta a la licuación.

3.- Intensidad y duración del sismo.

4.- Diseño estructural de las construcciones.

Estos cuatro anteriores puntos son básicos para enmarcar la gravedad o el grado de daño que puede ocasionar una licuación, pero sin duda alguna la mejor forma de prevenirlos es con un breve análisis de laboratorio con muestras de la zona donde existe la duda.

DESLIZAMIENTOS:

Son movimientos de forma lenta o instantánea, todo depende de la naturaleza del suelo. Tal es el caso de las reacciones o el fenómeno de Creep, conocido como un deslizamiento natural, debido al propio peso del suelo, donde normalmente son movimientos lentos, que arrastran, no solo con indicios de materia orgánica sino hasta los más grandes árboles ubicados en la zona. Produciendo a gran escala altos contenidos de turba y mezclas químicas que pueden ser problemáticos para cualquier tipo de construcción.

Este deslizamiento es muy fácil de detectar, ya que la inclinación de árboles se hace visible por la carga recibida, así como también se detectan estos movimientos mediante lapsos de tiempo con un inclinómetro.

Un ejemplo visible a este problema es el sucedido en Baja California norte, a lo largo de la carretera Ensenada-Tijuana, donde el nivel de estudio y la alta tecnología no han podido resolver este problema, trayendo como consecuencia un alto costo de mantenimiento, por no haber tomado las medidas necesarias en el proyecto.

Los deslizamientos rápidos y los hundimientos repentinos, son accidentes naturales ocurridos a diario, su principal causa, son la insuficiente cohesión de los suelos, cuando están propensos a demasiadas infiltraciones y humedades debidas a las lluvias que al recibirlas sufren desgarramientos laterales por incrementos del momento motor, aumentando así los efectos del peso de cargas vivas y muertas, no permanentes. Es decir se eleva la carga por la humedad y estructuras montadas sobre laderas del suelo en un cerro principalmente.

Estos fenómenos son muy comunes en la carretera que va hacia Veracruz y Tabasco, zonas donde la excesiva humedad y lluvia no solo erosionan el suelo sino la filtración rompe la cementación hasta producirse un colapso de movimiento.

De los anteriores puntos mencionados, se llega a la conclusión de ver la importancia de analizar y estudiar, no sólo los comportamientos mecánicos de los suelos, sino también el de encontrar perfiles estatigráficos y pedafológicos para designar una geología aceptada de la zona, así como la sismolo

gía del lugar durante un periodo considerable en máximos sucesos. De esta forma sólo podremos confiar en algo seguro y cómodo para la obra.

Cuando en una obra se detectan problemas de tipo geológico, sismológico, humedad o simplemente del suelo, entonces se deben tomar muchos factores, pero lo más importante, es el de evitar un posible problema como en el caso de deslizamiento, hundimientos, tubificaciones, etc.

Muchos suelos se prestan para dar una solución inmediata, así como los deslizamientos rápidos o lentos, pueden detenerse momentaneamente con la construcción de muros de carga para detener la masa del suelo y evitar cargas hidrostáticas con la construcción interna de drenes y filtros. Otra solución es de aumentar el momento resistente con bermas de suelos cuyo peso equilibre los momentos, tanto resistente como motor.

Las cimentaciones son la parte más importante en una construcción y por eso se deben tomar medidas de seguridad en cuanto a humedad e infiltraciones referidas, en este caso la humedad de un suelo saturado o semisaturado es extraída por medio de incrustaciones de roca a presión o por apizonamiento de la misma roca que al incrustarse expulsa el agua del suelo y lo seca hasta dar una humedad adecuada, incrementando la resistencia para mejorar las propiedades del suelo. Estos métodos de incrustación son muy usados en las zonas pantanosas y prin-

principalmente en lugares tropicales donde la lluvia es casi permanente y la erosión producida es de un alto grado de destrucción.

En zonas semi-saturadas, ha dado un buen resultado la colocación de pilotes para dar resistencia a los suelos por medio de su endurecimiento al introducirse a profundidad, es muy común hacer un análisis de costos para aprobar el proceso, ya que en realidad es de un gasto muy elevado.

Otro de los problemas presentados en una obra y quizás uno de los más importantes es la consolidación del suelo cuando se está construyendo a lo largo de su vida útil, muchos contratistas resuelven el problema con el uso de la preconsolidación, es decir construyen un terraplen de dimensiones superiores a las de proyecto y una vez transcurrido un periodo de tiempo razonable se dá una emparejada a nivel de proyecto original, de acuerdo con las normas establecidas, es común comentar los resultados arrojados por el anterior proceso pero lo importante es considerar la calidad de trabajo realizado.

La preconsolidación es un estado constructivo que tiene por opción el de sobresalir en diferentes formas para evitarse, la forma de acelerado también puede ser por medio de un desequilibrio de presiones, tanto atmosféricas como hidrostáticas y así ganar tiempo por la rapidez de desarrollo del proceso.

Este proceso es utilizado con frecuencia en todo tipo de obra y se le conoce como tubos de absorción vertical, este sistema no sólo tiene efectividad dentro del campo de la construcción, sino también evita las capilaridades y filtraciones del agua sobre las capas superiores del suelo. Los tubos verticales se introducen perpendicular a las capas del suelo a una profundidad variable entre los cuatro y seis metros de longitud, dependiendo de la necesidad requerida, y la separación no varía entre los veinte metros, sobre la misma línea. Su composición es de tubos ahujados rellenos de arena y grava limpia con una relación de vacíos alta a manera de no proseguir con una capilaridad y romper más fácilmente con el equilibrio de presiones.

El método de los tubos verticales ha dado una excelente pauta para seguir día con día las investigaciones sobre el mejoramiento del suelo, y de esta forma modificar las normas existentes logrando una mayor eficiencia y una economía adecuada a cada trabajo, tal es el caso de los suelos armados cuya invención ha modificado la secuencia de trabajo, en cuanto a que el mismo armado hace trabajar a los suelos a tensión evitando los amplios terraplenes y sobre todo reducir los espesores de muros de contención. El uso del suelo armado fué analizado en Francia por técnicos dedicados a la obra civil y se han llevado a cabo distintas obras no sólo en Europa sino tam-

bién en México y su funcionamiento ha desatado gran inquietud en cuanto a su proceso.

C A P I T U L O I I I
ESTABILIZACION DE SUELOS.

Los grandes volúmenes de suelo manejados en una obra, tal como, presas, carreteras, etc. a veces requieren de una calidad indispensable para el mejor desarrollo de una construcción, aunque naturalmente no se pueda obtener lo necesario, el ingeniero tiene como base tres diferentes formas de decidir en cuanto a la elección y el proceso de trabajo, esto es:

A.- Cambiar en su totalidad la capa de suelo, para sustituirla, por otra de mejores condiciones. La experiencia hace notar que el incremento de la obra se eleva a tal grado que los acarrees son esencialmente caros, incluyendo los kms. subsiguientes y cargas con acarreo al primer km.

B.- Admitir al propio suelo tal como se presenta naturalmente, admitiendo la poca uniformidad y la mala calidad de construcción dentro de la vida útil de la obra.

C.- Aplicar algún equipo especial para modificar la estructura y características del suelo mediante la mezcla de un material artificial o natural que no encarezca el costo de la obra, pero si produzca una calidad y seguridad de la construcción.

Dentro de estas tres anteriores secuencias para poder decidir en una obra la última se presta para poder definir a -

lo que pretendemos por estabilización.

ESTABILIZACION: Es el cambio de las propiedades de los suelos mediante el uso de un aditivo natural o artificial regulado con pruebas tanto físicas como químicas de los suelos extraídas de las muestras del lugar donde se pretende construir. Analizando la anterior definición, se menciona un cambio de propiedades del suelo más no un mejoramiento del suelo y es debido a que no todos los suelos responden al mismo aditivo de una manera igual sino que a veces se ven afectados por el mismo material con que se le mezcló.

Las arcillas, arenas y gravas, en ocasiones reaccionan de diferente forma con un aditivo, ya que la estructura química es de diferente forma para cada uno de ellos. Tal es el caso de las arcillas compuestas de sílice y aluminio, por lo general y caso contrario de las gravas y arenas que en su textura se manifiesta por medio de impregnación de sales minerales de la zona.

Estos diferentes compuestos alteran la capacidad de los suelos por medio de reacciones químicas y a su vez proporcionan un desequilibrio total de su estructura.

Las reacciones químicas son base esencial para la producción de los efectos sobre el suelo e invariablemente la modificación de las partículas repercute principalmente en su absorción de la humedad, pesos volumétricos, resistencia a la

compresión simple, permeabilidad etc.

La estabilización es una fase muy fundamental en el desarrollo constructivo y de esta depende la situación de la obra en el futuro. Los puntos predominantes dentro del logro de una estabilización son:

A.- Calidad.

B.- Economía.

C.- Utilidad

D.- Vida útil.

A.- La calidad es lo primero que se busca dentro de una obra y esto implica la seguridad de una construcción, esto es, el de tener en cuenta las técnicas aprendidas por el ingeniero y el proceso adecuado para lograrlo, respetando las normas expuestas por el contratante y el programa de obra estipulado en el desarrollo de la construcción, de tal forma que siempre se cuente con los equipos y materiales necesarios para su elaboración.

B.- La economía se refleja en poder situar el grado de importancia de una obra, siendo un elemento básico, no sólo de seguridad sino reducir a un mínimo el mantenimiento al que siempre se expone cualquier tipo de construcción.

C.- La funcionabilidad es otra parte importante dentro de los elementos constructivos, así como el de mantener una gran constancia para la utilidad del quien la utilice. Su-

aprovechamiento es a gran escala la elaboración de productos básicos dentro de la zona geo-económica en la que se sitúe.

D.- La vida útil es el último factor enunciado y con-
juga a la unión con los demás factores, por el reflejo íntimo-
de la obra terminada, con base al mantenimiento y aprovecha-
miento asignado.

Los proyectos normalmente se diseñan para un tiempo-
determinado y esto hace notar la importancia obtenida en la vi-
da útil, implicando las tolerancias permitidas en la obra, es-
to es consevar las capacidades máximas envueltas y prestar -
por un tiempo óptimo un servicio cómodo y seguro. Los factores
anunciados anteriormente no implica un gran aprovechamiento en
suelos altamente orgánicos con una alcalinidad o P.H. depen-
diendo de los datos arrojados por las pruebas correspondientes
para cada muestra.

En el D.F. y estados de la república se han usados -
todos los elementos para estabilizar los suelos tanto en cimen-
taciones, carreteras, y presas, siendo los aditivos más usados:

Cemento
Cal
Asfalto
Sales minerales

ESTABILIZACION CON CAL

La cal ha sido uno de los elementos estabilizantes -
que los antiguos constructores han utilizado para la elabora-

ción de obras, tanto en viviendas como en caminos.

Los Chinos y los Indues ya la conocían y por eso mismo la aprovechaban al máximo, para llevar a cabo mejoramientos en la calidad de los suelos. No fué hasta hace treinta años -- donde las investigaciones, sobre el uso de la cal tomó interés por la acción y reacción desencadenada al mezclarla con el suelo.

Estos estudios realizados llevé a conclusiones amplias y satisfactorias, obteniendo de esta forma una gran variedad de mejoramientos, tanto en sus características como en la manejabilidad de los suelos con este tipo de mezcla.

Su importancia se extendió a tal grado que el empleo ha tenido un diferente proceso para la construcción y para la agricultura, esto es la elaboración de la cal en cuanto a su uso, dependiendo de las materias primas que la constituyen.

La industria de la cal se remarca por dos aspectos -- muy importantes dentro de la elaboración y de ella depende la calidad con el tipo de cal utilizada, estos dos tipos son fundamentalmente:

Cal apagada.
Cal viva.

Ambas son de diferente reacción, aunque determinante mente son muy utilizadas en los suelos. La primera es útil y usada en la agricultura y su base esencial es por la reducción

del P.H. o la alcalinidad del suelo. La segunda es muy utilizada en el campo de la construcción, por las características contenidas en la cal, siendo estas deseables para el uso de cualquier obra, ya sea en edificación o en caminos.

La cal muchas veces se ocupa como estabilizador, también funge como un buen pre-estabilizador cuando no se requiere de un proceso total de uso en el suelo. Un ejemplo es cuando se requiere la reducción de plasticidades, expansiones y reducción de humedades en los suelos. Este último es frecuentemente usado en las obras para evitar aguachinamientos una vez construida la capa terminada cuando se ha excedido de humedad o se encuentra en tiempos de lluvias.

Uso de la Cal
para secar rápidamente el
suelo.



Fig.III.1.

En primer término se usa la cal y posteriormente el aditivo principal, como cuando se pretende hacer la mezcla con otros suelos o simplemente con aditivos ya conocidos.

Este tipo de pre-estabilización aumenta la calidad del suelo en su periodo de fraguado, y sin embargo alcanza has

ta un 50% de mejoramiento total del suelo. Por tal motivo aclaramos el grado de importancia de la cal y los elementos que intervienen para reaccionar con el suelo.

COMPOSICION DE LA CAL

La materia prima fundamental de la cal es la roca caliza, calsita o dolmítica. La primera es derivada de las rocas calcareas cuyo contenido es de un 90 a 95%, de carbonato de calcio y las siguientes se obtienen de las rocas dolmíticas, cuyo contenido de carbonato de magnesio es de aproximadamente un 35%, promedio del mineral y el sobrante de carbonato de calcio.

La producción de la cal se desarrolla de la siguiente manera: cuando se utiliza la roca calsita se le somete a altas temperaturas, aproximadas a los 900 grados centígrados, para descomponerlas en óxido de calcio y bióxido de carbono en una sola fase de calentamiento y a diferencia de las rocas dolmíticas se desarrollaron en dos diferentes fases, para su obtención.

La primera fase es sometida a un calentamiento aproximado a los 730 grados centígrados, para formar óxido de magnesio, bióxido de carbono, y carbonato de calcio, en la segunda fase se llega a una temperatura de 900 grados centígrados para la descomposición del carbonato de calcio.

Ambas formas de obtener la cal es meramente circunstancial, aunque el grado de pureza es significativo, en cuanto a que la pureza de la cal es mejor y de más calidad para la estabilización, poniendo un grado más económica y puro cuando usamos la roca caliza.

REACCIONES DEL SUELO-CAL.

Se pueden obtener buenos resultados con el uso de la cal al darle un mayor aprovechamiento económico, con un previo análisis de laboratorio a las muestras del tramo correspondiente, en estudio.

La experiencia y los análisis han reflejado una gran importancia en el uso de la cal sobre los suelos finos o con alto porcentaje de ellos sobre el suelo, así mismo para todos los suelos arcillosos, cuyo origen químico reacciona con gran actividad en la mezcla con la cal, así como reestructura las partes mecánicas que las componen. Los porcentajes de cal dependen de la buena o mala condición del suelo y de esta forma sólo con un breve análisis de laboratorio se logra cuantificar la existencia de los porcentajes a utilizar.

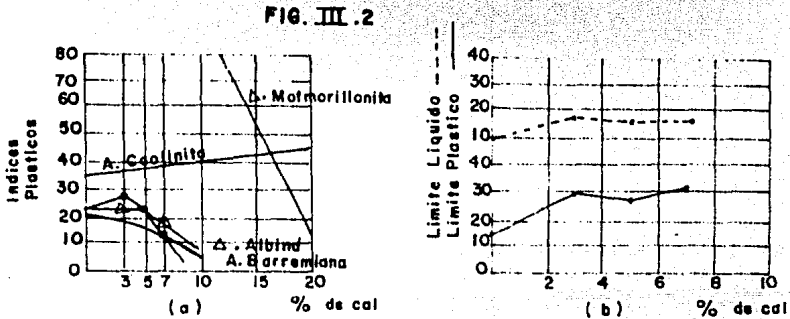
La alcalinidad, los sulfatos y materia orgánica son variables comunes dentro de un suelo que intervienen en la estabilización y de esta forma se toma en cuenta para lograr buenos resultados.

Dentro de los límites de attember, la clasificación cuenta demasiado para la plasticidad del suelo, ya que se obtienen mejores resultados para suelos de alta compresibilidad y con un alto grado de absorción de humedad en las arcillas.

Las contracciones y cambios volumétricos se ven abatidos por la intervención de la cal, así como la hidratación produce un cambio favorable en la humedad óptima del suelo, un ejemplo claro y distintivo es la relación utilizada intuitivamente por los albañiles para secar las terracerías del suelo cuando han sido expuestos a la lluvia o padecen de humedades excesivas.

El peso volumétrico sufre un cambio satisfactorio dependiendo de la necesidad, ya que este se reduce notablemente de acuerdo a los porcentajes manejados en el proceso de estabilización, a menor porcentaje es menor la reducción del peso volumétrico pero a mayor algunas arcillas tienen cambios extremadamente notables por su reacción de hidratación al contacto con la cal. La plasticidad de los suelos cambia con la estabilización en una forma notable, esto es la reducción del intervalo entre lo sólido y lo líquido en el suelo, haciendo más estable la capa de las terracerías, en ocasiones el límite líquido y el límite plástico varían ampliamente y no necesariamente consecutivos, es decir no se reducen ni se aumentan en igual magnitud sino en la gran mayoría de los casos ambos se distor-

sionan en el proceso, ya que en un límite líquido aumenta, - - mientras que en el límite plástico disminuye y viceversa o ambos crecen o decrecen dependiendo del tipo de suelo.



- a).- Reducción del Índice de plasticidad en diferentes suelos arcillosos.
- b).- Función General de oscilaciones del L.L. y L.P. con diferente porcentaje de cal, en un suelo arcilloso.

FIG. III.2

De las anteriores gráficas se muestra una relación - de variancia entre un tipo y otro de suelo según los porcentajes agregados en la prueba de estabilización, así mismo las reducciones del índice plástico de la muestra.

También se observa que en un tres por ciento de esta estabilizante con cal se logra un efecto óptimo en la estabilización y en el proceso de trabajo regulado, dando una mayor situación económica y estable en la obra.

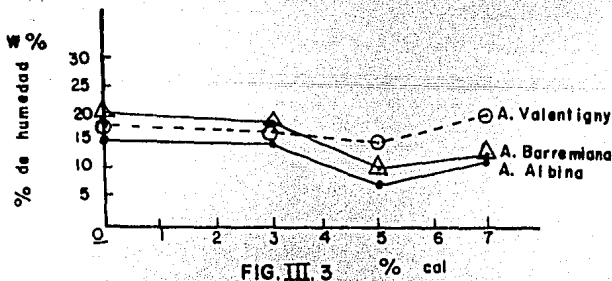
Las arcillas ilitas, caolinitas y montmorilonitas, son muy susceptibles a la cal, ya que reduce la plasticidad a gran escala y su proceso óptimo de mezcla se encuentra con un 20% de estabilizante en la elaboración de las capas de terracerías. El cambio es altamente notable en los límites tanto líquido como plástico y de su porcentaje natural se han obtenido reducciones de un 50% en su límite líquido y hasta un 400% en el límite plástico en las arcillas ilitas y montmorilonitas, caso contrario para las arcillas caolinitas, donde el índice plástico tiende a elevarse por el incremento del límite líquido y el límite plástico.

El analizar esta diferencia de cambios se vuelve más interesante por la variación brusca existente en diferentes arcillas pero también el proceso se invierte al estar en contacto con la cal y de esta forma nos hace pensar que entre más inestable sea un suelo con el agua es más efectiva la mezcla con la cal ya que el agua produce un desprendimiento de iones en la reacción para poderse hidratar y cuando carece de ella, la cal retiene lo más posible de humedad para reaccionar químicamente con el suelo.

En anteriores páginas mencionamos la importancia e influencia de la cal con el peso volumétrico y aún de esa forma se remarca para analizar el tipo de suelo y dar una cierta alternativa sobre los porcentajes de cal que se tienen que

agregar y dependiendo de esta es el peso obtenido por la hidratación de la humedad con la calhidra. En pruebas realizadas el porcentaje óptimo por agregar de cal es aproximadamente de un tres por ciento en casi todo tipo de arcillas, para lograr un cambio apreciable en la reducción de los pesos volumétricos -- siendo de esta forma una gran ayuda para evitar hundimientos-- por la gran cantidad de volumen soportado por el suelo de cimentación.

Como se había expuesto, existen diferentes tipos de arcillas y todas ellas responden a un determinado porcentaje de humedad, para absorber y ser estables, aunque en ocasiones el agua es determinantemente escasa, se recomienda usar un cinco por ciento de cal para que el suelo adquiriera no sólo resistencias adecuadas, sino también un porcentaje de humedad para la obtención del peso óptimo requerido en la obra.



Influencia de la cal sobre la humedad del suelo.

Fig. III.3

• Los problemas afrontados día con día han sido un grave deterioramiento en la construcción y el ingeniero tiene por objeto el de decidir altamente sobre cuestiones no previstas - dentro del programa, uno de los mayores problemas han sido las expansiones y las contracciones, aunque algunas veces sean incontrolables, tal es el caso de muchos fraccionamientos cimentados en el tipo de suelos expansivos que han sufrido agrietamientos tanto en sus cimentaciones como en la parte estructural de la construcción, una buena estabilización reduce altamente las expansiones de los suelos al estar en contacto con la cal, y su relación se manifiesta principalmente por que algunas veces esta dependiendo del índice de plasticidad del suelo.

ESTABILIZACION DE CAL CON ARENAS Y GRAVAS

Es muy común encontrar en distintas zonas de trabajo a los suelos con alto contenido de arenas y gravas en su morfología, pero su relación se restringe a la falta de afinidad -- conveniente con la estabilización de cal sobre estos suelos -- aunque se han elaborado una serie de trabajos e investigaciones se recomienda utilizar otro estabilizante adecuado para -- ello. Su costo inicial es alto y un poco desfavorable no sólo por la poca acción que tiende a tener la cal sobre el suelo, -- sino por el peligro del lavado existente dentro de las infil--

traciones de humedad con las partículas del suelo.

Las funciones más importantes para los suelos arenosos o gravosos es principalmente la de usar un cementante uniforme y manejable para la adherencia de las partículas del suelo en un clima seco, así como la de reducir en gran escala la relación de los vacíos para evitar licuaciones dentro de la estructura del suelo.

Hablando en términos económicos los resultados son - desfavorables por los altos porcentajes de cal utilizados para lograr los anteriores objetivos, así como también se debe de contar con maquinaria especializada para llevar a cabo el proceso de estabilización.

La granulometría juega un papel muy importante y decisivo en la estabilización y a su vez designa el porcentaje de cal que se debe de utilizar para obtener buenos resultados. La práctica recomienda no estabilizar un suelo con más de un 50% de retenidos por la malla # 200, ya que el mínimo porcentaje de cal agregado es de un 15%, en peso del suelo para obtener buenos resultados.

En pruebas elaboradas se ha demostrado, una mayor -- eficacia para suelos, cuyo retenido de partículas por la malla # 200, es de un 20 a un 40%, de suelo, acomodandose posteriormente con suelos finos contenidos en la estructura total del suelo.

Las cantidades suministradas por el procesador cuando el suelo se encuentra en estas condiciones es de aproximadamente un cinco por ciento de mezcla de cal con el mismo suelo, es lógico pensar que se adquiere mayor resistencia cuando se tiene un cuarenta por ciento de suelo arenoso o gravoso por su consistencia y su acomodo dentro de la granulometría del suelo, en caso dado de excedencia de un rango del 40%, de arena o grava entonces la calidad bajaría, en cuanto a su resistencia, sufriendo pérdidas innecesarias, hasta de un 20%, en resistencia a la compresión simple.

ESTABILIZACION CON CEMENTO

Este tipo de estabilización se realiza frecuentemente en las obras que a diario se construyen, pero sin embargo las dificultades presentadas día con día causan problemas de gran significado, si antes no se hace un minucioso análisis -- del lugar donde se pretende construir.

La mezcla hecha con el suelo y el cemento es muy común denominarla suelo-cemento, y se realiza para mejorar las propiedades físico-químicas del suelo en un tramo de carretera o simplemente en las cimentaciones de edificios o presas.

En una mezcla con suelo-cemento, ocurre lo mismo con la estabilización con cal, o sea no se pueden predecir los porcentajes de cemento a agregar, debido a la infinidad de carac-

terísticas existentes en una zona determinada, pero si se pueden lograr por medio de un minucioso análisis de laboratorio. También se pueden predecir las reacciones del suelo al estar en contacto con el cemento, después de haberse tomado las precauciones convenientes para realizar el proceso de estabilización. Es claro reconocer como reacciona el cemento al estar en contacto con la humedad y así de esta forma aceptarla como un material estandarizado, teniendo pequeñas variaciones, por los distintos tipos de cemento existentes en el mercado y la acción con suelos de una clase diferente, denominada por su contenido de sulfatos o alcalinidad del lugar.

PROPIEDADES DEL CEMENTO

Haciendo reseña histórica, fué en el año de 1894, -- cuando se autorizó la patente de un nuevo producto llamado cemento a un albañil de nombre APSDIN y cuya especialización era en la edificación.

Este producto no tardó en alcanzar los primeros lugares en el consumo, ya que los resultados obtenidos eran satisfactorios y sobre todo por la resistencia ofrecida al estar en contacto con el agua. Los usos eran invariablemente en la edificación, y algunas obras de arte en la urbanización, no fué -- hasta el año de 1924, cuando se utiliza por primera vez, en la mezcla con los suelos, en una forma más de investigación, para

observar los resultados obtenidos mediante el diseño.

Esta primera estabilización fué descartada por la -- falta de experiencia y las técnicas obsoletas usadas en aquel- entonces. Más tarde en el año de 1934, se consigue en los Estados Unidos, los primeros resultados positivos con la estabili- zación de cemento, ya que para entonces se preven, todos los - problemas que se podían presentar en la investigación. En la - actualidad las constantes investigaciones llevadas a cabo y la evolución que se ha tenido con los cambios técnicos tanto en - la maquinaria como en los laboratorios, han desarrollado mu--- chas fuentes sobre el proceso de mezclado del suelo con el ce- mento y de esta forma haya tomado una gran importancia en la - estabilización de los suelos.

REACCIONES QUIMICAS DEL CEMENTO

Es de mucha importancia saber las reacciones producidas por el cemento, al estar en contacto con la humedad, así - como el clima en que se desarrolla la reacción al ser mezclada con el suelo. La principal materia prima para la elaboración - del cemento es una gran cantidad de calcio obtenidos de la ca- liza, magra o creta, con partes de sílice y aluminio extraído- de las arcillas, pizarra y escoria. Agregando una pequeña por- ción de yeso para regular la hidratación, al reaccionar el - - agua con el cemento.

Al estar la mezcla correspondiente, se muele y se calienta a temperaturas de 1450 grados centígrados, sobre hornos rotatorios para producir finalmente el Clinker. Este último contenido dá como resultado de la reacción, silicato bicálcico y tricálcico, aluminato tricálcico, tetracalcico y por último el ferrito.

Todo este compuesto se comporta de una manera estable al estar en estado seco, pero al estar en contacto con el agua, comienza a reaccionar con hidratación en las partículas disueltas, que al estar en reposo, se cristalizan para proseguir con el fraguado en un tiempo determinado y dar lugar al endurecimiento de la mezcla.

El periodo de fraguado juega un papel muy importante en el proceso de endurecimiento y de él depende la calidad y resistencia ofrecida por el cemento, es por eso que en ocasiones se utiliza una serie de aditivos para retardar el fraguado o -- acelerarlo, dependiendo de la necesidad de la obra. Una vez -- efectuado el fraguado, el hidrato de calcio acelera al cemento y el porcentaje de aluminio detiene el fraguado, por medio de -- la porción agregada de yeso, y normalmente varía entre un tres y un siete por ciento del volumen, según el periodo de retardo -- requerido.

También los climas juegan un papel muy importante dentro del fraguado, debido a la temperatura existente en el lugar,

esto es, en los lugares de climas extremos, el equilibrio varía, si es altamente caluroso, o totalmente frío. En el primer caso la hidratación se acelera a gran escala exigiendo una mayor cantidad de agua, y en el segundo caso el clima frío baja el desarrollo del fraguado por la lenta hidratación producida al reaccionar con el agua.

Al terminarse el fraguado le precede la cristalización total de los silicatos para endurecerse, hasta adquirir una resistencia demasiado alta en forma indefinida, (curado del cemento).

SUELO CEMENTO

Las condiciones químicas que intervienen en las partículas del suelo-cemento, responden a las propiedades de un suelo y también al buen control de la estabilización. Estas reacciones no son enlazadas por la cantidad de elementos definidos por el suelo, pero sí actúan en una forma global para cada una de ellas, los silicatos del suelo, que principalmente llevan las gravas, arenas y arcillas, reaccionan con los hidratos de calcio, para desprender una gran cantidad de iones y a su vez responder a una reducción de plásticidad y relación de vacíos de suelo, para incrementarse de esta forma la capacidad de carga y disminuir la permeabilidad del mismo.

Es muy importante hacer notar que no todos los sue--

los se les puede dar este tratamiento, sino existen especificaciones investigadas y practicadas en la estabilización con cemento.

- A.- Su límite líquido no debe de ser mayor al 50%.
- B.- El índice de plasticidad debe de ser menor al 18%.
- C.- Su granulometría no debe de exceder al 50%, de finos.
- D.- Su relación de vacíos debe de ser mayor al 35%, cuando este se encuentre en su peso volumétrico seco máximo.

En caso dado que no se cumplan con estas restricciones, se recomienda usar otro tipo de estabilización o en otro caso utilizar un pre-estabilizador, como en el caso de la cal para reducir la relación de sus plasticidades y de esta forma dar una mayor calidad y seguridad de trabajo a desempeñar.

En la mayoría de los casos, la estabilización con cemento es muy usada en los suelos cuyo contenido de finos es mínimo, debido a la producción de altas plasticidades que puedan existir en ellos. Las partículas gruesas, como las gravas y arenas, se ven más afectadas por la estabilización, ya que el cemento da una mayor cohesión al mezclarse con el suelo para aumentar la resistencia entre ellas, reduciendo así la relación de vacíos existente en la capa o zona de trabajo de la estabilización.

Los porcentajes a mezclar de suelo con cemento, han arrojado una serie de resultados satisfactorios para incremen-

tar la resistencia a la compresión simple, tal es el caso de experimentos realizados en la Gran Bretaña, donde se uso un suelo con bajo contenido de finos y una relación de vacíos mínima.

La mezcla se hizo con un 3.5 y 4%, de cemento sobre el suelo, en otros casos cuando el porcentaje de finos es mayor al 30%, se ha tenido que agregar hasta un 8% de cemento para lograr el mismo resultado en la resistencia a la compresión simple.

La diferencia se marca unicamente en la cantidad de finos que pasan la malla # 200, ya que de esta depende la seguridad de la estabilización y el encareamiento de la obra, cuando excede más de un 30%, de finos, entonces la resistencia disminuye a tal grado que la mezcla de cemento se incrementa hasta de un 12 a 16% con el suelo. El principal problema que hace una determinada variación en los porcentajes de las mezclas es la formación de pequeños grumos en el suelo, y la dificultad para trabajarlas, ya que el contenido de grumos con los suelos finos elabora una mezcla, un tanto viscosa entre las partículas del suelo.

La materia orgánica juega un papel muy importante en la estabilización de suelos con cemento y su contenido no debe de exceder de un dos por ciento en volumen de las muestras obtenidas.

Es muy importante aclarar los resultados obtenidos dentro de la estabilización, cuando se usa la mezcla de suelo-cemento, así mismo los efectos producidos con la diferencia de la granulometría de cada uno de los suelos y el papel apreciable que juega el fraguado en la resistencia obtenida del mismo suelo. En sí la estabilización con el cemento, es unicamente o en la mayoría de los casos, incrementar la resistencia a la -- compresión simple, para lograr una mayor calidad y de esta forma obtener una mayor seguridad en el enlace de la estabilización.

En un grupo de suelos típicos se han experimentado - tanto en la S.A.H.O.P., como en otras dependencias gubernamentales este tipo de estabilización y se ha comprobado una serie de cambios importantes con la mezcla de cemento. En una serie de muestras se ha usado hasta un 10% de mezcla de cemento en peso del suelo que se estaba analizando, tal es el caso de las gravas-arenosas, arcillas-limosas, arcilla-arenosas, cuya granulometría, se define mediante la prueba del lavado y en consecuencia su selección, considerando la prueba de la plasticidad, y la prueba de sedimentación.

La mezcla del suelo con el cemento, en este caso suelo, grava arenosa, mostró una serie de cambios importantes en su estructura, ya que se logró un incremento en la resistencia a compresión simple, hasta de 100 kg/cm^2 ., con un 9% de cemen-

to, mismo que el peso volumétrico, obtuvo una gran eficiencia en la mezcla de cemento con un 10% en peso del suelo. Para los suelos arcillo-limosos, la eficiencia de la estabilización varía a gran escala, ya que no se logró la misma capacidad de carga y resistencia a la compresión simple que los suelos gravo-arenosos; comparando los porcentajes de cemento, es casi el doble de resistencia que se reduce con la estabilización, y con un 5%, de estabilizante en los suelos gravo-arenosos alcanza la resistencia de suelos arcillo-limosos estabilizados con un 10%, de cemento. Por otro lado los suelos Arcillo-arenosos, mostraron un decremento todavía mayor al ser estabilizadas con cemento que los arcillo-limosos, la reducción a la compresión-simple fué hasta de un 25%, con respecto a los suelos arcillo-limosos.

TIPO DE SUELO	% de Cemento	Resistencia a compresión simple
Gravo -- Arenoso	5	55 Kg./cm ²
	10	115 "
Arcillo -- Limoso	5	30 "
	10	50 "
Arcillo -- Arenoso	5	25 "
	10	40 "

TABLA III. I

El incremento en porcentajes de la tabla anterior, ratifica la diferencia, entre un 10 y 15%, de cemento dentro de cada uno de los suelos, pero lo más interesante es observar

los efectos producidos a cada suelo, dependiendo de la granulometría y la cantidad de finos existentes en cada uno de ellos.

Como se ha venido mencionando el fraguado juega un papel muy importante, así como el curado que se realiza en diferentes etapas del proceso, esto es, el tiempo remarca la resistencia a tal grado del endurecimiento indefinido. Los suelos con alto contenido de partículas gruesas son más susceptibles a el curado con un tiempo definido a los 28 días de haber iniciado el proceso, en campo el suelo cuyo contenido de finos es superior, la reacción cambia totalmente con el mismo periodo de fraguado y el curado del suelo a los 28 días.

Analizando los posibles cambios que produce el cemento al mezclarlos con el suelo, no se detecta mayor movimiento en la plasticidad y en las expansiones y contracciones del suelo fino, es mínimo la aceptación que se le da por la reducción de la humedad en el cemento y la hidratación realizada no es lo suficientemente fuerte para modificar los pesos volumétricos del suelo en estudio.

ESTABILIZACION CON ASFALTO

Estabilizar un suelo con un producto derivado del petróleo, muchas veces se presta a confusiones por su relación con los pavimentos utilizados en urbanización y carreteras. Ya los Romanos, conocían este producto y lo utilizaban principal-

mente para cubrir los caminos que se encontraban en forma directa y en constante peligro a los intemperismos.

La técnica empleada para cubrir sus caminos era muy rudimentaria pero en cierta forma muy efectiva para las capacidades de carga utilizadas en ese entonces. No fué hasta el siglo pasado cuando se le dá la importancia requerida, ya que un petróleo crudo tenía una serie de productos derivables muy importantes en la industria moderna.

La investigación constante, llegó a la conclusión de utilizarlos lo más óptimo posible, ya que la necesidad de proteger a un suelo era vital para el transporte y para la comodidad del usuario.

CARACTERISTICAS DEL ASFALTO

El asfalto en el residuo del petróleo crudo ya destilado, sobrante después de una serie de separaciones de productos derivables como la, gasolina, aceites, diesel, etc., y también es aprovechado en la industria de la construcción para la elaboración de pavimentos y otros elementos como impermeabilizantes en la edificación.

Los asfaltos a su vez, también pueden derivarse en otros asfaltos y emulsiones, clasificadas según su disolvente y el porcentaje de cada uno de estos.

Los diferentes tipos de asfalto se rebajan para con-

vertirse en compuestos de fraguado, rápido, medio y lento en los asfaltos rebajados, los tres son respectivamente con gasolina, keroseno, diesel y a su vez cada uno de ellos se clasifica en seis tipos diferentes que van desde el cero hasta el número cinco de acuerdo al tipo de fraguado y al porcentaje de volatilizante mezclado en él. Estos porcentajes varían de un 45% a 85% dependiendo de la viscosidad del asfalto.

Las emulsiones asfálticas son elementos derivables del petróleo y son rebajados con diferentes productos comerciales. Existen dos tipos de emulsiones asfálticas dentro de la industria de la construcción. La primera se le conoce como emulsión aniónica y se rebaja totalmente con agua en una forma especial. La segunda se le conoce con el nombre de emulsión catiónica y es rebajada principalmente con sosa cáustica, ambas son importantes dentro de la construcción de caminos en forma especial.

SUELO-ASFALTO

Las estabilizaciones con asfalto, requieren de un estudio minucioso para lograr una mejor efectividad en la realización del proceso. Las bases fundamentales por las cuales se utiliza el asfalto, son las de lograr una menor permeabilidad del suelo, así como dar una mayor resistencia a la cohesión y compresión simple del suelo. Estas estabilizaciones se ejecu--

tan con más frecuencia en las bases y subbases de los pavimentos, así como en zonas cuyo clima es muy importante de tomar en cuenta.

Uno de los mayores problemas de estas estabilizaciones es el papel que toma la temperatura del asfalto sobre el suelo en su periodo de absorción.

Los lugares cálidos hacen de los suelos estabilizados con asfalto un ligante flexible y semi-elástico, provocando una serie de rebotes con el paso de cargas móviles sobre el suelo, así como el de hacer una superficie muy resbaladiza e insegura cuando no se conoce el proceso.

Las características esenciales para estabilizar un suelo con asfalto, son las siguientes:

- a.- Para todo tipo de suelo que no contenga mucha materia orgánica.
- b.- deben tener un límite líquido menor al 30%.
- c.- Su índice plástico no debe de ser mayor al 18%.
- d.- Para todo tipo de suelo que pueda ser mezclado con otro tipo de estabilizante.

Estas condiciones que anteriormente se presentaron, se han llevado a cabo por medios prácticos y laboratoriales de construcción dedicados a todo tipo de estabilización.

Las pruebas más aceptadas en los suelos para el uso de asfalto son principalmente las granulométricas, ya que los

suelos con un contenido proporcional de gravas, arenas y finos permiten una mayor adherencia con la mezcla asfáltica y las partículas del suelo.

Existen dos tipos de estabilización según la granulometría con el asfalto y depende del tamaño promedio de las partículas del suelo. La primera se le denomina prueba de tipo granular aplicada a los suelos con alto contenido de partículas retenidas por la malla # 200. La segunda se le denomina como la de taponamiento y funciona principalmente con suelos altamente arcillosos, por el cubrimiento de los grumos producidos por las arcillas y el taponamiento de los vacíos producidos durante la estabilización, procreando una menor permeabilidad e incrementando la resistencia a la compresión simple.

Las gravas, arenas y suelos finos difieren en su proceso de estabilización, debido a las diferencias físicas y químicas existentes en cada uno de ellos.

ESTABILIZACION DE GRAVAS CON ASFALTO.

Esta estabilización es muy importante de tomar en cuenta por el papel tomado dentro de la construcción moderna y promueve en el suelo una gran capacidad de cargas con el paso de móviles sobre el lugar.

La experiencia y estudios elaborados por el D.D.F., recomiendan el uso de las bases negras, cuyo compuesto de par-

tículas son de agregado no mayor a $1/3$ del espesor de la capa, con una forma angulosa y textura friccionante parecida a la -- producida artificialmente por trituradoras.

La granulometría debe ser de aproximadamente un 65 a 70% de retenidos por la malla # 4 y un 12% de retenidos por la malla # 200, con suelos finos que no excedan de un 6% del índice plástico. Todas estas especificaciones se reducen a tener -- un pavimento confiable, con una duración adecuada, su costo -- inicial es alto, pero el grado de mantenimiento reduce el costo a largo tiempo y la seguridad de no afectar las demás capas es considerablemente aceptable.

Este tipo de base negra constituye un gran elemento -- para toda la zona metropolitana y sobre todo en el Distrito Fe -- deral, ya que las cargas recibidas por el suelo son de tránsi -- tos altamente pesados y con una fluidez remarcada.

ESTABILIZACION DE ASFALTO EN ARENAS.

Se recomienda todo tipo de arena que no contenga ar -- cilla o material vegetal, de esta restricción, no existe otras que puedan rechazar el proceso de la estabilización con el as -- falto, a excepción de el porcentaje de suelos finos que a ma -- yor grado es elevado el porcentaje de asfalto, su límite líqui -- do es de acuerdo a las restricciones anteriormente mencionadas y el porcentaje de finos no debe de ser mayor al 25%, de partí --

culas finas no plásticas.

Los asfaltos más recomendados dentro de la estabilización son principalmente los de fraguado rápido por la consistencia y volatización efectuada por cada uno de ellos, preferentemente a los F.R. 1, F.R. 2 Y F.R. 3, dependiendo de la zona de trabajo y el clima más predominante del lugar.

ESTABILIZACION DE ASFALTO CON SUELOS POCO COHESIVOS.

En todos los suelos finos tales, como las arcillas-arenosas, limos-arcillosos, o arcillas de baja plasticidad, son dependientes formales de las restricciones que se presentan en una arena o un suelo con tales características, aunque se había mencionado no usar un suelo fino con un límite líquido mayor a el 30%, y un índice de plasticidad del 12%, es conveniente usar en este tipo de suelos los asfaltos de fraguado medio en todos sus diferentes compuestos para dar una mayor seguridad en las infiltraciones y reducir la relación de vacíos-existentes en el estado natural del suelo, haciendo hincapié de no excluir los asfaltos de fraguado rápido, ya que son muy útiles en suelos finos poco plásticos o los asfaltos de fraguado lento para suelos de alto contenido de plasticidad.

Existe una gran variedad de discrepancias dentro de la estabilización con asfalto, pero es importante aclarar, que la actividad de la estabilización y lo económico que puede re-

sultar, hace aflorar las normas más indispensables para trabajar, así como en el caso de decidir los porcentajes de asfalto mezclados con el suelo.

Las arcillas con alto contenido de sílice son de más problema para estabilizar con asfalto debido a la alta plasticidad que presentan al estar sometidas a cualquier contacto de humedad, su cantidad de asfalto en porcentajes según el suelo advierte un mayor encarecimiento de la obra de acuerdo al proyecto establecido. Caso contrario para las arcillas caolinitas, ya que su distribución molecular permite una mayor movilidad y manejabilidad por la presencia de una mayor cantidad de aluminio dentro de su estructura.

ESTABILIZACION CON DOS O MAS SUELOS.

El capítulo # 2, menciona la importancia, del clima y la geología que puede presentar el terreno, donde se pretende construir, por tal motivo se tiene que analizar los costos y de ellos depende la decisión para poder trabajar. Las condiciones del terreno indican una gran variedad de los suelos en cualquier zona y de estos, los datos geotécnicos experimentados en laboratorio dan fé, a los posibles bancos de préstamo localizados así como a su vez resultan ser los más óptimos y económicos para la construcción de la obra, ya que la calidad del suelo ofrece una afinidad, de acuerdo con las normas y es-

pecificaciones presentadas por el contratante. En otro de los casos se requiere de elaborar un suelo con las calidades indispensables en la obra, es por eso, la mezcla de dos tipos diferentes de suelo para adquirir ciertas características convenientes en la obra.

La mezcla del suelo puede tener dos tipos de fases, la primera es el de mezclar un diferente suelo con el existente en la zona. Y la segunda es de tener que traer dos diferentes suelos distintos al lugar donde se pretende construir.

Las mezclas más comunes son principalmente, en los suelos limpios, es decir en arenas o gravas limpias, cuya fricción sea inconveniente al igual que la relación de vacíos predispuestos por el laboratorio; para este tipo de suelos es conveniente añadir un cementante para regular la granulometría del suelo y dar mayor resistencia al suelo a la compresión simple.

Las arenas y gravas limpias son sumamente peligrosos dentro de la construcción debido a la poca capacidad que tienen para cargar cualquier peso considerable en una estructura especial para recibir una función importante.

En los suelos finos un ejemplo las arcillas poco plásticas es conveniente usar una gran cantidad de suelo grueso, tal es el caso de las gravas o arenas, que proporcionan un mejoramiento en la granulometría y sobre todo reducen la rigidez proporcionada por el suelo, evitando de esta forma posibles

expansiones en las capas o contracciones inmediatas con la pérdida de humedad.

La mezcla de ambos suelos requiere de hacer una prueba granulométrica, para dar los porcentajes a distribuir y así de esta forma indicar los volúmenes necesarios para una mezcla de calidad y seguridad constructiva. Existen una serie de secuencias para marcar cuanto suelo fino debe llevar o cuanto suelo grueso requiere para mejorar la calidad y de este ensayo se muestra la resistencia obtenida en el suelo, de acuerdo a los datos de laboratorio, aunque la experiencia indica la diferencia existente en los trabajos realizados en campo como en el laboratorio. Por eso es más recomendable tener en cuenta, un buen operador y una eficiente supervisión para realizar una mezcla de dos tipos diferentes de suelo, sabiendo clasificar el suelo y dependiendo de ello, lograr una uniformidad en las capas, dando mayor comodidad sin hacer demasiados cambios en el movimiento de una motoconformadora.

Cuando los suelos son totalmente rocosos, la nueva tecnología ha desarrollado una serie de máquinas denominadas trituradoras para aprovechar más el sistema de estabilización, tal es el caso de las trituradoras usadas en bancos rocosos para la producción de agregados de diferente tamaño, por medio de la disgregación de crivas existentes en la misma trituradora. Estos suelos artificiales son muy utilizados en presas pa-

ra dar una granulometría estricta en todos y cada uno de los suelos utilizados para la construcción de la cortina principal.

OTROS METODOS DE ESTABILIZACION

Los anteriores cuatro elementos para estabilizar un suelo son en esencia los más elementales y más conocidos en la industria de la construcción, pero sin duda alguna, existen -- otros elementos muy usables en la estabilización de suelo y su proceso y decisión es lo más económico y de mayor calidad.

Un elemento básico y conocido, aunque de hecho no se considera una estabilización es por medio de elementos mecánicos, y su restricción se encontraría en la forma de modificar a un suelo con sus mismas propiedades pero con una relación de vacíos menor a la anterior, suponiendo su consolidación y su aspecto regular en cuanto a sus propiedades normales. En el capítulo posterior se explicará más claramente las partes fundamentales sobre la consideración a la estabilización mecánica.

El campo del proceso de estabilización es ampliamente conocido y de esta forma se puede asegurar, otros diferentes tipos de aditivos para estabilizar un suelo, dependiendo de las características presentadas por las muestras analizadas en los laboratorios de mecánica de suelos. En este caso hay pequeñas zonas donde se pretende estabilizar un suelo y cualquier tipo de estabilización es conveniente por no alterar los

generadores económicos de la obra, tal es el caso de la estabilización, por medio de enzimas biológicas producidas industrialmente con el gabaso de caña, las reacciones presentadas por esta estabilización han dado buenos resultados para zonas pequeñas, considerandola únicamente en pequeños estudios para su investigación.

Es muy frecuente encontrar otro tipo de estabilizante, dentro de la rama constructiva, también es altamente recomendable en zonas donde se puede retener la humedad y puedan producir fangos, deteriorables a la estructura del suelo, esta estabilización se le conoce como electrólisis y su empleo se refleja mayormente en áreas verdes tales como en campos deportivos o lugares jardinados propensos a las inundaciones, su forma de trabajar es por medio de cargas eléctricas que trabajan para desalojar el agua por medio de la hidrólisis.

ESTABILIZACION POR MEDIOS QUIMICOS.

La estabilización por medios químicos, es favorable y sobre todo conocida en los lugares, cuyo clima es demasiado extremo o zonas donde se encuentra cercano el mar, su empleo ha dado también excelentes resultados y su forma de estabilizar es por medio del uso de sales.

Las sales más conocidas son la sal común (cloruro de sodio), la sal de cloruro de calcio y por último la sal de clo

rurc de potasio, todas ellas son muy favorables por la abundancia existente en las zonas mencionadas, tanto en las costas como en lugares extremadamente secos.

Los suelos propensos a un clima demasiado frío, son prácticos para trabajar con un estabilizante salino y los efectos producidos son la evasión del congelamiento de las infiltraciones o corrientes subterráneas circunvecinas a la estructura del suelo. El modo de su trabajo, es el de evitar el congelamiento de agua, ya que el mezclado del agua con una sal -- produce un retardado en el congelamiento, reduciéndolo hasta en menos veintidós grados centígrados la producción del hielo y de esta forma mantener la misma relación de vacíos de la estructura normal de la capa. Su capacidad evita las expansiones y contracción del suelo en etapas de hielo y deshielo.

La experiencia recomienda usar hasta un dos por ciento del peso en cualquier tipo de suelos con tales características climáticas, dando de esta forma una producción económica y favorable dentro del campo de la construcción, y solo de esta forma no alteraría en forma total las características del suelo.

En los climas cálidos su acción trabaja de diferente forma y también se presta para contribuir notablemente en cualquier desperfecto natural del suelo, esto es la disminución de las capilaridades, en las capas del suelo y evita la

evaporización rápida de la humedad, su trabajo consiste en no dejar pasar, en forma global las infiltraciones para conservar su humedad óptima.

Mediante reacciones químicas las sales utilizadas en la estabilización pueden reducir los efectos de la materia orgánica en una forma limitada para evitar rebotes innecesarios y su efecto es más favorable cuando este tipo de materia orgánica es de origen microscópico.

La estabilización con sal trae como consecuencia un cambio total en el peso volumétrico y su capacidad para trabajarla es de bastante manejabilidad cuando se haya tenido la experiencia de usarlas. La humedad retenida provoca un incremento en los pesos volumétricos y sin embargo es muy raro utilizarlas en la estabilización de taludes o lugares donde predomine suelos con un alto peso volumétrico.

En los pequeños trabajos realizados con la estabilización por medios salinos recomiendan principalmente una serie de puntos especiales para las mejores obtenciones de resultados favorables:

A.- El porcentaje de humedad óptima del suelo no sea mayor al treinta por ciento.

B.- Tener un suelo con minerales benéficos al mismo suelo que pasen la malla # 200.

C.- Evitar las aproximidades de los niveles freáti--

cos a los suelos a tratar, para evitar de esta forma el lavado de las sales por medio de infiltraciones secundarias.

ESTABILIZACION POR INYECCION.

El inyectar un aditivo o estabilizante al suelo no requiere de un proceso muy complicado de elaborarse, pero sí es lo bastante caro por la maquinaria que se requiere y sólo de esta forma se podía encarecer la economía de la construcción. Este tipo de estabilización no es muy frecuente usarla en los suelos, pero sí es recomendada en zonas donde pueden ocasionarse una serie de tubificaciones o agrietamientos de las estructuras, como pueden ser en taludes de dimensiones considerables o lugares donde se tenga la sospecha de una posible falla. Aunque normalmente se usa cemento para inyectar, también se puede utilizar la cal para reducir los costos dependiendo de la resistencia a la que se requiera llegar, su introducción en las capas del suelo es por medio de presiones altas que arrojan la lechada del componente, en este caso la cal o el cemento.

C A P I T U L O IV

COMPACTACION DE LOS SUELOS

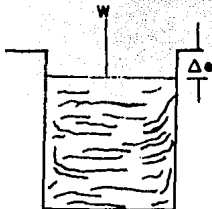
Antes de comenzar a hablar sobre la compactación de los suelos sería conveniente hacer notar la diferencia entre la estabilización y la compactación, ya que se considera a la compactación como una parte de la estabilización y no como un elemento diferente del proceso. Por un lado de acuerdo con el capítulo anterior, se definió a la estabilización como un mejoramiento hecho a los suelos mediante compuestos químicos o biológicos que alteran las propiedades del mismo, y la compactación es un cambio físico por medios mecánicos para reestructurar las partículas del suelo. En este caso la compactación se establece para actuar en forma directa al suelo, dando una mayor calidad y una mejor textura superficial, haciendo un minucioso análisis del suelo compactado se observa que este pierde su forma inicial al ser removido y trasladado a otros lugares, adquiriendo expansiones o abudamientos por el incremento de vacíos y desorientaciones de las partículas. Esto motiva a pensar que los suelos están propensos a desequilibrarse por cualquier movimiento que se le haga.

Remontándonos al pasado, el hombre por necesidad tuvo que ampliar las técnicas necesarias para tener construcciones estables y confiables, obteniendo mejor comodidad y sobre-

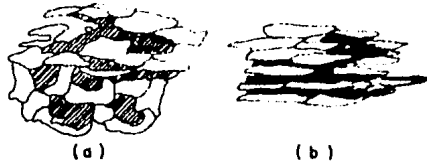
todo más calidad en una obra, así mismo definió a la compactación como la reducción de los vacíos del suelo, mediante medios mecánicos, que dan una mayor resistencia y un mejor acomodamiento de las partículas.

Al reducir los vacíos, también se altera el volumen del suelo, debido al escape de la humedad y el aire, así como las partículas se reacomodan para obtener una posición definida. Al tender a cerrarse los espacios vacíos el suelo comienza a incrementar su masa para que a su vez comience a elevarse el peso volumétrico de este.

FIG. IV. 1



Reducción de vacíos del suelo al recibir una carga.



Representación pequeña del suelo en a). Partículas "MAL" orientadas antes de compactar, b). Suelo compactado.

La compactación mejora las calidades del suelo dando una mayor aceptación y una alta resistencia a los intemperismos, por eso existen seis ventajas que se pueden obtener mediante una buena compactación.

RESISTENCIA
REDUCCION DE PERMEABILIDAD
RESISTENCIA AL ESFUERZO DEFORMACION

FLEXIBILIDAD
COMPRESIBILIDAD
RESISTENCIA A LA EROSION

RESISTENCIA:

Al aumentar el peso volumétrico del suelo, este tiende a ser más sólido en la estructura, dando mayor firmeza y resistencia entre sus capas.

PERMEABILIDAD:

Al cerrarse los vacíos, la humedad tiene mayor dificultad en infiltrarse, haciendo que escurra sobre la superficie de la capa.

ESFUERZO DEFORMACION:

El suelo adquiere una capacidad para recibir cargas vivas y la carga propia de la estructura sin deformarse.

FLEXIBILIDAD:

La flexibilidad de un suelo se refleja por no sufrir cambios importantes, en la consolidación, mismo que permite una elasticidad del suelo sin ningún problema de contracción o agrietamiento.

COMPRESIBILIDAD:

Su necesidad hace tomar en cuenta las presiones de poro, producidas por los grandes terraplenes, así como los altos pesos volumétricos del suelo.

RESISTENCIA A LA EROSION:

Comunmente todos los suelos son atacados por las lluvias, pero sin embargo, cuando este no es adecuadamente compactado, el escurrimiento de las lluvias levanta las partículas -- del suelo, moviendolos o esparciendolos en diferentes zonas.

De los anteriores puntos, se deduce la importancia de la compactación y de esta forma lo indispensable que resulta para cualquier tipo de obra.

Al mencionar los efectos producidos en una compactación cabe mencionar las partes fundamentales requeridas en un suelo para lograr una compactación adecuada.

Las condiciones necesarias son postumas al procedimiento constructivo de la obra, así como en la zona donde se esta ejecutando.

La temperatura, humedad, zona geográfica y energía específica, son los elementos básicos para una compactación y sin duda alguna relaciona las características físicas de la obra, - en cuanto a la dependencia de la calidad en una compactación.

TEMPERATURA:

Se toma mucho en cuenta para los climas extremos, - ya que no se puede realizar el mismo proceso en un clima frío y en uno caliente, aunque su importancia radica en el tipo de suelo utilizado en la obra.

En lugares fríos el problema de congelamiento es la causa principal de la mala compactación, y viceversa para las zonas cálidas, principalmente desérticos, donde la evaporación del agua produce malas compactaciones por la falta de retención de la humedad, causando graves daños en las capas compactadas como las altas contracciones y finalmente los agrietamientos de la estructura.

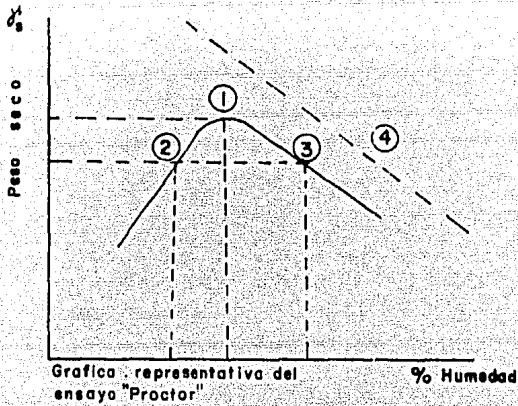
HUMEDAD:

PROCTOR estableció la humedad óptima para todos los suelos, dicha prueba enunciada y descrita en el primer capítulo, dá como resultado la función dependiente del peso volumétrico seco máximo con la humedad.

La tabulación del porcentaje de humedad, dá un determinado peso volumétrico y al graficarlo se colocan los resultados de los porcentajes de la humedad en las abscisas y en las ordenadas el peso volumétrico que presenta el suelo con el agua adherida del porcentaje de humedad enunciado, haciendo cuatro diferentes estados de humedad para cada prueba, aclarando que en otros países realizan más de lo considerado.

La experiencia indica un sistema ordenado para cada humedad, ya que los laboratoristas de basta experiencia saben el modo de emplearla.

FIG. IV.2



La gráfica anterior nos muestra una relación de estados de compactación con la utilidad necesaria para establecer condiciones normales de trabajo, en cuyo suelo se realizó la prueba.

Los puntos enunciados en la gráfica, son elementos vitales para aclarar, dudas fundamentales al compactar todo tipo de suelo. El punto # 1 indica el peso volumétrico seco máximo con su humedad óptima.

El punto # 2 y # 3, esclarecer el mismo peso volumétrico, pero con diferentes humedades, una con un porcentaje de humedad más seca que la otra analizada.

El punto # 4 indica la curva de saturación teórica, cuyo significado, se encuentra relacionada con la densidad del sólido y la humedad del suelo a cada prueba realizada. En cues

tiones prácticas es conveniente usarlas como medio paramétrico de la humedad necesaria.

Los pesos volumétricos varían a gran escala, dependiendo del tipo de suelo con que se este trabajando, tal es el caso de las arcillas de alta compresibilidad y baja compresibilidad, así como en las arenas- arcillosas o arenas-limosas del lugar.

En pruebas realizadas, se comprueba que las arcillas absorben un alto porcentaje de humedad, con bajos pesos volumétricos de ese suelo.

Caso contrario, las arenas absorben una menor cantidad de humedad con un peso volumétrico seco máximo mayor al de las arcillas (ver figura).

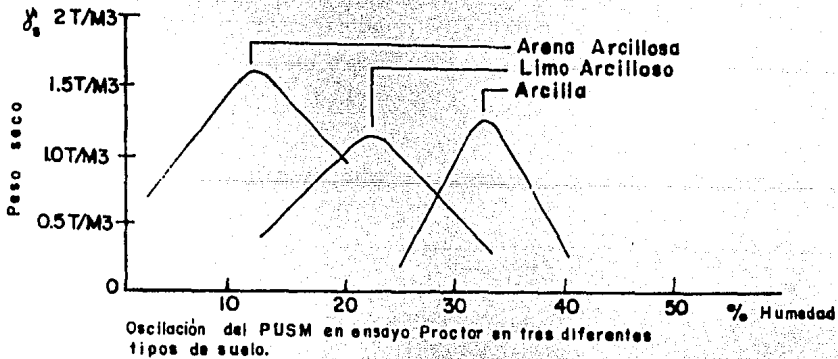


FIG. IV. 3

La humedad y el suelo juegan un papel muy importante en la compactación de las capas de una terracería, así mismo - los problemas que se pueden presentar, cuando se excede de hu-

medad, son el bache y la estratificación del agua cuando se sobrecompacta.

El bache aflora al primer paso del rodillo, sin tener ninguna resistencia alguna, y a medida que se le incrementa compactación este no responde a la reducción de los vacíos por la infiltración del agua que desorienta las partículas extendidas.

En la estratificación del agua, la masa del suelo responde de una manera muy diferente, ya que la parte superficial de la capa comienza a encontrarse por el exceso de la compactación. El suelo al tener un determinado peso volumétrico seco máximo tiende a estar orientado con una misma energía, y al cambiarla el suelo se enjunta hasta ir perdiendo la compactación.



A

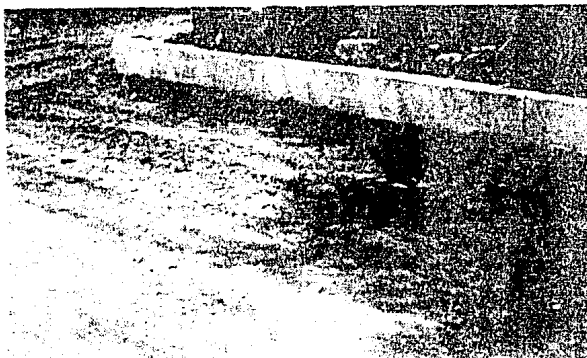


B

Representación total de un bache A, y una sobre Compactación B.

Fig. IV.4

Otro caso muy típico se muestra en el aguachinamiento del suelo producido por la acumulación o concentración del agua sobre su superficie en un tiempo determinado, (encharcamiento). Los aguachinamientos, son la dispersión de grumos en la estructura de la capa, debida a la separación de las partículas provocadas por la carga repentina y mal distribuida en dicha zona, que al secarse por medio de evaporación forma grumos en una cantidad considerable.



Causas principales del Aguachinamiento del Suelo en épocas de lluvia.

Fig. IV.5

ZONAS GEOGRAFICAS:

Dentro de este punto es conveniente reconocer la geografía del terreno, mismo también la topografía para tomar precauciones necesarias en una determinada zona, ya que las depre

siones geológicas y lo accidentado del terreno son fuente de acumulaciones y escurrimientos respectivamente, de las lluvias.

Se puede considerar diferentes formas de drenaje para evacuar la zona y solo de esta forma se podrá tener una solución sobre el ataque del agua al suelo o estructura del mismo.

ENERGIA ESPECIFICA:

La energía específica es la energía cedida por el suelo en unidad de volumen. La energía específica, suele utilizarse en todos los laboratorios de mecánica de suelos para la obtención de parámetros índice que ayudan al proyectista a usar o desechar cualquier suelo analizado.

En trabajo de campo no existe una relación que pueda ser utilizada para obtener la energía, debido a la complejidad de variantes introducidas o existentes en una construcción. De acuerdo con lo anterior, se supone empíricamente, a la energía específica ya que la única forma de conocerla es en el laboratorio.

El siguiente modelo matemático, muestra en forma empírica, la obtención de la energía específica y de acuerdo con la ecuación debe de existir una proporcionalidad, entre sus constantes. El hecho de representar una variante dentro de cada suelo con una proporción se deriva de la diferencia de una arcilla con una arena o cualquier otro tipo de suelo obtenido.

$$E_c = \frac{N n W h}{V}$$

Donde:

E_c = Energía específica.

N = Número de golpes.

n = Número de capas.

W = Peso del martinete.

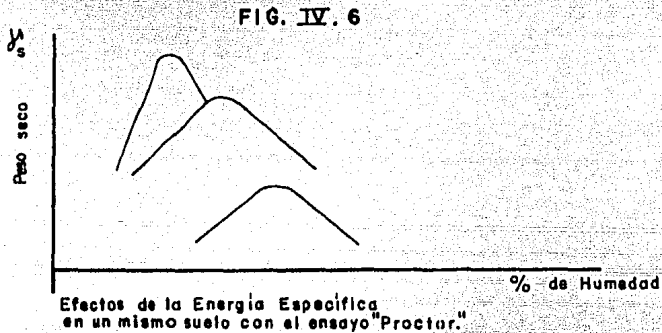
h = A la altura a la que se deja caer el martinete.

V = volumen del recipiente en prueba.

La anterior fórmula, muestra la capacidad del contenido de energía específica depositada en un suelo, pero como también se mencionó, esta es independiente a su peso volumétrico y al porcentaje de humedad óptima del suelo al someterse a este tipo de prueba. Se hace la aclaración que los golpes registrados en cada prueba no tienen alguna constancia en la caída, así como a diferencia de las pruebas, el procedimiento no se somete a algún tipo de norma indicada.

En la gráfica IV.6 se puede observar la dependencia de la energía específica con el tipo de suelo analizado, resultando la misma energía para tres tipos de suelo diferentes en cuanto a su clasificación. Por otro lado al analizar un solo tipo de suelo, los pasos volumétricos se incrementarían con el aumento del número de golpes sometidos a la prueba, caso contrario si entonces se disminuyen el número de golpes el peso -

volumétrico se reduciría, cabe aclarar que los pesos varían solamente en sus humedades óptimas así como el supuesto peso volumétrico seco máximo.



Con relación a la anterior gráfica encontramos tres - curvas casi semejantes, a no ser por la diferencia de pesos y - humedades de acuerdo con los ejes que la componen, pero de esta forma se presta para poder explicar la siguiente secuencia.

En la curva # 1 de la gráfica encontramos un alto peso volumétrico seco máximo. Cosa que prácticamente podrá ser -- una sobre compactación al suelo lo que traería como consecuencia una estratificación del agua en las partes superficiales de la capa de suelo.

En la segunda curva se observa el estado normal del - suelo en su peso volumétrico, expresando de esta forma las condiciones favorables para el proceso constructivo.

La curva # 3 indica un bajo peso volumétrico con un -

alta relación de vacíos en el suelo y por lo tanto su permeabilidad y resistencia se verían deformadas de tal modo que no resistirían los intemperismos tanto químicos como mecánicos.

La relación entre la energía específica y el número de golpes se considera como una gráfica casi lineal pero de ninguna forma partiría del origen, ya que el suelo en lo general tiene cierta adherencia que permite un determinado existir de la misma energía específica, a excepción de las arenas y gravas limpias que por lo general no se usan en la compactación de suelos.

OTRAS PRUEBAS PARA LA COMPACTACION.

A diferencia de las anteriores, existen otras pruebas para checar la compactación de una obra. Una de ellas depende de la humedad y el peso volumétrico del suelo, la única diferencia es en su granulometría representada por la muestra, dependiendo del proceso y el análisis. Esta prueba fué expuesta en el primer capítulo, con el nombre de prueba porter de compactación.

En las nuevas invenciones se ha implementado nuevas formas para checar la humedad del suelo. Uno de ellos es por medios nucleares, en cuyo caso es más exacto pero su procedimiento es demasiado complicado y costoso, en cuanto a que los aparatos utilizados tienen un valor muy alto y únicamente en las de-

pendencias oficiales los pueden adquirir, para su utilización.

Existe una prueba dentro del campo de la construcción para el chequeo del suelo en cuanto a su compactación, este medio es de acuerdo con la compacidad relativa del suelo que a diferencia de la compactación la compacidad es la máxima compactación natural ofrecida por el suelo, al ser sometido a una reducción de vacíos tanto, máximos, mínimos, como naturales.

En lo anterior el Dr. KARL TERZAGHI demostró empíricamente la siguiente fórmula para la compacidad relativa.

$$Cr = \frac{e \text{ máx} - e \text{ nat}}{e \text{ máx} - e \text{ mín}} \times 100$$

Donde;

Cr = Compacidad relativa.
 e máx = relación de vacíos máxima.
 e mín = relación de vacíos mínima.
 e nat = relación de vacíos natural.

Los estados normales de una compactación, presenta -- una facilidad para obtenerla, y su relación de vacíos, está dependiendo de la humedad y la energía específica cedida por el suelo, tal es el caso de los e máx., obtenidos por una muestra vaciada a volteo y la e mín., con la máxima compactación y energía inyectada al suelo. La e nat en bastantes casos es problemático, ya que la muestra extraída debe de ser inalterada y de -- completo cuidado, siendo mayor complicación cuando los niveles freáticos están por encima de las profundidades a las que se --

pretende muestrear.

En la construcción de presas se requiere por su gran ayuda ya que las bases principales son las infiltraciones del agua por la estructura o capa del suelo con que se está trabajando, tanto en la cimentación de la misma presa o en su cortina. En vías terrestres es muy usada sólo en casos especiales, como la de sospecha de posible licuación.

En el aspecto fundamental de la compactación encontramos otro caso muy interesante de conocer la compactación, en este caso se le conoce como la compactación relativa y se funda principalmente en la diferencia de pesos volumétricos entre los suelos con una amplia conducción y manejabilidad del suelo.

Dentro del aspecto de la compactación relativa se define por las diferencias naturales que presenta un suelo con sus pesos en un estado máximo, mínimo y natural.

$$R_c = \frac{\gamma_s - \gamma_{s \text{ mín}}}{\gamma_{s \text{ nat}} - \gamma_{s \text{ mín}}}$$

Donde:

- R_c = Es la compactación relativa.
- γ_s = Es el peso seco máximo.
- $\gamma_{s \text{ mín}}$ = Es el peso seco mínimo.
- $\gamma_{s \text{ nat}}$ = Es el peso natural del suelo.

Evidentemente la obtención de los pesos específicos, tanto natural como el seco máximo, son fáciles de obtener siem

pre y cuando el peso natural no se encuentre en las mismas condiciones que el de la compacidad relativa, ya que en lugares cálidos, se presta para tener evaporaciones en el momento de la obtención de muestras.

En la obtención de un peso volumétrico mínimo se relaciona, en tratar de alterar de manera significativa los vacíos del suelo, en este caso la dispersión de partículas dentro de la muestra. Aunque suena un tanto ilógico existen tantas patrones que indican la forma adecuada de llegar a el peso volumétrico mínimo de cada suelo.

Si observamos con claridad la compactación y la compacidad relativa tienen una gran semejanza, es claro que no es lo mismo un peso volumétrico, que una relación de vacíos, pero lo importante está en que una depende de la otra, como en este caso el peso volumétrico es totalmente dependiente de la relación de vacíos ofrecida por el suelo.

ASPECTOS PRACTICOS DE LA COMPACTACION

Las pruebas del laboratorio son análisis, realizados a los suelos, en una forma casi exacta, de eso que siempre haya una diferencia entre las pruebas obtenidas en laboratorio y en el campo. Es por ello que se ha establecido, normas específicas, en las cuales la compactación no debe variar menos del 90%, en cualquier tipo de terracerías, ahora el 90% es fijado-

por especificación como mínimo de aceptación, pero la relación directa se refleja en las pruebas hechas en campo con las de laboratorio. Tomando ambas pruebas consideraremos un grado de compactación del suelo muestreado.

$$GC = \frac{\gamma_c}{\gamma_v} \times 100$$

Donde:

- GC = El grado de compactación.
 γ_c = PVSM del campo.
 γ_v = PVSM del laboratorio.

Normalmente la compactación en el campo resulta ser más baja y una de las ventajas, es controlar los porcentajes mediante la expresión anterior.

Los pesos volumétricos varían por la diferencia de profundidades, en los bancos, pero siempre se toma un promedio de varias pruebas para elegir el PVSM de la zona.

Como se sabe el realizar la prueba Proctor o Porter en el campo resultaría complicado y de alto costo, de tal forma que los programas de trabajo se verían afectados por la duración de la prueba. Debido a eso se ha simplificado la prueba de tal forma que el proceso de elaboración se facilita hasta en media hora para mayor aprovechamiento del tiempo. Estos métodos son considerados dentro del ámbito constructivo como:

- a.- La prueba del cono.

b.- La prueba de probeta.

El primer método es el más usado, ya que se incurre en menos errores sistemáticos y humanos. El segundo se observa una mayor imprecisión por la medición en probeta y la relación de vacíos que se altera con el volteo.

a.- Método de prueba por medio del cono.

Materiales:

- I.- Cono.
- II.- Una báscula de precisión
- III.- Una parrilla de gasolina o petróleo.
- IV.- Una charola.
- V.- Cincel y martillo.

El cono comunmente va adherido a un botellón, separados por una válvula que obstruye o deja salir el material -- encontrado en su interior. Normalmente arena de otawa o aceite.

Procedimiento:

- 1.- Se excava un hoyo de diez cm. de diámetro con un espesor - igual a la de la capa.
- 2.- El suelo extraido, se coloca en la charola, cuidando que - no existan pérdidas de la muestra extraida, (ver figura).



A



B

a).- Pasos 1 y 2 b).- paso 3; de la Prueba de Cono

3.- Posteriormente se coloca el cono boca abajo del hoyo excavado, para dejar salir el material ya conocido para rellenar dicho hoyo, (ver figura).

4.- Por otro lado la muestra extraída se lleva a la parrilla - para secarla rápidamente y posteriormente se prosigue a pesarla. (ver figuras)

5.- Una vez que el material se depositó en la capa de la terracería, (material del cono) se cierra la válvula y se pesa el cono en la balanza, como se conocen los datos reales -- tanto del material como del cono, la secuencia se ve de mayor facilidad.

Obtenidos los datos tanto del cono como la de la muestra se procede a calcular. El laboratorio de mecánica de suelos del D.D.F. tiene una secuencia y una forma especial para que directamente se obtenga el resultado sin peligro de incurrir a posibles errores de manejo, (ver tabla).

PRUEBA DE COMPACTACION

Muestra N.º:	Uno	
Procedencia:	Calle Geminis	
Contratista:	U. Y. A. S. A.	
Clasif. del Material:	Sub-base preparada en obra.	
Sondeo	N.º	Uno
Localización:	Sadenamiento 0+450	
	Eje de trazo de la construcción.	
Peso mat. húmeda	Kg.	1670.00
Peso Arena	Kg.	_____
Peso Vol. Arena	Kg/M3	_____
Volumen	M3	0.00091
Peso Vol. Húmedo	Kg/M3	1835.00
Humedad.	%	11.3
Peso Vol. seco	Kg./M3	1649.00
Peso Vol. máximo	Kg./M3	1732.00
Compactación	%	95.2

Tabla IV. 1



Ejemplo del cálculo de una prueba D.D.F.

Fig. IV.9. Paso No.5

Tabla IV.1.

De esta forma es como se realiza una prueba de compactación en campo, pero aún es conveniente hacer mención de la diferencia que existe entre usar una arena de otawa con cualquier otro tipo de material, ya que si se utiliza aceite, las infiltraciones o movimientos inadecuados traerían como consecuencia un fuerte error en el cálculo, en cuanto a volumen, aparte de no recuperar el propio aceite de la capa, ocasionando una contaminación en esa zona de la terracería.

Las pruebas se realizan de acuerdo a la sección o a el área de trabajo; por ejemplo en vías terrestres en secciones de 10 mts. la prueba se da a cada 30 mts. equidistantes de una con otra y en áreas grandes se realizan de 300 a 500 mts.-cuadrados de diferencia y equidistantes.

INFLUENCIA DE LA COMPACTACION EN LOS SUELOS.

Los artículos ingenieros dedicados a la investigación de los suelos, siempre trataron de seleccionar algún proceso mecánico de compactación, todo resultaba nulo por los efectos de renovar o ampliar sus propiedades sin ninguna base a diferenciar. Estas pruebas remitidas hizo que se llegara a la conclusión de que cada suelo tiene diferentes características físicas en sus partículas, así mismo como los métodos a emplear difieren para cada uno de ellos. Debido a esto la S.A.H.O.P. - ha tenido por implementar técnicas adecuadas a la forma de como compactar, haciendo la aclaración, en un caso particular es la de más importancia por su dedicación y especialización, pero no se trata de decir que otras dependencias o laboratorios del país no se haya investigado, así como en cualquier parte del mundo, como en estados Unidos o Europa donde cuenta con mayor técnica y mejores procedimientos para su desarrollo.

Las rocas, grava, arenas y suelos finos, son parte del estudio definido granulométricamente, a cada uno de los --

suelos, así como el empleo de índices plásticos, para la evaluación de suelos finos con la ayuda de las pruebas explicadas en el capítulo uno podemos tratar de experimentar los procesos de tal forma que pueda designar la forma de compactar.

Los diferentes métodos utilizados para la compactación dependen del tipo de suelo y se derivan de la siguiente forma:

AMASADO

IMPACTO

VIBRADO

PRESION

CONJUGACION DE LOS ANTERIORES

SUELOS COMPACTABLES Y NO COMPACTABLES

Como se dijo anteriormente, la S.A.H.O.P. define a ambos suelos por sus características granulométricas, aunque de hecho ambos se pueden compactar, el tamaño y la forma difieren en el tipo de suelo.

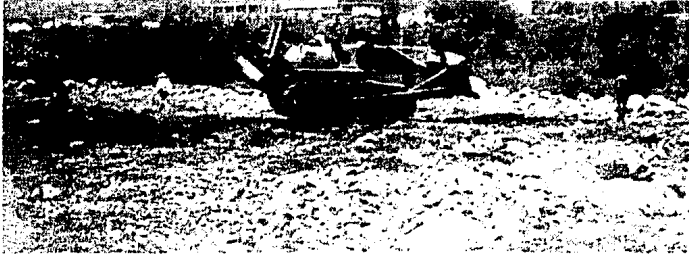
Para identificar a los suelos compactables la prueba es sencilla, granulométricamente hablando, ya que se considere a un suelo compactable como toda partícula que pasa la malla # 3 y sus retenidos no son mayores al veinte por ciento, en peso de la misma malla. Las rocas mayores no deben de exceder de un cinco por ciento en peso, viceversa, los suelos no compactables son aquellos cuyo retenido en la malla # 3" es mayor al veinte-

por ciento en peso.

La importancia de las rocas en las construcciones, es una parte vital para la obra, ya que en muchas ocasiones resulta ser de mejor calidad y economía en su aprovechamiento directo.

Debido a la gran diversidad de tamaños en las rocas, el proceso de compactación, resulta ser difícil, en cuanto a la orientación de las partículas, ya que se comportarían de una forma inadecuada, por la forma que presentan. Para unir y tratar de cerrar los vacíos de los suelos rocosos, se recomienda usar tractores de orugas de gran peso, con una tracción aproximada a los 200 H.P., como mínima y de peso aproximado a las 20 ton.

El proceso de compactado por la máquina de orugas, se le denomina comunmente como bandeo y se obtiene mediante la pequeña trituración de la roca para formar entre ellas una resistencia con las astriaciones adquiridas, así también el amasado y la vibración acomodan las partículas sin ninguna dificultad, (ver figura).



Bandeo sobre enrocamiento por un Tractor D-9

Fig. IV. 10

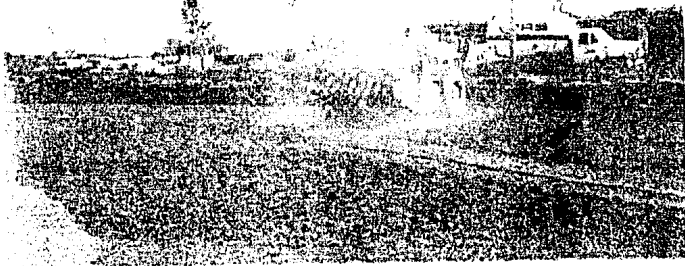
En muchas ocasiones los suelos no compactables o los enrocamientos, son muy recomendables en proyectos de terraplenes u hoyos de profundidad considerable. El hecho de usar las rocas es evitar principalmente las presiones de poro y capilaridades, así como en los lugares fríos, evitan las expansiones provocadas por el hielo y dan mayor margen de seguridad para evasión de tubificaciones posibles por el deshiele del suelo en épocas de calor. La permeabilidad es demasiado alta debido a la relación de vacíos que existe en el enrocamiento, admitiendo a la porosidad y la dureza como una mejor seguridad y servicio de la obra.

En los suelos compactables se identifican tres grandes grupos para su proceso de compactación, así mismo el de dar soluciones y alternativas, para la elección de la maquinaria competente. Los suelos no cohesivos, los de cohesión moderada y suelos cohesivos, son básicamente, los tres grupos en

que se divide la técnica de la compactación, no importando en cierta forma sus propiedades físicas.

SUELOS NO COHESIVOS.

Se alinean en este campo básicamente las arenas y -- gravas, así como los suelos que encierran una alta dificultad al compactarlos. Dentro de este grupo encontramos, en cuanto a su tamaño, a los que pasan la malla de 3" y son retenidos por la malla # 4, como las gravas, y las partículas que pasan la malla # 4 y son retenidos por la malla # 200, como las arenas limpias. Debido a la gran diversidad de tamaños que oscilan en ese intervalo, son propicios para compactarlos por medios vibratorios, ya que el movimiento acomoda a las partículas hasta dar mayor resistencia, (ver figura).



Compactación por vibrado de un Suelo no cohesivo.

Fig. IV.11

El amasado y el vibrado son muy importantes en los - suelos graduados en un mismo tamaño y con una cohesión nula de

estos. Las dos funciones desempeñan un papel muy importante en su trabajo, pero sin duda alguna realizan diferente método para trabajar. La disgregación de los suelos a voltéo de los camiones o simplemente al ser removidos de su estado natural hacen una descomposición de partículas sumamente compleja para trabajarlos y sólo con los métodos antes mencionados pueden dar un arreglo de la capa del suelo. El vibrado de la máquina tritura las partículas para dar mayor fricción entre ellas y su resistencia se ve incrementada con el proporcionamiento de los vacíos del suelo.

La ventaja que se puede dar a este tipo de material, se enfocan particularmente en zonas expuestas a alta intensidad de lluvia y climas de alto congelamiento como las de baja temperatura. Los suelos de alta intensidad sísmica tienen el problema de usar el suelo no cohesivo ya que los efectos del movimiento y la humedad provocan serias consecuencias, por muy compactados que estos se encuentren.

SUELOS POCO COHESIVOS.

Se les considera a este tipo de suelos a todas las arenas compuestas de suelo fino no cohesivo y a todos los suelos de transición, de los cuales encontramos a los suelos como el limo o todo aquel suelo residual cuyo desprendimiento es de origen primordial de la roca.

La compactación de estos suelos es regularmente por amasado, ya que la extensa cantidad de finos, se conjugan para formar una sóla estructura con la poca plasticidad que hay en ellos.

Cabe aclarar que en suelos como las arenas, su índice de plasticidad es igual con cero y sin embargo los limos -- tienen dos diferentes índices plásticos que los caracterizan, aunque este sea demasiado bajo. El limo inorgánico tiene una plasticidad del cuatro por ciento, con un límite líquido menor al quince por ciento y los limos orgánicos en ocasiones son de alta plasticidad y pueden traer graves consecuencias como la del rebote del suelo al paso de una carga viva de gran peso.

Como se comentó el amasado es una buena decisión para compactar los suelos poco cohesivos aunque algunas veces se tenga por usar el impacto para extraer la humedad del mismo -- suelo.

Al cumplir con las exigencias, las ventajas sobresa- len en una alta resistencia a la compresión simple, con una re- ducción de vacíos que evitan las licuaciones e impermeabilizan las capas del suelo. Sus desventajas, son el agrietamiento por pérdida de humedad y el peligro de tubificarse cuando el escu- rrimiento de la lluvia se introduce en el interior de la capa.

SUELOS COHESIVOS.

El grupo de los suelos cohesivos, es sin duda un complejo ejemplo de los problemas básicos de la ingeniería, pero sus grandes extensiones han hecho un minucioso estudio de las arcillas ya que su composición química y su gran variedad, hacen de importancia, el nivel de compactación en zonas donde predomina la arcilla.

Las arcillas son suelos cuyas partículas son reconocidas por ser menor a la malla # 200, aparte de tomar en cuenta la plasticidad de acuerdo con los límites de attemberg, su tamaño refleja la impermeabilidad o la absorción lenta del paso de la humedad, debido a la mínima relación de vacíos que en ella existe. El compactado de estos suelos es conveniente por lo antes expuesto, aunque en algunas ocasiones las expansiones son altas y de extremado peligro en cimentaciones y obras viales. La plasticidad y sus pesos volumétricos, reflejan la inadecuada estabilidad dentro de la construcción, en zonas cuyo clima es húmedo y está expuesto a congelamientos por las bajas temperaturas, de ésta forma se observa la desventaja de las arcillas cuando están expuestas a la humedad y son altamente expansivas.

Existen muchas obras donde se requiere de la presencia de las arcillas, unas de ellas son las presas y requieren de estos suelos para impermeabilizar las cortinas y sobre todo para evitar una alta relación de vacíos al mezclarlas con las

arenas y gravas. También la cohesión ejercida por las arcillas con otros suelos como gravas y arenas es indispensable para dar una mayor resistencia al soporte y mejorar la flexibilidad de las estructuras.

EQUIPO DE COMPACTACION

Actualmente existe una gran variedad de máquinas importantes dentro de la construcción, así mismo las industrias dedicadas a este ramo, se han dedicado a investigar una serie de elementos indispensables a las máquinas para desarrollar más eficiencia y mejor calidad de trabajo.

Dentro de los cambios tecnológicos, las compactaciones han jugado un papel muy importante, en cuanto a la industria se refiere y a su vez se han llevado a grandes inversiones por la importancia del problema. En ocasiones no sólo se desglosa a un sólo modelo por periodo, sino también se ha tenido necesidad de elaborar implementos especiales para llevar a cabo una determinada obra.

Las presas, vías terrestres, edificios y canales, requieren de la compactación, no sólo para dar un acabado perfecto, sino también el de poder cumplir normas y especificaciones de exigencia constructiva, haciendo hincapié de los elementos necesarios para lograrlo.

El mercado ha lanzado una infinidad de máquinas para-

la compactación. Pero todas ellas tienen una misma finalidad, y un parecido casi semejante en cuanto a los elementos de arranque y diseños estructurales. Cabe aclarar que no cuentan con la misma eficiencia para trabajar, y en dados casos las variaciones de una máquina se reflejan, en la potencia, tipo de combustible, movimientos y en ocasiones el operador factor fundamental y necesario dentro de una máquina de compactación.

OPERADO:

Sin duda alguna el conductor de una máquina de compactación es el factor más indispensable de una obra, ya que de él depende la estabilidad y duración de una obra. En ocasiones el mismo operador debe de tener la suficiente experiencia de reconocer cuando un suelo está adecuadamente compactado y en muchos casos identificar la humedad óptima exigida. El simple hecho de compactar no se restringe a una necesidad elemental del operador, pero si se exige las compactaciones específicas en la construcción, tal es el caso de muchos operadores, que sin sentir realizar la compactación a una velocidad desproporcionada a la exigida para lograrlo.

Los defectos que se pueden presentar cuando un operador es falto de experiencia en compactar sin humedad y viceversa compactar cuando se excede de ella.

POTENCIA:

Para los rodillos de 10 a 12 tons. la potencia es -- aproximada a los 60 h.p., pero la eficiencia efectiva de la máquina es de un 85% del valor normal. Existen también máquinas de compactación para drenaje y obras especiales hasta de 1 h.p. siendo la eficiencia hasta de un 95%, dependiendo de la profundidad y obra de arte que realice.

COMBUSTIBLES:

Normalmente las máquinas para la compactación son de diesel, aunque anteriormente tenían un doble uso en combustible, como en el encendido y en el desarrollo total de trabajo. En las máquinas pequeñas normalmente trabajan por medio de gasolina.

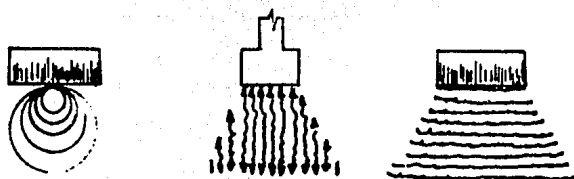
MOVIMIENTOS:

Una de las máquinas utilizadas en la construcción y cuya eficiencia es alta son las de compactación, ya que los movimientos tanto de reversa como hacia adelante son aprovechados con la misma calidad y utilidad de trabajo. El ahorro del combustible se reduce por la doble acción, misma que la velocidad y su desarrollo se ven conservados sin ninguna alteración.

Dentro de los anteriores puntos no sólo se contempla la necesidad de admitir eficiencias y variantes que se infunden dentro de la compactación sino también se han realizado investigaciones, con acuerdo al tipo de suelo y a la forma de --

compactarlos, así como la influencia de los suelos con respecto a las máquinas.

Los rodillos lisos, pata de cabra, neumáticos, de rejilla y vibratorio, son los elementos indispensables en la compactación, sin excluir los apizonadores o compactadores que normalmente se usan en pequeñas áreas de trabajo, (ver figura).



(a)

(b)

(c)

Fig. IV.12

- a.- Amasado
b.- Impacto
c.- Vibrado.

RODILLOS LISOS

Las aplanadoras o mejor conocidas dentro de la construcción como planchas, son elementos mecánicos, que han revolucionado la técnica de la compactación, las hay de muchas marcas y su diferencia prácticamente no cambia con los estados físicos de la máquina. Sus características de compactación se dividen en dos tipos o formas. En primer lugar encontramos los rodillos tipo triciclo, por tener dos ruedas traseras metálicas y un rodillo liso en la parte delantera, el segundo tipo -

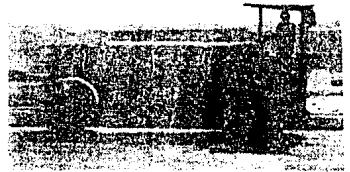
consta de dos rodillos uno en la parte trasera y otro en la parte delantera su nombre en el mercado y en la construcción es el tandem. Ambos tipos tienen una diferente forma de usar y una diferente forma de trabajar, así como han evolucionado dentro de las necesidades que exigen buena calidad y buena ventaja económica.

La aplanadora tipo triciclo se ha desarrollado de la siguiente manera. Las ruedas eran de rayos sostenidas de un eje, careciendo totalmente de volante y usaban doble combustible al trabajar, su eficiencia era baja por la velocidad que desarrollaban, con lentos cambios de movimiento.



Diferentes Tipos de una plancha Tipo Triciclo. Tipo

Fig. IV. 13



Actualmente los cambios se remarcan con las anteriores máquinas y de esta forma se han incrementado las eficiencias y calidades para trabajar; los cambios más importantes que han surgido son los siguientes:

A.- Los rayos de las ruedas son substituidos por cilindros que se pueden lastrar para dar más peso.

B.- Se extraen las palancas móviles para ser substituidas por palancas fijas.

tuidas por un volante de dirección hidráulica.

C.- Los cambios en el motor le dan más potencia de movimiento para lograr mayor eficiencia y someterlas a un sólo uso total de combustible, en este caso de diesel.

D.- Se le adapta un tanque de agua en la parte traseira para evitar adherencias extrañas a la rueda.

Las ventajas de haber substituido, estos cuatro elementos ha remarcado un mayor desplazamiento en cambios de tramo por rodado, aparte de lastrar los rodillos de la máquina.

Todos los rodillos de la aplanadora son cerrados con una pequeña compuerta, que permite la introducción de arena para incrementar el peso de la máquina.

Los dos tipos de aplanadora tienen dos funciones diferentes de utilizarlos. El tipo triciclo, es usado frecuentemente para las bases de cimentaciones o para sub-bases o bases de una carretera, su motivo es por las dos llantas traseras, que se apoyan en el suelo con mayor presión por la distribución de su carga, el tipo tandem como distribuye su peso a lo largo de sus rodillos, la carga es menor y al compactar un mismo suelo el número de pasadas se incrementa. Normalmente el rodillo tandem se emplea con mucho mayor frecuencia para la compactación de pavimentos u otras formas para dar una textura de mayor calidad como en las recompactaciones.

En la gráfica que se encuentra posteriormente, mues-

tra en forma amplia la diferencia entre la compactación con -- una placha tipo triciclo y una tipo tandem, su ventaja de la - placha tipo triciclo se refleja por las distribuciones de la - carga sobre los rodillos, y su velocidad, pero en sí el número de pasadas es básico para mantener un equilibrio óptimo de movimiento.

Normalmente el tiempo para compactar es el mismo, de bido a las velocidades desempeñadas por cada placha en este - caso la placha tipo triciclo trabaja aproximadamente a 4 km./hr. y la tipo tandem de 5 6 km./hr.

Los suelos finos tienen mayor influencia al ser compactados por este tipo de compactadores, por su formación es-- estructurada de la partícula, y su uniformidad hace estable a -- cualquier agente interno o externo del suelo.

En las arenas limosas se logra una mayor resistencia por medio del amasado, el cual se da una uniformidad pareja pa ra permitir el rompimiento de grumos formados por exceso de hu medad y también reduce ampliamente la relación de vacíos de -- las capas o estructura del suelo.

El número de pasadas depende del tipo del suelo, así como la densidad y el peso volumétrico del mismo.

COMPACTADORES DE NEUMATICO

Los neumáticos son muy utilizados en terracerías y -

pavimentos su importancia no sólo radica en compactar los suelos para obtener pesos volumétricos óptimos, sino también se emplean para controlar la humedad y textura del suelo, principalmente en bases, sub-bases y sub-rasantes.

Los elementos mecánicos del neumático levantan el agua sin distorsionar la estructura de la capa y dan un mayor aprovechamiento, dejando una uniformidad estable y de calidad en la capa de los suelos arenosos, finos y compuestos.

La importancia del compactador de neumático, radica en el tipo de obra y por eso la industria técnica mecánica, ha diseñado elementos estandar, en cuanto a su peso y desplazamiento.

Los pesos aproximados del compactador de neumático oscilan aproximadamente entre las 12, 20 y 50 tons., su desplazamiento se divide en tres diferentes tipos de arrastre para trabajar:

Arrastre con motor autopulsado.

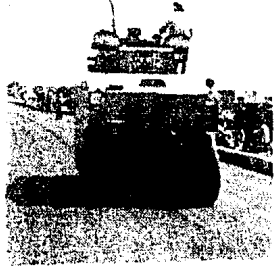
Arrastre con tractor agrícola.

Arrastre con tractor duopactor.

Estos tipos de compactadores neumáticos, son muy conocidos en la industria de la construcción y también dan el mismo rendimiento de trabajo, ahorrando pérdidas innecesarias, con una mayor calidad y una mejor economía.

El tipo de la llanta también depende esencialmente -

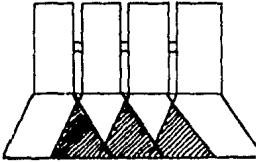
del suelo de trabajo, aunque con mayor frecuencia son de una -
 textura lisa para cuando se trabaja con suelos finos y pavimen-
 tos, cuando el suelo tiene un alto contenido de arena y grava-
 da de textura angulosa o semi-angulosa, se recomienda usar neumá-
 tico con dibujo, para evitar un prolongado desgaste de la llan-
 ta, así como sufrir detenimientos por picaduras o ponchaduras-
 del neumático.



Compactadores Neumáticos

- a).- Neumático de Remolque.
- b).- Neumático de Autopropulsión.

La función principal de este elemento mecánico radica en sus neumáticos, por eso mismo la presión del inflado, -- juega un papel muy importante en el amasado del suelo y su distribución con el eje es elemental para el funcionamiento.



Distribución de
esfuerzos en el suelo

FIG. IV. 15

La distribución de esfuerzos depende del inflado, ya que un neumático con baja -- presión, amplía el estado de energía específica cedida a el suelo, considerando -- una reducción de compactación de la parte inferior de la capa.

Por otra parte la figura anterior, muestra la especial forma de compactar, dando una mayor reducción de vacíos -- de la parte inferior a la parte superior del suelo.

El área cubierta por el rodado implica una mejor distribución de esfuerzos y su teoría depende del ángulo de fricción interno del suelo, también implica un rodamiento que identifica el amasado y de él su área básica para controlar la humedad y la resistencia ofrecida por el suelo, así como elegir el trabajo a desarrollar.

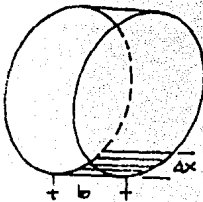


Fig. IV. 16

El mismo neumático responde a la -- teoría de BUSSINES, ya que provoca un bulbo de presiones sobre las capas, su estudio se refleja en el tipo de suelo y en la presión ejercida por el mismo neumático y su área de rodado.

Las investigaciones realizadas por "BROS. INCORPORED",

de la Road Machinery División, han demostrado una secuencia de distribución de esfuerzos bajo un bulbo, así como la importancia que se adquiere dentro de la compactación.

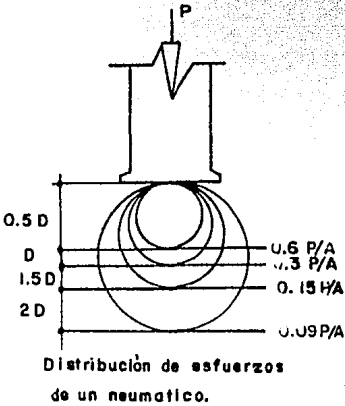


Fig. IV.17

De la figura que se presenta P/A , es la presión ejercida por el peso del neumático y el área tributaria del rodado; D es el espesor del neumático, donde el peso de cada neumático oscila entre los 2.25, 2.75, y 3.25 tons. y el área de su rodado depende en gran parte del inflado.

Un ejemplo claro para constatar la presión sería el siguiente:

$$D = 25 \text{ cm}^2$$

$$P = 2250 \text{ kg.}$$

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} = 490.87 \text{ cm}^2$$

$$P = \frac{2250}{490.87} = 4.58 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

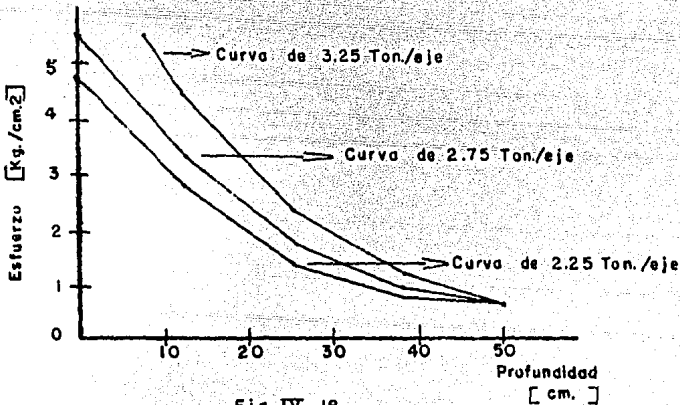
4.58 K/cm^2 es la presión ejercida en la superficie del suelo.

Obedeciendo a los datos proporcionados por "Hand book

of compactology de bro., incorporad" se obtiene:

Espesor cm.		Esfuerzos kg/cm ²
12.5	----- 0.6 p -----	2.75
25.0	----- 0.3 p -----	1.37
37.5	----- 0.15p -----	0.69
50.0	----- 0.09p -----	0.41

En un análisis parecido al mismo procedimiento pero con diferentes pesos, nos daría una gráfica de la siguiente -- forma.



Independiente del suelo; la gráfica se apoya en una distribución de esfuerzos en un conjunto de pruebas realizadas a suelos finos.

RODILLOS PATA DE CABRA

Estos rodillos son muy utilizados en suelos finos -- arenosos y su consistencia se deriva en los diferentes tipos --

de vástagos utilizados para compactar un suelo. Los rodillos - pata de cabra se consideran en cuanto a su peso, de dos tipos:

El primero es ligero y tiene como características.

Diámetro del cilindro	1.00 mt.
Longitud del cilindro	1.10 mts.
Longitud del vástago	0.18 mts.

El segundo es de tipo pesado y sus características son las siguientes:

Diámetro del cilindro	1.50 mts.
Longitud del cilindro	1.60 mts.
Longitud del vástago	0.23 mts.

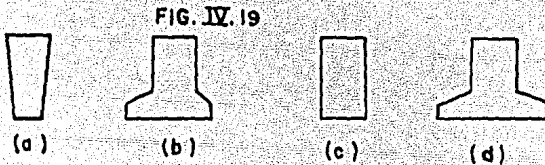
Ambos dependen de las dimensiones y del tipo de suelo, aunque lo más importante es el peso del cilindro, donde al igual que los rodillos lisos, se pueden lastrar agregando arena en el interior del cilindro para incrementar de esta forma mayor peso y de esta manera ejercer más presión en la penetración del vástago. El intervalo de compactación a la compresión simple sobre la hendidura del vástago es aproximadamente de 30 a 42 kg/cm^2 , para el pesado y para el ligero dependiendo de ello sobre la superficie del terreno.

Los rodillos sin lastrar o vacíos son eficientes aunque el esfuerzo en la superficie del suelo, es demasiado baja y se considera una compresión aproximadamente entre los 15 y - 20 kg/cm^2 . para los rodillos ligeros y pesados respectivamente.

Los vástagos es el elemento más importante dentro del elemento mecánico, así como la distribución de cada uno de ellos por cada metro cuadrado de su rodillo.

La distribución por metro cuadrado dentro del elemento mecánico en los vástagos que están adheridos al cilindro, normalmente es de 10 a 12, con una cobertura de área para cada vástago de 0.083 mt^2 .

La separación entre cada vástago también influye en el buen funcionamiento del compactador pata de cabra, ya que la adherencia de suelos húmedos con el cilindro reduce la penetración y la eficiencia en la compactación.



- a.- Vástago ahusado.
- b.- Vástago de pata amplia.
- c.- Vástago de forma prismática.
- d.- Vástago de pata de cabra.

Los vástagos b y d, son ampliamente parecidos, y su diferencia es únicamente por su tamaño, se recomienda usarlos en suelos con alta cantidad de grumos, suelos finos arenosos con alto grado de plasticidad. Los a y c, son empleados en suelos finos semi-saturados, ya que expulsan el agua y reducen la

relación de vacíos para aumentar los pesos óptimos del suelo.- En conclusión la definición por el uso de cada vástago es principalmente por la reducción de la plasticidad o de la humedad del suelo.

Las profundidades a las que penetra por la presión ejercida, fluctúa en el número de pasadas de acuerdo a la velocidad del compactado. En suelos finos se remarca la eficiencia de la penetración del vástago y logra la siguiente tabulación.

Esta tabulación es de acuerdo a datos empíricos, analizados en campo, así como la compactación que alcanza por profundidad de capa.

N.- de pasadas	Prof. alcanzada Cms.
4 -----	15
7 -----	20
10 -----	30

En conclusión se puede decir que la función del rodillo pata de cabra, además de ofrecer una buena compactación, desempeña dos funciones importantes para realizar. La primera es ligar estrechamente las capas de la terracería y en segundo lugar disuelve enteramente los grumos de los suelos, haciendo de esta forma una compactación aceptable para el desarrollo de la obra. Se puede decir también la eficiencia de los rodillos-pata de cabra, ya que en el elemento mecánico rinde de un 50 a 70% de penetración según el tipo de suelo y se puede decir que

ha logrado su máxima compactación cuando la penetración del --
vástago oscila entre un 7 y 10% de las pasadas que ha realiza--
do.

RODILLOS VIBROCOMPACTADORES

Los rodillos vibrocompactadores son elementos mecáni--
cos que han revolucionado la industria de la construcción, por
su doble uso y la máxima eficiencia en la compactación para di--
ferentes profundidades del suelo.

Comunmente estas máquinas son de un sólo rodillo pro--
pulsado con un motor de diesel y puede ser operado por su sen--
cillez y manejabilidad instrumental.

Los rodillos vibrocompactadores tienen una mayor efi--
ciencia en suelos cuya grava es abundante, así como en arenas--
y gravas limpias donde la orientación de la partícula es indis--
pensable para la compactación entre ellas.

Estos compactadores se componen de rodillos lisos y
pata de cabra, ambos son de necesaria utilización para cada di--
ferente tipo de suelo, en este caso la pata de cabra con vibro,
resulta ser usado en suelos cohesivos y semi-cohesivos, ya que
rompen los grumos del aguachinamiento del suelo en estado seco.

Los suelos limo-arenosos o arcillosos húmedos son --
compactados por el vibrocompactador pata de cabra para expul--
sar la humedad con la penetración del vástago sobre la superfi--

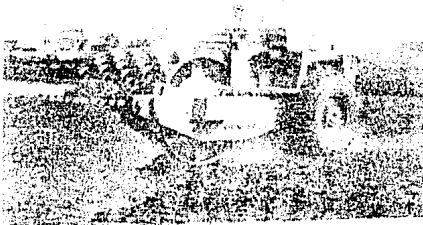
cie de la capa, su alta plasticidad del suelo puede ser afectada y controlada para tener un suelo uniforme y estable.

Los vibrocompactadores son elementos mecánicos de diferente capacidad y potencia, y dependiendo de ellas es la frecuencia del vibrado.

El impacto producido por la vibración es un incremento normal al peso de la máquina y este se altera en un 40 a -- 50% de aumento en el peso para la compactación.

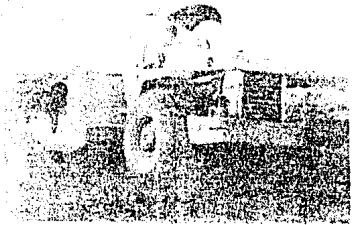
Los rendimientos de la máquina están en función del rodado y la velocidad, así como del espesor de la capa del suelo y el número de pasadas de la máquina.

En todos los suelos compuestos se remarca la diferencia en cuanto a la acción del vibrado, para la orientación de las partículas gruesas y el acomodo de las partículas finas -- dentro de los vacíos de la capa de suelo.



A

A).- Vibrocompactador de Pata de Cabra.



B

B).- Vibrocompactador de Rodillo Liso.

Las máquinas vibrocompactadoras cuentan con un dispo

sitivo para anular el vibrado cuando no se le requiere, para funcionar como un simple rodillo liso y de esta forma utilizarlo para mejorar la textura y afinar la capa del suelo en una secuencia simultánea por las rebabas levantadas del suelo fino producidas por la vibración de la máquina.

COMPACTADORES DE IMPACTO

Los compactadores de impacto, son elementos mecánicos contruidos para áreas pequeñas de trabajo y son muy útiles para la construcción de drenajes, banquetas, agua potable y guarniciones, el uso importante se le da principalmente al manejo de suelos al compactarlos para cada concepto mencionado anteriormente en cuanto a su capacidad de distribución en los Suelos.

La humedad de terracerías y rellenos debe ser mayor a 4% aproximadamente para la expulsión de el agua al recibir el impacto. Estos elementos mecánicos son de diferentes características, los hay desde forma manual con aditamentos simples como un cabo o mango adherido a un pizón, el peso es de unos 10 a 15 kg. de carga, con una caída de aproximadamente 50 cm. dependiendo de la persona que compacta.

Los compactadores de impacto también son elementos industrializados, compuestos de un motor de gasolina colocados en la parte superior del compactador o en ocasiones con un mo-

tor aislado a la parte compactadora, el nivel de compactación se localiza en la parte inferior de la máquina para maniobrar con mayor facilidad. El peso varía entre los 100 y 500 kgs. la eficiencia de la compactación es dependiendo de la operación, aunque regularmente alcanza capas hasta de 30 cms., la altura de caída es proporcional al peso de cada máquina y normalmente se extiende hasta los 50 cms., como máximo, su rendimiento en cuanto al avance de obra es de 25 a 35 m³/hr., a diferencia de el compactador manual cuya eficiencia se reduce a los 3 y 5 m³/hr.

La ventaja ofrecida por los apizonadores, se regula en los lugares donde se anulan en su totalidad los equipos pesados y por la magnitud de su tamaño y el área de trabajo, regularmente los apizonadores no tienen en cierto aspecto una restricción en cuanto a su trabajo con diferentes tipos de suelo.

Existen una gran variedad de elementos mecánicos para compactar áreas reducidas, como compactadores autopropulsados por aire comprimido, aunque no es recomendable por la necesidad de usar un compresor portatil para hacerlos funcionar.



Compactadores de Impacto

A).- Compactador de Aire.

B).- Compactador de Gasolina.

Fig. IV. 21.

COMPACTACION DE PAVIMENTOS.

Dentro de todas las compactaciones existe un gran interés en la compactación de los pavimentos, debido a la gran influencia e importancia que tienen hoy en día.

Las pruebas realizadas reflejan una gran influencia en sus pesos volumétricos máximos, y su importancia vital refleja sobre todo en absorción, dureza y porcentaje de asfalto del pavimento. Estas características se restringen y se suprime en forma total a el agua para ser suplida completamente por el asfalto.

La absorción de las partículas del suelo normalmente, gravas, arenas y suelos finos, son elementos indispensables pa

ra su compactación ya que de él depende el porcentaje cuantificado de asfalto para la unión de las partículas del pavimento. En ocasiones resulta ser gravas y arenas ígneas producto de la demolición de rocas madres, por abrasión de trituradoras especiales dependiendo del tamaño y forma de la roca. Estas rocas suelen ser de magma seca que al expanderse atrapan muchas burbujas de aire, haciéndolas más débiles y más tendenciosas a ser absorcivas de humedad o cualquier otro tipo de material líquido. Por otro lado la misma magma elabora otro tipo de roca más sólida y compacta que reduce la porosidad, admitiendo menos absorción de asfalto dentro de las partículas.

Es claro que existen bancos naturales para la utilización de agregados en el pavimento, pero la nueva tecnología hace la realización más económica y efectiva con las trituradoras mecánicas de roca para las mezclas en caliente.

La dureza verifica una pronta adherencia en las partículas debido al casi nulo desquebrajamiento.

La prueba de dureza es muy común realizarla en todos los laboratorios de mecánica de suelos, para que de esta forma remarque la seguridad del uso del material.

La estabilidad se mantiene en el grado de resistencia de un pavimento, sin sufrir ninguna deformación con el paso de cargas de elevado peso, por tal motivo es la compactación segura y de alta calidad, para garantizar una efectiva estabilidad.

de la carpeta asfáltica.

El porcentaje de asfalto tiene su mayor importancia, ya que se somete a una cuantificación para cada volumen de triturado en el pavimento. Un ejemplo sería el exceso de asfalto en un pavimento donde el clima es altamente cálido, cuyo problema se remarca en el sangrado del asfalto por cargas continuas que se atribuyen, este tipo de pavimento es también conocido como un pavimento resbaladizo.

El peso volumétrico también se refleja en el porcentaje de asfalto y su mayor importancia es en su compactación, así como también se refleja en la absorción de la partícula y el porcentaje de huecos existente en ellas.

PROCESO DE COMPACTACION EN PAVIMENTOS

Este proceso se refleja principalmente en las mezclas elaboradas en planta, así como el método es importante para la obtención de buenos resultados.

Una vez extendida la mezcla se prosigue con la compactación del pavimento. La temperatura influye en el proceso, ya que de esta depende su adherencia y orientación con las partículas normalmente la mezcla es admitida aproximadamente a los 90°C, para compactarla. Su compactación se inicia con una plancha tino triciclo, con un peso aproximado a las doce ton., para armar totalmente la carpeta asfáltica, la velocidad de la

plancha es indispensable para lograr una buena compactación, - aproximadamente a los 6 k/h., con un número de pasadas de aproximadamente tres a media llanta de separación.

Cuando se termina el armado en ocasiones el agrietamiento, y la segregación de las partículas se remarcan por dos aspectos fundamentales, el primero es cuando no se tiene un -- control de la temperatura y el segundo es debido a la falta de barrido o a movimientos bruscos del material, como el volteo - en el camión o en el vaciado de la mezcla, del depósito al cación.

Para lograr cerrar el agrietamiento y hacer subir el fino en la mezcla se tiene que realizar una recompactada con - el neumático, ya que este tiene un rodado uniforme y el hule - de las llantas extrae con su movimiento a las partículas pequeñas sobre la superficie, cerrando de esta forma los agrieta--- mientos y la porosidad de las partículas de la mezcla. La textura se ve afectada por el remolinetéo del neumático sobre el pavimento. Por último se da una recompactada para dar forma al pavimento alisando la superficie de tal forma que empareje las rebabas producidas por el neumático, dando mayor uniformidad - por la distribución del rodillo tipo tandem.

Esto antes mencionado reclama la oportunidad de dar una mayor resistencia al pavimento, así como el de impermeabilizar la capa anterior. De otra forma se encontrarán ciertas -

irregularidades dentro de la colocación del pavimento, tal es el caso de usar unicamente un rodillo liso o unicamente el neumático, en el primero se lograría un buen armado del pavimento pero con una permeabilidad alta, debido a la porosidad o al agrietamiento que presenta el pavimento. En segundo término el neumático dejaría unas remarcaciones profundas dentro del pavimento y de esta forma se obtendría una incomodidad para el tránsito de cualquier eje.

INFLUENCIA DEL ASPECTO FISICO DE LAS PARTICULAS EN LA COMPACTACION.

Como se mencionó anteriormente la dureza, absorción, estabilidad y porcentaje de asfalto, son base fundamental para la compactación, su intervención se refleja en la porosidad de las partículas, ya que de esta depende la resistencia a cualquier carga. En muchos casos cuando el poro es excesivo, el proceso de compactación se hace más dificultoso ya que el desmoronamiento de la partícula produce una mezcla débil y fina con un alto grado de inestabilidad, reflejando de esta forma un debilitamiento en la superficie del pavimento.

Las partículas o en agregado poroso. Absorbe mucha cantidad de asfalto en un estado caliente por la dilatación del poro al elevarse la temperatura. Este tipo de mezcla trae como consecuencia, el de tener un pavimento inseguro y peligro

so por tener un alto grado de resbalamiento. Caso contrario -- cuando el asfalto tiene una mínima cantidad entonces el problema cambia con la compactación, ya que el peso volumétrico se reduce en una mínima parte, con una mayor relación de vacíos - en la carpeta.

Las cantidades promedios que pueden tener las carpetas, en cuanto a su asfalto está entre 6 y 7%, y para las bases negras es de un 5 a 6% de asfalto.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACION DE PAVIMENTOS.

- 1.- Viscosidad del asfalto.
- 2.- Temperatura del asfalto.
- 3.- Temperatura de la mezcla asfáltica.
- 4.- Granulometría de las partículas de la mezcla asfáltica.
- 5.- Pendiente de compactado.

1.- La viscosidad juega un papel muy importante dentro de las compactaciones y por eso es motivo de tomar en cuenta para su elaboración. En este caso los pavimentos de baja -- viscosidad de asfalto han presentado una falta de adherencia - con las partículas, en caso contrario las mezclas asfálticas - con asfalto de alta viscosidad presentan mejor agarre entre -- sus partículas para dar mayor resistencia al pavimento. Es - - oportuno mencionar que esta última es más problemática, en - - cuanto a su trabajabilidad dentro del campo constructivo.

2.- La temperatura a la que se mantiene un asfalto debe de estar estrictamente controlada para que de esta forma su excedencia, no provoque la fusión del asfalto o en tal caso de no llegar a ese extremo, el asfalto quemado presenta un color oxidado oscuro en el pavimento reduciendole a gran escala la resistencia ofrecida por un pavimento.

Caso contrario si el asfalto es demasiado frío la compactación pierde el control total en la resistencia requerida por el pavimento.

3.- La temperatura de la mezcla asfáltica es factor muy importante dentro de la compactación y de esta forma, se ve desprotegido el pavimento por el agrietamiento excesivo y la flexibilidad alta que presenta.

4.- La granulometría es la fase más importante en cuanto a su agregado, pero es indispensable el equilibrio entre las gravas, arenas, y suelos finos, ya que de esta depende la formación de la estructura al definirse con la compactación.

5.- Pendiente de compactado: es tan importante como las anteriores, aunque está dependiendo de la temperatura a la que esta sometida la mezcla y por eso se recomienda tomar las precauciones necesarias para compactar, tal es el caso de a mayor pendiente debe tener menos temperatura la mezcla al compactarse y dependiendo de ella es la calidad obtenida en el acabado y vida útil del pavimento.

Por último cabe aclarar que la importancia de toda la compactación es meramente apreciable ya que se pueden ratificar una serie de variables para dar una mayor comodidad y -- una vida útil dentro de un pavimento, así como se debe tomar -- en cuenta las pruebas MARSHALL para pavimentos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La Actual crisis desatada en el país, hace tomar en cuenta la situación, no sólo al campo Industrial, sino al campo Constructivo Realizado y por realizar en todos y cada uno de los Estados de la República.

La Construcción es fase fundamental de toda la infraestructura de cualquier país del mundo, pero su calidad y seguridad, no indica un alto costo de mantenimiento aunque se considera, tener en cuenta distintos, procesos fundamentales a elegir.

Los acarreos son parte fundamental en una obra, pero también son encarecedores, hablando en términos económicos, de la misma, debido a las largas distancias recorridas, para el abastecimiento del suelo. Las nuevas técnicas de estabilización no sólo dan mayor consistencia a los trabajos por desempeñar, sino dan un arreglo estructural a los suelos existentes en el sitio de construcción, sin considerar altos costos y movimientos dentro de los acarreos y modo de trabajar.

Se han explicado diferentes métodos de estabilización, y todos, responden a la necesidad requerida con cada uno de ellas, por tal motivo es recomendable hacer un análisis de los suelos, mediante pruebas elementales o primarias de trabajo.

Las compactaciones son otros aspectos elementales en una obra y su calidad se maneja dentro de la experiencia de -- quienes la elaboran, tomando en cuenta las humedades y ener--- gías específicas sub-ministradas a los suelos, no olvidando el tipo de maquinaria y el suelo que lo conforma.

La nueva industria, a diseminado una serie de técnicas y maquinarias para el método, tanto de compactación como - el de estabilización, regulandose a las eficiencias arrojadas- por cada máquina, reduciendo altos consumos de combustible y - sobre todo dando mayor comodidad y seguridad a los operantes - del Elemento Mecánico.

Las pruebas difieren un tanto en el laboratorio como en el campo, ambas son indispensables en el proceso de la obra, pero siempre se deben tomar en cuenta las pruebas de campo no- por la deficiencia sino por la rapidez con que se realizan y - la falta en muchas ocasiones de el material necesario para tra- bajarlas.

Según la conveniencia requerida, también es recomen- dable aclarar, la actitud desempeñada dentro de las caracterís- ticas de un suelo, esto es analizar los índices plásticos, pe- sos volumétricos y un factor muy importante, conocido como ma- teria orgánica o la alcalinidad del suelos existentes en va--- rios suelos de los estados del país.

B I B L I O G R A F I A .

- 1.- Apuntes de movimiento de tierra; Facultad de Ingeniería de la UNAM Edit. secc. de Construcción de la Fac. de Ingeniería de la UNAM, México; 334 p.
- 2.- Asfaltos; Manuel Velazquez, Ed. dossat, S.A. Ira. Edic. España, 871 p.
- 3.- Deslizamiento en la autopista Tijuana-Ensenada; Edit. S.O. P., México, D.F., 220 p.
- 4.- Estabilización de Suelos; Manuel Torrente y Luis Sangués, Edit. Técnicos asociados, S.A.; Ira. Edic., España, 152 p.
- 5.- Factor Affecting Compaction; the asphalt institute; Edit.- educational series No. 9 (ES-9); Nov. 1980; USA; 11 p.
- 6.- Field compaction of Paving Mixtures; Norman W. Mcleod, - - Edit. Bros. incorporated; Ira. Edic, USA, 74 p.
- 7.- Hand book of in-place Soil stabilization, Bros. incorporated, Edit. Bros incorporated; Ira. Edic., USA, 48 p.
- 8.- Hand boork of. compactionology; Bros incorporated, Edit. - - Bros incorporated, Ira. Edic., USA, 72 p.
- 9.- Introducción a la mecánica de Suelos y Cimentación; George B. Sowers y George F. Sowers, S.A. Limusa, Ira. Edic., México, 677 p.

- 10.- La Ingeniería de Suelos en las vías terrestres, Tomo I; - Alfonso Rico y Hermilo del Castillo; Ed. Limusa, 1ra. Edic., México, 459 p.
- 11.- La ingeniería de Suelos en las vías terrestres, Tomo II;- Alfonso Rico y Hermilo del Castillo, Edit. Limusa, 1ra. - Edic. México, 643 p.
- 12.- Manual de Mecánica de Suelos, SARH; Dirección de proyec-- tos, Pto. de Ing. Exp.; 5ta. Edic. México, 447 p.
- 13.- Mecánica de Suelos; Tomo I Fundamentos Básicos, Juárez Ba dillo y Rico Rodríguez; Edit. Limusa, 3ra. Edic. México,- 642 p.
- 14.- Mecánica de Suelos; Tomo II Teoría y aplicaciones de la - Mecánica de Suelos; Juárez Badillo y Rico Rodríguez, Edit. Limusa, 2da. Edic., México, 704 p.
- 15.- Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica; Karl Terza- ghi y Ralph B. Peck, Ed. El Ateneo, S.A., 2da. Edic., Es- paña, 722 p.
- 16.- Mejoramiento Masivo de Suelos; Reunión Técnica, 16 de Nov., de 1979, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelo A.C., Mé- xico, 161 p.
- 17.- Mejoramiento y estabilización de Suelos, Carlos Fernandez Loraiza, Ed. Limusa; 1ra. Edic., México, 352 p.

- 18.- Problemas de Física del Suelo, A. Kézdi; Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 1ra. Edic., México, 69 p.
- 19.- Vías de Comunicación, Carlos Crespo Villalaz; Ed. Limusa - 1ra. Edic., México, 688 p.