

Universidad Autónoma de Guadalajara

Incorporada a la Universidad Nacional de México.

Facultad de Ingeniería Civil

Mecánica de Suelos

y su Aplicación a Terracerías de Caminos

Tesis

Presentada por

Carlos Guillermo Ochoa M.

Para Obtener el Título de Ingeniero Civil

Guadalajara, Jal., Febrero 10. de 1950.





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Universidad Autónoma de Guadalajara
Incorporada a la Universidad Nacional de México.

Facultad de Ingeniería Civil

Mecánica de Suelos

y su Aplicación a Terracerías de Caminos

DESCARTE
Tesis

Presentada por

Carlos Guillermo Ochoa M.

Para Obtener el Título de Ingeniero Civil

Guadalajara, Jal., Febrero 10. de 1950.



INGENIERIA

Dedico el presente trabajo, a mis queridos Padres, Sr. D. Arnulfo M. Ochoa y Sra. Dña. Mercedes M. de Ochoa y a mis estimados maestros por su desinteresado empeño en que yo lograra tener una carrera que me pudiera hacer útil a la sociedad.

Carlos Guillermo Ochoa M.

He desarrollado el presente trabajo para presentarlo como Tesis Profesional, basándome en libros, folletos, etc., que tratan la materia; ruego a los señores Ingenieros del jurado que anticipadamente perdonen los errores que seguramente ha de tener.

Agradezco la ayuda que con tan buena voluntad me prestó, para llevar a cabo este estudio, mi maestro, el Sr. Ing. D. Manuel Ontiveros P., así como también el Sr. Ing. D. Carlos Valencia R.

He tratado el problema únicamente bajo el punto de vista de "Mecánica de Suelos" o sea, lo que se refiere a la clasificación de suelos y su aplicación en la práctica para terracerías; aunque aparece un encabezado como: "Proyecto de Subrasante", trato, no el proyecto completo de ella, haciendo perfiles, secciones, etc., sino solamente lo que se refiere a la clase de material que deberá emplearse en su construcción y la forma de trabajarlo.

LOS SUELOS.

Al tratar los Ingenieros de caminos sobre suelos, se refieren a todos los materiales no elaborados que utilizan en la construcción de terracerías o bases y en los desplantes de las estructuras. Los suelos provienen de la desintegración de las rocas, ya sea por procesos físicos (por efectos de los cambios de temperatura y de las heladas) por procedimientos químicos, (alteración de los minerales debida a la acción del agua, del bióxido de carbono y de los ácidos orgánicos producidos durante la descomposición de la materia vegetal).

Por la acción del intemperismo, las rocas dan origen a la formación de suelos, de espesor variable, con características más o menos similares, que provienen de las rocas madres.

“Características fundamentales de las partículas de los suelos”.

A las partículas constitutivas de los suelos, se les han dado denominaciones y límites a cada grupo, que se han escogido en forma un tanto arbitraria y se dividen en:

GRAVA.—Partículas cuyo diámetro es mayor de 2 mm. (Malla No. 10).

ARENA.—Partículas de 2mm. (Malla No. 10 a 0.05 mm.

LIMO.—Partículas de 0.05 mm. a 0.005 mm.

ARCILLA.—Partículas meonres de 0.005 mm.

ARCILLA COLOIDAL o COLOIDE.—Partículas menores de 0.001 mm.

La arcilla coloidal aunque aparezca como una quinta división, es una subdivisión de la arcilla. Estas partículas son generalmente los componentes más activos de un suelo.

Todas las partículas que quedan dentro del grupo arenoso, se pueden considerar como inertes en su reacción física con el agua. Si una columna inalterada de arena se expone al agua capilar o gravitacional, la absorción resultante, no produce un incremento en el volúmen de la masa. El agua puede entrar y llenar los poros de las partículas; pero no hay tendencia a que las partículas se separen unas de otras.

Las partículas comprendidas en la denominación limo, también pueden considerarse como inertes. Sus propiedades físicas, cuando están en contacto con el agua, son semejantes a las partículas de arena excepto que los granos y en consecuencia los huecos entre los granos, son de tamaño mucho menor.

Esto significa que una columna de limo por la acción capilar, generalmente toma más agua y a mayor altura que una columna de arena.

- II -

Tanto los grupos de arena como de limo, se pueden caracterizar por su alta fricción interna y falta de cohesión. Esa fricción interna es mayor en las arenas angulosas que en las redondeadas.

Las partículas de arcilla constituyen la parte activa en una mezcla y gran parte de esta actividad la proporcionan los coloides. Si una columna inalterada de arcilla se introduce en agua, el agua no solamente llena los huecos entre las partículas, sino cada uno de los granos de arcilla tiende a absorber una película de agua a su alrededor y a separarse de las otras inmediatamente. Esto hace que la masa total aumente su volumen al retirarse la humedad. Algunas arcillas son más activas que otras, en consecuencia, las dimensiones máximas de la película, dependen de las características de la arcilla de que se trate. Una partícula de arcilla que es parte de una mezcla de suelo, raramente absorberá el máximo espesor de la película de agua de que es capaz, por dos razones: La pérdida de humedad causada por la evaporación de alguna superficie expuesta, conectada con la masa del suelo, y por el confinamiento debido a la compactación interna o de una presión externa. Cuando esta película es más delgada que la capacidad normal, la superficie es más

viscosa que el agua y los granos de arcilla tienen cualidades aglutinantes en lugar de ser lubricantes. Las partículas con dimensiones de arcilla se caracterizan por su baja fricción interna y su alta cohesión.

COLOIDE.—La palabra coloide proviene del griego y significa pegamento. Aún cuando llegó a creerse que los coloides constituían sustancias definidas de características especiales, y cuya proporción en un suelo definía las características de este suelo, subsecuentes estudios han venido a demostrar que los coloides no indican sustancias químicas definidas, sino un estado que proviene del tamaño pequeñísimo de las partículas del mismo suelo.

Se ha aceptado que un coloide en los suelos es un grano de suelo (cualquier grano mineral) cuyo diámetro es menor de 0.001 mm. El diámetro del grano es el criterio para determinar el límite del estado coloidal.

Las características de los coloides son diferentes y en consecuencia dan a los suelos en que están mezclados, distintas características. Así por ejemplo, las partículas menores de 0.001 de caolín, debidamente plástico y las de una bentonita altamente plástica, tienen características sumamente diferentes y ejercen diferente influencia en los suelos donde existen.

- III -

ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA.

Es la determinación de las propiedades (en porcientos) de las partículas que pasan o son retenidas en las distintas mallas. Pero el análisis mecánico por medio de mallas tiene sus limitaciones, ya que sólo llega a la malla No. 270 (apertura de 0.05 mm.) y prácticamente se hace hasta la malla No. 200 (apertura de 0.074 de mm.) ésto quiere decir que con el análisis granulométrico mecánico se separa la grava (material que pasa por la malla No. 10) en sus distintos componentes y que entre la malla No 10 y la No. 200, podemos ver la granulometría de la arena; pero que todavía en la parte que pasa por la malla No. 200 da un resto de arena y además el limo, la arcilla y los coloides.

A continuación se hace figurar una tabla con los requisitos que que deben reunir las mallas usadas en los laboratorios.

ABERTURA LIBRE EN mm.

3"	76.2
2"	50.8
1—1/2"	38.1
1"	25.4
3/4"	19.1
3/8"	9.52
Núm. 4	4.76
„ 10	2.00
„ 20	0.84
„ 40	0.42
„ 60	0.25
„ 100	0.149
„ 200	0.074

PRUEBAS FISICAS DE MATERIALES DE SUELOS.

PRUEBAS.	Características que determinan.
Análisis mecánico (AM)	Tamaño de partículas
Límite líquido (LL)	
Límite plástico (LP)	Plasticidad
Índice de plasticidad (IP)	
Límite de contracción (LC)	
Relación de contracción (RC)	Cambio de volúmen
Contracción lineal (CL)	
Equivalente de humedad de campo (EH Campo)	Capacidad de humedad de suelo
Equivalente de humedad centrifugada (EH Centrif.)	Resistencia al escurri- miento del agua

ANÁLISIS MECÁNICO.—El análisis mecánico de un suelo determina el tamaño y la graduación de las partículas. El tamaño de las partículas retenidas en un cedazo del número 200 se determina por cernido. Los tamaños de las partículas del suelo que pasan por la malla del número 200 se determinan por medio de análisis con hidrómetro.

El método del hidrómetro para el análisis del tamaño de los granos está basado en el hecho de que todas las partículas de la misma densidad se asientan en el agua con una velocidad que es proporcional al tamaño de las partículas. (Ley de STORES).

La prueba del hidrómetro se hace dispersando en agua, por medio de un dispersador mecánico semejante a un batidor de leche, u-

na muestra secada al aire que pase por el cedazo número 10. La mezcla de suelo y agua se coloca en una probeta de un litro añadiendo agua para aumentar el volumen de la suspensión a 1000 cm. cúbicos. El peso del suelo en suspensión, expresado en gramos, se determina por la lectura en un hidrómetro (tipo Bouyoucos) suspendido en la mezcla de suelo y agua. Las lecturas se toman a intervalos de 1, 2, 5, 15, 30, 60, 120 y 1440 minutos y se usan para calcular el tamaño de las partículas y el porcentaje de cada tamaño contenido en la muestra. El sedimento se lava en una malla del número 200 después de haberse tomado la última lectura del hidrómetro, se seca y se hace pasar por los cedazos 20, 40, 60, 140, registrando los porcentajes acumulativos que pasan por cada uno de ellos, en la Fig. 1 se muestra una curva acumulativa de porcentajes de partículas.

Los resultados leídos en la curva acumulativa, se dan usualmente en la forma siguiente:

		Por ciento.
Partículas mayores de 2 mm.	(Malla No. 10)
Arena gruesa 2.0 mm. a 0.25 mm.	(Malla No. 60)
Arena fina, 0.25 a 0.05 mm.	(Malla No. 270)
Limo, 0.05 a 0.005 mm.	
Arcilla, menor de 0.005 mm.	
Coloides, menor de 0.001 mm.	

LIMITE LIQUIDO.—El límite líquido se define como el contenido de humedad, expresado como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno, para el cual el suelo empezará a escurrir al ser golpeado ligeramente. De acuerdo con esta definición los suelos tienen en el límite líquido una resistencia al esfuerzo cortante muy pequeña, pero definida, la cual puede ser vencida aplicando una pequeña fuerza. La cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula. (Ver. Fig. No. 2).

En la Fig. No. 2 se indica la naturaleza de la prueba del límite líquido. La muestra de suelo se coloca en un plato de evaporación, de porcelana, como de 4½" de diámetro, se aplana formando una capa uniforme de cerca de 3/8" de espesor en el centro y se divide en dos porciones por medio de un instrumento de dimensiones standard para hacer ranuras (Fig. No. 3). El plato se sostiene firmemente en una mano y se golpea ligeramente diez veces con el talón de la otra. Si las aristas inferiores de las dos porciones del suelo no se juntan,

PORCENTAJE DE PARTÍCULAS
MENORES QUE EL TAMAÑO INDICADO

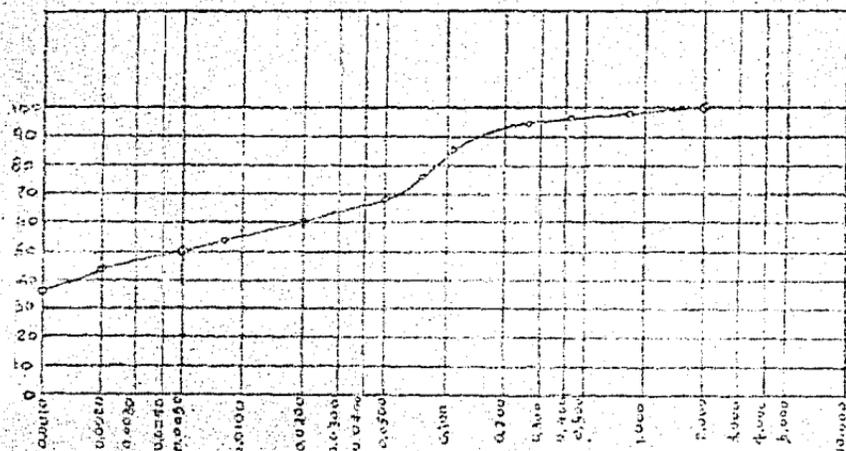


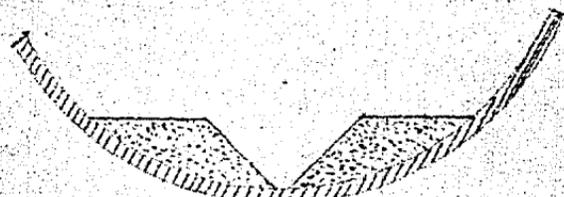
FIG. 1. CURVA DE PORCENTAJES ACUMULATIVOS DE TAMAÑOS DE PARTÍCULAS



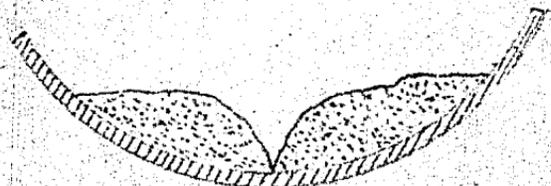
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL
QUE PRESENTA
CARLOS G.M. OCHOA M.
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

GUAN. DIC. /49

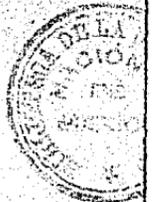


PASTA DE SUELO ANTES DE LA PRUEBA



PASTA DE SUELO DESPUES DE LA PRUEBA

FIG. 2. FENOMENO QUE OCURRE DURANTE LA PRUEBA DE LIMITE LIQUIDO

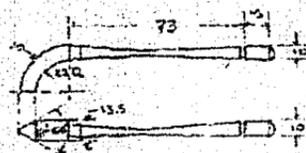
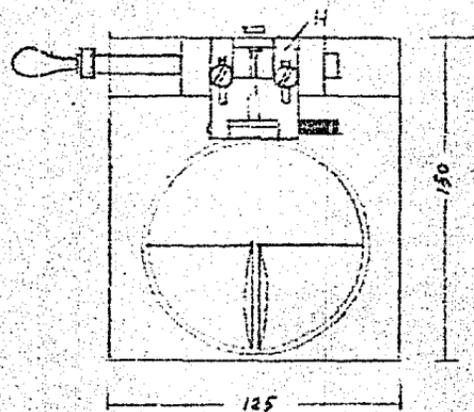


INGENIERIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUAD.
FACULTAD DE INGENIERIA

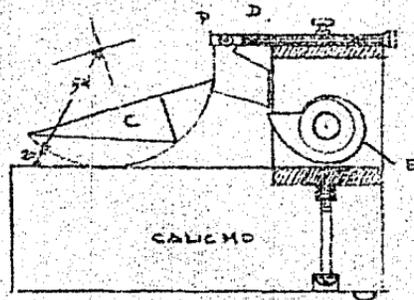
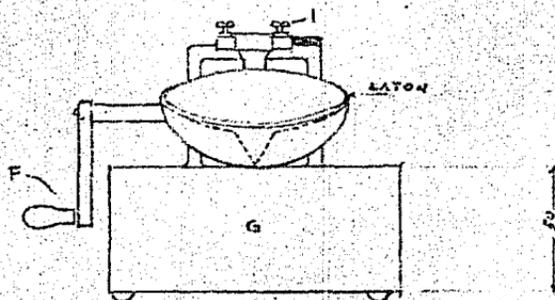
TESIS PROFESIONAL
QUE PRESENTA
CARLOS G.M. OCHOA M.
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

GUAD. DIC./49



INSTRUMENTO PARA PANDRAS

ACOTACIONES EN MM.



INGENIERIA

FIG. 3. "COPA DE CASAGRANDE" PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO

UNIVERSIDAD NAC. DE GOBDO.
 FAC. DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA
 CARLOS GONZALO OCHOA M.
 PARA OBTENER EL TITULO DE
 INGENIERO CIVIL
 GUAD. DIC. / 49

como se indica en la parte inferior de la Figura 2, el contenido es inferior al límite líquido. Si escurren juntándose antes de los diez golpes, el contenido de humedad es superior al límite líquido. La prueba se repite para contenidos de humedad mayores y menores según el caso, hasta que las dos aristas se junten exactamente después de los diez golpes.

En la mayor parte de los laboratorios se usa un dispositivo mecánico calibrado de acuerdo con el método manual descrito arriba. Los detalles del aparato se muestran en la Fig. No. 3. Para usarlo, la mezcla de suelo mezclado con agua se coloca en una taza de latón, formando una capa que se ranura en forma semejante a la descrita para el método a mano. En seguida se coloca la taza en el perno del aparato y se deja caer desde una altura de un centímetro, en un número de veces suficiente para cerrar la ranura. Se repite esta operación para varios contenidos de humedad. El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que el número de golpes de la taza necesarios para cerrar la ranura sean mayores y menores de 25. En seguida se dibuja una "curva de escurrimiento" en papel semi-logarítmico usando como abscisas, a escala aritmética, los números de golpes. El contenido de humedad correspondiente al punto de la curva para 25 golpes es el límite líquido del suelo. Los límites líquidos obtenidos por un operador de experiencia y habilidad medias, usando ambos métodos, deben coincidir bastante bien para muestras de suelos idénticos.

LIMITE PLASTICO.—El límite plástico se define como el contenido de humedad más bajo, expresado en por ciento del peso de la muestra secada al horno, con el cual el suelo puede rodillarse en forma de cilindros de 1/8" de diámetro sin romperse; los suelos que no pueden rodillarse con ningún contenido de humedad se consideran como no-plásticos.

La Figura 4 muestra la naturaleza de la prueba para la determinación del límite plástico. La muestra indicada en la parte superior de la figura, con un contenido de humedad superior al del límite plástico, puede rodillarse en cilindro de 1/8" de diámetro sin desmenuzarse con la presión ejercida por la mano. La parte inferior de la figura muestra un cilindro de suelo que se ha cortado en trozos porque el contenido de humedad ha sido reducido por evaporación hasta el límite plástico o a menos de éste.

El límite plástico es el contenido de humedad para el cual los suelos con cohesión pasan del estado semi-sólido al estado plástico.

Es también el contenido de humedad para el cual el coeficiente de permeabilidad de las arcillas homogéneas se hace prácticamente igual a cero.

INDICE DE PLASTICIDAD.—El índice de plasticidad se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Comprende todos los contenidos de humedad para los cuales el suelo es plástico. Cuando el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido se reporta un índice de plasticidad igual a cero. Cuando no se puede determinar el límite plástico, el límite de plasticidad se designa con las letras NP (No plástico) para indicar que el suelo carece completamente de plasticidad.

LIMITE DE CONTRACCION.—El límite de contracción se define como el contenido de humedad, expresado en por ciento del peso de la muestra secada al horno, para el cual una reducción en el contenido de humedad no ocasiona una disminución del volumen de la masa del suelo, pero un aumento en el contenido de humedad causa un aumento en el volumen de la masa del suelo. En la Figura 5 se ilustran las relaciones de los volúmenes de suelo con los contenidos de humedad, en diversas etapas de la prueba.

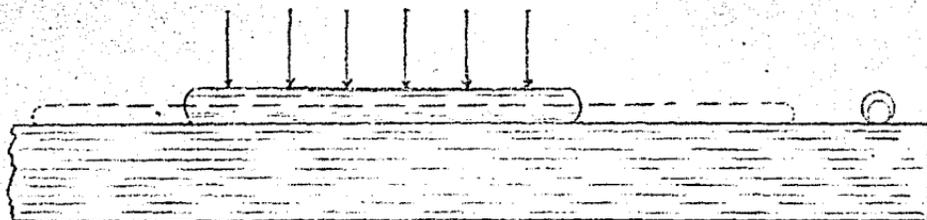
El límite de contracción es el medio de describir el espacio de poro presente en un suelo después de que se le ha permitido que se compacte por sí mismo desde un contenido de humedad dado, hasta la densidad máxima obtenible por contracción. Es un punto bien definido en la escala de contenidos de humedad que marca el cambio del estado sólido al estado semi-sólido.

RELACION DE CONTRACCION.—La relación de contracción es igual a la densidad en masa de la pasta de suelo secado usada para obtener el límite de contracción; se usa en los cálculos del cambio de volumen.

El cambio volumétrico de un suelo, a partir de un contenido de humedad dado, puede ser calculado por medio de la fórmula siguiente, cuando se conoce el límite de contracción y la relación de contracción.

$$CV = (CH - LC)RC$$

en la cual CV es el cambio volumétrico; CH es el contenido de humedad; LC es el límite de contracción y RC es la relación de contracción.



CONTENIDO DE HUMEDAD MEJOR QUE EL LIMITE PLASTICO



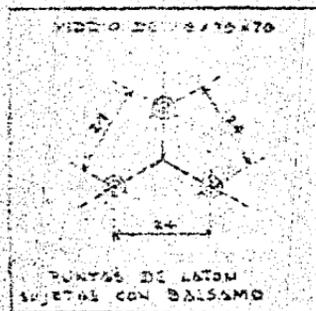
CONTENIDO DE HUMEDAD MENOR QUE EL LIMITE PLASTICO

FIG. 4. FENOMENO OBSERVADO DURANTE LA PRUEBA DEL LIMITE PLASTICO

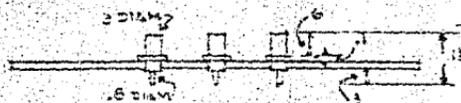
UNIV. AUTONOMA DE GUAD.
FACULTAD DE INGENIERIA

ING. PROFESIONAL
QUE PRESENTA
CARLOS G.M. OCHOA M.
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

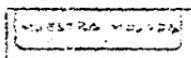
GUAD. DIC. /49



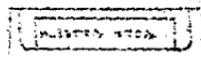
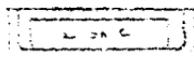
NOTACIONES EN MM.



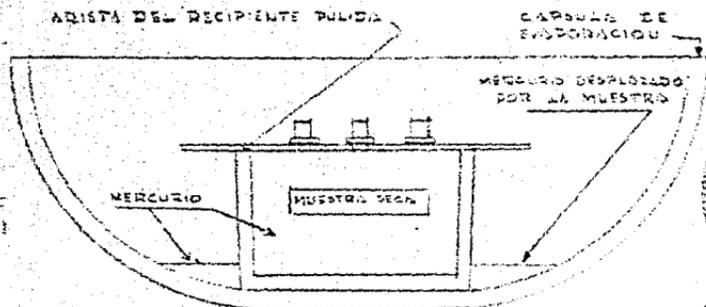
DETALLE DE LA PLACA DE VIDRIO



ANTES DE LA
CONTRACCION



DESPUES DE LA
CONTRACCION



METODO PARA RECOGER EL MERCURIO DESPLAZADO

FIG. 5. APARATO PARA DETERMINAR EL CAMBIO VOLUMETRICO DE LOS SUELOS DE SUBSALINOS

UNIVERSIDAD SUICOMA DE GUAY
FACULTAD DE INGENIERIA

TRABAJO DE INVESTIGACION QUE PRESENTA
CARLOS GONZALEZ M.
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

6-22-56/49



RECIBIDO



INGENIERIA

El valor más común de CH es el contenido de humedad representado por el equivalente de humedad de campo (EH Campo) y usando este valor, la fórmula se expresa comunmente como:

$CV_c = EH \text{ Campo} - CH)RC$, en donde V_c es el cambio volumétrico para el equivalente de humedad de campo.

CONTRACCION LINEAL.—Contracción lineal de un suelo es la disminución en una dimensión de la masa del suelo, expresada como un porcentaje de la dimensión original, cuando el contenido de humedad se reduce, desde una cantidad igual al equivalente de humedad de campo, hasta el límite de contracción. Generalmente se calcula por medio de la fórmula siguiente:

$$L, C = 100 \left\{ 1 - \sqrt[3]{\frac{100}{C V_c + 100}} \right\}$$

o de la curva de la Figura 6.

EQUIVALENTE DE HUMEDAD DE CAMPO.—El equivalente de humedad de campo se define como el contenido de humedad mínimo, expresado en porciento del peso de la muestra secada al horno, para el cual una gota de agua, colocada en la superficie lisa del suelo, no será absorbida inmediatamente sino que se extenderá por toda la superficie dándole una apariencia brillante.

Al hacer la prueba se mezcla agua con la parte del suelo que pasa por la malla del No. 40 hasta que el suelo forme bolas al batirse; después se agrega agua en pequeños incrementos hasta que el contenido de humedad sea tal que una gota de agua no penetre en la superficie lisa. (Ver Fig. 7).

La gota de agua deja de penetrar en la superficie lisa de la muestra de suelo húmedo, 1o. Cuando los poros del suelo no expansible están completamente llenos, 2o. Cuando la capilaridad de los suelos expansivos si cohesión está completamente satisfecha, 3o. Cuando los suelos con cohesión tienen humedad en suficiente cantidad para hacer que la superficie lisa de la muestra sea impermeable. Esta película impermeable puede ocurrir para contenidos de humedad muy inferiores a los necesarios para satisfacer la capilaridad de los suelos con cohesión.

EQUIVALENTE DA HUMEDAD CENTRIFUGADA.—El equivalente de humedad centrifugada se define como el contenido de

humedad, expresado en porciento del peso de la muestra de suelo secada al horno, retenido por un suelo que primero se ha saturado con agua y después se ha sometido durante una hora a una fuerza igual a 1000 veces la de la gravedad. La prueba consiste primero, en empapar con agua, en un cristal Gooch, una pequeña muestra de suelo secada a laire, dejarla escurrir después en un humidificador durante doce horas como mínimo y finalmente centrifugarla durante una hora. El efecto de la fuerza centrífuga en la humedad del suelo está ilustrado en la Figura 8.

Esta prueba sirve para distinguir los suelos que son permeables de aquellos que son impermeables, cuando se les comprime por una fuerza centrífuga aproximadamente igual a 2 kilos por centímetro cuadrado de capacidad que tienen algunos suelos permeables.

XXXXX

Nota 1.—Hay que hacer notar que las pruebas de los suelos a que nos hemos referido, se hacen con la fracción de material que pasa por la malla No. 40 (abertura de 0.42 mm.) es decir, sobre las partículas en que incluyen más la presencia del agua.

Nota 2.—Al referirse al límite y en general a contenidos de agua, se ha hablado de porcentajes con relación al peso de la muestra secada al horno a temperatura de 100 a 105 grados C. Conviene aclarar que en esos casos se dan los resultados en cantidades enteras, esto es, dividiendo el peso del agua entre el peso de la muestra seca y multiplicado por 100.

Nota 3.—El Departamento de Investigaciones y Laboratorios ha considerado como pruebas importantes las del límite líquido, límite plástico, y en consecuencia, la determinación del índice de plasticidad y la prueba de contracción lineal. No hace determinaciones de límite de contracción, relación de contracción, contracción volumétrica ni equivalente de humedad centrífuga.

PESO VOLUMETRICO. — Humedad óptima.

Al peso de un suelo, contenido en la unidad de volúmen, se le denomina peso volumétrico y se expresa en kilogramos por M³. Como el volúmen que ocupe el suelo puede ser con todo y vacíos o bien sin ellos, se presentan dos casos: El del peso volumétrico aparente o sea cuando se considera el volúmen de los vacíos formando parte del suelo y el del peso volumétrico real que es cuando solo se

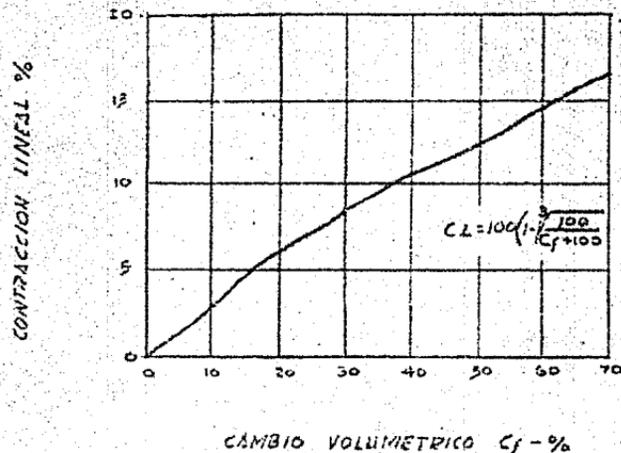


FIG. 6. RELACION ENTRE EL CAMBIO VOLUMETRICO Y LA CONTRACCION LINEAL



INGENIERIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUANAJUATO
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL
QUE PRESENTA
CARLOS GOMEZ OCHOA M.
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

GUANAJUATO, DICIEMBRE DE 1949

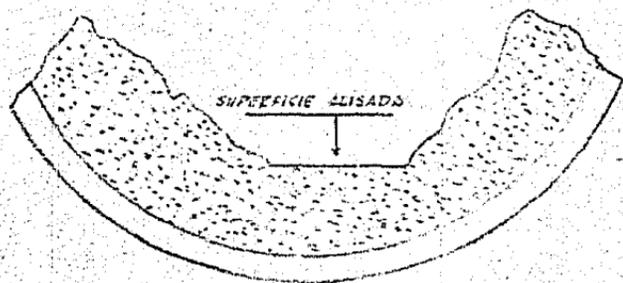


FIG. 7. FENOMENO QUE OCURRE DURANTE LA TRUENAS DE EQUIVALENTE DE HUMEDAD DE CAMPO.

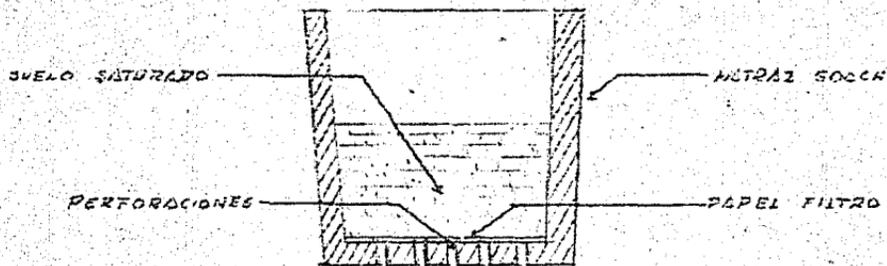


INGENIERIA

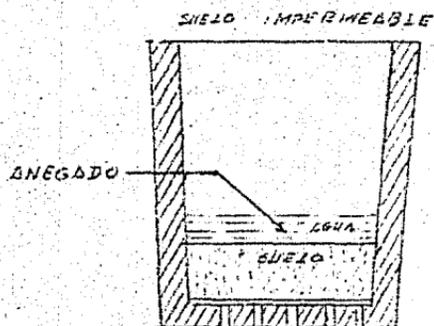
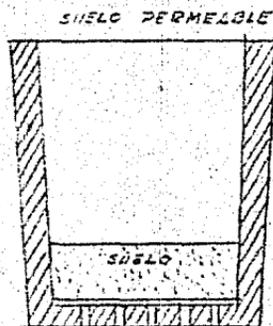
UNIV. AUTONOMA DE QUAB.
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL
QUE PRESENTA
CARLOS GONZALO OCHOA M.
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

QUERETERO, QUAB.



ANTES DE CENTRIFUGAR



DESPUES DE CENTRIFUGAR

FIG. 8. FENOMENO QUE OCURRE DURANTE LA PRUEBA DE EQUIVALENTE CENTRIFUGO DE HUMEDAD.



INGENIERIA

UNIVERSIDAD AUT. DE GUAD.
 FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 QUE PRESENTA
 CARLOS G.M. OCHOA M.
 PARA OBTENER EL TITULO DE
 INGENIERO CIVIL
 GUAD. DIC. 48

considera el volumen del suelo tal como si se hubiera comprimido hasta no dejar huecos entre sus partículas.

Como los datos de peso volumétrico aparente son los de uso común, se hace omisión de la palabra "Aparente" y al decir peso volumétrico se sobre entiende que es con huecos.

Se llama **peso volumétrico seco** al peso volumétrico de un suelo tomando el peso de éste previamente secado al horno a peso constante, y **peso volumétrico húmedo** con todo y la humedad que el suelo contenga en el momento de la determinación.

Para consolidar un suelo dado, se necesita comprimirlo para que sus partículas se acomoden lo mejor posible, ocupando el menor volumen. Esto se consigue por un acomodo de las partículas pequeñas que bajo la acción de la presión ocupan los huecos comprendidos entre las partículas mayores.

Para lograr el mejor acomodo de las partículas, hay que vencer dos resistencias, la cohesión, que mantiene unidas las partículas entre sí y la interna que se opone al deslizamiento de unas partículas sobre otras. Es posible disminuir las dos resistencias mencionadas agregando agua a un suelo seco, pues el agua disminuye la tensión capilar al aumentar el espesor de la película que rodea a cada partícula y sirve de lubricante disminuyendo la fricción; pero este proceso tiene un límite, pues si se sigue agregando agua llega un momento en que ésta ocupa la mayor parte de los huecos y por ser incomprensible no permite que se reduzca el volumen del suelo.

De lo anterior se deduce que para obtener mayor eficiencia en la compactación para cada suelo es necesario usar un cierto contenido de humedad al que se llama "**Contenido Óptimo de Humedad**".

Compactando un suelo con su contenido óptimo de humedad, se tiene mayor peso volumétrico y se disminuye su absorción y su capilaridad.

Aparato y Procedimiento Normal para la

PRUEBA DE COMPACTACIÓN.

El método de prueba para la determinación de las relaciones humedad-densidad y humedad-penetración se designa como "Prue-

ba Normal de Compactación" y se lleva a cabo de acuerdo con el procedimiento siguiente:

1.—Molde cilíndrico de metal de 4" de diámetro aproximadamente y 4½" de altura con contenido de un 1 litro (1/30 de pie cúbico). Este molde está provisto de una placa de base desarmable y una extensión también desarmable de 2½" de altura. (Véase la Fig. 12).

2.—Un pisón de metal con una cara de ataque de 2" de diámetro y un peso de 2.5 Kg. (5½ libras). (Véase la Fig. 13.)

3.—Una regla de metal de cerca de 25 cm. de longitud.

4.—Un penetrómetro para registrar la fuerza necesaria para hacer penetrar agujas de área extrema conocida.

5.—Una balanza de 15 Kg. (30 libras) de capacidad, sensible a 15 gramos (media onza).

6.—Una balanza de 100 gramos de capacidad, sensible a un décimo de gramo.

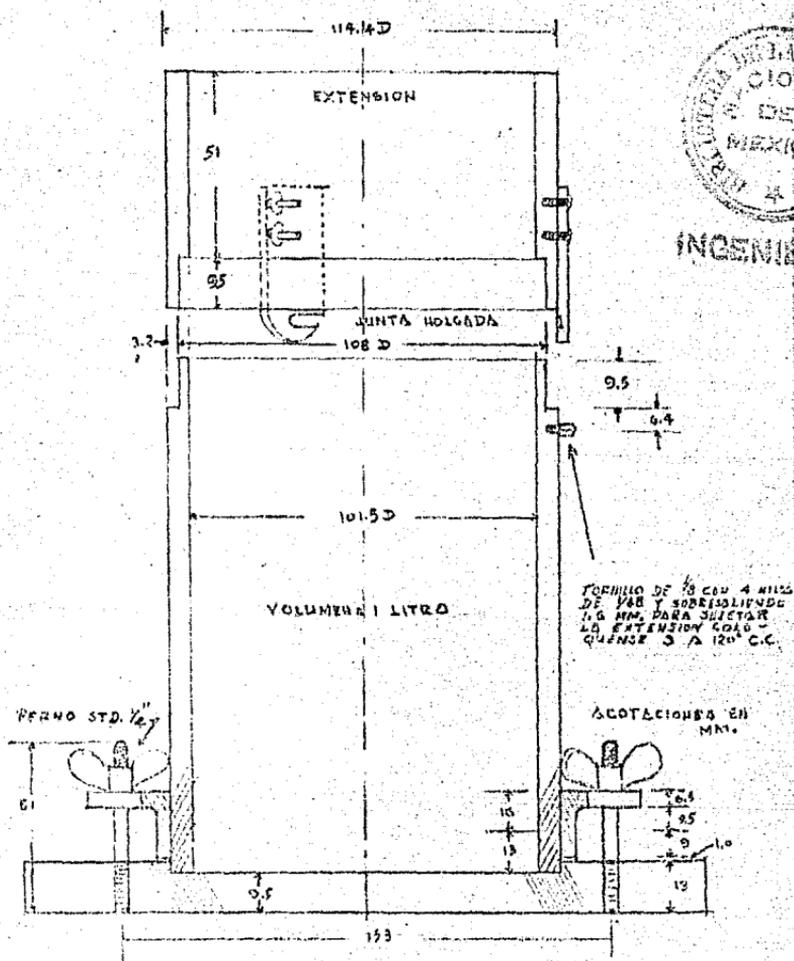
7.—Disco de evaporación de porcelana.

8.—Horno para secar las muestras de suelo.

El procedimiento es como sigue:

De una porción de material que pasa la malla No. 4 se toma una muestra de 3 Kg. de material secado al aire. La muestra se mezcla perfectamente y luego se compacta en el cilindro (estando la extensión colocada) en tres capas iguales, recibiendo cada capa 25 golpes, dejando caer el pisón desde una altura de 30 cm. (un pie) sobre el suelo. En seguida se quita la extensión. El suelo compactado se nivela cuidadosamente hasta la parte superior del cilindro por medio de la regla de metal pesándolo en seguida. Al peso de la muestra compactada y del cilindro, menos el peso del cilindro, se multiplica por 100 y el resultado se registra como peso por metro cúbico de suelo húmedo compactado.

La muestra compactada se prueba con el penetrómetro registrando la resistencia para introducir la aguja dentro del suelo a una rapidez de 1.3 cm. (½" por segundo), hasta una profundidad de 7.5 cm. (3"). Cuando el material es bastante granular para interferir con la penetración uniforme de la aguja, no puede llevarse a cabo la prueba con el penetrómetro.



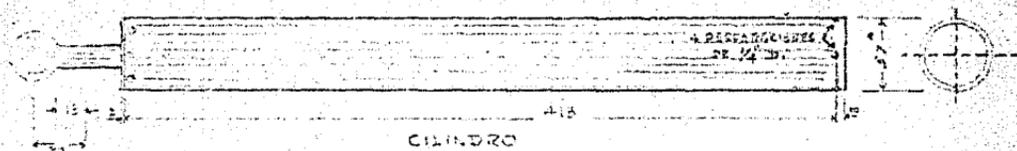
INGENIERIA

FIG. 12. CILINDRO PARA ADISONAR LA MUESTRA

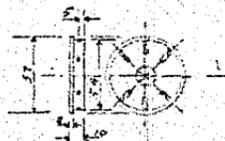
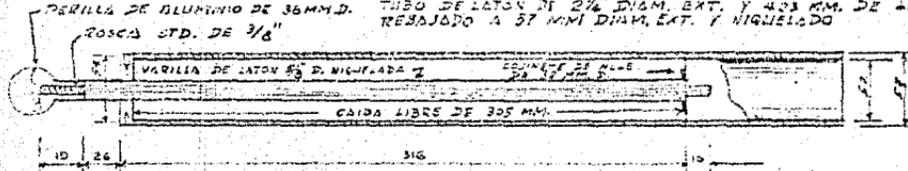
UNIV. AUTONOMA DE GUAD.
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL
QUE PRESENTA
CABLOS G.M.O. O'HOL M
PARA OBTENER
EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

GUAD. DIC/48

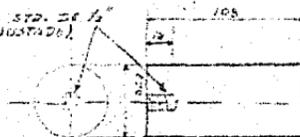


PERILLA DE ALUMINIO DE 36MM.D. TUBO DE LATON DE 2 1/4" DIAM. EXT. Y 423 MM. DE LARGO REBAJADO A 37 MM DIAM. EXT. Y NIQUELADO



TAPADERA
1 PZA. LATON NIQUELADO

ROSCA STD. DE 1/2"
(AJUSTADA)



REFLEJES LO MAS POCOS
OSTENER UN PEA DE 11335DL.

NOTACIONES EN MM.

PISON
1 PZA. LATON

FIG. 13. PISON



INGENIERIA

UNIV. AUTONOMA DE GUAD.
FACULTAD DE INGENIERIA

TOMO PROFESIONAL
QUE PRESENTA
CARIOS GARCIA OCHOA DE
1955 OSTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

GUAD. DIC. /46

Para determinar el **Contenido de Humedad**, se seca al horno una pequeña muestra del suelo compactado.

Se saca el material del cilindro rompiéndolo hasta que pase por una malla del No. 4, se agrega agua en suficiente cantidad para aumentar el contenido de humedad de la muestra del suelo por incrementos aproximados de 1% y se repite el procedimiento anterior para cada incremento de agua agregada. Esta serie de determinaciones se continúa hasta que el suelo se hace húmedo y se observa una disminución fuerte en el peso húmedo del suelo compactado.

El "contenido de humedad" (porcentaje por peso de suelo seco) de la muestra secada al horno se calcula con la fórmula:

$$= 100 \frac{\text{Peso del disco y del suelo húmedo} - \text{Peso del disco del suelo seco}}{\text{Peso del disco y del suelo seco} - \text{peso del disco}}$$

El peso seco por metro cúbico del suelo compactado se calcula por la fórmula:

$$= \frac{\text{Peso del suelo húmedo por metro cúbico}}{\text{Porcentaje de humedad} + 100}$$

CLASIFICACION DE MATERIALES DE SUELOS

Los suelos se han clasificado en ocho grupos designados de A-1 a A-8, inclusive, basándose en su comportamiento en el campo. Los resultados de las pruebas hechas de acuerdo con los procedimientos descritos, indican las propiedades físicas de los suelos y sirven para identificarlos en relación con su agrupación. Este método de clasificación no elimina posibles traslapes ni da medida rígida para el comportamiento de un suelo. Así, algunos suelos pueden tener algunas de las características de dos grupos. El Ingeniero debe apren-

der a juzgar el valor que los diferentes suelos pueden tener en la construcción y dificultades que puede ocasionar su uso, basándose en las constantes físicas y en sus relaciones y en lugar de hacerlo partiendo de que, los suelos pertenezcan a ciertos grupos. Esto queda ilustrado por el hecho de que los suelos arcillosos de diferentes lugares, clasificados en los grupos A-6 o A-7 pueden tener una amplia variación en las constantes de plasticidad y por lo tanto, pueden tener diferente utilidad en la construcción de terraplenes y subrasantes. La clasificación de los suelos debe usarse para designar características generales tales como la plasticidad, permeabilidad, resistencia de carga, resistencia al abudamiento con las heladas, etc.

En los párrafos siguientes se describen las características de los suelos de los diferentes grupos.

GRUPO A-1.—Los suelos de este grupo están formados por material bien graduado desde grueso hasta fino, mezclado con un material de liga excelente, son muy estables bajo la carga de las ruedas, independientemente de las condiciones de humedad; pueden rodillarse a densidad muy alta con rodillos lisos o con rodillos de patas; prácticamente no tienen cambios volumétricos.

Composición Granulométrica.—El mortero del suelo, la fracción que pasa por la malla No. 10 debe tener la siguiente composición: Arcilla 5 a 10%; Limo 10 a 20%; total de arena 70 a 85%; Arena gruesa de 45 a 60%.

CONSTANTES.—El límite líquido es generalmente mayor de 14 y menor de 35; el índice de plasticidad varía de 4 a 9; el límite de contracción de 14 a 20; el equivalente de humedad centrifugada es menor de 15. El equivalente de humedad de campo no es una prueba significativa para este tipo de suelo. Las características de este grupo de suelo son tales que las constantes de prueba quedan dentro de una faja estrecha ya que pequeñas variaciones en la composición granulométrica o en las características del material de liga producen un suelo del grupo A-2. Los suelos del grupo A-1 no existen en áreas extensas y generalmente se encuentran en depósitos relativamente pequeños.

GRUPO A-2.—Los suelos de este grupo están formados por materiales gruesos y finos mezclados con material de liga pero son inferiores a los suelos del grupo A-1 debido a una composición granulométrica mala, a un material de liga de calidad inferior o ambas cosas.

Los materiales del grupo A-2 pueden compactarse con rodillos lisos o de patas dependiendo la densidad obtenida de la cantidad, composición granulométrica y características del material de liga. En superficies para caminos los materiales del grupo E-2 pueden ser muy estables cuando están suficientemente secos, o dependiendo de la cantidad y característica del material de liga, pueden suavizarse durante la época de lluvias o hacerse sueltos y polvosos en los periodos secos. Si se usan como capas de base los suelos plásticos de este grupo pueden perder estabilidad debido a la saturación capilar o a la falta de drenaje. Algunos pueden dañarse con las heladas.

Composición Granulométrica.—Al contenido de arena no es menor de 55%.

CONSTANTES.—El límite líquido es generalmente menor de 35. El límite de plasticidad puede variar desde N. P. hasta 15, dependiendo de la composición granulométrica y del carácter del material de liga. El límite de contracción comunmente no excede de 25 y es significativo solamente cuando se considera la composición granulométrica y el carácter del material de liga. El equivalente ed humedad centrifugada no excede de 25.

GRUPO A-33.—Los suelos de este grupo están formados completamente de materiales gruesos tales como arena y grava, carecen de estabilidad bajo la carga de las ruedas excepto cuando están mojados; las condiciones de humedad los afectan sólo ligeramente; no tienen cambios volumétricos; no pueden ser compactados por rodillado, pero en la mayor parte de los casos pueden ser asentados cortándolos con discos y encharcándolos. Se drenan rápidamente y cuando están confinados adecuadamente, constituyen subrasantes apropiados para todos los tipos de pavimentos.

Composición Granulométrica.—La fracción que pasa por la malla No. 200 es menor del 10%.

CONSTANTES. Los suelos de este grupo no tienen plasticidad. El límite de contracción y el equivalente de humedad de campo no son significativos. El equivalente de humedad centrifugada no excede de 12.

GRUPO A-4.—Los suelos de este grupo están sujetos al abundamiento con las heladas.

En este grupo predominan los suelos limosos que contienen solamente pequeñas cantidades o cantidades moderadas de materil

grueso y sólo pequeñas cantidades de arcilla coloidal pegajosa. Cuando está relativamente secos o cuando están mojados, los suelos del grupo A-4 presentan una superficie de rodamiento firme que rebota muy poco al quitarle la carga. Cuando absorben agua rápidamente se expanden en forma perjudicial o pierden estabilidad aún sin manipulación.

Los suelos de este grupo varían mucho en su textura, desde barros limosos y arcillosos.

Composición Granulométrica.—El contenido de arena es menor de 55%.

COSTANTES.—El límite líquido de los suelos de este grupo varía desde 20 para barros arenosos hasta 40 para barros arcillosos. El índice de plasticidad varía desde 0 para los limos gruesos sin cementante hasta 15 para barros arcillosos. El límite de contracción varía desde 20 para los barros areno-arcillosos de mejor composición granulométrica con buen cementante hasta 30 para los limos. El equivalente de humedad centrifugada (no esencial para la clasificación) varía desde 12 hasta 50 dependiendo de la porosidad y permeabilidad del suelo. El equivalente de humedad de campo no excede de 30. Cuando el equivalente de humedad centrifugada es mayor que el límite líquido, los suelos de este grupo pueden ser especialmente inestables en la presencia de agua. Los suelos del grupo A-5 cuando el equivalente de humedad de campo excede al equivalente de humedad centrifugada o cuando el límite de contracción es mayor de 25. Los suelos de este grupo se extienden desde los límites del grupo A-2 hasta los que se acercan a los límites inferiores de los grupos A-5, A-6 y A-7. Los suelos de la línea divisoria se designan comunmente como A-4-2, A-4-5, A-4-6, y A-4-7 indicando que acercan al último grupo de características, composición granulométrica y valores de las constantes de prueba.

Cuando están muy húmedos estos suelos pueden hacerse muy elásticos, mostrando considerable rebote al quitarles la carga.

GRUPO A-5.—Este grupo es semejante al grupo A-4 excepto que incluye suelos de muy mala composición granulométrica conteniendo materiales como mica y diatomeas, que originan propiedades elásticas y muy baja estabilidad. Los suelos de este grupo tienden a ser elásticos y a rebotar al quitárseles la carga cuando están secos. Las propiedades elásticas de estos suelos interfieren con una compactación apropiada de las capas de base del tipo flexible du-

rante la construcción y la retención de una buena adherencia después de la construcción.

Composición granulométrica.— El contenido de arena es menor de 55% (hay excepciones).

CONSTANTES.—El límite líquido es generalmente mayor de 35. El índice de plasticidad generalmente varía de 0 a 20 aunque en algunos casos puede llegar a 60. El límite de contracción es mayor de 30 y menor de 120 y generalmente pasa de 50 para los suelos malos de este grupo. El equivalente de humedad de campo varía de 30 a 120.

GRUPO A-6.—Este grupo está compuesto predominantemente de suelos arcillosos, con cantidades moderadas o despreciables de material grueso. En el estado plástico tieso o suave, absorben agua solamente al ser manipulados. Pueden compactarse a densidades relativamente altas usando rodillos pesados, obteniéndose mejores resultados con rodillos de patas; tienen buena capacidad de carga al ser compactados a su densidad máxima práctica; son compresibles y rebotan muy poco al quitarles la carga; son muy expansivos y producen distorsiones severas en las losas de concreto si se colocan suficientemente secos para dejar que absorban agua en grandes cantidades.

Composición Granulométrica.—El contenido de arena es menor de 55%.

CONSTANTES.—El límite líquido pasa de 35; El índice de plasticidad es mayor de 18; El límite de contracción es menor de 14 y el equivalente de humedad de campo es menor de 50.

Los índices de plasticidad altos de los suelos de este grupo indican una naturaleza muy cohesiva del material de liga (arcilla y coloides) para los contenidos de humedad más bajos. La cohesión disminuye a medida que el contenido de humedad aumenta. Por lo tanto, puesto que los suelos del grupo A-6 no poseen mucha fricción interna tienen baja estabilidad para los contenidos de humedad más altos. En consecuencia son apropiados para usarse en rellenos o como subrasantes solamente cuando pueden colocarse y mantenerse a un contenido de humedad relativamente bajo.

Los límites de contracción muy bajos indican cambios volumétricos altos. En el campo los suelos del grupo A-6 se caracterizan

por la presencia de grietas de contracción en todas las superficies expuestas al secado. El agua se mueve muy lentamente a través de los suelos de este grupo aún bajo una carga muy considerable. Por lo tanto estos suelos absorben agua muy lentamente a menos que se trabajen, e inversamente, una vez húmedos se secarán muy lentamente. El escurrimiento del agua gravitacional a través de ellos es despreciable y en consecuencia las instalaciones de drenaje comunes son de poca utilidad.

Los suelos del grupo A-6 están contenidos dentro de los límites más estrechos en sus características generales que los suelos de los grupos A-4 y A-7. Los suelos límites se designan a menudo como suelos A-6-4 o A-6-7.

GRUPO A-7.—Los suelos de este grupo **DEBEN USARSE CON CUIDADO**. Son semejantes a los del Grupo A-6 excepto que para ciertos contenidos de humedad son elásticos y se deforman rápidamente bajo las cargas y rebotan apreciablemente al descargarlos. Esta característica se debe a una composición granulométrica mala (curva de tamaño de granos con pendiente fuerte para los tamaños del limo); debido a materiales extraños como materia orgánica, hujuelas de mica, carbonato de calcio; debido también a una variación en la forma de los granos o a una combinación de dos o más de estas causas. Los cambios alternados de secado y humedecimiento de los suelos del grupo A-7 en las condiciones del campo, originan cambios volumétricos rápidos y perjudiciales.

Los suelos de este grupo son más difíciles de compactarse por rodillado que los del grupo A-6. Se ha encontrado que los rodillos de patas de gran peso son los mejores para rodillar los suelos del grupo A-7. Tienen buena capacidad de carga cuando se compactan a gran densidad, pero están sujetos a cambios volumétricos excesivos a menos que se compacten apropiadamente con un contenido de humedad que produzca el mínimo de huecos de aire. Estos suelos han producido distorsiones más severas en las losas de concreto que los suelos de los otros grupos.

Composición Granulométrica.—El contenido de arena es menor de 55%.

CONSTANTES.—El límite líquido de los suelos de este grupo pasa de 35 y el índice de plasticidad es mayor de 12. El límite de contracción puede variar de 10 a 30; el equivalente de humedad de campo puede variar de 30 a 100. La diferencia más grande entre los

suelos del grupo A-7 y los del grupo A-6 está en su elasticidad; esta propiedad está indicada por un límite de contracción mayor y por el equivalente de humedad de campo también mayor.

Como el grupo A-4, el grupo A-7 comprende una variación muy grande de suelos cuyas características cambian desde los que limitan con los grupos A-4 y A-5 de limos y barro y el grupo A-6 de arcillas hasta aquellos que se acercan a los límites interiores del grupo A-8 los cuales designan a menudo como A-7-4, A-7-5, A-7-6, y A-7-8, indicando semejanza a los últimos grupos.

GRUPO A-8.—Los suelos de este grupo están compuestos de lodo y turba muy suave. Contienen cantidades excesivas de materia orgánica y de humedad. Son evidentemente inadecuados para ser usados en subrasantes o en terraplenes.

Composición Granulométrica.—La composición granulométrica no es significativa.

CONSTANTES.—El límite líquido varía de 35 a 400. El límite de plasticidad varía de 0 a 60 y es generalmente menor de 25. El límite de contracción varía de 30 a 120 y el equivalente de humedad de campo de 30 a 400.

Los altos límites de contracción y los altos equivalentes de humedad de campo indican la presencia de materia orgánica parcialmente descompuesta. La tendencia a contener humedad capilar en grandes cantidades muy por encima del nivel de agua freática hace que estos suelos no sean satisfactorios para usarse como suelo de cimentación para terraplenes. Siempre que sea posible debe **EVITARSE USARLOS** en cualquier tipo de construcción.

Además de los resultados de las pruebas indicadoras ya descritas las relaciones densidad-humedad de los suelos en estado compactado son indicativas de su valor para usarse en la construcción de terraplenes y como materiales de cimentación. Bajo un grupo determinado de condiciones de prueba cada suelo tiene un peso volumétrico unitario para cierto contenido de humedad que se conoce como contenido de humedad óptimo. El peso varía con el tipo de suelo, siendo mayor para los suelos arenosos de buena composición granulométrica del grupo A-1 y disminuyendo a un mínimo para los suelos de los grupos A-5, A-6, A-7, y A-8 además de la relación entre la densidad y la humedad, se ha desarrollado un procedimiento para obtener la relación del contenido de humedad y la resisten-

cia a la penetración de una aguja introducida al suelo compactado en condiciones determinadas.

APLICACIONES DE LA CLASIFICACION DE SUELOS.

GRUPO A-1.—Los materiales de este grupo tienen una capacidad de carga muy grande a densidades altas y funcionan satisfactoriamente cuando se usan como base para superficies de desgaste relativamente delgadas.

Cuando existen en cantidades adecuadas de espesor apropiado estos suelos pueden usarse como una capa de base para superficies bituminosas; cuando el índice de plasticidad no excede de 6. Son excelentes para usarse como materiales de recubrimiento sobre suelos secos o limosos.

GRUPO A-2.—Los suelos que pertenecen a este grupo se presentan con bastante frecuencia. El grupo generalmente se divide en dos partes: Tipos plásticos y tipos desmenuzables. El tipo desmenuzable tiene un índice de plasticidad que varía desde NP hasta menos de 3 y los suelos de este tipo pueden usarse como material de base para superficies bituminosas cuando puede mantenerse un contenido de humedad suficiente para asegurar la estabilidad o cuando el material está completamente confinado. Este tipo también es adecuado para usarse como material de recubrimiento para subrasantes muy plásticas sobre las cuales va a colocarse pavimento de concreto. El índice de plasticidad de los tipos plásticos varía de 3 a 15. Cuando el índice de plasticidad de los suelos de este tipo excede de 6, los suelos no son adecuados para usarse como base para un acabado bituminoso ligero y pueden causar distorsiones de los pavimentos de concreto si ocurren grandes fluctuaciones del contenido de humedad.

Los suelos de este grupo (Plásticos o desmenuzables) pueden considerarse como estables si están bien compactados y son satisfactorios para la construcción de terraplenes o para el recubrimiento de suelos plásticos o limosos. Pueden ser drenados y pueden tener suficiente plasticidad para ocasionar cambios volumétricos perju-

diciales. Con los suelos de este grupo pueden mezclarse materiales bituminosos, cemento Portland y otros adiconantes con relativa facilidad.

GRUPO A-3.—Estos suelos se drenan rápidamente y cuando están confinados adecuadamente, constituyen subrasantes apropiadas para todos los tipos de pavimentos.

Los suelos del grupo A-3 ocurren muy frecuentemente. Muchos de ellos pueden ser estabilizados con éxito con materiales bituminosos.

GRUPO A-4.—Como los suelos de este grupo están sujetos al abundamiento con las heladas, deben cubrirse con materiales granulares en aquellas regiones en donde prevalecen temperaturas bajas y condiciones que ocasionan el abundamiento con las heladas. El espesor de la capa necesaria varía de 18" a 48".

Los tipos más plásticos de este grupo se expanden con aumentos de humedad en grado suficiente para causar distorsiones en las juntas de las losas de concreto si los suelos se colocan con contenidos de humedad menores que el óptimo. Las superficies bituminosas requieren bases de buen espesor cuando se colocan sobre subrasantes que consisten de cualquiera de las variedades de este grupo.

GRUPO A-5.—Los suelos de este grupo no son adecuados para usarse como subrasantes para recubrimientos. Están sujetos a abundamiento con las heladas y deben cubrirse con material granular cuando se encuentran en subrasantes en zonas en las cuales prevalecen condiciones de congelación. Son generalmente difíciles de compactarse debido a su tendencia a rebotar al quitarles la carga. Se ha observado que los pavimentos construidos sobre subrasantes de suelos de este grupo se agrietan excesivamente.

GRUPO A-6.—Los suelos de este grupo no son adecuados para usarse como subrasantes bajo revestimientos delgados flexibles o bajo superficies bituminosas, debido a los grandes cambios volumétricos ocasionados por las fluctuaciones de humedad. Cuando se colocan losas de concreto sobre estos suelos, las subrasantes deben compactarse a altas densidades con contenidos de humedad cuidadosamente controlados. Las zonas adyacentes inmediatas a la losa, que están expuestas al secado, deben protegerse cubriéndolas con un material no expansivo, como suelos del grupo A-1, el tipo desmenuzable del grupo A-2 u otro material aislante, para impedir la pérdi-

da de humedad por evaporación de la subrasante y la distorsión subsecuente del pavimento debido a la reabsorción de la humedad.

Los suelos de este grupo que ocurren en las subrasantes para macadam o recubrimientos porosos semejantes deben cubrirse con un material impermeable, no expansivo, semejante a los suelos de los grupos A-1 y A-2.

GRUPO A-7.—Como los suelos de este grupo son aún más expansivos que los del grupo A-6 deben observarse las mismas precauciones en su uso. Debido a su elasticidad y tendencia a rebote deben compactarse con gran cuidado cuando se usen como subrasantes para losas de concreto y no deben someterse a cargas excesivas inmediatamente antes de la pavimentación si se desea evitar que muy pronto se agrieten las losas debido a la fuerza ejercida por el suelo al rebotar.

En las regiones donde prevalecen bajas temperaturas los suelos de este grupo deben considerarse como sospechosos porque están sujetos al abundamiento con las heladas.

GRUPO A-8.—Siempre que sea posible debe evitarse usar los suelos de este grupo en cualquier tipo de construcción.

PROYECTO DE TERRACERIAS.

Los materiales que existen en los cortes y préstamos, tienen cierta compactación producida por la naturaleza durante miles de años. Al atacar dichos materiales, se rompe el equilibrio y los materiales se desmenuzan y se acarrear para formar los terraplenes. Al construir los terraplenes, generalmente no es posible reemplazar el estado original y tiene que pasar algún tiempo, antes de que la nueva estructura llegue a un estado de equilibrio; es decir que no se produzcan asentamientos en algunas de sus partes y aún en el terreno en que está desplantada la estructura.

El contenido de agua tiene gran influencia en el comportamiento de los materiales y ese contenido de humedad afecta, espe-

cialmente a los materiales que tienen partículas finas, o en otros términos, a los materiales que son arcillosos.

El contenido de agua que contengan los materiales al hacer los terraplenes, es importante, pero también hay que tener en cuenta el agua que después penetre al terreno y pueda causar efectos perjudiciales. En efecto, vamos a suponer que al construir un terraplén los materiales utilizados están secos; después que les llegue agua de lluvia (por arriba), por los lados (filtración lateral), o por abajo (filtración hacia arriba que puede ser agua capilar). Depende de la cantidad de agua que llegue al terraplén y de la clase de materiales con que esté construido, para que ese movimiento de agua llegue a producir hinchamientos y al retirarse, asentamientos. Puede suceder que esa agua se retire por filtración o por evaporación; pero habrá casos en que permonezca en exceso durante varios meses, produciéndose lugares de bajo poder de soporte.

Con lo anterior se desea hacer hincapié en que es importante el contenido de agua de los materiales al hacer el terraplén, que conviene prestar interés a la permeabilidad de los materiales y que si se tienen materiales permeables, no causará el agua perjuicios apreciables, en cambio con materiales impermeables, el agua en exceso puede estancarse, dar lugar a cambios de volúmen y hasta cambios en la resistencia de las cargas.

Por lo que se refiere a los cortes, también hay que hacer notar que al construir el camino, no sólo se rompe el equilibrio estructural, sino también lo que pudiéramos llamar el sistema hidráulico del terreno y que se presentan problemas de drenaje en los cortes para desalojar el agua de lluvia y las filtraciones laterales que en muchos casos causan desligamientos y fallas en la superficie de rodamiento.

Conviene dejar establecido que en la mayoría de los casos el material para hacer terracerías, no es homogéneo, sino al contrario dista mucho de serlo, de ahí que convenga el muestreo previo, la construcción por capas, el mezclado, etc.

MATERIALES QUE DEBEN DESECHARSE EN LA CONSTRUCCION DE TERRACERIAS.

Para construir terraplenes y en los mismos cortes cuando aparezcan los manchones, deberán desecharse: la turba, el fango y los suelos con exceso de materia orgánica, con peso volumétrico seco máximo, menor de 1300 Kg. por metro cúbico y con índice de plas-

ticidad mayor de 20. Por supuesto, habrá excepciones donde tendrán que usarse si no se dispone económicamente de otros.

MATERIALES QUE DEBEN PREFERIRSE PARA TERRACERIAS.

En igualdad de condiciones, es decir, con igual costo, deben preferirse los materiales que tengan mayor peso volumétrico y menor índice de plasticidad, pasando de 10.

COMPACTACION DE TERRAPLENES.

La compactación, tiene por objeto lograr un mejor acomodo de las partículas reduciendo el porcentaje de vacíos, o sea aumentando su peso volumétrico. Con la compactación, se disminuye la permeabilidad y la capilaridad logrando que la parte compacta absorba menos agua. Si se aumenta el peso volumétrico y se disminuye la absorción, como consecuencia se aumenta el poder de soporte.

Ya se ha dicho que para obtener una buena compactación, se necesita una "Humedad Optima" y el empleo del "Equipo Adecuado".

Desde luego el equipo que se use para hacer los terraplenes puede ayudar a la compactación, como en el caso de las escrepas, los camiones, tornapules y otros equipos de arrastre. Sin embargo, esa compactación no es siempre pareja ni controlable. ¶

ESTABILIZACION DE TERRACERIAS.

Estabilización.

La palabra estabilización aplicada en caminos, da idea de un procedimiento de construcción que se utiliza para que parte de un camino pueda soportar las condiciones adversas del clima, rindiendo en todo tiempo, el servicio para el que fué proyectada. Así por ejemplo, se dice que se "estabiliza un talud" cuando, empleado el procedimiento adecuado para el caso, (acostando al talud, amacizándo-



INGENIERIA

lo, revistiéndolo con mampostería o sembrando en él plantas adecuadas), se logra la eliminación de derrumbes, con lo que se evita el peligro de suspensiones de tránsito o de azolve de cunetas. Cuando decimos "Estabilización de acotamientos", entendemos que mediante el procedimiento adecuado, (revistiéndolo, empedrándolo, dándole cohesión, sembrando sacate o agregando cementante o arena), se consigue que no se deslaven y que distinguiéndose de la superficie de rodamiento del camino, permitan el estacionamiento de vehículos sin producir lodo y que en casos de emergencia, puedan utilizarse como superficie de rodamiento para evitar accidentes.

En lo que se refiere a estabilización de terracerías, estabilización de rodamiento y estabilización de bases, hay algo de confusión muy explicable si se tiene en cuenta que los temas son amplios, los casos muy variados y los estudios realizados son incompletos, por lo que este capítulo tendrá que modificarse y ampliarse en un futuro próximo.

ESTABIIZACION DE TERRACERIAS.

Las terracerías se pueden estabilizar corrigiendo drenaje, compactándolas o cubriéndolas con una sub-base de mejor calidad. Hay que hacer la aclaración de que las terracerías constituyen la sub-estructura del camino y que al hacerlas debe procurarse que no vayan a fallar como cimiento de la base y la carpeta que servirá como superficie de rodamiento.

1.—Estabilización de Terracerías por Drenaje.

La presencia de agua en exceso en las terracerías puede dar lugar a fallas en los pavimentos, razón por la cual conviene estudiar en forma adecuada el drenaje, como trabajo previo a la construcción, y para que, durante la construcción de terracerías, se tenga especial cuidado con el alcantarillado, los canales y drenes.

A pesar de lo anterior una vez puesto en servicio el camino, se hace necesario completar el drenaje, observando el camino durante fuertes aguaceros y las consecuencias de una temporada de lluvias. Es frecuente, que se encuentren tramos en que hay fallas en el pavimento, achacadas a un drenaje deficiente, que es necesario corregir, si se desea que la superficie de rodamiento sea permanente.

Con la construcción de drenes longitudinales o transversales puede lograrse en algunos casos interceptar o desviar las filtraciones o bajar el manto de agua.

Para proyectar el sistema de drenes, es necesario hacer un estudio de la localidad, viendo la permeabilidad de las distintas capas del terreno y localizar la fuente de agua perjudicial.

Los drenes deben llegar a una capa impermeable para desaguar completamente la capa porosa de encima, deben situarse en la cuneta del lado por donde entra el agua y en algunos casos en ambos lados del camino y debe rellenarse con material considerablemente más poroso que el suelo que se trata de drenar, recomendándose piedra de graduación uniforme, sin finos, (no más de 5% de material que pase por la malla No. 10). La pendiente mínima aconsejable es de 0.5%.

Para que el funcionamiento de un dren sea permanente, es necesario colocar en el fondo tubos de lámina perforada, de concreto o barro sin juntear, y de dimensiones adecuadas para el gasto que van a conducir.

De lo anterior se deduce, que por drenaje, no se cambian las cualidades o defectos de los materiales que forman la terracería o la base; pero sí se mejoran las condiciones del camino, evitando que un exceso de agua, haga que los materiales se comporten en forma inadecuada.

2.—ESTABILIZACION de Terracerías por Compactación.

Es posible hacer terracerías que no sufran asentamientos perceptibles construyendo los terraplenes por capas y compactando adecuadamente cada una de ellas, siempre y cuando el terreno natural resista las cargas. Este procedimiento debe usarse en aquellos casos en que se necesite poner la cubierta inmediatamente.

Compactando la capa superior de las terracerías es decir, la subrasante, se aumenta su capacidad de soporte y en consecuencia, se puede disminuir el espesor referido de la base y sub-base. Esto quiere decir que sin variar la calidad de los materiales, sino simplemente haciendo la compactación adecuada, se mejora en la cubierta y si esta compactación con humedad óptima se protege del agua de lluvia, de las filtraciones laterales y de la capilaridad, puede lograrse una economía en materiales y una economía real, si el costo de la compactación es menor que el material que se economiza.

3.—ESTABILIZACION de Terracerías cubriéndolas con una sub-base. . .

En lugar de poner una base pareja encima de la subrasante, conviene determinar los lugares o tramos de bajo poder de soporte y poner una sub-base de material de mejor calidad; pero que puede costar menos que el material de base, es decir, esa sub-base de características intermedias, puede encontrarse en el lugar con costo intermedio.

De lo que se trata, es de que una vez completada esa capa pueda ya ponerse encima una base de espesor uniforme con la certeza de que se tiene abajo un poder de soporte suficiente y que no habrá fallas.

DISEÑO DE REVESTIMIENTO.

Podemos considerar al pavimento y su base como la super-estructura del camino apoyada en las terracerías. La sub-estructura recibe las cargas y las trasmite a las terracerías y resulta un problema un tanto complicado el decidir cual es el espesor de la capa, que depende tanto de los materiales de que está construída, como de las características de soporte de la subrasante. El problema puede atacarse basándose en teorías y fórmulas un tanto complicadas y mediante pruebas en los caminos llegar a la formulación de tablas o gráficas de aplicación sencilla.

En la tabla No. 1 puede verse en el último renglón, el espesor total que recomienda la P. R. A. para los distintos grupos de su clasificación.

Características de los materiales de la SUB-BASE.

La sub-base, o sea la capa intermedia entre la base y la subrasante, se hará si resulta más económico, con materiales de características menos rígidas que para la base; su índice de plasticidad no debe ser mayor de 12, la contracción lineal no mayor de 4 y la curva granulométrica deberá quedar dentro de cualquiera de las tres zonas marcadas en la gráfica y no deberá tener cambios bruscos de pendiente. Como comprobación, el valor de soporte de Porter no deberá ser menor de 30% y el hinchamiento de 2.5%.

Casos en que se tenga que poner sub-base.—Antes de proceder a tender la base o como se viene llamando el "Revestimiento definitivo", conviene hacer un muestreo de la subrasante y en los tramos en que se tenga un índice de plasticidad mayor de 20 o un peso volumétrico seco máximo menor de 1450, se pondrá la sub-base con el espesor adecuado (alrededor de 20 cm. compacto) y se compactará lo mejor posible.

Sub-Base usada como superficie de rodamiento.— Cuando se rehagan revestimientos provisionales que estarán expuestos al tránsito, hay que procurar que se usen materiales locales, que después se puedan aprovechar en la base. Sin embargo, ésto no siempre es posible, pues para trabajar como superficie de desgaste, es conveniente que el material contenga partículas grandes (hasta 1" o 2") para resistir el tránsito, arena para poder tener capacidad de carga en tiempo de secas. Hay materiales que se comportan bien en superficies de rodamiento y fallan al emplearse como bases. El índice de plasticidad se procurará que sea mayor de 4 y no pase de 8; y la contracción lineal no deberá ser menor de 1 cuando la topografía del terreno, precipitación pluvial, drenaje, etc., sean favorables, podrán aceptarse materiales para sub-base con índice de plasticidad hasta doce.

Los estudios especiales que se hagan de los materiales autóctonos para bases: grava, piedra triturada, granito desintegrado, caliches, tepetates, tezontles y rocas desintegradas servirán para ampliar las especificaciones de estos materiales.

Para corregir la granulometría de los materiales, hay que cerciorarse de que las muestras que se probaron son representativas, ya que dentro del mismo banco pueden encontrarse secciones con granulometrías muy distintas que pueden aprovecharse o que es conveniente desechar.

Estabilización de bases y sub-bases.

Las bases y sub-bases pueden estabilizarse agregándoles materiales granulares que les hagan falta y que pueden encontrarse en la región, es decir, a materiales arcillosos se les puede agregar materiales arenosos para disminuir su plasticidad y a materiales arenosos agregarles cementante especialmente si van a usarse como superficies de rodamiento; pero hay lugares en que no se consigue en los materiales adecuados para mejorarse, entonces se puede estudiar la conveniencia de recurrir a las estabilizaciones con adi-

cionantes tales como cemento, productos asfálticos, melezas y sales delicuesentes.

TIPOS DE PAVIMENTOS.

Flexibilidad y rigidez.—Los pavimentos bituminosos generalmente se clasifican como "superficies flexibles".

Prácticamente es posible construir concreto asfáltico y tipos similares que se comporten como pavimentos rígidos, pero éste no es conveniente, porque una ligera adaptabilidad para hacer frente a las condiciones variables de temperatura y de tránsito, es una ventaja necesaria para proporcionar mayor duración y menor conservación.

Hay dos caminos para un proyecto racional de pavimentos. En el tipo rígido se supone que construyendo una losa que tenga gran resistencia a la tensión trabajaría como un puente sobre las áreas débiles en la subrasante transmitiendo de este modo la carga sobre los apoyos adyacentes más fuertes. Cuando no se proporcione este apoyo aparecen cuarteaduras, y en cierto modo equivale a proyectar un puente desconociendo las condiciones del terreno en que estarán localizados sus estribos y pilotes. En el tipo flexible se supone que el pavimento estará siempre en contacto íntimo y continuo con la subrasante, a la cual le transmitirá la carga de una manera sólidamente uniforme, sin la concentración de cargas lo que sucede en los puentes.

Para hacer la selección de un tipo apropiado de pavimento para condiciones determinadas, como paso final de un proyecto, se deben también considerar los cambios que pueda haber en el tránsito durante el tiempo que se estime que dure el pavimento, y prepararse para aumentar su espesor a medida que se requiera. Este procedimiento que se conoce con el nombre de "Construcción por Etapas" a menudo resulta con buenas economías, debido a las grandes diferencias que hay entre las cargas de distintos tránsitos en las diversas clases de caminos. Las cargas de 4500 kilos (10,000 libras) se confinan principalmente para las calles de ciudades y caminos, de-

biendo en estos casos proyectarse los pavimentos de acuerdo con sus necesidades. Los caminos secundarios y de tercera clase muy raras veces sufren cargas mayores de 1800 kilos (4000 libras) (un camión de 5 tons.) y mientras que para una subrasante de 1.7 kg. /cm. 2 (25 lib./pul. 2) se requiera un pavimento con 15 cm. (6") de espesor o más para soportar cargas más pesadas, la mitad de eso basta para un camino secundario.

Así, se recomienda el uso de tratamientos superficiales y mezclas en el camino para condiciones de tránsito ligero, y concreto asfáltico, lámina de asfalto y macadam de penetración para tránsito pesado. La selección del tipo dentro de cada grupo depende más, de la facilidad que haya para conseguir el agregado que de la diferencia en duración.

En donde se consigán fácilmente materiales areno-arcillosos y rocas calizas, se pueden construir bases muy resistentes con poco costo, y no se necesita más que un tratamiento superficial para distribuir la carga y evitar el desgaste del material. Donde abunda la piedrade buena calidad, lógicamente debe elegirse un macadam de penetración, y similarmente, para las costas resultarían más económicas las mezclas de arena, y con grava o piedra en regiones más interiores.

En algunos casos, los materiales locales no son suficientemente resistentes de por sí para un tipo dado, pero son los únicos disponibles. Se ha visto a menudo que con una pequeña cantidad de material traído de otro lugar se corrigen sus defectos, permitiendo su uso en mezclas después de haberse determinado sus proporciones correctas en una serie de pruebas con la máquina de estabilidad.

También puede suceder que una grava o piedra suaves, se endurezcan sensiblemente después de haberse dado un baño de asfalto, y forman buenas bases, mientras que sin este tratamiento no podrían utilizarse. Todas estas posibilidades pueden desarrollarse únicamente mediante estudios de laboratorio adecuados, que, en la gran mayoría de los casos no se llevan a cabo.

Textura de la Superficie.—En los últimos años se ha dado mucha importancia a obtener superficies antiderrapantes, con marcada tendencia a la construcción de pavimentos de textura abierta y gruesa. Esta idea se desarrolló a tal grado que se construyeron muchos pavimentos extremadamente porosos. Estudios recientes han demostrado en forma concluyente que un acabado de "papel de lija" en los pavimentos de lámina de asfalto y concreto asfáltico, los

cuales generalmente lo tienen, ofrece el coeficiente de fricción más alto de todos los pavimentos. La acción de las llantas balón, actualmente en uso, es de desgaste sobre el pavimento, en lugar de comprimir como hacían las antiguas llantas, duras, y en la actualidad no se requiere tener pavimento de superficie cerrada, lo cual se debe tener en cuenta. En vista del hecho de que una superficie densa es la más impermeable y durable, todas las capas superficiales de textura porosa o abierta, deben terminarse con un riego de impermeabilización, delgado, pero abundante, de asfalto cubierto con agregado fino. Generalmente bastará con dar un riego de 0.5 a 1.2 lts. por metro cuadrado de asfalto y cubrirlo con un ligero exceso de arena. Se exceptúan las superficies hechas con mezclas calientes y con macadam de penetración, ya que llevan tal abundancia de asfalto que son prácticamente impermeables sin necesidad del riego de impermeabilización.

TRATAMIENTO ESPECIAL DE SUPERFICIES FRAGUADAS CON AGUA.

Descripción General.—Este tratamiento debe aplicarse sobre superficies que estén perfectamente consolidadas, incluyendo macadam fraguado con agua, grava arcillosa, arena arcillosa, piedra caliza, y similares. El procedimiento debe efectuarse substancialmente como sigue:

I).—La superficie existente del camino se nivelará corrigiendo y bacheando todas las depresiones y áreas defectuosas que tengan un espesor mayor de 2cm. (3/4") eliminando en forma apropiada los montículos e irregularidades similares.

II).—Una vez preparada la superficie en debida forma, se le dará un riego de imprimación.

III).—Después de haber dado el riego de imprimación, se le aplicará un tratamiento de material asfáltico cubierto con agregado mineral.

TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE SUPERFICIES CON MA- TERIAL SUELTO.

Descripción General.— Este tratamiento debe aplicarse a superficies sin consolidar que tengan material suelto, incluyendo macadam consolidado con el tránsito, gravas arenosas y tipos similares. El procedimiento debe aplicarse substancialmente como sigue:

I).—La superficie existente del camino debe tener un perfil uniforme escarificándolo y rastreándolo.

II).—Una vez preparada la superficie, se le dá un riego de imprimación de asfalto denso.

III).—Después de este riego se debe cubrir la superficie con agregado mineral, dándosele un segundo riego con el mismo material asfáltico.

IV).—La superficie debe mezclarse rastreando o escarificando muy cuidadosamente hasta que todos los fragmentos del agregado queden bien cubiertos de asfalto, consolidando después con aplanadora.

TRATAMIENTO SUPERFICIAL O RECONSTRUCCION DE SUPERFICIES BITUMINOSAS.

Descripción General.—Este tratamiento debe aplicarse a pavimentos bituminoso viejos, incluyendo tipos de mezcla y macadam bituminoso, y para renovar y conservar tratamientos superficiales, según se necesita. El procedimiento debe aplicarse substancialmente como sigue:

I).—La superficie del camino existente deberá tener un perfil uniforme bacheando todas las depresiones, y áreas defectuosas de unos 2 cm. (3/4") de espesor y eliminando en forma apropiada todos los montículos e irregularidades similares.

II).—Sobre la superficie preparada se debe dar un riego del material asfáltico y cubrirse con agregado mineral de acuerdo con lo especificado.

CARPETA SUPERFICIAL DE MEZCLA EN EL CAMINO.

Descripción General.—La capa superficial hecha en el camino debe consistir de agregado mineral y cementante asfáltico combinados. Debe tenderse en un espesor consolidado de por lo menos 5 cm. (2") sobre una base debidamente tratada con un riego de imprimación. El procedimiento de construcción debe aplicarse substancialmente como sigue:

I).—Primero debe darse a la base un riego de imprimación.

II).—Sobre la superficie así tratada debe tenderse una capa de agregado grueso en cantidad suficiente para producir después de la consolidación una superficie de desgaste que tenga el espesor re-

querido. El agregado grueso se debe tratar y mezclar en el lugar con el material asfáltico, después de lo cual se planchará cuidadosamente.

III).—Después se le dará un riego de impermeabilización que se cubrirá con agregado fino.

CARPETA SUPERFICIAL DE MEZCLA ASFALTICA HECHA EN EL CAMINO.

Descripción General.—La capa superficial de mezcla asfáltica hecha en el camino consistirá de agregado mineral y cementante asfáltico combinados. Debe tenderse en un espesor consolidado de 2.5 a 10 cm. (1" a 4") de acuerdo con lo que especifiquen los proyectos. El procedimiento de construcción debe aplicarse substancialmente como sigue:

I).—Se le dará a la base un riego de imprimación.

II).—Se tenderá una capa de agregado graduado en cantidad suficiente para que al consolidarse quede con el espesor deseado. El agregado debe tratarse y mezclarse en el lugar con el cementante asfáltico, tenderse, y consolidarse con el tránsito, rastreando continuamente hasta que el Ingeniero ordene la consolidación con aplanadora.

III).—Debe darse un riego de impermeabilización con cemento dará un riego de impermeabilización cubriéndolo con agregado fino.

CARPETA SUPERFICIAL DE MACADAM ASFALTICO.

Descripción General.—La superficie de macadam asfáltico consistirá de agregado mineral y cemento asfáltico combinados, debiendo tenderse sobre la base preparada, para que tenga un espesor consolidado mínimo de 6.5 cm. (2 1/2"). El procedimiento de construcción debe aplicarse substancialmente como sigue:

I).—Una capa de agregado grueso, planchado hasta obtener aproximadamente el espesor de la carpeta superficial terminada, y deberá ser tratado con cemento asfáltico caliente.

II).—Los vacíos de la superficie deben llenarse regando y planchando suficiente cantidad de agregado fino.

III).—Debe darse un riego de impermeabilización con cemento asfáltico caliente cubriendolo con piedra de acuñar.

BASE DE MACADAM ASFALTICO.

Descripción General.—La base de macadam asfáltico consistirá de agregado mineral y cemento asfáltico combinados, debiendo tenderse sobre la sub-base preparada de tal modo que tenga un espesor consolidado mínimo de 7.5 cm. (3"). El procedimiento de construcción debe aplicarse substancialmente como sigue:

I).—Una capa de agregado grueso, planchado hasta que se tenga un espesor aproximado de base terminada, debe regarse con cemento asfáltico caliente.

II).—Los vacíos de la superficie deben llenarse con suficiente piedra de acuñar y plancharse.

III).—Después debe darse un segundo riego de cemento asfáltico caliente y cubrirse con agregado fino.

CARPETA SUPERFICIAL DE CONCRETO ASFALTICO.

Descripción General.—La capa superficial de concreto asfáltico consistirá de agregado mineral compuesto, de agregados gruesos y finos y relleno mineral y mezclados uniformemente con cemento asfáltico, debiendo tenderse con un espesor consolidado de 5 cm. (2") sobre la base debidamente preparada.

BASE DE CONCRETO ASFALTICO.

Descripción General.—La base de concreto asfáltico consistirá de agregado mineral, formado por agregados finos y gruesos, mezclados uniformemente con cemento asfáltico, debiendo tenderse sobre una sub-base debidamente preparada, de tal modo que tenga un espesor consolidado de 7.5 cm. (3").

CARPETA SUPERFICIAL DE LAMINA DE ASFALTO CON PIEDRA DE RELLENO.

Descripción General.—La capa superficial de lámina de asfalto rellena con piedras, consistirá de agregado mineral compuesto de piedra o escoria quebradas, arena y relleno mineral, mezclados uniformemente con cemento asfáltico debiendo tenderse con un espesor consolidado de 5 cm. (2") sobre la base debidamente preparada.

