

22 870115

Dej

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

“REVISION DE METODO DE CONSTRUCCION DE BASES PARA
CARPETA ASFALTICA EN SAHUAYO MICHOACAN”

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A

GUILLERMO RAMIREZ AGUILERA

GUADALAJARA, JALISCO. 1988



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.

CAPITULO 1.-

" INTRODUCCION".

Tradicionalmente, la subrasante es definida como la cimentación de la estructura del pavimento que usualmente consiste en una capa superficial con o sin capa de base o sub-base adicionales. La subrasante puede ser material natural expuesto en corte, o terraplen constituido en material natural. El diseño y construcción de un terraplen como subrasante de rodamiento es un proceso importante y complejo, pero no obstante, estandarizado relativamente. Toda subrasante de rodamiento debe estar satisfactoriamente compactada en capas uniformes para asegurar estabilidad y asentamientos uniformes pequeños. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, el factor que gobierna en el diseño y construcción de la subrasante es la condición del material natural en el lugar.

La subrasante o material in-situ debe ser diseñado para soportar los efectos de la naturaleza repetitiva de la carga (o cargas) debida al tráfico en adición a las cargas debidas al peso propio del pavimento y terraplen. Más aún, el material in-situ debajo del pavimento y terraplen debe soportar los efectos deteriorantes de los factores climáticos y medio ambientales como podrían ser congelamiento, variaciones en humedad y cambios químicos. Una subrasante ideal debe ser capaz de mantener la permanencia de sus propiedades de diseño y llevar a cabo sus funciones para las que fue diseñada con deformaciones extremadamente pequeñas y sin requerir ningún tipo de mantenimiento.

Para poder diseñar una subrasante ideal, técnicas de estabilización especiales deben ser empleadas, especialmente cuando se encuentran suelos problemáticos. Figura 1.3 presenta varios tipos de suelo que exhiben problemas en el diseño de pavimentos. Estos problemas usualmente son baja capacidad de carga, o características de altos cambios volumétricos o ambos, resultando de las cargas, efectos climáticos, o cambios en el medio ambiente. Las técnicas de estabilización puede, por lo tanto, ser agrupadas en 3 categorías generales: densificación, aumento de capacidad y protección contra cambios ambientales. Figura 1.4 es una breve representación de técnicas de estabilización que pueden ser utilizadas en la construcción y diseño de pavimentos.

Aproximadamente hasta el año de 1940, las bases casi siempre consistían únicamente en agregados minerales. El tipo más común denominado "base granulada", era una mezcla de partículas de tierra que variaban en su tamaño desde gruesas hasta finas. El tratamiento comprendía triturar las partículas de tamaño excesivo y tamizar, en caso necesario, para asegurar la granulometría adecuada. Las bases del tipo "macadam", que comprenden capas sucesivas de roca triturada ligadas con polvo de roca, también eran empleadas. Desde el año de 1940 las bases tratadas compuestas de agregados minerales y aditivos para hacerlas más fuertes o más resistentes a la humedad, han venido siendo cada vez más comunes.

Entre los agentes de tratamiento se encuentran los aglutinantes bituminosos, cemento Portland y algunas sustancias químicas que incluyen el cloruro de calcio, la cal y varios compuestos orgánicos.

En áreas donde la penetración de la congelación es profunda, a menudo se localizan bajo la base regular, subbases de materiales limpios y no capilares (véase la fig. 1.2). Estas se tratan muy rara vez. Algunos autores y casas editoriales usan también el término subbase para describir la capa donde yace el pavimento de concreto. En esta tesis, esta capa será definida como base.

La actual Administración Municipal de Saluayo, Mich., se dió a la tarea de pavimentar y/o repavimentar las calles que presentaban problemas graves de vialidad por pavimento en pésimas condiciones o calles que carecían de infraestructura para la mejor vialidad de determinadas zonas de la ciudad. Ya que además presentaban problemas de salud, por estancamientos de agua que se convertían en focos de infección.

En vista de que algunos de los pavimentos existentes se encuentran en malas condiciones, se estudió el problema llegando a las siguientes conclusiones:

- a) Fallas por espesor reducido, en algunos casos menor de 10 cms.
- b) El tamaño de las losas. Demasiado largas considerando los movimientos de suelos por cambios de humedad.
- c) La mayoría de las losas sufrieron falla de base.

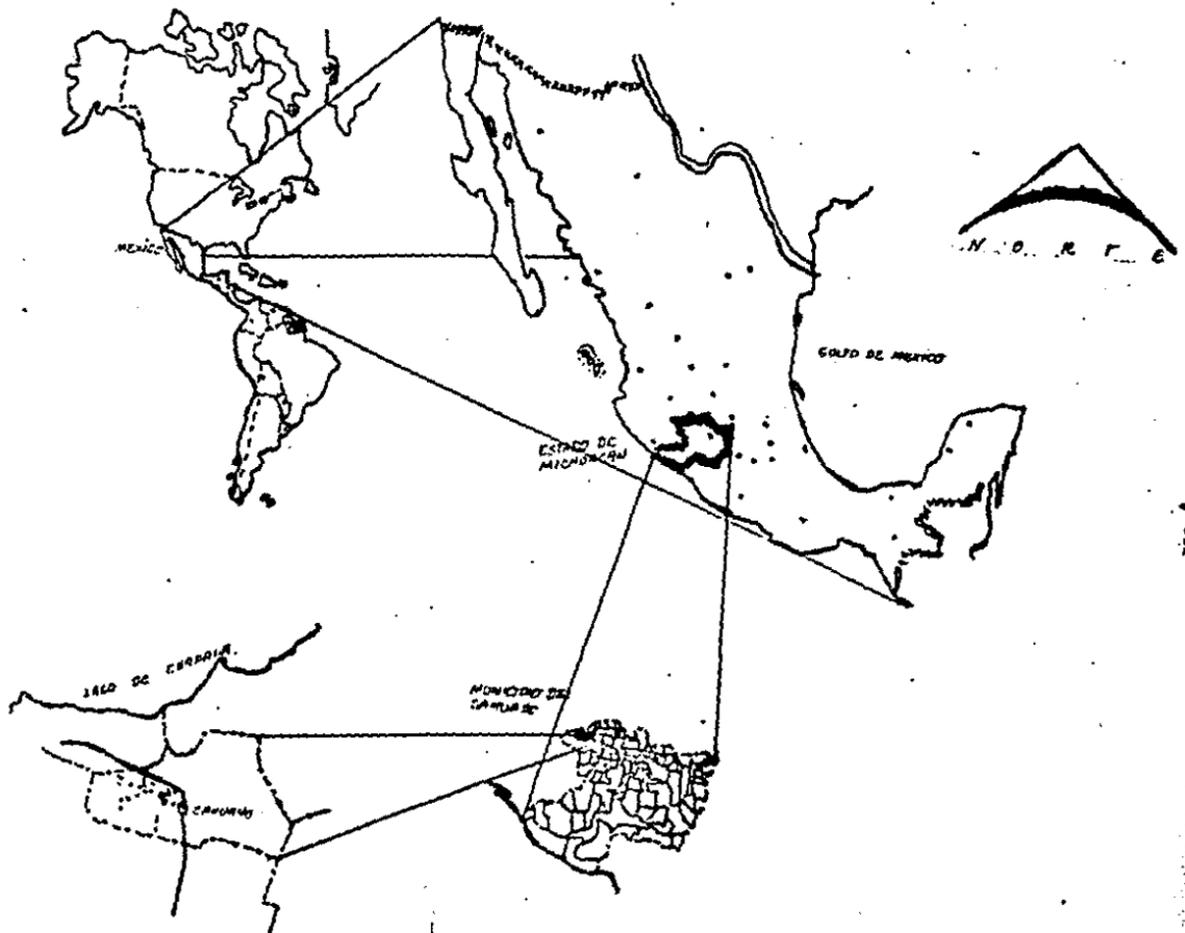
Se determinó para los pavimentos concreto hidráulico $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$, espesor de 15 cms (tamaño máximo de losa 3.00 x 2.50 mts) y hacer un estudio para la formación de las bases lo que motiva la presente tesis.

El pavimento más usado en Sahuayo es el de tipo hidráulico, pero también las hay de tipo flexible como lo es la calle principal o Boulevard que está a cargo de la Secretaría de Comunicaciones.

A continuación se dan algunos datos geográficos y generales de la zona y de la ciudad:

Sahuayo, Michoacán es cabecera del municipio del mismo nombre. Sus coordenadas geográficas son $102^{\circ}43'$ longitud occidental y $20^{\circ}04'$ latitud norte, su altitud sobre el nivel del mar: 1530 mts. La carretera México-Guadalajara No.15 cruza la ciudad de sur a norte, facilitando sus relaciones económicas con otras ciudades. El clima dominante en la región, según Köppen y basándose en los datos recopilados entre los años de 1947 a 1965, en las estaciones termoplúviométricas de: Presa Guaracha, La Palma, Cumuato y Jaripo (S.R.H.) corresponden a la clasificación: Cwa , es decir:

- O = Templado moderado, húmedo con invierno benigno
- W = Lluvia periódica, invierno seco
- a = Temperatura media del mes más frío entre 3.0 y 18.0 grados centígrados ($^{\circ}C$).



El clima predominante en la región es semiseco, con una marcada estación lluviosa que se inicia en la primera quincena de junio y termina en la primera quincena de octubre, presentándose lluvias aisladas en los meses restantes del año, especialmente en los meses de diciembre y enero.

La construcción de diques de protección en el Lago de Chapala, en el año de 1910, dió origen a la completa desecación en la parte sur y sureste del lago a una superficie de cerca de 55,000 has. de terreno.

La parte desecada, pertenecía al vaso del Lago de Chapala, por lo que, sus suelos son de origen lacustre y permanecieron sujetos a la acción de las aguas, hasta su desecación. Cuando bajaban los niveles del Lago debido a la disminución de las lluvias, las partes más elevadas de la Ciénega aparecían y quedaban sujetas a los agentes atmosféricos, los cuales produjeron su intemperismo, dando origen a los suelos más antiguos y por lo mismo los más intemperizados.

Al mismo tiempo que las partes más altas se descubrían, las bajas se quedaban inundadas, con una lamina de agua de variable espesor, sobre la cual se desarrollaban gran cantidad de plantas acuáticas que, al ser sepultados por nuevos arrastres de los ríos, dieron origen a suelos orgánicos, que constituyen actualmente los suelos más recientes.

La complicada formación lacustres de la Ciénega, dió origen a los suelos de carácter orgánicos y a los suelos de carácter mineral proviniendo estos últimos de rocas indeterminadas, debido a la diversidad de materiales que existen en las cuencas de alimentación de los ríos Duero y Lerma, origen indiscutible de los sedimentos que los mismos arrastraron y depositaron en los suelos a los que se llamó "Ciénega de Chapala".

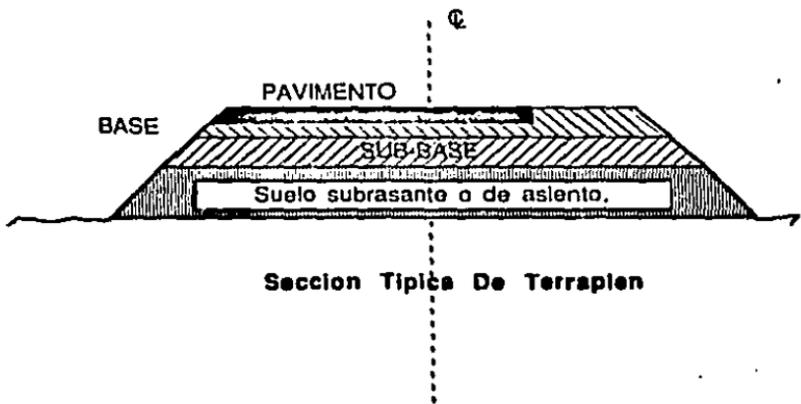
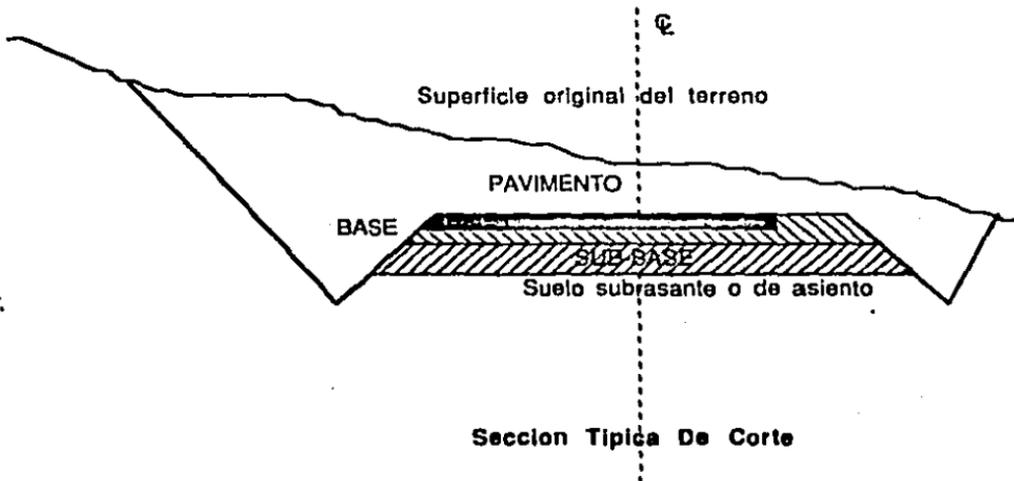


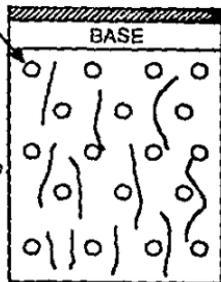
FIG. 1 - 1

SUPERFICIE DEL CAMINO

El agua en grandes poros se congela a temperatura normal de congelación

El agua en tubos capilares e intersticios pequeños de suelo no se congela y es impulsada a la masa de hielo

La acción capilar proporciona un suministro continuo elevando el agua freática.



CAUSA

Superficie del camino levantada por lo menos en una cantidad igual a los espesores combinados de los lentes.

Formación de cristales de hielo.



EFECTO

AGUA FREÁTICA

FIG.1 - 2

MATERIALES DE SUBRASANTE QUE REQUIEREN
TECNICAS DE ESTABILIZACION ESPECIALES.

<u>TIPO DE MATERIAL</u>	<u>PROBLEMAS MAYORES</u>
Arena suelta	Altos asentamientos, especialmente bajo cargas repetitivas.
Arcilla suave	Baja capacidad de compresibilidad alta.
Arena fina	Capacidad y compresibilidad muy sensitivas a variaciones en la humedad
Suelos expansivos	Altos cambios volumétricos característicos bajo condiciones de humedad variantes.
Suelos orgánicos	Capacidad bastante baja y grandes asentamientos.
Suelos susceptibles a congelamiento	Debilitamiento e hinchamiento bajo ciclos repetidos de congelamiento y deshielo.
Suelos colapsables	Altas deformaciones resultantes de saturación.
Arcilla sensitiva	Debilitamiento bajo estimulación mecánica y cambios ambientales.
Material de escombros	Errático en capacidad y características de compresibilidad.

FIGURA 1.3

TECNICAS DE ESTABILIZACION
DE LA SUBRASANTE.

PROPOSITO DE ESTABILIZACION

Densificación ó compactación

Aumento de capacidad

Protección contra factores
ambientales.

TECNICAS

Compactación dinámica vibro-flo-
tación; terra-probe pilas de com-
pactación; compactación con mor-
tero explosivo.

Vibro-reemplazamiento inyección
química, otros métodos.

Encapsulamiento con geotextiles,
drenaje,
insulación con membrana plástica.

FIGURA 1.4

CAPITULO 2.-

" CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO"

PRUEBAS DE SUELO.-

Para conocer las características del terreno donde se desplantará la carpeta asfáltica y poder conocer si esta servirá como base para la carpeta o si será necesario sobreponer una caja de material a esta, se deben llevar a cabo diferentes pruebas de laboratorio; para poder llevar a cabo estas pruebas es necesario tomar muestras del terreno para sobre ella hacer las pruebas necesarias.

A continuación se explica los pasos que se deben tomar para llevar a cabo este proceso:

1o) Trabajo de campo

- a) Muestreo
- b) Determinación de la compactación

2o) Pruebas de Laboratorio

- a) Granulometría
- b) Límites de Atterberg y contracción lineal
- c) Prueba de compactación Proctor o Porter
- d) Prueba standard del valor relativo de soporte
- e) Prueba modificada del valor relativo de soporte "Porter"

1o.- Trabajo de Campo:

a) Muestreo: El espaciamiento de los sondeos y el número de muestras que se toman deberán estar de acuerdo con la homogeneidad del suelo y el tipo de estudios. En suelos que presenten pocas variaciones en sus

características, es decir que sean homogéneos el espaciamiento entre muestras podrá ser mayor en aquellos suelos presumiblemente heterogéneos. De la misma manera que en estudios preliminares el espaciamiento podrá ser mayor que en los estudios que sean definitivos. Para un muestreo preliminar generalmente es suficiente con abrir pozos a cada 200 ms pero posteriormente si se requiere un estudio completo, se abren pozos intermedios recomendándose una separación máxima de 100 mts. entre sondeos. Debiéndose efectuar dicha excavación a una profundidad suficiente, para poder obtener muestras realmente representativas dependiendo del equipo que haya a usarse en la explotación de los bancos.

La cantidad de material que constituye una muestra debe ser suficiente para realizar todas las pruebas de laboratorio y aun repetir las incorrectas o aquellas cuyos resultados sean dudosos.

En general conviene formar muestras de 40 a 50 kg. Repartidos en la siguiente manera:

- * Proctor
- * Compresión triaxial
- * Análisis granulométrico
- * Porter Standard
- * Densidad
- * Límites de consistencia
- * Porter modificada

Determinación de la compactación:

Para realizar la prueba se hará una excavación en el suelo cuyo peso volumétrico se desee determinar, utilizando una barreta y una cápsula para extraer el material procurando que dicha excavación, sea la más regular posible de sección circular o cuadrada cuyo diámetro o lado sea de aproximadamente 15 centímetros, de donde se extraerá el material con agregado máximo

igual al considerado para la obtención del peso volumétrico seco máximo, desvolviéndose las partículas mayores de ese tamaño.

Se pesará inmediatamente el material extraído de la excavación y se tomará una muestra para determinar su humedad con lo que se puede definir el peso volumétrico del material.

A continuación se llenará la excavación con arena previamente pesada y cuyo peso volumétrico, sea conocido, llegando a determinar el volumen dividiendo el peso, de la arena utilizada entre el peso volumétrico.

El peso volumétrico seco del material será el cociente de dividir el peso seco entre el volumen de la excavación.

Una vez conocido el peso volumétrico seco se dividirá entre el peso volumétrico seco máximo obtenido en laboratorio y con este cociente se define el porcentaje de compactación existente en el lugar del sondeo.

2o. - Pruebas de laboratorio:

El material obtenido de las muestras esta formado en general por grava y grumos de tierra. Las pruebas tales como límites de Atterberg, se hacen con la porción de la muestra que pasa por el tamiz número cuarenta. El material que queda retenido en él se desecha para la mayoría de las pruebas.

Al preparar la muestra para su ensaye, es necesario desmoronar los grumos por medio de un pizón de madera, pero sin romper las partículas o fragmentos de roca. Igualmente debe evitarse que se pierda el material fino al operar. Debe por lo tanto, trabajarse con sumo cuidado.

El procedimiento en general para la preparación de muestras en las pruebas de laboratorio es el siguiente:

I) Se obtiene el peso total de la muestra húmeda tal como llegue del campo.

II) Se vacía la muestra sobre la charola y se separa la grava con la mano o con la ayuda de una malla.

III) Se desmoronan los grumos de tierra con el picón.

IV) Por la malla número 4 (4.69 mm) se pasa el material desmoronado, clasificándolo en dos grupos.

V) Se guarda la muestra de material que ha pasado por la malla número 4 (4.69 mm) en un cajón debidamente identificado, para ser usado en -- pruebas posteriores, y cuando sea necesario, debe guardarse la grava.

VI) Se pone en una cápsula una muestra (100 gramos aproximadamente) de material que ha pasado la malla número 4 (4.69 mm) para determinar su contenido de humedad.

VII) Se pesa en la balanza de torsión el material en estado húmedo anotando el número de cápsula; se introduce en un horno de secado a temperatura constante (105°C) después de 12 o más horas de permanencia en él, se deja enfriar la cápsula y material en un desecador y finalmente se pesa.

La relación

$$W = \frac{W_h - W_s}{W_s}$$

Es el contenido de humedad (w)

Para determinar el peso de la muestra total seca, debe también obtenerse el contenido de humedad del material que no pase la malla número 4 (4.69mm), si el porcentaje de este material grueso respecto al total es mayor del 20%.

El peso seco de una muestra se obtiene pesandola en una balanza.

a) Granulométrica:

El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen; así como determinar la cantidad en % de cada uno de los tamaños. Considerando como tamaños, el dímetro de las partículas cuando es indivisible bajo la acción de una fuerza moderada como la producida por un mazo de hule golpeando ligeramente o frotando.

A partir de la distribución de los granos de un suelo, es posible formarse una idea aproximada de otras propiedades del mismo.

Según su composición granulométrica puede determinarse por medio de mallas, por el método del hidrómetro, o bien, combinando ambos.

El análisis mecánico se concrete a segregar el suelo por medio de una serie de mallas, que definen el tamaño de la partícula.

El método del hidrómetro se basa en la aplicación de la Ley de Stokes de una esfera que cae libremente en un líquido.

El análisis combinado o total, consiste en la aplicación de los métodos antes citados, a las porciones gruesas y finas de un mismo material, aunque este tipo generalmente se aplica cuando se trata de la construcción de presas de tierra.

Conocida ya la composición granulométrica del material se lo representa gráficamente para formar la llamada "Curva Granulométrica". Esta curva comparada con otras curvas "Tipo" indica si el material está o no bien graduado.

Procedimiento de Tamizado. - Su ejecución es de la manera siguiente:

I) Se toma una muestra de suelo de unos 50 kgs y se seca al horno a una temperatura de 105°C durante 12 horas.

II) Por medio de cuarteos a dicha muestra se escogen unos 10 kgs.

III) Se pasan los 10 kgs por los tamices de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8" y número 4, y se pesa el retenido en cada uno de los dichos tamices.

IV) Del porcentaje que pasa el tamiz número 4, se toma cierta cantidad, generalmente, 200 gramos y se colocan en un vaso de agua dejando que el material se remoje unas 12 horas.

V) Con un agitador metálico se agita el contenido del vaso durante un minuto y se decanta luego sobre el tamiz No. 200, se vacía nuevamente el vaso lavando las mallas del tamiz en posición invertida. Se agita nuevamente el contenido del vaso y se repite el procedimiento tantas veces como sea necesario hasta que no se enturbie el agua al ser agitada.

VI) Se elimina el agua y se pone a secar la muestra.

VII) Se pesa y por diferencia de los 200 grms se obtiene el porcentaje que pasó el tamiz No. 200.

VIII) Se vacía el material que pasó el tamiz No. 4 y que se retuvo en el no. 200, para que pase por los tamices no. 10, 20, 40, 60, 100 y 200 pesando los retenidos.

IX) Conociendo los pesos parciales retenidos desde el tamiz de 2" hasta el no. 200, se obtienen los porcentos retenidos parciales, los porcentos retenidos acumulativos y los porcentos pasados.

X) Se hace la representación granulométrica en un sistema de ejes coordenados. En el eje de las abscisas se marcan los diferentes tamices empleados y en el eje de las ordenadas los correspondientes porcentos pasados.

XI) La curva resultante se compara con los que se tengan como especificaciones. (ver fig. 4).

b) Límites de Atterberg y Contracción Lineal:

Los límites de Atterberg y los índices con ellos relacionados han constituido unos valores muy útiles para caracterizar los conjuntos de partículas de suelos. Los límites se basan en el concepto de que un suelo de grano fino solamente puede existir en cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco, pasando al añadir agua a los estados semisólido, plástico y finalmente líquido. Los contenidos de humedad y los puntos de transición de unos estados a otros se denominan límite de contracción, límite plástico y límite líquido.

El concepto de suelo como material que puede presentarse en varios estados es muy valioso. Ya que cuanto mayor sea la cantidad de agua que contiene un suelo, menor será la interacción entre partículas adyacentes y más se aproximará el suelo en su comportamiento al de un líquido.

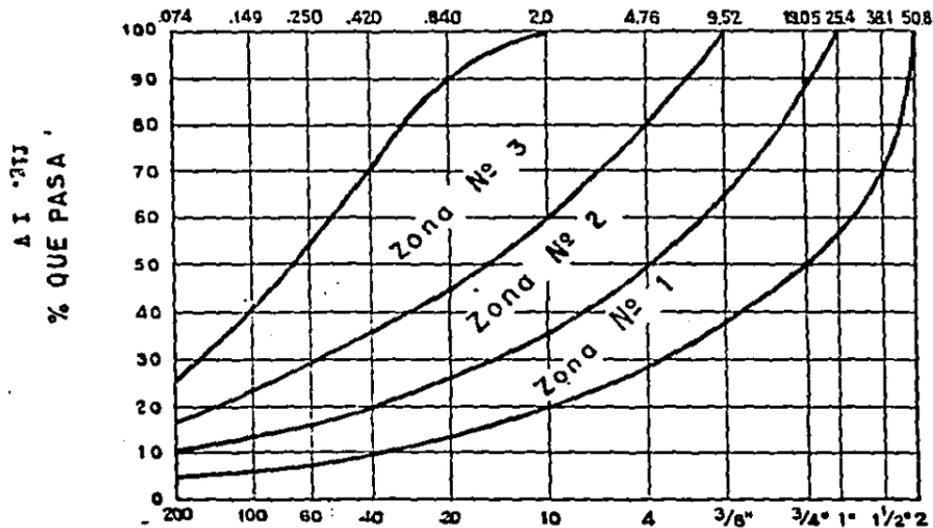
Los límites de Atterberg y los índices asociados resultan útiles para la identificación y clasificación de un suelo. Y estos se utilizan directamente en las especificaciones para controlar los suelos a utilizar en terraplenes.

La diferencia entre los valores del Límite Líquido y el Límite Plástico no da el Índice de Plasticidad de un suelo el cual indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica.

1o) Límite Líquido.- Es el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia de estado plástico a líquido. De acuerdo con esto la resistencia al corte que tienen los suelos en este punto, es mínima pudiendo considerarse nula, pero que puede ser medida.

ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

TAMAÑO EN M. M.



MALLAS -
Fig No 15

Por lo mismo la cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula.

Para determinar el límite líquido se toma una muestra de 100 grs del material tamizado por la malla no. 40 y se hace una mezcla homogénea agragándole agua. Una poca de esta mezcla se coloca en la copa de Casagrande debiendo tener el centro un espesor de un centímetro y se divide a partir de la parte media, en dos porciones utilizando el ranurador.

En seguida se le dan a la copa 25 golpes desde una altura de un centímetro para cerrar la ranura hecha, en una longitud de 12 mm. Cuando después de los 25 golpes el suelo permanezca cerrado en la longitud de 13 mms, se extrae de la muestra una determinada cantidad, se coloca en un vidrio de reloj, se pesa se seca en un horno a temperatura constante, se seca se vuelve a pesar y el límite líquido será igual a:

$$\text{Límite líquido} = L = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

P_h = Peso del material húmedo

P_s = Peso del material seco

2o) Límite Plástico.- Este está definido como el contenido de humedad expresado en % del peso seco de la muestra, con el cual comienza a agrietarse un rollo de aproximadamente 3.2 mm de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa, no absorbente, que puede ser una placa de vidrio, y en el cual las arcillas pasan de un estado plástico a un estado semi sólido.

Para determinar el límite plástico generalmente se utiliza el material que mezclado con agua ha sobrado de la prueba del límite líquido y al cual se le agrega una mayor cantidad de muestra seca (pasada

por el tamiz no. 40) hasta tener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable. Se forma luego una pequeña bola que deberá en seguida rodillarse entre las palmas de la mano y una placa vidrio aplicando la suficiente presión con el objeto de formar filamentos. Cuando el diámetro del filamento sea de 1/8" deberá juntarse la muestra de nuevo, mezclarse en forma de bola y volverse a rodillar. El proceso debe continuarse hasta que se produzca un aprietamiento de los filamentos al momento de alcanzar 1/8" de diámetro.

Los suelos que no pueden rodillarse con ningún contenido de humedad son considerados no plásticos.

Cuando al rodillar la bola de suelo, se rompe el filamento, al alcanzar 1/8" se toma de este material una porción, se pesa, se seca en el horno en un vidrio de reloj, se vuelve a pesar ya seco se determina el Límite Plástico de la siguiente forma:

$$L.P = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Conocidos ya los valores del límite líquido (L.L) y del límite plástico (L.P) la diferencia proporciona el índice de plasticidad.

Comparando el valor de índice de plasticidad con los valores que marquen las especificaciones se puede decir si un determinado suelo presenta las características plásticas adecuadas para el uso que se le quiera dar.

3o) Límite de Contracción.- Sabemos que un suelo húmedo al secarse se contrae. Este fenómeno es inapreciable en las arenas, pero en los suelos de tipo arcilloso es muy visible, los cuales quedan muy agrietados. Estas grietas a veces son muy profundas.

El límite de contracción se define como el por-

ciento de humedad que contiene el suelo en el cual, una reducción de agua no ocasiona ya disminución en el volumen del cuerpo del suelo.

El límite de contracción puede calcularse analíticamente o mediante una prueba de laboratorio:

1.- Analíticamente: Se utiliza la fórmula siguiente:

$$L_c = W_c = W_i = \frac{(V_i - V_f)}{W_s} \times 100$$

En donde:

- Lc = Límite de contracción en %
- Wi = Porcentaje de humedad del suelo antes de contraerse
- Vi = Volumen inicial de la portilla del suelo
- Vf = Volumen final de la portilla (suelo seco)
- Vs = Peso de los sólidos

2.- Mediante prueba de laboratorio:

I) A una muestra de suelo igual a la usada para determinar el límite líquido, se le agrega el 10% de agua sobre la usada en el límite líquido.

II) Se vacía en una cápsula de aluminio y se golpea contra la mesa para que expulse las burbujas de aire que contiene, se enrasa con una espátula y se pesa, anotándose dicho peso.

III) Se mete al horno y se seca a temperatura constante

IV) Se saca del horno y se pesa por diferencia de pesos se tiene el peso del agua que contenía (ps) de la muestra.

V) Se saca la muestra del molde y se determina su volumen (Vs) utilizando para ello un recipiente con Hg.

Conociendo el volumen de la cápsula conocemos el volumen total del suelo húmedo (Vsh). El valor del límite de contracción lo obtenemos aplicando la siguiente fórmula:

$$L.C = Pa - (Vsh - Vss) \frac{Pea}{Ps}$$

Pea = Peso específico del agua

Una prueba complementaria a los límites de Atterberg y que sirve para dar idea de la plasticidad de un suelo, es la de "Constracción Lineal".

4a) **Contracción Lineal.**- La contracción lineal de un suelo, a partir de un contenido de humedad dado, es la disminución de una de sus dimensiones, expresada como porcentaje de la dimensión original.

La prueba se ejecuta de la siguiente manera:

I) Con la misma mezcla usada en la determinación del límite líquido se llena un molde rectangular de 1" x 1" x 10 cms, haciendo dicho llenado en 3 capas golpeando el molde también contra algún lugar duro para expulsar el aire y entasando el material en el molde.

II) Se mete al horno para su secado a temperatura constante.

III) Se extrae la barra de material del molde y se mide su longitud.

IV) La relación entre la longitud que se contrajo y la longitud original de la barra de suelo y multiplicando por 100 da el % de contracción o contracción lineal.

$$\frac{L_1 - L_2 \times 100}{L_1} = CL$$

L₁ = Longitud de la barra de material húmedo

L₂ = Longitud de la barra de material seca

ESTADOS DE CONSISTENCIA



c) Prueba de Compactación Proctor:

Se entiende por compactación todo proceso que aumente el peso volumétrico de un material. En general es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable.

El acomodo de las partículas en un suelo que se ha tratado de mejorar, no solo depende de las características del dispositivo que se usó para compactarlo, sino fundamentalmente de la humedad que tiene el material. Si las partículas están secas, la fricción intergranular opone una resistencia mayor al desplazamiento relativo entre ellos que si se encuentran lubricados por una partícula de agua; por lo contrario, si la masa tiene una humedad elevada, el agua llena vacíos que podrían ser ocupados por partículas en un arruglo más denso. Este último es cierto en suelos que tienen un alto porcentaje -- de finos y no en las arenas gruesas o gravas. Por lo tanto dado un proceso de compactación, para cada material existe un contenido de humedad con el que se obtiene el máximo peso volumétrico.

La prueba de compactación de Proctor se refiere a la determinación del peso volumétrico de los materiales que pasan por la malla número 4 y que están dotados de cementación. Reproduce en el laboratorio la -

compactación que se da al camino con el rodillo "Pata de Cabra" su objeto es determinar el peso volumetrico seco máximo que puede alcanzar el material de que se trate, para tener un punto de comparación con las diferentes compactaciones que se efectúen en el campo; así como la humedad con que se alcanzó el P_0 So Volumetrico Seco Máximo a la cual se le llama humedad óptima.

De lo anterior se aprecia que la bondad del proceso de compactación seguido en el campo se mide por el grado de compactación o sea la relación entre el peso volumétrico seco en el terraplen y el óptimo determinado en la prueba Proctor.

La prueba se realiza de la siguiente manera:

Se toma la muestra previamente secada, disgregada y cribada por la malla no.4, o bien tamizada por la 3/8" y reteniendo hasta 10% en la número 4, esto se hará con unos 3 kilogramos de muestra aproximadamente, los cuales se mezclarán perfectamente y se les adicionará la cantidad de agua necesaria para iniciar la prueba. La cantidad de agua que se le adicione deberá ser la necesaria para que, una vez repartida uniformemente, presente el material una consistencia tal que al ser comprimido en la palma de la mano no deje partículas adheridas a ella ni la humedezca. A continuación usando un cucharón, se vacía en el cilindro Proctor previamente armado, material suficiente para obtener una capa floja de unos 8 cms., el pizón es de 2.5 kgs. de peso y tiene un área de 10.6 cm². Se vuelve a vaciar material en el cilindro para tener una segunda capa que, agregada a la primera, de una altura total de unos 11 o 12 cms., compactándola del mismo modo que la primera. En idéntica forma se procede con la tercera capa, procurando que una vez compactado el material, la superficie este 1 o 2 cms arriba del ensamble en la extensión.

Una vez apisonada la última capa se removerá la extensión del molde, y se eliminará por medio de una regla metálica el excedente del material del molde cilíndrico y se pesará esta con todo y su contenido. En seguida, se extraerá la muestra compactada de cilindro y se pondrá a secar una porción pequeña, que se extrae del corazón del espécimen, para determinar su humedad. La muestra que ha sido removida del molde cilíndrico se desmenuzará hasta que paso de nuevo por la malla no. 4, se agregarán 60 cms cúbicos de agua y se repetirá el procedimiento descrito. Esta serie de determinaciones se continuará hasta que la muestra este muy húmeda y se presente una disminución apreciable en el peso del suelo húmedo compactado, lo cual quiere decir que el grado de humedad del material en ese momento es muy superior al contenido de humedad óptimo.

El peso volumétrico de cada uno de los ensayos se obtiene restando del peso anotado el del molde, y dividiendo entre la capacidad del molde expresando esta división en (kg/m³).

En cuanto a las muestras que se han puesto previamente a secar a temperatura constante en el horno, provenientes de cada una de las pruebas de Proctor que se han hecho, después de estar unas 24 hrs en el horno, se saca y se pesan, encontrando por diferencia la cantidad de agua correspondiente a cada muestra de cada prueba, la cual dividida entre el peso -- seco, nos dará el contenido de humedad (1) del espécimen correspondiente.

Para encontrar el peso volumétrico seco, se divide el peso volumétrico húmedo entre uno más el contenido de humedad (1).

$$PVS = \frac{PVH}{(1+w)}$$

Los pesos volumetricos secos obtenidos y las humedades correspondientes se utilizan para trazar la curva "Peso Volumetrico seco en las ordenadas contra contenido de humedad en la abscisas".

Posteriormente trazando a traves de los puntos resultantes una curva uniforme, en donde el punto superior (máximo maximorum) de la curva representa el peso volumetrico Seco Máximo para el material estudiado, bajo las condiciones de compactación indicadas en el procedimiento de la prueba. La humedad correspondiente a esta peso volumetrico representa al contenido de humedad óptimo con el cual se obtiene dicho peso volumetrico (Peso Volumetrico Seco Máximo).

Los errores mas comunes que pueden afectar los resultados de estas pruebas son:

I) El mezclado incompleto del suelo con el agua o la incompleta definición de grumos en el suelo.

II) El no repartir uniformemente los golpes del pizón sobre la superficie de la muestra.

III) El que las muestras tomadas para determinación del contenido de humedad no sean representativas del material compactado. En caso de duda al respecto puede determinarse la humedad de todo el material del molde.

IV) El no determinar el número suficiente de puntos para definir correctamente la curva de compactación.

V) El uso continuado de la misma muestra.

d) Prueba de Compactación Porter:

El tipo de compactación de carga estática que se aplica en la presente prueba, puede compararse en forma relativa con el tipo de compactación que se obtiene con los rodillos lisos o neumáticos es decir compactación que va de la superficie hacia abajo.

La forma en que se opera dicha compactación, mediante la lubricación por el agua, es semejante a la de la compactación por impactos y pueden aplicarse los mismo conceptos generales expuestos en la prueba de Proctor.

1) El objeto de la prueba:

a) Determinar el peso volumetrico máximo que puede alcanzar el material para un procedimiento definido de compactación así como la humedad óptima a la cual deberá efectuarse dicha compactación.

b) Determinar el grado de compactación alcanzado por el material de que se trate, ya sea durante la construcción o en caminos ya construídos, -- relacionado el peso volumétrico máximo obtenido con esta prueba con el peso volumétrico determinado de el lugar.

II) Límitaciones de la prueba:

La prueba esta limitada a los suelos que pasen totalmente por la malla de 1", deberá efectuarse tambien en los suelos finos en los cuales la prueba de compactación por impacto (Proctor) no pueda verificarse, es decir, en las arenas de río o de mina arenosas producto de trituración, tezontles frangamente arenosos y en general todos los materiales de baja cimentación o que carezcan por completo de ella.

III) Procedimiento de preparación:

La muestra para efectuar esta prueba deberá ser aproximadamente de 16kgs la cual debe ser secada, disgregada y cuarteada adecuadamente. Una vez lograda la disgregación de los grumos la muestra se tamiza por la malla de 1". Se cortan porciones representativas de 4 kgs del material que paso la malla de 1" para las determinaciones que se indican a continuación.

IV) Procedimientos de Prueba:

La humedad óptima de compactación es la humedad mínima requerida por el suelo para alcanzar su peso volumetrico seco máximo cuando es compactado con una carga unitaria de 140.6 kg/cm^2 .

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

a) Se incorpora cierta cantidad de agua anotando su volumen, a los 4 kgs de material, una vez lograda la distribución homogénea del agua, se coloca en tres capas dentro del molde de prueba, a cada una de las capas se le dan 25 golpes con una varilla metálica.

b) Al terminar la colocación de la última capa se compacta el material aplicando carga uniforme y lentamente de modo de alcanzar la presión de 140.6 kg/cm^2 en un tiempo de cinco minutos la cual debe mantenerse constante durante un minuto e inmediatamente hacer la descarga lentamente en el siguiente minuto.

c) Si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde entonces la humedad de la muestra es inferior a la óptima.

d) A otra porción de 4 kgs de material se le adiciona una cantidad de agua igual a la del espécimen anterior más 80 cms³ y se repite el proceso descrito.

e) Si al aplicar la carga máxima se observa que se humedece la base del molde por haberse iniciado la expulsión de agua, entonces significa que el material se encuentra con una humedad ligeramente mayor que la óptima de compactación.

f) Para fines prácticos es muy conveniente considerar que el espécimen se encuentra en este momento con su humedad óptima, -- siendo esta humedad la más adecuada para efectuar la compactación.

g) Se determina la altura del espécimen restando la altura entre la cara superior de este y el borde del molde, de la altura total del molde y con este dato se calcula el volumen del espécimen.

h) Se pesa el espécimen junto con el molde de compactación y se calcula el peso volumétrico humedo con la siguiente formula:

$$w = \frac{P - Pt}{V}$$

Siendo:

w = Peso volumétrico humedo en kgs/m³

P = Peso del espécimen humedo más peso del molde en kgs.

Pt = Peso del molde en kgs.

V = Volumen del espécimen en m³.

i) Se extrae el espécimen del molde y se pone a secar, teniendo cuidado de no perder material en la manipulación a una temperatura constante, aproximadamente unos 100 a 110°C. Se deja enfriar el material y se pesa nuevamente, para calcular la humedad. Esto se hace con la siguiente formula:

$$W = \frac{(P - Pt) - Ps}{Ps}$$

Siendo:

W = Contenido de humedad expresado en %

Ps = Peso del material seco en grs.

j) Posteriormente el peso volumetrico seco se calcula con la siguiente formula:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_w}{(1+w)}$$

Siendo:

γ_s = Peso volumetrico seco en kgs/m³

k) En caso de que en el segunda determinación no se humedezca la base del molde al aplicar la carga máxima, se prepara una nueva muestra incrementando la cantidad de agua en 80 cms.3 con respecto a la cantidad empleada anteriormente y se repite el proceso de compactación. Esta misma secuela de prueba se continua hasta lograr que se inicie el humedecimiento de la base del molde.

e) Prueba Standard del valor relativo de soporte (V.R.S.) o California Bearing Ratio (C.B.R.)

Esta prueba fue desarrollada originalmente en el estado de California E.U.A. para atender los proyectos viales de aquella Entidad Federativa, pero pronto su utilización se hizo general en muchos otros lugares, sobre todo en el sencillo método de diseño de pavimento que en ella se funda.

El valor relativo de soporte se obtiene de una prueba de penetración en la cual un vástago de (3 pulg²) área se hace penetrar en un espécimen de un suelo a razón de .127 cm/min (.05 pulg/min); se mide la carga aplicada para penetraciones que varien en .25 cm (.1 pulg).

El V.R.S. o C.B.R. se define como la relación, expresada como porcentaje, sobre la presión necesaria para penetrar los primeros .25cm (.1 plg) y la presión para tener la misma penetración en un material arbitrario adoptado como patrón, que es una piedra triturada en la cual se tienen las presiones en el vastago para las penetraciones indicadas en la tabla siguiente:

PENETRACION		PRESION EN EL VASTAGO	
Cms	Pulg.	Kgs/Cm ²	Lbs/pulg
.25	.1	70	1,000
.50	.2	105	1,500
.75	.3	133	1,900
1.00	.4	161	2,300
1.25	.5	182	2,600

Observamos que el objeto de esta prueba es de terminar la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte se refiere, esto lo conseguimos midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado a humedad óptima y sujeto a un determinado periodo de saturación.

El equipo con que se efectúa esta prueba es el siguiente:

- I) Un molde cilíndrico de compactación de 5.2" de diámetro interior y 8" de altura, provisto de una base con un dispositivo para sujetar.
- II) Una máquina de compresión con capacidad mínima de 30 tons. y aproximación en las lecturas de más o menos diez kilogramos para cargas bajas.
- III) Una varilla metálica de 3/4" de diámetro y 30 cms de longitud con punta de bala, para el picado del material en el molde.

El V.R.S. o C.B.R. se define como la relación, expresada como porcentaje, sobre la presión necesaria para penetrar los primeros .25cm (.1 pulg) y la presión para tener la misma penetración en un material arbitrario adoptado como patrón, que es una piedra triturada en la cual se tienen las presiones en el vástago para las penetraciones indicadas en la tabla siguiente:

PENETRACION		PRESION EN EL VASTAGO	
Cms	Pulg.	Kgs/Cm ²	Lbs/pulg
.25	.1	70	1,000
.50	.2	105	1,500
.75	.3	133	1,900
1.00	.4	161	2,300
1.25	.5	182	2,600

Observamos que el objeto de esta prueba es de determinar la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte se refiere, esto lo conseguimos midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado a humedad óptima y sujeto a un determinado periodo de saturación.

El equipo con que se efectua esta prueba es el siguiente:

I) Un molde cilíndrico de compactación de 5.2" de diámetro interior y 8" de altura, provisto de una base con un dispositivo para sujetar.

II) Una máquina de compresión con capacidad mínima de 30 tons. y aproximación en las lecturas de más o menos diez kilogramos para cargas bajas.

III) Una varilla metálica de 3/4" de diámetro y 30 cms de longitud con punta de bala, para el picado del material en el molde.

IV) Una placa circular para compactar con un diámetro poco menor que el del cilindro, que pueda sujetarse a la cabeza aplicación de la carga.

V) Una placa circular perforada, con un vástago desplazable colocado en el centro, sobre la cual apoyaremos el pie del extensómetro.

VI) Un triplé metálico para sostener el extensómetro durante la saturación.

VII) Un tanque de lámina o mampostería de 30 centímetros de altura.

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

IX) Un cilindro de acero para prueba de penetración con una sección de 3 pulg cuadradas, que pueda sujetarse a la cabeza de carga de la máquina.

X) Un extensómetro de cartula, graduado en milésimos de pulg con carrera de 1 pulg.

XI) Una malla del no. 4 y una de 1"

XII) Una balanza de 10 kgs de capacidad mínima y sensibilidad de 1 gramos.

XIII) Una balanza con sensibilidad de .01 de gramos.

XIV) Cápsulas para determinación de la humedad

XV) Un horno que mantenga temperatura constante comprendida entre 100 y 110°C.

XVI) Charolas de lámina galvanizada

XVII) Una probeta graduada de 500 centímetros cúbicos.

XVIII) Hojas de papel filtro de un diámetro poco menor que el del molde.

El material con que se va a efectuar la prueba, deberá haber sido secado, disgregado y cuarteado convenientemente. Cuando se ha logrado ya la disgregación de los gramos se tamizará la muestra por la malla de 1".

Si la muestra original contiene menos del 15% en peso, de material que se retiene en la malla mencionada, deberá utilizar se para la prueba el material que pasó la malla.

Quando el retenido en la malla de 1" exceda el 15%, será necesario substituir este retenido por una cantidad igual, en peso, de material pétreo que pase la malla de 1" y que retenga la no.4, el cual deberá tomarse de otra porción de la muestra.

Una vez que se haya adicionado el agua necesaria para obtener la humedad óptima y que se haya revuelto convenientemente el material se procede al llenado del molde, para despues compactado, hasta un volumen igual al obtenido para encontrar el peso volumétrico seco máximo .

Al espécimen correspondiente a las condiciones de Peso Volumétrico seco máximo y humedad óptima, se le colocarán una o dos hojas de papel filtro en la cara superior, la placa perforada y las placas de carga y se introducirá en el tanque de saturación. Sobre los bordes del molde se colocará el tripié con el extensómetro marcando cero, al cual se le tomarán lecturas diarias. Cuando se observe que cesa la expansión deberá anotarse la lectura final del extensómetro y se retirará del tanque el molde con el espécimen para someter este a la prueba de penetración.

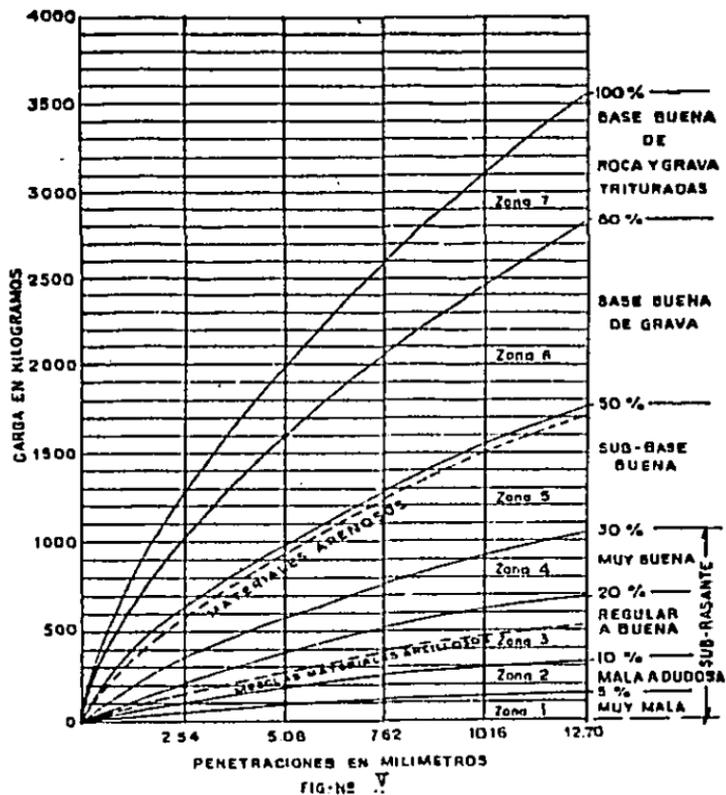
El resultado de esta prueba de expansión, se expresa como un porcentaje del hinchamiento y la diferencia entre la altura inicial y la que alcanza con la saturación.

Al molde con el espécimen que fue sacado del tanque de saturación, se le quitan el tripie y el extensómetro y con todo cuidado se acostará sin quitar las placas dejándolo en esta posición durante tres minutos, para que escurra el agua. Se llevará a la prensa, se retirarán las placas y el papel filtro y se colocarán nuevamente las 2 placas de carga. El cilindro de acero para la prueba de penetración deberá pasar a través de los orificios de las placas, hasta tocar la superficie de la muestra. Se aplicará una carga inicial que no sea mayor de 10 kgs e inmediatamente despues, sin retirar la carga, se ajustará el extensómetro de carátula para registrar las deformaciones verticales que sufra el cilindro al estarsele aplicando las distintas cargas. Se procederá a la aplicación de cargas en pequeños incrementos continuos, procurando que la velocidad de desplazamiento del cilindro de carga sea de 1.25 mm/min. y se anotarán las cargas correspondientes a cada una de las siete penetraciones indicadas, en el cuadro siguiente:

APLICACION	TIEMPO EN MINUTOS	PENETRACION		CARGAS REGISTRADAS EN KGS.
		MM	PULG.	
Primera	1	1.27	.05	
Segunda	2	2.54	.10	
Tercera	3	3.81	.15	
Cuarta	4	5.08	.20	
Quinta	6	7.62	.30	
Sexta	8	10.16	.40	
Séptima	10	12.70	.50	

La carga registrada para la penetración de .10" se deberá expresar como un porcentaje de la carga standard de 1360 kgs, y si la prueba estuvo bien ejecutada, el porcentaje que así obtengamos es el valor relativo de soporte correspondiente a la muestra ensayada.

GRAFICA DEL VALOR RELATIVO SOPORTE (Prueba de Porter)



Con el resultado obtenido de esta prueba se clasifica el suelo usando la siguiente tabla, que indica el empleo que puede darse al material de acuerdo con su valor relativo de soporte. (ver fig.5).

ZONA	VALOR RELATIVO DE SOPORTE	CLASIFICACION
1	0 _____ 5	Sub-rasante muy mala
2	5 _____ 10	Sub-rasante mala
3	10 _____ 20	Sub-rasante regular o buena
4	20 _____ 30	Sub-rasante muy buena
5	30 _____ 50	Sub-base buena
6	50 _____ 80	Base buena
7	80 _____ 100	Base muy buena

Los factores que más afectan los valores obtenidos en las pruebas del V.R.S. o C.B.R. son la textura del suelo su contenido de agua y el peso específica seco. En los suelos friccionantes, la expansión durante la saturación es despreciable por lo que el monto de la sobrecarga dada por la placa perforada que simula el peso de las capas superiores del pavimento no es muy significativo durante la saturación; sin embargo, este valor de la sobrecarga sí influye mucho en los resultados de la prueba en la etapa de penetración, pues el confinamiento afecta mucho la resistencia en suelos friccionantes. En suelos arcillosos ocurre precisamente lo opuesto; la expansión durante la saturación depende mucho de la presión de sobrecarga, mientras que esta influye poco en la etapa de penetración.

f) Prueba Modificada de Valor Relativo de Soporte.-

Esta prueba consiste en medir la resistencia a la penetración en espécimen de material que ha sido compactado para reproducir

los pesos volumétricos que corresponden a diferentes grados de compactación, empleando contenidos de humedad que se especificarán más adelante.

Los pasos necesarios para efectuar esta prueba son:

1) Para obtener las humedades correspondientes a cada uno de los pesos volumétricos secos a los cuales va hacerse la penetración, será necesario verificar previamente, en el caso de suelos finos de cementación, la prueba Proctor y en caso de suelos con porcentaje de agregados gruesos, la prueba Porter de compactación, con objeto de conocer el Peso Volumétrico - Seco Máximo (P.V.S.M.) y su contenido de humedad óptimo (w).

En terracerías bien drenadas, construidos en regiones de precipitación pluvial medio o baja, las humedades de prueba serán constantes e iguales a la humedad óptima de compactación.

En regiones de precipitación media, cuyo drenaje sea deficiente, con terraplenes muy bajos o cortes con filtraciones en la cama del mismo o bien en las obras localizadas en regiones de alta precipitación, pluvial, las humedades de prueba serán variables, de acuerdo con el grado de compactación de que se trate.

De acuerdo a esto las humedades de prueba se indican en la tabla siguiente:

GRADO DE COMPACTACION	VARIANTE 1 BUEN DRENAJE Y PRECIPITACION BAJA O MEDIA:	VARIANTE 2 DRENAJE DEFICIENTE Y PRECIPITACION MEDIA O ALTA:
100	W_o	W_o
95	W_o	$W_o - 1.5\%$
90-75	W_o	$W_o - 3\%$

En caso de suelos finos generalmente no es conveniente, reproducir compactaciones menores del ochenta y cinco por ciento, por presentar dificultades y errores en la ejecución de la prueba. Las humedades y pesos volumétricos secos que corresponden a cada uno de los grados de compactación indicados serán los que se reproduzcan para hacer la prueba de penetración como se indican más adelante.

PROCEDIMIENTOS:

Del material ya preparado y de humedad conocida se toman unos 5 kgs. los cuales se depositan en una charola para adicionales agua, la cual se calcula atendiendo la siguiente fórmula:

$$\text{Agua por agregar ()} = \frac{K (W_2 - W_1)}{100 + W_1}$$

c.c.

Siendo:

K = Cantidad en gramos, de material con su humedad (W_1)

W = Contenido de humedad del material inicialmente.

W_2 = Contenido de humedad con el cual deberá hacerse la prueba, correspondiendo al grado de compactación deseado.

Una vez preparado el material o sea después que se ha uniformado la humedad del agua adicionada, se coloca el material en un cilindro "Tortor" de área conocida, procurando acomodar el material en tres capas iguales, las cuales son picadas con una varilla de acero de punta roma (3/4") de diámetro; luego se le lleva el molde a la prensa, y se somete a una carga estática, la cual irá reduciendo la altura del material dentro del molde hasta llegar al volumen que se quiera obligar, de acuerdo con el grado de compactación que se requiera obtener.

Al espécimen así obtenido se le hace la prueba de penetración siguiendo la misma secuela que en la prueba estandar de valor relativo de sonorte, encontrando así el V.R.S. que tiene el material, en las condiciones que se han supuesto; tomándose dicho valor para el cálculo del espesor de la base.

Otro valor que es necesario obtener del suelo en estudio es el valor de la presión de expansión del material. Aunque es un dato que el ingeniero diseñador pocas veces busca directamente como información puesto que no es dominante para un buen diseño:

Como ya se mencionó, aunque el ingeniero no se topa directamente con él en su uso, este valor se puede obtener ya sea de una prueba de consolidación, o de una muestra remoldeada en un consolidómetro.

En esta tesis solo se explicará el procedimiento más fácil y rápido para obtener esta presión de expansión. Este procedimiento fue recomendado por P. N. Ilyem.

- OBJETIVO -

Este método de prueba tiene la intención de medir la presión de expansión de suelos. Es diseñado primariamente para uso en conexión con la prueba del estabilómetro.

- MATERIALES -

Se debe contar con lo siguiente:

- a) Aparato de compactación
- b) Máquina de prueba de compresión (con una capacidad mínima de 20,000 lbs (10 Tons).)
- c) Molde, 4 pulgs (10 cm) de diámetro interior y 5 pulgs (12.5 cms) de longitud. Se requieren 3 moldes.

d) Aparato de prueba de presión de expansión.

Una o más unidades serán requeridas dependiendo del número de muestras que serán probadas. El aparato de prueba para presión de expansión consiste en una forma en la que un espécimen de suelo compactado es confinado debajo de un disco perforado cubierto con agua y la presión ejercida por el suelo en el punto de expansión incipiente es medida por medio de un mecanismo similar a un anillo de prueba. Una fuerza total de 6 1/4 lb. (3 kg aprox) o una presión de 0.5 Psi (0.04 kg/cm²) requiere solo un movimiento de 0.011 in. (0.0025 cm) para registrar en la galga; por lo tanto, la presión es medida virtualmente a volumen constante.

- PREPARACION DE LOS ESPECIMENES:

a) Mezcle la suficiente cantidad de material que pasa la malla 3/4 para formar un espécimen compactado de 2 1/2 pulg (6.25 cm) de altura y 4 pulg (10 cms) de diámetro con agua en cantidad ligeramente superior de la esperada al punto de saturación después de compactación.

b) Compactese el suelo en el aparato de compactación. Este aparato consolida el material sin depender de una compresión directa o un impacto dañino, antes bien lo logra por medio de una serie de impresiones individuales hechas por un gato rotatorio con la cara en forma de un sector del círculo de 4 pulgs (10cms) de diámetro.

Este gato de menor tamaño o pie apisonador desarrolla una sección de rodilleo definitiva, simulando a la dada al camino por rodillos o tráfico de llantas de hule.

Compactación es lograda por 100 aplicación del gato o pie apisonador aplicadas cada vez a un sector diferente de aproximadamente 3 1/2 pulg² (22.50 cm²) de área. En cada aplicación una presión de 350 Psi (25 kg/cm²) es aplicada sin impacto y mantenida por un periodo de tiempo de aproximadamente 1/3 seg.

c) Después de mover el espécimen del compactador, sométase a una presión de 400 psi (28 kg/cm²) sobre toda el área (en este punto agua deberá ser exudada del suelo como evidencia de que suficiente humedad es presente para producir saturación).

d) Moldeense dos especímenes más conteniendo cantidades mayores de agua (con su menor densidad correspondiente) siguiendo el mismo procedimiento pero con un esfuerzo de compactación menor, esto es, apisonamiento deberá ser suspendido si agua se presenta al momento de que la presión estática aplicada la fuerza, aun cuando esa presión no sea igual a 400 psi (28 kg/cm²).

- PROCEDIMIENTO. -

Póngase cada uno de los especímenes en un aparato de prueba de presión de expansión y determine la variación en fuerza expansiva provocada por hinchamiento bajo agua para las tres condiciones iniciales de humedad y densidad. Después de que los especímenes hallan estado 24 hrs. en el aparato tómense lecturas de las presiones.

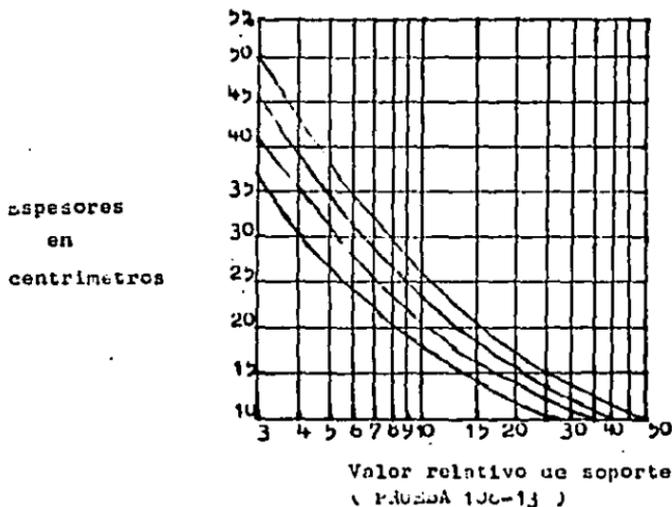
Estos datos obtenidos son suficientes para una buena elección de base para el camino; pero es también de gran ayuda una revisión del lugar en general para entender en una manera más amplia las condiciones del lugar. Por esto se hicieron 3 estatigrafías a pozo abierto del lugar para encontrar hasta donde llegaba el estrato arcilloso.

Para efecto de esta tesis, al suelo se le hicieron las siguientes pruebas puesto que se consideraron suficientes para obtener datos necesarios para una buena elección de base.

- GRANULOMETRICA. -

Esta prueba se hizo para identificar el tipo de suelo que existe en la ciudad. Aunque ya se sabía que el suelo es arcilloso, el chequeo

GRAFICA PARA CALCULAR EL ESPESOR MÍNIMO DE LOS BASES DE BASE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CAMINOS EN FUNCIÓN DE V.A.D. DE LA SUB-CUANTAS.



Intensidad de tránsito de vehículos con capacidad de carga igual o superior a 3 toneladas métricas, considerado en un solo sentido.	CURVA APLICABLE PARA DETERMINAR EL VALOR RELATIVO DE SOORTE.	TIPO RECOMENDABLE DE CARRETERA ASFÁLTICA.
Mayor de 1000 vehículos al día	A	Mezcla en planta
de 600 a 1000 " " " "	B	Mezcla en el lugar o mezcla en planta.
De 200 a 600 " " " "	C	Tratamiento superficial triple o mezcla en el lugar.
Menor de 200 " " " "	D	Tratamiento superficial simple o doble.

se hizo para para asegurar el hecho. No se hizo prueba granulométrica por vía húmeda porque no se consideró que se necesitara un dato muy exacto de la granulometría en comparación con otras propiedades.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

‡ pasa malla 1"	100
‡ pasa malla 3/8"	100
‡ pasa malla 4"	97
‡ pasa malla 40	92
‡ pasa malla 200	90

LIMITES DE ATTERBERG.-

Límite líquido en ‡ 90
Límite plástico en ‡ 65
Concentración lineal ‡ 16.77
Índice plástico en ‡ 25

Otras pruebas hechas al suelo y los resultados obtenidos fueron:

- Peso volumétrico seco del suelo
829 kg/m³
- Peso volumétrico seco máximo
970 kg/m³
- Valor relativo de soporte (VRS)
3.20
- Mod. al 95% de compactación (VRS modificado)
6.30
- Mod. al 90% de compactación (VRS modificado)
5.20
- ‡ de expansibilidad de Porter
12.6‡
- Contenido natural de humedad
50‡

- Presión de expansión

De los 3 especímenes probados las presiones más altas que se obtuvieron redondeadas al 2 decimal:

Contenido inicial de agua	Presión de Exp.
17%	1 kg/cm ²
30%	0.3 kg/cm ²
40%	0.01 kg/cm ²

Para finalizar se presentan los resultados de revisiones de pozos a cielo abierto que se hicieron en la ciudad, debido a estas observaciones no se consideró necesario poner en forma detallada los resultados de todas las pruebas, sino solo los datos importantes que se obtuvieron de dichos estudios.

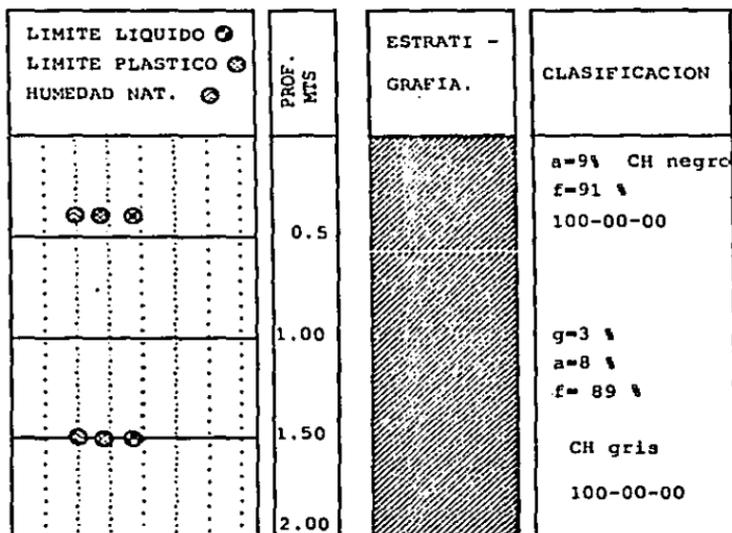
Se realizaron 5 pozos a cielo abierto de 1.50 x 1.50 x 2.50 mts, de los cuales se tomó como representativo el pozo 1, y los restantes dado a la homogeneidad del suelo de cimentación se consideraron como testigos:

Del pozo a cielo abierto 1, se recuperaron

- a) Muestra alterada prof. = 0.30 mts
- b) Muestra alterada prof. = 1.50 mts
- c) Muestra inalterada prof. = 2.50 mts.

En cada pozo a cielo abierto se practicaron pruebas de penetración, que definieron en forma indirecta la resistencia al corte del suelo de cimentación, las cuales coincidieron con bastante aproximación, con el resultado obtenido en la prueba de compresión simple.

POZO A CIELO ABIERTO .1

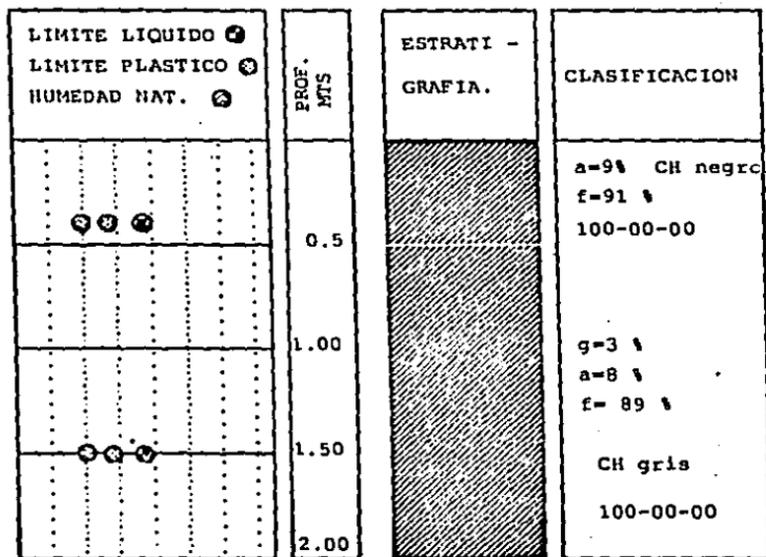


0 50 100 150

SIMBOLOGIA

- | | | |
|-----------|--|--|
| G = grava |  arcilla |  grava |
| A = arena |  limo |  fragmentos de roca |
| F = finos |  arena | |

POZO A CIELO ABIERTO 2,3,4,5



0 50 100 150

SIMBOLOGIA

- | | | | | | |
|-----------|--|---------|--|--------------------|--|
| G = grava | | arcilla | | grava | |
| A = arena | | limo | | fragmentos de roca | |
| F = finos | | arena | | | |

NOTESE QUE LA UNICA DIFERENCIA ES LA PROFUNDIDAD DEL PRIMER ESTRATO, LAS PROPIEDADES FUERON LAS MISMAS.

Definamos en forma general la estratigrafía del lugar considerando los resultados de las pruebas obtenidos en el campo y en el laboratorio.

De todo deducimos que el suelo de cimentación del lugar, superficialmente está compuesto por:

- Estrato 1 de (0.00 a 0.50 mts)

Depósito residual formado por arcilla negra, poco arenosa muy firme, alta plasticidad, compacta humedad, fisurada los primeros 0.20 mts, y con raicillas en todos su espesor, con teniendo 9% de arena bien graduada y 91% arcilla inestable. Los ensayos mecánicos practicados en este suelo, lo clasificaron como subrasante mala, estimándose para fines presupuestales como material de tipo 100-00-00.

- Estrato 2 de (-0.50 mts a más de -2.50 mts)

Depósito residual formado por arcilla de gran inestabilidad volumétrica, muy plástica, humedad, firme, compacta, gris, conteniendo 3% de gravilla, 8% de arena fina bien graduada y 89% de arcilla.

Este suelo se estima para fines presupuestales como material 100-00-00 y se clasifica como sub-rasante mala.

Hablando del manto freático, este no fue detectable en la profundidad de exploración.

CAPITULO 3.-

" TIPO DE BASE PRO- PUESTA AL SUELO"

DEFINICION DE BASE:

Base: llamada tambien revestimiento definitivo, es la capa de pavimento que se coloca inmediatamente sobre la subbase correctamente tendida y compactada; acondicionandola en forma conveniente para recibir la carpeta. Cuando la base esta constituida por el mismo material de la subbase, al conjunto se le denomina base.

En cierto punto interviene tambien en la economia del pavimento ya que permite, reducir el espesor de la carpeta que es más costosa que la base, pero su función primordial es la de proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en la carpeta con una intensidad adecuada a la capacidad de la carga de la subbase y la subrasante.

Debido a que la base queda inmediatamente por debajo de la superficie del pavimento, esta se encuentra sujeta a cargas muy elevadas. Se concluye que los materiales de una base deben ser de calidad extremadamente buena y la construcción debe hacerse con cuidado.

En algunos casos tambien debe drenar el agua que se introduzca por la carpeta o por los acotamientos e impide la ascensión capilar.

FUNCIONES DE LA BASE:

PAVIMENTOS FLEXIBLES.-

Hasta cierto punto existe en la base una función económica análoga a la subbase, pues permite reducir el espesor de la carpeta, más costosa, pero la función fundamental de la base de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y al subrasante

los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

PAVIMENTOS RIGIDOS.-

Sus funciones son análogas a las de una subbase en un pavimento flexible y sirve también para proporcionar una superficie uniforme que sirva de apoyo a la losa y facilite su colado; protege también a la losa de cambios volumétricos en la subrasante, que de otra manera induciría esfuerzos adicionales a aquella. Los efectos de bombeo y otros análogos, que después se mencionará, pueden controlarse bastante bien con una base apropiada. En este caso, la base no tiene ningún fin estructural, pues la losa debe ser suficiente para soportar las cargas; la base casi no influye en el espesor de la losa en caminos e influye muy poco en aeropistas.

CONTROL DE CALIDAD PARA LA BASE.-

Al igual que con la subbase, al tenerse localización del banco a explotarse, se deberá continuar con muestreos durante todo el proceso de explotación, a fin de garantizar una homogeneidad en la calidad del material extraído de dicho banco, desechando lógicamente los frentes que no reúnan las condiciones de calidad mínimas exigidas en las especificaciones.

Se acarellonará igualmente los materiales o material de la base solo en los tramos donde el grado de compactación alcanzando en la subbase sea satisfactorio.

Si el espesor de la capa de subbase fue superior o cuando menos alcanzó el mínimo especificado por el diseño la base se tenderá con un espesor mínimo compactado igual al diseño, pero en caso contrario, deberá adicionarsele a esta última capa el faltante en centímetros, de la capa de subbase.

Una vez alcanzando el porcentaje mínimo de compactación en esta capa deberá protegerse con un riego de impregnación.

PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE BASE.-

1) Bases para carpetas de un solo riego.

La construcción debe ejecutarse de la manera siguiente:

La base debe conformarse perfectamente. En caso de que este irregular con baches muy profundos, entonces es conveniente escarificarla, para lo cual se riega previamente con agua y despues se consolida con aplanadora. Una vez que la base esta debidamente conformada, se barre muy bien teniendo especial cuidado de quitar las aglomeraciones de polvo, ya que su existencia desempeña el papel de un filtro que retiene la mayor parte del material asfático impidiendo su penetración, para lo cual se emplean escobas de mano, cepillo de rafia de zacatón o barredora mecánicas giratorias que son muy efectivas. Algunas veces hay necesidad de recurrir a los cepillos de alambre cuando no es posible separar de la base, algunas substancias extrañas.

2) Base para carpeta de dos riegos.

Construcción:

La preparación de la base en la misma forma que para el tratamiento simple superficial.

3) Base para carpeta de tres riegos.

En el caso de tres riegos a la base se le debe dar un tratamiento especial segun sea el tipo de base, cambia la proporción del riego de impregnación, y a continuación se coloca un recubrimiento pétreo. Aquí se explica cómo se prepara la base.

La construcción se llevará a cabo de la siguiente manera:

Una vez preparada convenientemente la base por petrolizar (igualmente en el riego simple), en el caso de bases arcillo-arenosas, se aplica el primer riego (imprimación) en proporción de 2 a 3 lts por m², dejándole descubierto el tiempo necesario para que penetre totalmente, procediendo después a tender el material pétreo.

Cuando se trata de bases de grava, piedra triturada, etc., se aplica el primer riego de producto asfáltico en proporción variable de acuerdo con la textura y condiciones de la base, variando generalmente entre 1 y 2 lts por metro cuadrado. Este riego se cubre inmediatamente con el material pétreo no uno en proporción de 15 a 20 lts/m², de preferencia con distribuidores mecánicos para obtener una uniforme distribución del mismo, consolidándose inmediatamente con aplanadores rápidos de 8 a 10 toneladas.

En seguida se da el segundo riego de pétreo a razón de 2.2 a 2.5 lts/m².

BASE NEGRA:

Con este nombre se conocen las carpetas de concreto asfáltico utilizadas como base para pavimentos delgados. Por el gran espesor con que se construyen, de 10 a 15 cms compactos, tienen una gran resistencia y absorben prácticamente las cargas debidas al tráfico, por lo cual garantizan el buen comportamiento de las carpetas de desgaste con que se cubren. Estas mezclas pueden construirse sobre revestimientos de características físicas arenosas, que tengan suficiente espesor para asegurar un completo aislamiento entre ella y el material arcilloso de las terracerías. Es requisito indispensable para su buen comportamiento que la base sobre la que se construyan este

perfectamente bien compactada, ya que las zonas de material suelto pueden originar fallas por deslizamiento de la carpeta, que en esos lugares queda desligada de la base.

SUPERFICIES DE MACADAM.-

Construcción de la Base:

Sobre buenas estructuras apisonadas, el cimiento generalmente era de más o menos 10 cms de espesor, despues de un apisonado concienzudo. La piedra limpia de tamaños de 6.35 a 3.18 cm era normal, pero a veces se utilizaban rocas trituradas. Para evitar la falta de uniformidad, la piedra machacada no era volteada en montones sobre el camino, ya que de tal modo retendría un núcleo de tamaños más finos. En lugar de lo anterior, se dejaba caer sobre tableros de volteo de acero o de madera, usualmente con medidas de 1.83 o 0.91 m. que necesitaban una manipulación completa nuevamente por medio de paladores. Antes que se realizara ningun apisonado, la base se inspeccionaba concienzudamente para determinar los lugares bajos y altos y para descubrir la piedra segregada o sucia, y la piedra repartida se movía considerablemente por medio de palas y rastrillos a fin de rectificar la superficie. Para producir una capa apisonada de 10 cm era generalmente necesario colocar cerca de 15.24 cms de piedra suelta, ya que estas capas de piedra machacada se reducen aproximadamente en 1/3 durante el apisonado.

El apisonado se hacía mediante una apisonadora mecánica no menor de 10 ton. Las apisonadoras antiguas tenían las ruedas traseras en forma de cono para adaptarse mejor al bombeo del camino. Esta forma de cono ha sido eliminada. El apisonado comenzaba el borde externo con la rueda trasera traslapando. Cuando la piedra quebrada se afirmaba, la apisonadora se desviaba al lado opuesto del camino y la operación se repetía. Despues que un

Los bordes eran apisonados hasta quedar moderadamente firmes, la apisonadora se movía gradualmente hacia el centro hasta que toda la base o capa inferior se consolidaba concienzudamente. Algunas veces, durante el apisonado, se formaban hundimientos y estos se nivelaban de nuevo mediante la adición de piedras de asiento.

Al principio se empleaba pocas veces el relleno para fijar o contener la piedra de asiento. Sin embargo, actualmente es práctica casi universal llenar el cimiento con tamizados de piedra justamente antes del apisonado final, tal como se describe más adelante en la discusión sobre la construcción de la capa de desgaste. Mediante dicho procedimiento, el cimiento se hace mucho más sólido.

REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES QUE DEBEN GUARDAR LAS BASES.-

BASES GRANULADAS.

Requerimientos generales:

Los requerimientos de una superficie satisfactoria de tierra y agregado se han dado anteriormente como estabilidad, resistencia a la abrasión, resistencia a la penetración del agua y propiedades capilares para reemplazar la humedad perdida por evaporación superficial. Mediante la adición de una superficie de desgaste estos requerimientos cambian. El primero de ellos, estabilidad, que es la habilidad para transmitir las cargas de las ruedas a las capas inferiores sin deformaciones permanentes, todavía es absolutamente necesario. El segundo, es decir la resistencia a la abrasión, desaparece cuando la superficie de desgaste realiza esta función. La importancia del tercero y cuarto requerimientos, relacionados con la penetración de la humedad y la acción capilar, depende del tipo de superficie de desgaste que vaya a utilizarse.

Los cambios en las características de servicio entre las superficies y los cimientos son de importancia cuando se planea una construcción por etapas de un camino durante un periodo determinado, porque entonces debe seleccionarse un material que satisfaga los requerimientos de servicio del cimiento y la superficie. Así mismo, cuando una superficie de desgaste va a ser colocada sobre un camino de tierra y agregado ya existente, debe darse una cuidadosa consideración a las características de la capa superficial existente y de la infraestructura, cuando se haga la selección del tipo de pavimento.

Especificaciones para las Bases Granuladas:

Las bases deben ser de mejor calidad que los suelos inferiores de cimiento. Son típicas de las muchas especificaciones diferentes para las bases, las establecidas por la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales (AASHTO), Designación M147-57. Los requerimientos granulométricos para seis diferentes tipos se dan en la Tabla 3-1. Cuatro de estos tipos también son adecuados para las capas superficiales de tierras y agregados. La resistencia y la solidez como normas, también deben ser las mismas. Las provisiones que cubren las características de plasticidad, no obstante, son diferentes. Para las bases, el límite líquido máximo se establece en 25 y el índice máximo de plasticidad en 6; para las capas superficiales que van a ser utilizadas durante varios años sin tratamiento superficial, el límite líquido máximo es 35 y la variación de índice de plasticidad es de 4 a 9. Ya que los valores inferiores del límite líquido y del índice de plasticidad indican un menor contenido de arcilla, este cambio en la especificación refleja la diferencia en los requerimientos de servicio discutidos en los párrafos anteriores. Las especificaciones para subbases corresponden a las citadas para bases, con la diferencia que, tomando como base la experiencia, el porcentaje que pase el No.200 deberá ser disminuido para evitar daños por congelación.

TABLA 3-1. REQUERIMIENTOS GRANULOMETRICOS PARA
AGREGADOS DE SUELOS
(ASIFIT)

Porcentaje en peso que pasa las mallas

Malla de	Gradua- ción A	Gradua- ción B	Gradua- ción C	Gradua- ción D	Gradua- ción E	Gradua- ción F
2-plg	100	100	---	---	---	---
1-plg	---	75-95	100	100	100	100
3/8-plg	30-65	40-75	50-85	60-100	---	---
No. 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
No. 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
No. 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
No. 200	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

a adecuada para la superficie

a adecuada para bases y subbases

Otras agencias diferentes de la AASITO tienen especificaciones algo diferentes para las bases. En general, los requerimientos granulométricos son aproximadamente los mismos, pero pueden utilizarse otras pruebas físicas además del índice de plasticidad para comprobar las propiedades del mortero del suelo.

No se ha realizado ningún intento para establecer los requerimientos para determinados materiales locales de las bases, tales como caliche, yeso, cenizas, o roca caliza. Estos varían en gran medida con respecto a los materiales normales descritos anteriormente, en su densidad relativa, absorción o granulometría, de manera que deben fijarse para cada uno de los límites apropiados, basados en la experiencia local.

Los problemas que deben satisfacerse para producir bases a partir de materiales no tratados, son los mismos que los que se encuentran para producir capas superficiales. Algunas veces pueden cargarse en la caja y colocarse en el camino sin ningún tratamiento absolutamente. En el otro extremo, si se desea un control exacto, puede especificarse el triturado, la separación en varios tamaños las proporciones en peso, la recombinación, junto con una cantidad controlada de agua.

Los procedimientos para compactar las bases son los mismos utilizados para las infraestructuras. Generalmente, esto incluye la observación de las relaciones de humedad en función de la densidad y del compactado a algún valor relativo predeterminado. Los controles se establecen muy cuidadosamente, ya que las exigencias sobre las bases son mayores que sobre las capas que se encuentran por debajo. Sin embargo, los procedimientos varían considerablemente entre las agencias de carreteras, tal como sucede para la consolidación de los terraplenados.

BASES TRATADAS:

A veces se combinan materiales de tierra y agregados de las bases con material bituminoso o cemento, para producir bases tratadas. Además, los materiales tales como las arenas limpias o las arcillas, que de por sí solos serían insatisfactorios como bases, pueden suministrar las porciones de tierra de estas mezclas. Estos tratamientos son adoptados cuando, a juicio del diseñador del camino, puede obtenerse un resultado satisfactorio a un costo global menor.

BASES CON MATERIAL BITUMINOSO:

Los materiales bituminosos han sido empleados con éxito para estabilizar tierras y arenas y para impermeabilizar materiales graduados similares a las bases no tratadas, pero con más materiales plásticos finos.

El término "material bituminoso" es usualmente aplicado al producto resultante de la impermeabilización por medio de agregado bituminoso. Como regla, los materiales cohesivos tienen capacidad de carga satisfactorio a bajo contenido de humedad, pero la pierden cuando esta aumenta. Al incorporar un agente impermeabilizante bituminoso al material, es posible mantener una condición de baja humedad y una capacidad de carga adecuada en la base. En otras palabras, estos límites significan que las bases de tierra y betún pueden ser construidas satisfactoriamente, utilizando combinaciones de agregados con granulometrías que se encuentran en los cementos estabilizados y las combinaciones de arenas finas y arcillas.

Las bases de tierra y betún usualmente se tienden en espesores de 10.16 a 20.32 cm. El tratamiento puede hacerse ya sea en el camino con conformadoras de lámina o por medio de mezcladoras móviles o en una planta fija. Los procedimientos y el equipo empleados son muy similares a aque

llos usados para suelo-cemento y para pavimentos bituminosos hechos con mezcla en el lugar o en planta dosificada. Los agregados pueden consistir en las tierras naturales de la plantilla del camino, con o sin mezclas granuladas, o pueden ser importados de alguna fuente local diferente.

Las bases de tierra y betún deben ser bien apisonadas si se quiere obtener una estabilidad elevada. Un requerimiento mínimo de densidad del 95% con respecto a la norma del AASHRO es un valor común. Se han utilizado satisfactoriamente las apisonadoras de pie de cabra y de llantas neumáticas. Siempre que sea posible, el contenido de humedad durante el apisonado debe mantenerse en el lado seco del óptimo para asegurar mayores resistencias.

La superficie de una mezcla de tierra y betún es generalmente desmenuzable y, bajo el tránsito se raspará y quedará poco uniforme. A veces pueden formarse baches. Las mezclas no protegidas se reblandecerán si el agua permanece sobre la superficie. Por estas razones debe proporcionarse una superficie hermética al agua y resistente a la abrasión.

Usos de arena y betún:

Las bases de arena y betún consisten en arena suelta procedente de playas, dunas, minas o ríos, cementada con materiales bituminosos. Según se mencionó, las mezclas de arena y arcilla se han utilizado durante algún tiempo como superficies de caminos y para las bases. En los años más recientes frecuentemente se han utilizado betunes, consistentes en asfaltos, asfaltos emulsionados o alquitranes, en lugar del aglutinante arcillosos, para producir excelentes bases para carreteras y aeropuertos. Las bases de arena y betún han tenido una particular aplicación en los estados del sur del Golfo, en donde frecuentemente se dispone de depósitos de arena limpia a distancias razonables.

Las arenas, para ser adecuadas para bases de arena y betún, deben estar relativamente limpias. La granulometría no es crítica pero las arenas deben ser estables, es decir, las propiedades superficiales y la forma de los granos deben ser tales que resistan el desplazamiento, bajo carga. Si la arena no es satisfactoria, puede ser mezclada con partículas de forma angular, tales como agregados triturados, tamizados de piedra o escorias, polvo de piedra marga u otro mineral esencialmente no cohesivo para producir una mezcla estable.

Las superficies de arena y bituminosas deben protegerse contra la acción abrasiva del tránsito. Esto se logra frecuentemente aplicando una capa selladora de aglutinante bituminoso, cubierta con arena gruesa o piedra o pedazos de escoria. Si el tránsito es grande, puede garantizarse una superficie bituminosa de calidad elevada.

Estabilización con asfalto:

En épocas pasadas, las bases de alta calidad con agregados no tratados, se habían considerado altamente satisfactorias. Sin embargo, recientemente, en el diseño de pavimentos para carreteras con tránsito muy intenso y pesado, mejoran las bases mezclándolas con asfalto. Por este hecho, la base es impermeabilizada y por lo tanto el contenido de humedad permanece bajo. Algunos métodos de diseño reconocen que el esfuerzo estructural de la base es aumentado y permite disminuir la profundidad de la sección del pavimento. Los aglutinantes y los métodos de construcción para bases estabilizadas con asfalto pueden ser los mismos que para bases bituminosas.

Bases con tierra cementantes:

Las bases de tierra, estabilizadas con cemento Portland y protegidas mediante un tratamiento superficial bituminoso, sirven

como pavimentos para caminos o calles de poco tránsito. Para las arterias principales, las mezclas de tierra y cemento pueden reemplazar la base usual como soporte para una mezcla asfáltica realizada en la planta, o para pavimento de cemento Portland. Un espesor de 6 pulgadas es muy común, teniendo como mínimo 4 plg. Así como las bases con asfalto, el suelo de cemento permite una reducción de su espesor de la sección de pavimentos flexible.

El cemento afecta a los suelos de dos formas; primero, por acción química superficial reduce la afinidad a la humedad de las arcillas. Segundo, activa la cementación, de ahí que produzca un armazón semirígido de material del suelo.

Bases granulares tratadas con cemento.-

El cemento agregado a las bases tipo granulares aumenta su esfuerzo tensor y flexionante, liga las partículas más apretadamente y provee una excelente impermeabilización. Al mismo tiempo, el material tiene relativamente una baja capacidad de carga y un bajo módulo de elasticidad comparado con el concreto regular. Por lo tanto es más capaz de ajustar al asentamiento en las capas inferiores del terraplen o en la subrasante, debido a su gran flexibilidad y al menor espaciamiento de grietas. Bajo los pavimentos de concreto a base de cemento Portland, una base tratada con cemento es menos probable de deslavarse a causa del bombeo de agua provocado por la losa soportada.

Bases tratadas con cloruro de calcio y sodio.-

A veces se emplea cloruro de calcio hasta en un 3% en peso, como un agente estabilizador para las bases. Ayuda al procedimiento de apisonado, haciendo posible obtener mayores densidades y mayores resistencias con el esfuerzo del tratamiento normal, o ayuda a conseguir las densidades usuales con un apisonado muy reducido. Los métodos de construcción son tales como

los que se indicaron anteriormente para las capas superficiales estabilizadas con cloruro de calcio.

El cloruro de sodio es usado tambien como un estabilizador para bases.

Bases y subbases tratadas con cal y cal puzolanica. -

Cuando la cal $(Ca(OH)_2)$ es agregada a ciertas arcillas, inmediatamente reduce la plasticidad al reemplazar los cationes, tales como el sodio, por los de calcio. Esto, es por lo tanto, particularmente efectivo con suelos de grano fino o con aquellos que combinan materiales gruesos con arcillas altamente plásticas. Como un ejemplo de esta efectividad, en un proyecto, el agregar del 2 al 3% de cal produjo un material con indice de plasticidad que variaban de 15 a 20. Despues de un mayor periodo de tiempo hay un aumento en la resistencia a traves de una reacción puzolanica con la silica y la alúmina existente. Finalmente, puede haber mayor resistencia a largo plazo cuando la cal reaccione con el bioxido de carbono del aire para producir carbonato de calcio.

A causa de la complejidad de las arcillas en los suelos, la estabilización con cal no siempre ha tenido éxito. Tambien, las sales extraidas de componentes distintos reaccionarán diferentemente. De esto se sigue que es necesario un estudio cuidadoso en el laboratorio o la construcción de secciones de prueba, antes de empezar un programa en gran escala de estabilización abase de cal. Aún más, hay evidencia que las bases estabilizadas con cal pueden fallar bajo congelación y deshielo, lo cual restringe su uso a áreas de clima templado.

La cal es usada comunmente en forma de cal apagada, ya sea como polvo o como lechada. Ocasionalmente se usa la cal viva, pero esto puede ser peligroso y requiere atención cuidadosa para proteger a los trabajadores de quemaduras. La mezcla puede ser hecha en el lugar o en la planta; la -

compactación se hace a contenido óptimo de humedad con el equipo usual de rodillo neumático y la aplanadora de rueda lisa. El procedimiento normal es para proteger la superficie terminada con un sello bituminoso.

Las combinaciones de cal y puzolanas también han sido usadas para estabilización de bases. Las puzolanas son materiales silíceos o aluminio-silíceos que no tienen propiedades cementantes en sí. Sin embargo, en combinación con la cal, desarrollan capacidad de carga. Las cenizas, las cuales son residuos de la combustión del carbón de piedra triturada, es la puzolana más común. El polvo producido al esmerilar pizarra estratificada, es otra fuente. En suma, existen las puzolanas naturales que incluyen ceniza volcánica, pizarra calcinada, piedra pómez y tierras diatomeas.

Los porcentajes de cal y ceniza para un proyecto dado, generalmente son determinados por pruebas de carga, tales como compresión confinada o CBR.

A continuación, y basados en las pruebas de laboratorio y en la teoría mencionada a lo largo de la tesis, se pasa a hacer las siguientes proposiciones para la construcción de caminos y carpetas en Sahuayo.

Es de recordarse que aunque se hacen recomendaciones generales con respecto al espesor de la capa de rodamiento, no es propósito de esta tesis el revisar el diseño de estas, sino solo que tan apropiadas son las dimensiones en forma general para así ajustar el diseño final para que cumplan los requerimientos que exigen las condiciones del terreno.

Primero, el material a usarse para conformar la base se encuentra en bancos localizados cerca del lugar y los cuales son mencionados en el capítulo 4 de esta tesis; al mismo tiempo que fueron mencionados, se dijo

el tipo de material existente en cada banco, sus propiedades al momento de ser usadas y el posible uso que se le puede dar. Solo a manera de recordatorio se mencionarán los bancos y el material en ellos susceptible de empleo:

BANCO	MATERIAL
San Pedro	<ul style="list-style-type: none">- Fragmentos pequeños de roca.- grava- arena- grava-arenosa cementada (*)- arcilla arenosa- gravilla arenosa- gravilla
(*) Susceptible de uso para base hidráulica	
La Palma	<ul style="list-style-type: none">- fragmentos chicos de roca.- grava- arena- grava arenosa (*)- gravilla- arcilla arenosa (*)
Francisco Serabia	<ul style="list-style-type: none">-arcilla arenosa (*)

(*) Susceptible de uso para base hidráulica

Teniendo el conocimiento del material con que se cuenta, de las posibilidades de la ciudad en cuanto a maquinaria y mano de obra; además de hacer uso eficiente de lo material con que se cuenta para evitar problemas en el futuro, se hacen las siguientes observaciones:

El suelo de cimentación en estudio, está compuesto por un manto potente de arcilla volumétricamente inestable, por ello se tendrán fuertes contracciones y altas expansiones al variar el contenido de humedad en su estructura. No obstante se han encontrado una presión de expansión relativamente apreciable, debido al alto contenido de humedad natural esta presión no llegará a desarrollarse a toda su capacidad, por lo que no es de preocuparse y se hacen las siguientes proposiciones para:

a) Urbanización

- Uso del suelo: dado a la pobre calidad, eliminar el producto de cortes.
- Nivel de rasante: dado a lo plano de la topografía, es recomendable evitar el relleno de lotes, por ende se proponen que las cotas de rasante, sean las cotas actuales del suelo natural.

b) Pavimentación

- Terreno Natural: abrir cajón en el suelo de cimentación hasta una profundidad, tal que garantice
 - 1) Alojamiento de estructura respectiva de pavimento
 - 2) Obtención de cota de rasante de proyecto.

Se hacen las proposiciones para cada tipo de pavimento, poniendo el énfasis necesario en la base, pero también cubriendo un poco de los detalles del pavimento.

PAVIMENTO FLEXIBLE:

- Filtro: En el caso de pavimentos flexibles, tender el material de filtro, en cantidad tal que garantice la obtención de una capa de 30 cms, bandeados con equipo de construcción.

- Taponamiento: Colocar sobre el filtro un colchón impermeable de tepetate procedente del banco Francisco Sarabia, de 10 cms compactos al 90% del P.V.S.M.

- Base hidráulica: Sobre la capa de taponamiento, colocar una base granular, en cantidad tal que garantice la obtención de un espesor de 15 cms, compactos al 95% del P.V.S.M. Perfilar la superficie de base, de tal manera que presente paralelismo a la rasante de proyecto.

Sobre la superficie de base, efectuar un riego de impregnación con producto asfáltico FM-1, a razón de 1.2 a 1.5 lts por m² de superficie.

- En lo que refiere a la carpeta asfáltica solo por tener un punto de comparación más completo para después. Sobre la base impregnada colocar un riego de liga a base de producto asfáltico FR-3 a razón de 0.5 lts/m².

Para el tendido de material de la carpeta se aconseja que se haga en cantidad tal que garantice la obtención de un espesor constante de 5 cms, mínimos compactos al 95% del P.V.M.

- Sello: Sobre la superficie de la carpeta se coloca otro riego de liga del mismo producto asfáltico FR-3 con la misma proporción.

Sobre el riego de liga, efectuar el tendido del sello, a razón de 10 lts, a 12 lts, por m². Fijar el sello con plancha de rodillo liso.

PAVIMENTO SEMI-RIGIDO.-

- Mejoramiento: Sobre el terreno natural escarificado, colocar el material de mejoramiento en cantidad tal que garantice la obtención de un espesor de 20 cms compactos al 90% del P.V.S.M.

- Base granular: Sobre la superficie de mejoramiento, tender el material de base, en cantidad tal que garantice la obtención de un pesor de 12 cms compactos al 95% del P.V.S.M.

Perfilar la superficie de la base de tal manera que sea paralela a la rasante del proyecto. Impermeabilizar la superficie de la base, con producto asfáltico FM-1 a razón de 1.2 a 1.5 lts/m².

- Cama de apoyo: Tender sobre la base granular una cama de tepetate de 3 cms, max.

- Adoquinado: Sobre la cama de apoyo, hincar el adoquín respectivo y fijarlo con plancha lisa.

PAVIMENTO RIGIDO.-

- Base hidráulica: Sobre el terreno natural tratado, colocar la base hidráulica, en tal cantidad que garantice la obtención de un espesor de 30 cms compactos al 90% del P.V.S.M.

- Losa de concreto hidráulico: Sobre la base hidráulica perfilada colocar la losa de concreto hidráulico, de f'c-250 kg/cm² (o módulo de ruptura garantizado a 35 kg/cm²), de 17 cms de espesor compactadas con vibrador de bulbo (ver figura 3.1 y 3.2 para espesor de losa).

Una vez que el agua segregada empiece a evaporarse, efectuar curado respectivo con membrana de pigmentación blanca a razón de --- 0.25 lts/m².

Las juntas de construcción y dilatación de las losas, deberán ser machihembradas perimetralmente.

El tamaño de las losas deberá ser tal que no se tengan problemas de temperatura, deberá de ser tal que no sea mayor de 30 veces el espesor de la misma.

Siendo estas las proposiciones que se hacen para este tipo de suelo, ahora partimos a hacer la mención del tipo de base usado por la ciudad para cada tipo de pavimentación.

Una breve explicación de como funcionan figuras 3.1 y 3.2 en la elección del espesor del pavimento a partir de las variables conocidas como presión de exudación, estabilómetro y presión de expansión es la siguiente:

De la figura 3.1: dependiendo de qué unidades se estén usando se puede obtener el valor de resistencia a partir de la combinación de el estabilómetro la prueba de presión de expansión y de exudación, se escoge el menor de ellos y éste se utiliza en la figura 3.2 para encontrar el espesor total del pavimento.

El uso de la tabla 3.2 es bastante fácil; ésta consta de 4 ejes de los cuales 2 son lo mismo, con la única diferencia de que una es en centímetros y otra en pulgadas. La parte importante de este abaco está a la derecha donde existen 2 ejes, el del valor de resistencia (marcado B) y el de número de tráfico de diseño (marcado C). Se encuentra el valor en el eje B y C, y se unen con una línea que es continuada al eje A, obteniendo así el espesor buscado.

El uso de la figura 3.1 no es importante, porque esta no es exclusiva del método. Bástete decir que el valor "R" por los 3 métodos debe ser encontrado y el menor de ellos es el usado. Cualquier libro de diseño de pavimentos da la información necesaria para la obtención correcta de estos valores "R".

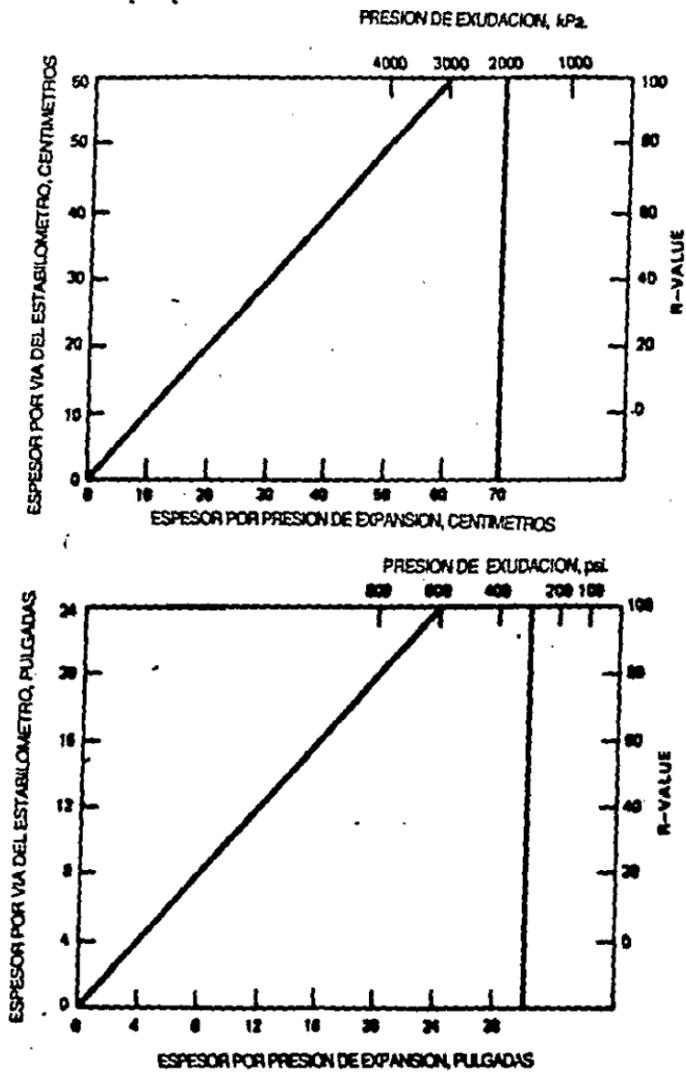
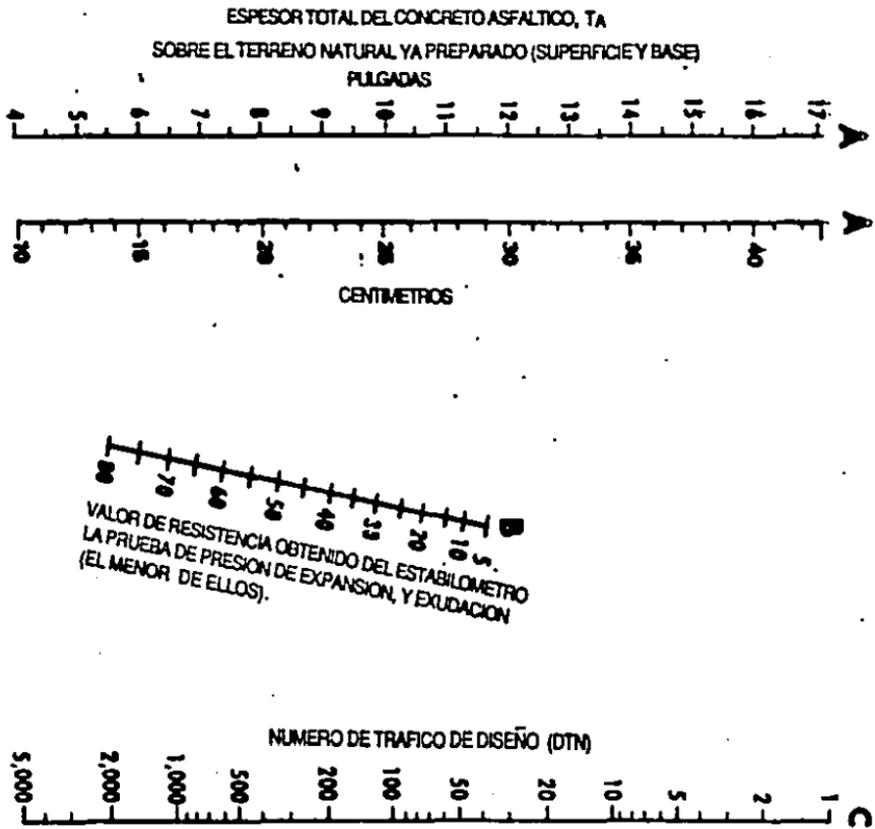


FIGURA 3.1

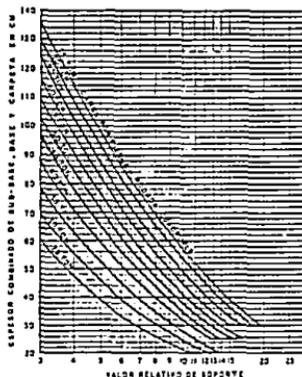
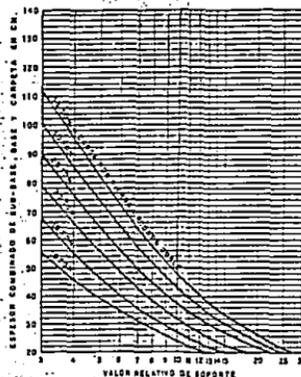
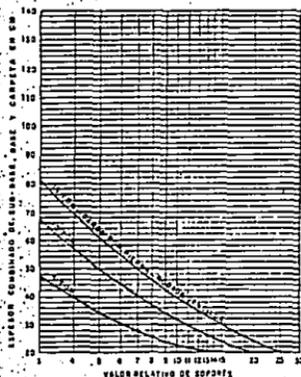


ABACO DE DISEÑO OBTENIDO DEL MANUAL DE DISEÑO DE ESPESORES, OCTAVA EDICION, INSTITUTO DEL ASFALTO EUA.

FIGURA 3.2

CUADRO NUM. I

Tipo	Sub-Tipos	IDENTIFICACION	Espectro de Rayos	Notas	
FRAGMENTOS DE COCA	GRANDES Matorrales de 75 cm Matorrales de 3 m	Fragmentos chicos, con menos del 10% de otros fragmentos de su tipo.	Fg	<p>1.- Cuando los fragmentos de coca contienen más del 10% de otros tipos, se clasifican en Fg, siempre que incluyan al menos un tipo de coca, y los del fragmento respectivo.</p> <p>2.- El número de letras que aparece en el símbolo de clase se refiere a su número de fragmentos entre 10 y 50%; en otros casos, el número de letras indica el número de fragmentos de coca.</p> <p>3.- Cuando los símbolos de los tipos aparecen en general de acuerdo con el sistema Uniforme (UIC), se puede constituir como la versión R.O.I. de dicho sistema.</p> <p>4.- Todos los símbolos de los tipos que aparecen en este cuadro son de la U.I.C. Standard (última cuadrícula).</p> <p>5.- Como los símbolos de los tipos aparecen en general de acuerdo con el sistema Uniforme (UIC), se puede constituir como la versión R.O.I. de dicho sistema.</p> <p>6.- Cuando los símbolos de los tipos aparecen en general de acuerdo con el sistema Uniforme (UIC), se puede constituir como la versión R.O.I. de dicho sistema.</p> <p>7.- La clasificación de los tipos de partículas de coca se refiere a la clasificación de los tipos de coca que aparecen en este cuadro.</p> <p>8.- Los símbolos de Uniforme (UIC) y de Coca (C), que se utilizan para indicar la clasificación de los tipos de coca, se refieren a los tipos de coca que aparecen en este cuadro.</p> <p>9.- Los tipos de coca que aparecen en este cuadro, se refieren a los tipos de coca que aparecen en este cuadro.</p>	
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos chicos o de su tipo.	Fm		
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos chicos, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de su tipo.	Fm		
	MEDIANOS Matorrales de 30 cm Matorrales de 75 cm	Fragmentos medianos, con menos del 10% de otros fragmentos de su tipo.	Fm		
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos, predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10% de fragmentos chicos o de su tipo.	Fm		
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los medianos sobre los chicos y grandes, con menos del 10% de su tipo.	Fm		
	CHICOS Matorrales de 7.5 cm (3") Matorrales de 30 cm	Fragmentos chicos, con menos del 10% de otros fragmentos de su tipo.	Fc		
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de su tipo.	Fc		
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y grandes, con menos del 10% de su tipo.	Fcm		
	DE PARTICULAS GUBERAS	Matorrales de 7.5 cm (3") Matorrales de 30 cm	Gravas limpias (sin o pocas partículas finas)		GW
			Gravas mal graduadas, mezcladas de gravas y arenas, con o sin partículas finas. (Ver nota 1.)		GP
			Gravas limpias, mezcladas de gravas y arenas, con o sin partículas finas. (Ver nota 1.)		GM
Gravas arenosas, mezcladas de gravas, arenas y arenas mal graduadas.			GO		
Arenas bien graduadas, arena con grava, poca o nada de arena. (Debe tener un porcentaje de uniformidad (CU) mayor de 7 y un coeficiente de eswedens (CE) entre 1 y 3. (Ver nota 1.)			GW		
Arenas mal graduadas, arena con grava y arena, con o sin partículas finas. (Ver nota 1.)			GP		
Arenas limpias, arena con grava y arena, con o sin partículas finas. (Ver nota 1.)			GM		
Arenas arenosas, arena con grava y arena, con o sin partículas finas. (Ver nota 1.)			GO		
Arenas bien graduadas, arena con grava, poca o nada de arena. (Debe tener un porcentaje de uniformidad (CU) mayor de 7 y un coeficiente de eswedens (CE) entre 1 y 3. (Ver nota 1.)			GW		
Arenas mal graduadas, arena con grava y arena, con o sin partículas finas. (Ver nota 1.)			GP		
Arenas limpias, arena con grava y arena, con o sin partículas finas. (Ver nota 1.)			GM		
Arenas arenosas, arena con grava y arena, con o sin partículas finas. (Ver nota 1.)			GO		
DE PARTICULAS FINAS	Matorrales de 7.5 cm (3") Matorrales de 30 cm	Líneas largueñas y arenas muy finas, polvo de coca, arenas finas limpias o arenosas ligeramente plásticas. (Dentro de la zona I de la curva de plasticidad.)	HL		
		Arenas largueñas de baja o mediana plasticidad, arenas con grava, arenas arenosas, arenas limpias, arenas pobres. (Dentro de la zona II de la curva de plasticidad.)	CL		
		Líneas largueñas y arenas limpias orgánicas de baja plasticidad. (Dentro de la zona I de la curva de plasticidad.)	OL		
		Líneas largueñas de baja o mediana plasticidad, arenas finas o limpias medianas o distendidas, limpias elásticas. (Dentro de la zona III de la curva de plasticidad.)	MHL		
		Arenas largueñas de alta plasticidad, arenas finas. (Dentro de la zona IV de la curva de plasticidad.)	CHL		
		Líneas y arenas orgánicas de media o alta plasticidad. (Dentro de la zona III de la curva de plasticidad.)	OL		
		Líneas largueñas de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la curva de plasticidad.)	MHL		
		Arenas largueñas de muy alta plasticidad. (Dentro de la zona VI de la curva de plasticidad.)	CHL		
		Líneas y arenas orgánicas de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la curva de plasticidad.)	OL		
		LIMOS Y ARCILLAS	Matorrales de 7.5 cm (3") Matorrales de 30 cm	Terrestres identificables por su color, olor, aspecto orgánico y frecuentemente por su textura fibrosa. Turba y otros suelos altamente orgánicos.	P



Tipo de Avión	Douglas DC-3A	Curtiss Wright C-48	Fockeulfund Fockeuland C-82	Cessna 340	Douglas DC-4	Consolidation 749-A	Douglas DC-8B	Super Constellation 1049-C	Douglas DC-7C	Bristolan 332	Bristolan 310	Boeing 707 120-A	Douglas DC-8 Comestica	Boeing 707 3207420	Douglas DC-8 Intercontinental	Douglas DC-8 Intercontinental
Peso Total Nivel del Mar, Toneladas	11,500	20,500	22,850	21,400	33,100	48,500	48,750	80,500	64,000	75,000	79,500	109,000	120,000	127,000	130,500	141,000
Número de llantas del tren principal	2	2	2	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8
Máxima Carga por Pista, Toneladas	5,000	9,000	10,000	8,500	16,000	22,000	23,400	29,200	30,500	33,000	35,000	50,750	53,000	59,000	61,500	71,500

LOS ESPESORES DETERMINADOS CON LAS CURVAS CORRESPONDIENTES DEBERAN MULTIPLICARSE POR LOS SIGUIENTES FACTORES:

TIPO DE OPERACION DEL AEROPUERTO	DESPEGUE Y ATERRIZAJES EN 24 HORAS	POSICION CENTRAL DE LAS PISTAS DE ATERRIZAJE	PLATAFORMA PISTAS DE CIRCULACION Y ACCESO Y CERRAJES DE PISTAS DE ATERRIZAJE
Emergente	10 y más	0.60	0.70
Limitada	72	0.80	0.92
Ilimitada	240 o más	1.00	1.15

S. O. P.
DIR. GRAL. DE PROYECTOS Y LABS.
DEPTO. DE LABORATORIOS DE CAMPO

GRAFICAS PARA CALCULAR EL ESPESOR DE SUB-BASE, BASE Y CARPETA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA AEROPISTAS

PROYECTO: *[Signature]* OFICIO: *[Signature]*
 Ing. *[Signature]* Ing. *[Signature]*
 MEXICO, D.F. Julio de 1957

CAPITULO 4.-

" TIPO DE BASE USADO
COMUNMENTE POR LA
CIUDAD Y ANTECEDEN-
TES."

El tipo de pavimento más usado en Sahuayo es el que está formado a base de carpeta de concreto hidráulico aunque también existen - calles de pavimento asfáltico, como lo es el Boulevard Lázaro Cárdenas que está a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

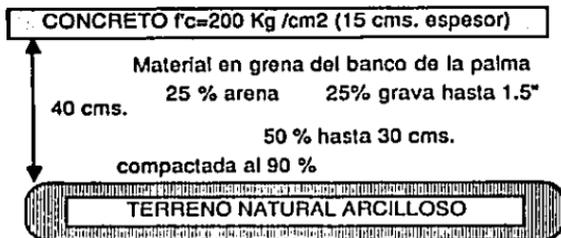
A continuación se describe el tipo de base que se ha estado utilizando para cada tipo de carpetas:

- Carpeta de concreto hidráulico.

Para este tipo de carpeta se encontró que en Sahuayo se utiliza dos tipos diferentes de base. Uno de ellos es el que se usa en la zona de Las Brisas; en esta zona la base está conformada a base de material engreña traído del banco de La Palma. Este material consta del 25% de arena, 25% de grava con tamaño máximo hasta 1 1/2" y el 50% de grava hasta de 30 cms. Todo esto está compactado al 90% en una capa de 40 cms. de espesor que se coloca sobre el terreno arcilloso.

Sobre esta capa de material se coloca la losa de concreto de 15 cms de espesor con un f'c de 200 kg/cm².

A continuación se muestra un esquema de dicha base:

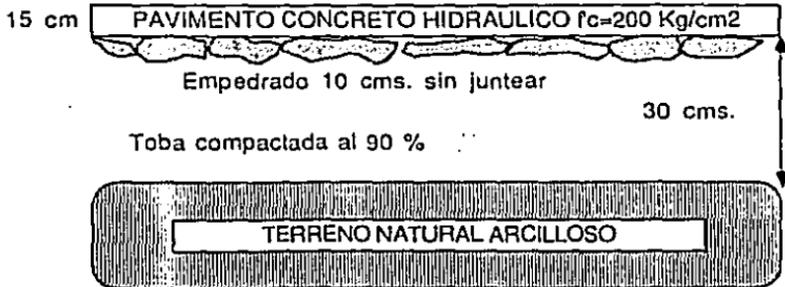


El tipo de base que se emplea comunmente en Sahuayo para carpeta de concreto hidráulico es el que a continuación se describe:

Sobre el terreno natural, es decir el terreno arcilloso, se coloca una capa de 30 cms de espesor de un material conocido como arena blanca (toba) compactada ésta al 90%, una vez teniendo la arena compactada se coloca un empedrado de 10 cms sin juntar y sobre este se cuela una losa de concreto de 15 cms de espesor con un $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$.

El hecho de que el empedrado utilizado no este juntado se debe a que se busca que al momento de estar colando el concreto algo del mortero pasa por las puntas uniendo así a las piedras, logrando esta manera, que todo el conjunto trabaje como una losa de 25 cms debido a que las piedras quedaron ligadas a la losa original.

Debido a que este es el tipo de base más usada en Sahuayo, además del esquema de la misma se mostrará en fotografías el proceso que se sigue para reparar un pavimento fallado reconstruyéndolo con este tipo de base.





Como se puede observar en esta fotografía, las fallas sufridas por el pavimento son de notable magnitud. En general las fallas se deben, a la expansión de la arcilla que esta debajo del pavimento, esta expansión se debe a una repentina absorción de agua por el estrato arcilloso inferior. Esta súbita aparición de agua, se debió a la existencia de una línea de agua por debajo de la calle, lo cual es el problema más generalizado de la ciudad, y debido a que el material conformante del terreno natural es un material que se expande rápidamente y con mucha fuerza al contacto con el agua y que de la misma manera súbita se contrae cuando esta desaparece, las fallas se mostraron de una manera repentina y constante por toda la calle. En este caso no se pudo optar por una simple repavimentación, puesto que de esa manera se expone

a una nueva falla tan pronto como sea época de lluvias o que exista un nuevo escape por parte de la línea de agua que pasa por debajo. De esta manera la solución más conveniente es la de hacer una mejora en la base de este pavimento previendo estas circunstancias.

El siguiente paso en la reparación de este pavimento consistió en la de levantar toda la carpeta con máquina, como se ve en la fotografía siguiente:



En esta fotografía se puede observar lo que se decía acerca del empedrado sin juntear. Se puede notar como salieron bloques de pavimento con un espesor mayor a los 20 cms, pero en este caso la falla se presentó

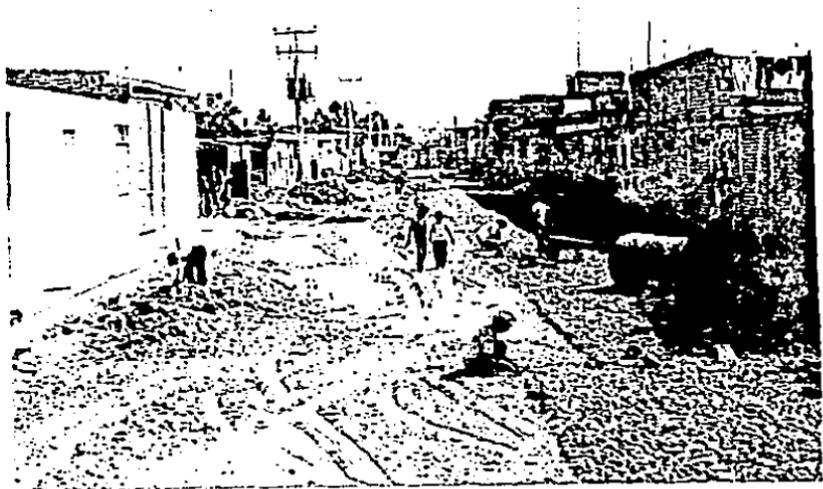
debido a que el empedrado se hizo directamente sobre el terreno natural sin tener el estrato de toba compactada, por lo que la expansión del terreno fue suficiente para dañar el pavimento.

Una vez que la máquina ha pasado y levantado los pedazos grandes de leña se procede a continuar la excavación hasta que se llega al nivel necesario para poder colocar la capa de 30 cms de toba compactada. Un tramo de calle en la que se han hecho los trabajos de levantamiento de pavimentos se muestra en la siguiente fotografía. Aquí es conveniente decir que estos trabajos se hacen en tramos lo suficientemente ciertos para no entorpecer el tráfico en la ciudad, así también como lo suficientemente largos para no consumir tiempo y dinero de más.



Una vez terminada la excavación se procede a la colocación del material de arena blanca o toba y su compactación posterior será, como ya se dijo al noventa por ciento.

En la siguiente fotografía se puede observar un tramo en el que ya se ha colocado la arena blanca compactada y se empieza a colocar el empedrado. En la fotografía a la derecha se observa el rodillo con el cual se le da una textura más o menos uniforme a la arena compactada para sobre ella poder colocar el empedrado.



En la siguiente fotografía, se muestra como queda la calle una vez que el empedrado ha sido totalmente colocado. En la misma fotografía, se observa la máquina cargando pedazos de losa levantada de otra calle a un camión.



Una vez colocado todo el empedrado se procede a colar las losas de concreto sobre él, las cuales llevan el espesor de 15 cms mencionado y están hechas de concreto con resistencia de 200 kg/cm². Un tramo de calle parcialmente acabado se puede observar en la fotografía que a continuación se muestra; como se mencionó en la introducción estas losas llevan un tamaño máximo de 3 x 2.50 metros.



Aunque ya se dijo que esta es la manera más conveniente de reparar las calles, existen también ciertas dificultades que muchas veces no permiten llegar a esta solución sino que provocan el utilizar una solución inmediata en lo que se piensa o se tiene recursos para lograr una a más largo plazo. Este es un ejemplo de la siguiente fotografía.

En ella se puede observar como la solución que se tomó fue la de simple repavimentación. Se observa que se levantó el pedazo de losa dañado y se colocó a un lado para simplemente volver a colocar el empedrado y sobre él colar un nuevo pedazo de losa. Si se observa con cuidado en el pedazo que está levantado se puede ver, como ya se dijo, que el empedrado estaba colocado directamente sobre el terreno natural, lo cual provocó la falla cuando el terreno se humedeció.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

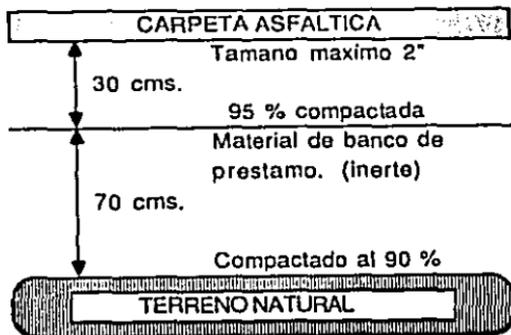
Aquí fueron varias las dificultades que no permitieron la construcción de una nueva base, una de ellas y la más importante fué la existencia de una línea de agua muy cercana a la superficie, lo cual no permitió el escavar con la suficiente profundidad para poder construir la base de toba compactada. Aquí lo que se recomienda es la construcción de una nueva línea a suficiente profundidad para permitir la construcción de la base adecuada para la calle, sin llegar al punto de que una carga sea capaz de dañar a esta línea.



- Pavimento Asfáltico.

Este tipo de pavimento es el que se encuentra en el Boulevard Lázaro Cárdenas. Esta calle está a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes debido a que forma parte de la carretera Guadalajara-Morelia. El material que conforma la base de esta calle es el que a continuación se describe:

La base es de dos capas, una de 70 cms sobre el terreno natural formada con material de banco de préstamo. Este material está clasificado como de tipo inerte y está compactado al noventa por ciento. Sobre esta capa se encuentra otra de 30 cms, hecha a base de material granular con un tamaño máximo de 2" y compactado al 95% y ya sobre este se coloca la carpeta asfáltica. - El esquema de esta base se muestra a continuación:



Estas son todas las bases que conforman los diferentes pavimentos de la ciudad de Sahuayo, en el capítulo siguiente se discutirá lo apropiado o lo inapropiado de las mismas.

Los bancos de materiales de la región factibles de usarse y que se usaron en la pavimentación del lugar son los que a continuación se mencionan:

BANCO.-

San Pedro

LOCALIZACION.-

Km. 18,000 Sahuayo-La Barca con 1,500 mts D/D

MATERIAL.-

Fragmentos pequeños de roca.

TRATAMIENTO.-

Cribado (retenido de malla 2")

EMPLEO.-

Filtro

MATERIAL.-

Grava.

TRATAMIENTO.-

Cribado (retenido malla 4).

EMPLEO.-

Concreto hidráulico.

MATERIAL.-

Arena.

TRATAMIENTO.-

Cribado (pasa malla 4).

EMPLEO.-

Concreto hidráulico..

MATERIAL.-

Grava-arenosa cementada.

TRATAMIENTO.-

Cribado (pasa malla 1 1/2").

EMPLEO.-

Base hidráulica.

MATERIAL.-

Arcilla arenosa

TRATAMIENTO.-

Cribado malla 4 y disgregado.

EMPLEO.-

Porco del adoquín.

MATERIAL.-

Gravilla Arenosa.

TRATAMIENTO.-

Cribado por malla de 3/4".

EMPLEO.-

Carpeta asfáltica.

BANCO.-

La Palma.

LOCALIZACION.-

Km. 9,000 Sahuayo- Barca con 800 mts. D/I.

MATERIAL.-

Gravilla.

TRATAMIENTO.-

Cribado por malla 4 y 3/4".

EMPLEO.-

Sello.

MATERIA.-

Fragmentos chicos de roca.

TRATAMIENTO.-

Cribado (retenido de malla 2").

EMPLEO.-

Filtro

MATERIAL.-

Grava.

TRATAMIENTO.-

Cribado (retenido de malla 4").

EMPLEO.-

Concreto hidráulico.

MATERIAL.-

Grava Arenosa

TRATAMIENTO.-

Cribado (malla 3/4").

EMPLEO.-

Carpeta asfáltica.

MATERIAL.-

Gravilla

TRATAMIENTO.-

Cribado mallas 4 y 3/4".

EMPLEO.-

Sello.

MATERIAL.-

Grava arenosa

TRATAMIENTO.-

Cribado malla 1 1/2" y probable mezcla del mismo banco o del banco Fco. Sarabia en proporción vol. 70% La Palma, 30% Fco. Sarabia.

EMPLEO.-

Base Hidráulica.

MATERIAL.-

Arcilla arenosa

TRATAMIENTO.-

Disgregado y cribado por malla de 2".

EMPLEO.-

Mejoramiento, relleno de cepas y base de banquetas y pisos.

TRATAMIENTO.-

Dosgregado y mezclado con grava-arenosa del mismo banco en proporción 70% grava-arenosa y 30% cementante.

EMPLEO.-

Base hidráulica.

TRATAMIENTO.-

Disgregado y cribado por malla 4.

EMPLEO.-

Cama de apoyo de adoquín, porco del adoquín.

BANCO.-

Francisco Sarabia.

LOCALIZACION.-

Km.3,000 de la carretera Jiquilpan-Sahuayo con 1,500 mts de D/I.

MATERIAL.-

Arcilla arenosa

TRATAMIENTO.-

Disgregado y cribado por malla 4.

EMPLEO.-

Porco del adoquín. Cama de apoyo de adoquín.

TRATAMIENTO. -

Disgregado.

EMPLEO.-

Relleno de cepas. Base de banquetas y pisos.

TRATAMIENTO. -

Disgregado y mezclado con grava arenosa del banco La Palma o San Pedro en proporción 30% de arcilla arenosa y 70% grava arenosa.

EMPLEO.-

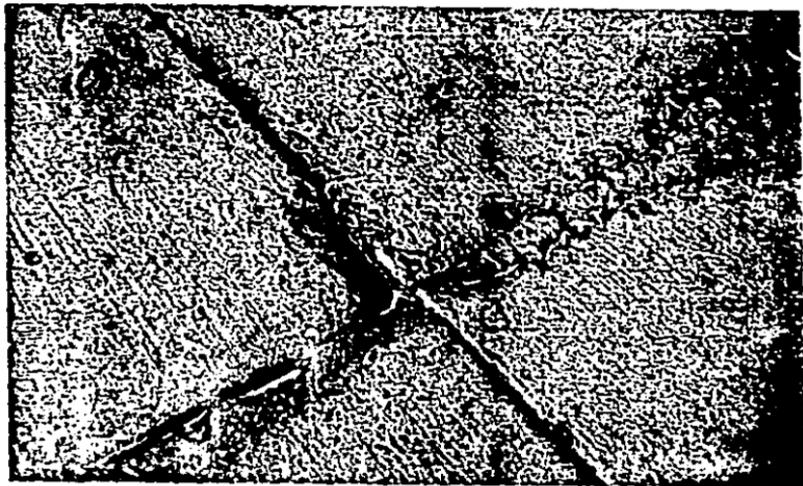
Base hidráulica.

Primero se debe investigar cuales son las causas que provocaron las fallas en el pavimento para encausar las medidas de corrección necesarias en el camino adecuado. Es necesario mencionar que los problemas pueden ser ocasionados o no por una mala construcción de base, y como se verá en este caso, existen otros problemas en la ciudad además de bases defectuosas, pero aquí solo se revisará lo adecuado del material usado para la base y su espesor.

Las siguientes fotografías muestran las fallas que se han presentado en la ciudad y una ligera explicación de las mismas, haciendo mención si estas fallas se deben o no a una falla de base.

La primera fotografía aquí anexada muestra una falla de base visible en las juntas del pavimento; aunque no es muy visible,

se puede notar la diferencia de niveles de losas, esto se debe a movimiento en el material que conforma la base, esto se puede deber como ya se ha dicho, a un mal procedimiento en la construcción de la base, a una mala elección de material o a un espesor equivocado.



Para un poco más de precisión la siguiente fotografía muestra una falla en la carpeta cuasada (como más tarde se comprobó) por una mala compactación en el material conformador de la base.



En el acercamiento del mismo lugar se puede ver el asentamiento en la capa ocasionado por éste error en la compactación. Es de notarse el daño provocado en la carpeta por esta falla, un daño que además de molesto, puede llegar a ser peligroso por razones de seguridad de vehículos y peatones.



Otro detalle que se debe notar es que el asfalto es el único dañado y la banqueta está casi intacta por lo que se deduce que la falla ocurrió en los lugares donde las cargas eran lo suficientemente altas como para provocar los asentamientos en el material y el hecho que los asentamientos más notorios ocurriesen en los lugares cercanos a las banquetas que es donde de los vehículos están como cargas estáticas comúnmente, ayuda a la creencia

de que el asentamiento no es debido a deslave de material, sino en otra instancia, debido a una carga vertical aplicada al pavimento. La última fotografía de ésta calle muestra que el pavimento en general está dañado de la misma manera, es decir continuos desniveles, cuarteamientos y destrucción de carpeta.



Pero el hecho que desnivel en la losa y destrucción de parte de la misma sea visible, no implica una falla de base como causa, es im

portante que el ingeniero obtenga una visión general del lugar como ya se mencionó con anterioridad. En la siguiente fotografía se puede ver ilustrado lo que aquí se menciona. Nótese como la falla está muy localizada y se detiene abruptamente donde la losa acaba, esto nos lleva a suponer que la falla ocurrió por concreto defectuoso en la losa; al decir "concreto defectuoso" nos referimos a las posibles causas de falla en la losa por sí misma, estas posibles causas son:

- Espesor inadecuado
- Concreto de baja resistencia.
- Error en el proceso de mezclado.
- Espesor adecuado pero con un tamaño de losa muy grande, lo que puede provocar grietas por temperatura u otra razón y esas grietas simplemente fueron agravadas por el paso continuo de automoviles .



Ya que se ha mencionado que existen fallas en la carpeta asfáltica y/o en la losa de concreto en la ciudad, la fotografía que aquí se presenta muestra una falla por concreto inadecuado.



Nótese como el agrietamiento es de tipo de piel de cocodrilo, pero no se ve ningún cambio de nivel en la calle, es decir el concreto y la calle siguen ahí, pero simplemente están agrietados. Por simple comparación se puede ver en la siguiente fotografía que para poder considerarse falla

Se base, además de haber agrietamiento existe una desnivelación de la calle y de nuevo es una falla que cubre una extensión suficientemente grande como para suponer una falla importante en la base.



Las últimas fotografías muestran que no sólo el tener una base adecuada es sinónimo de un buen diseño. Aquí se observa la existencia de grietas provocadas por cambio de temperatura; estas grietas aparecieron porque las losas eran demasiado grandes para el espesor, sumado a esto las juntas

de expansión no fueron lo suficientemente adecuadas para el tamaño de la losa por lo que las grietas se propagaron continua y rapidamente.

Es de notarse el hecho que la grieta está aproximadamente en el mismo lugar en todas las losas y a los dos lados de la línea central; y en el acercamiento se ve cómo se comunican de una losa a otra.





CAPITULO 5.-

" COMPARACION DE LAS BASES."

En este capítulo se hará una comparación entre la base propuesta por esta tesis y la que actualmente se está usando en Sahuayo. Esta comparación se hará únicamente en cuanto al material que conforman las bases para de estas sacar recomendaciones, si se consideran pertinentes.

Es importante señalar que una buena elección de material repercutirá no solo en un buen funcionamiento de la carpeta asfáltica o pavimento, sino también en una construcción económica puesto que no se gastará dinero en reparaciones, lo que a la larga se sumaría a los gastos del camino.

La existencia de defectos, tanto en la base como en la subbase de un pavimento, son muy peligrosas ya que además de ocasionar daños muy fuertes y costos en la superficie de rodamiento puede ser motivo de accidente, focos de infección y además causar dificultades a las gentes que viven en la zona.

A continuación se enumeran las fallas más comunes que se pueden suceder por defectos en la base y subbase.

1) Asentamientos y deformaciones en la superficie.

Cuando el asentamiento es provocado por la base, debe estudiarse su drenaje, y en caso satisfactorio, el defecto puede provenir de la poca resistencia a la compresión de sus materiales o por falta de espesor en la misma, que no permite distribuir uniformemente las presiones a la subbase. También puede ser motivada por mala calidad en los materiales empleados, que no permiten una trabazón mecánica o la adecuada fricción interna.

Cuando se trate de corregir este defecto, se puede hacer uso, según la magnitud del mismo, de riesgos superficiales o mezclas asfálticas y compactándolas por capas con aplanadoras ligeras. El uso de aplanadoras de más de 8 toneladas de peso, debe prescindirse en el arreglo de estos defectos sobre todo cuando se trate de carpetas viejas, en las cuales el daño que puede ocasionar el peso de las aplanadoras es mayor que el beneficio.

2) Baches.

Estos pueden iniciarse por una irregularidad de la base, que produce concentraciones de refuerzos, que llegan a romper la estructura interna de la carpeta. En el caso de que estos aparezcan en los cortes, podrá deberse a la falta de un drenaje adecuado de la base.

3) Agrietamientos.

Cuando estos se deben a drenaje inadecuado de la base o material suave, o falta de espesor de la misma es antieconómico dar rigos superficiales, puesto que las grietas progresan a través de los mismos rigos y en muchas ocasiones, la impermeabilidad lograda acelera la desfricción de la carpeta. En estos casos se debe corregir la base por medio de un drenaje adecuado o por la adición de los materiales necesarios que mejoran su estabilidad o por el aumento del espesor adecuado.

Las grietas irregulares en forma de piel de cocodrilo son ápicas debidas a defectos del material de la base, contracción lineal mayor de la permitida.

Una vez presentadas no hay remedio superficial por los mismos. Se deben a que las carpetas no tienen la debida impermeabilidad y permiten la introducción del agua que afecta la porción cementante de las bases y por sus altos cambios volumétricos, ocasiona las contracciones lineales altas por cambios de temperatura y el grado de humedad de la misma.

Se deben corregir poniendo los materiales dentro de los límites máximos de las especificaciones.

4) Corrugaciones.

Como ya se ha dicho, cuando el espesor de la carpeta es uniforme, y en las ondulaciones aparecen grietas paralelas a la misma, la causa más probable es exceso de humedad de la base, o bases con espesor insuficiente para resistir las cargas del tránsito. En cuyo caso debe procederse inmediatamente al acondicionamiento correcto de ella.

5) Desintegración completa de la carpeta.

Al observarse este fenómeno de su iniciación, debe procederse a hacer sondeos, ya que pueda deberse a la humedad excesiva de los materiales de la base o excesos de materiales arcillosos en esta.

En cuanto ocurre este defecto, por ningún motivo deben darse riegos superficiales para tratar de corregirlo. Después de conocer la causa se deberá escarificar el material de la carpeta y se corregirá la causa; aprovechando el producto de la escarificación, para incorporarlo al espesor de la base. Por ningún motivo se tratará de utilizar este material para formar parte del nuevo material pétreo de la carpeta.

De lo visto anteriormente podemos deducir que los defectos más comunes que pueda sufrir un revestimiento, para ocasionar las fallas en la estructura de el pavimento, puede ser:

1) Uso de materiales Inadecuados.-

Se consideran como materiales inadecuados para ser usados en bases y subbases de carreteras y aeropuertos, aquellos materiales que por sus características físicas están imposibilitadas para resistir eficientemente los efectos de los factores externos a que deberán estar sometidos según el uso que se les haya asignado.

Para el análisis de los materiales de revestimiento existen 4 pruebas principales, de cuyos resultados depende, en forma definitiva la aprobación de estos, ya que para verlo deberán quedar dentro de los límites especificados por la S.O.P., siendo dichas pruebas:

- a) Granulometría
- b) Límites de Atterberg
- c) Valor cementante
- d) Valor relativo de soporte

a) Granulometría.-

Debido a la experiencia práctica se ha adoptado utilizar en los materiales de base y subbase, un tamaño máximo igual al de 2" considerándose desperdicio para fines granulométricos, el material que sea retenido por la criba de 2"

La prueba de granulometría se efectúa en una porción de la muestra, previamente cuarteada desgregada y secada, siguiendo el procedimiento de cribado que ya se ha indicado.

Una vez calculados los porcentos del material que pasan las respectivas mallas se dibujará su gráfica correspondiente en el cuadro que aparece en la fig. No. VI.

Aclarándose que el material deberá quedar comprendido entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3. Siendo las zonas 1, 2 y 3 los espacios inferior intermedio y superior respectivamente comprendidos entre las curvas de las especificaciones granulométricas.

La curva de granulometría de un material para base o subbase deberá adoptar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas sin presentar cambios bruscos de pendiente y la relación del porcentaje en peso que pase la malla No. 200 al que pase la No. 40 no deberá ser mayor de .65-

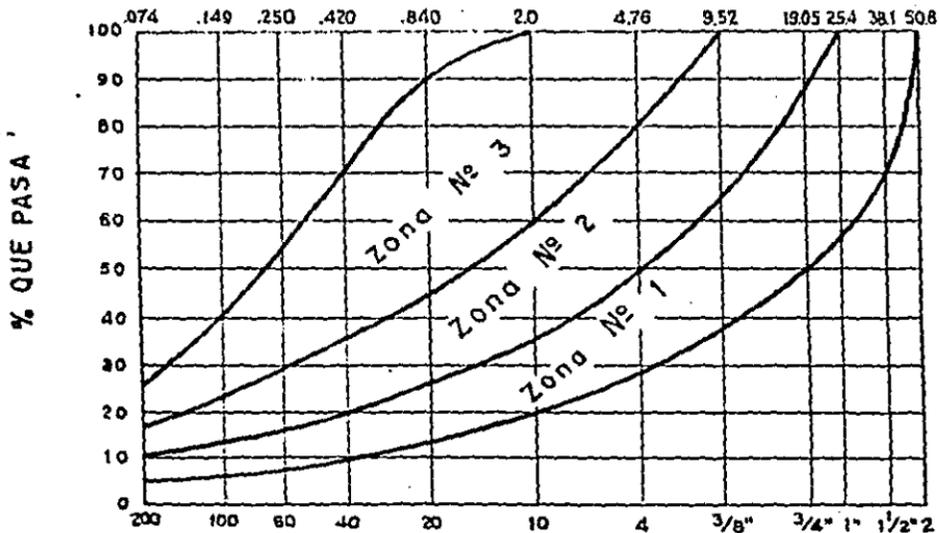
La mala granulometría es una causa muy importante en la falla del pavimento, ya que los materiales mal graduados, tienen por lo general muy poca estabilidad.

b) Límites de Atterberg:

Los resultados de estas pruebas nos dan a conocer la plasticidad del material y los cambios volumétricos a los que estará sujeto este al sufrir cambios en su humedad. La forma de obtener estos resultados ya ha sido explicada ampliamente en capítulos anteriores. Al momento de hacerles las pruebas de Límites de Atterberg a un material que va a ser --

ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

TAMARO EN M.M.



MALLAS ~
Fig No 15

utilizado como base o subbase deberá llenar los requisitos en cuanto a especificaciones que exige la S.O.P. en su tabla de clasificación de materiales.

c) Valor Cementante.-

Esta prueba sirve para determinar el poder de cementación de un suelo fino o de la fracción que pasa la malla No.4 de una suela granular.

El valor cementante es una función de la forma y acomodo de las partículas de suelo y de su rigosidad de la plasticidad de los finos y de otros fenómenos que tiene relación con la composición química del suelo. Es un factor primordial para preveer el comportamiento de los suelos que forman el pavimento de un camino, principalmente en el caso de subbases que van a estar abiertas a el tránsito que no tienen protección. Es de desearse que en todos los casos los suelos que forman la estructura del pavimento tengan un cier to valor cementante.

Hay que tomar en consideración, sin embargo que un valor cementante alto puede ser debido a un exceso de arcilla, condición que es poco recomendable, dado el alto índice de actividad que poseen estos materiales arcillosos y el cual, según hemos visto ocasiona asentamientos, agrietamientos, es decir fallas generales en la superficie de rodamiento.

El valor cementante adecuado para cada material según el fin al que se le vaya a destinar está fijado en la tabla de suelos de la S.O.P., que se presenta más adelante.

d) Valor relativo de soporte (Prueba Porter).-

Los resultados de esta prueba, nos relaciona la resistencia a la penetración del espécimen con la de la muestra patrón, utilizándose dicho dato como una medida de la capacidad para resistir las cargas exteriores a la que estarán expuestas los suelos.

A continuación se mencionan las especificaciones, que en general deben llenar los materiales usados como base de pavimentos en caminos y aeropuertos:

1). De granulometría al igual que todos los materiales que se utilizan de revestimiento, siendo recomendable que la curva granulométrica del material en estudio quede comprendida entre el límite superior de la zona 2 y el límite inferior de la zona 1.

II) De contracción lineal y valor cementante según los indicados en el cuadro siguiente:

ZONA EN QUE SE CLASIFICA EL
MATERIAL DE ACUERDO CON SU
GRANULOMETRIA

	1	2	3
-Contracción lineal en %	4.5 max	3.5 max	2 max
-Valor cementante en Kg/ cm ² para materiales an- gulosos	4.5 min.	3.5 min	2.5 min
-Valor cementante en kg/ cm ² para materiales re- dondeados y lisos :	7 min	5 min	4 min ,

III) De valor Relativo de Soporte:

Estos dependen de la intensidad del tránsito esperado y son valores dados en 1

a) En caminos para un tránsito inferior a 600 vehículos de 3 tons. o más 50 min.

b) En caminos para tránsito superior a 600 vehículos de 3 o más tons 80 mínimo.

c) En aeropuertos para operación ilimitada de aviones con peso máximo de 13,620 kgs 50 min.

d) En aeropuertos para operación limitada de aviones con peso máximo de 36,230 kgs 65 min.

e) En aeropuertos, para operaciones ilimitadas, de aviones con pesos máximo de 36,230 kgs 80 min.

2) Espesores Insuficientes.-

Se considera que el espesor del revestimiento es insuficiente, cuando el conjunto de base y subbase no alcanza el espesor mínimo calculado para esa terracería o bien cuando el espesor de la base no alcanza a satisfacer el requerido por el material de la subbase, según su Valor Relativo de Soporte.

3) Baja Compactación.-

La baja compactación en los materiales de base y subbase, es una de las causas más graves para fallas en la estructura de un pavimento, ya que al existir, origina que después al paso del tránsito sobre esta superficie de rodamiento existan reacomodos en el material, que ocasionen asentamientos diferenciales fuertes, por la Secretaría, que se encuentran en el propio banco, intercalado con el material aprovechable. También se considera como desperdicio el residuo del cribado.

Una vez que se ha escogido el material aprovechable se clasifica en los siguientes términos:

- Materiales que no requieren trituración ni cribado.
- Materiales que requieren cribado.
- Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados.
- Materiales que requieren ser triturados totalmente y cribados.

Los materiales que no requieren trituración ni cribado, son los siguientes:

- a) Material poco o nada cohesivo (limos, arenas, gravas, etc.) que al extraerlo quede suelto y que no contenga más del cinco por ciento de partículas mayores de cincuenta y un milímetros.

b) Material cohesivo (tepetates, caliches, conglomerados, aglomerados, etc) que al extraerlo resulte con terrones, que puede disgregarse por el peso del equipo mecánico y que, una vez disgregado, no contenga más de cinco por ciento de partículas mayores de cincuenta y un milímetros.

Los materiales que requieren cribado, son los siguientes:

a) Material poco o nada cohesivo (mezclas de gravas, arenas y limos), que al extraerlo quede suelto y requiera cribado por una malla para eliminar hasta el veinticinco por ciento de desperdicio de tamaño mayor de cincuenta y un milímetro.

b) Material poco o nada cohesivo (mezcla de gravas, arenas y limos), que al extraerlo quede suelto y que requiera ser cribado por la malla de cincuenta y un milímetros y por la malla de seis milímetros, para clasificarlo.

Los materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados son los siguientes:

a) Material poco o nada cohesivo (mezclas de gravas, arenas y limos), que al extraerlo quede suelto y contenga más de 25% de partículas de tamaño mayor de 51 mm. y que deban ser trituradas y cribadas a través de la malla de 38 mm.

b) Material cohesivo (caliche, roca alterada, conglomerados, aglomerados, etc), que al extraerlo resulte con terrones que puedan disgregarse por el peso del equipo mecánico, pero que contenga más del 5% de partículas de tamaño mayor de 51 mm. Estos materiales requieren trituración y cribado por la malla de 38 mm sin que previamente deban disgregarse por el peso del equipo mecánico.

Los materiales que requieren trituración total y cribado, son los siguientes:

a) Piedra extraída de mantos de roca, de calidad adecuada y que requiera ser triturada y cribada a través de la malla de 38 mm.

b) Piedra de pepena, de calidad adecuada, que se encuentre suelta y que requiera ser triturada y cribada a través de la malla de 38 mm.

c) Piedra de calidad adecuada, que se encuentre suelta en depósitos y que requiera ser triturada y cribada a través de la malla de 38 mm.

Como se dijo en el capítulo 4 son 2 tipos de bases para pavimentos de concreto que se usan, y 1 tipo para asfáltico.

Comparando estas bases con la recomendada podemos ver las siguientes diferencias en lo que concierne a la propuesta para losa de concreto.

- Menor espesor total de la base usada con la propuesta; aunque esta diferencia no es muy grande en algunos casos, siempre es menor que el mínimo recomendado, lo que puede traer consecuencias.

- Menor espesor de la losa de concreto; esto puede provocar cuarteaduras por humedad y temperatura.

- Diferente $f'c$ de los concretos, simplemente se consideró que para el tipo de cargas de diseño un $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ era más adecuado.

- El empedrado sin juntear usado en una de las bases, da una especie de soporte firme a la losa y esto ayuda a su capacidad de carga, debido

a que el mortero se cuele por las juntas y une de alguna manera el empedrado a la losa. Aun así, depende mucho de una capa muy angosta de material de base sobre la arcilla.

- A la toba usada para las bases se le hizo algunos zondeos y dejó mucho que desear como material susceptible de uso para base, era muy mezclado y en algunos casos no tenía la compactación requerida.

- En lo que se refiere a la base para carpeta asfáltica tiene una profundidad bastante adecuada, y el material usado junto con los requerimientos de compactación se considera suficiente para una carpeta satisfactoria. Aun así considero que hubo un desperdicio de material al usar una base de 1 mt. total de profundidad, siendo que el terreno no demanda tanto.

CAPITULO 6.-

" CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES."

- CONCLUSIONES

Como se vió a la largo de la tésis, el problema es causado en su mayor parte por la construcción de una base inapropiada para el tipo de suelo existente en la región.

Pero es justo mencionar que no tan sólo los problemas de la base con las causas de todas las fallas, también se encontró que en el caso de losas de concreto, el espesor de estas era inapropiado para el tipo de concreto, además la resistencia a la compresión del concreto es baja, y si se checa el módulo de ruptura del concreto este será muy bajo.

Otra característica que se encontró, es que el terreno de la región es objeto de grandes variaciones de volúmen al cambiar el contenido de humedad, y aunque la presión de expansión del terreno puede llegar a ser de cierta manera considerable el hecho de que el contenido natural de agua de la región sea tan alto hace que si la cantidad de agua aumenta a partir de ese punto la presión desarrollada no será de ninguna manera considerable; de esto se deduce que con mantener el porcentaje de agua estable no se tendrán problemas con el terreno. Esto no llega a ser problema pues la ciudad esta en la zona del lago de Chapala; pero de todos modos se consideró necesario mantener un equilibrio de humedad entre el terreno natural y el material escogido como base, y para esto se hizo uso de una capa de filtro.

Por último en la parte de los comentarios, se dirá que el espesor de la base para algunos de los pavimentos no era apropiada para controlar las variaciones del terreno, además de que existe la posibilidad de fallas en el proceso de construcción, como compactación inapropiada, material mal seleccionado para la construcción.

No se considera necesario mencionar todos los casos acontecidos en pavimentos sobre arcillas expansivas, sea necesario decir que en estos grupos de casos, fue obvio que las técnicas de excavación y reemplazamiento no son una panacea a menos que toda o una considerable profundidad del estrato expansivo pueda ser removido de manera que el hinchamiento sea tolerable o mínimo.

Desafortunadamente, este es pocas veces el caso. El reemplazamiento debe ser con un material más o menos impermeable para evitar el proveer rutas de acceso a la humedad para el hinchamiento de la subbase.

La técnica de aplicar cargas pesadas para contrarrestar la presión de expansión no ha sido aplicada con generalidad a pavimentos debido a que el peso del pavimento es usualmente insuficiente.

Las barreras de humedad se han ampliado en uso como una forma efectiva para controlar los cambios de volúmen. En casos como el de regiones áridas, donde la humedad superficial, ya fuera por escurrimiento o hidrogénesis, es la fuente de infiltración, membranas asfálticas o pavimentos asfálticos de profundidad total son efectivos. No obstante, en casos donde la humedad de capilaridad o altas tablas de agua precluden sello efectivo de la subbase expansiva de acumulaciones de humedad, las membranas obviamente son inefectivas, productos asfálticos parecen ser el material más usado para membranas.

En algunos lugares de los Estados Unidos como Texas y Mississippi se ha intentado el aumentar el contenido de humedad del material mediante una técnica llamada "encharcamiento" para así minimizar subsecuente hinchamiento con mucho éxito. Pero el uso exitoso de este método requiere de una extensiva cadena de fisuras y grietas. Arcillas naturales relativamente impermeables no responderán bien a esta técnica. El uso de hoyos, coladeras de arena

o trincheras sin encharcar generalmente es inefectiva; no obstante, cuando son usadas con el método pueden llegar a ser beneficiosas. Después de llevar a cabo este método, la estabilización con limos es comunmente usada para proveer una plataforma de trabajo y una barrera de humedad impermeable para prevenir la disecación del área. Algunas previsiones deben tomarse para prevenir pérdidas de humedad.

Limos continúan siendo la manera más efectiva y usada como aditivo para reducir características de hinchamiento de arcillas expansivas. En adición al convencional mezclado en el lugar o tratamiento superficial, limo en hoyo-taladro, LSPI, y técnicas de paleado profundo han sido usados con éxito. Estudios de campo muestran que la migración de limo de los agujeros de taladro es limitado a la periferia del hoyo. El beneficio primario surge de un incremento en el contenido de humedad del material alrededor del hoyo (limo ayuda a la migración del agua) y como manera de aliviar las presiones expansivas laterales.

No obstante, controversial, LSPI es una manera efectiva de controlar el hinchamiento bajo ciertas circunstancias. Estas circunstancias son la existencia de fisuras extensivas y grietas donde la mezcla puede ser inyectada.

Compactación del suelo a bajas o medianas densidades a contenidos de agua superiores al óptimo puede reducir las presiones de hinchamiento o cambio de volumen de arcillas compactadas.

Equipo de compactación productor de acción de rodillo y correspondiente dispersión de estructura, como rodillo de pata de cabra son apropiados.

Una última anotación dependiente a todo tipo de base es que las características de resistencia y deformabilidad se satisfacen con una

capa de material que se encargue de distribuir los esfuerzos de tal modo que a la subrasante lleguen en niveles tolerables, que no produzcan falla, ni asentamientos u otras deformaciones perjudiciales.

Esta capa debe estar formada por materiales friccionantes que son las más adecuadas para llenar esta función estructural, esta capa es la base.

En pavimentos delgados es recomendable el uso de bases ligeramente arcillosa que garantizan una perfecta consolidación y estabilidad.

En los pavimentos flexibles gruesos deben tratar de evitarse hasta donde sea posible la presencia de arcilla en las bases.

Como regla general, las bases para pavimentos gruesos, debe de ser de características francamente arenosas y en caso de ser necesario agregar algun cementante para su consolidación es de recomendarse mejor el uso de productos asfálticos, ya sea en forma de riegos de penetración o mezclados con el material de revestimiento, y evitar el uso de cementantes arcillosos y sobre todo de los de alto indice de plasticidad o fuerte contracción lineal.

La razón de lo anterior radica en que, cuando se tiene un exceso de partículas de arcilla, en una mezcla, ya sea natural del suelo, obien de revestimiento, estas partículas absorberán suficiente cantidad de agua para resbalar entre sí y actuar como lubricantes, más que como cementante, resultando así inestable bajo el tráfico.

- RECOMENDACIONES

Se dan las siguientes recomendaciones para la cons-

trucción y reparación de los caminos en la zona. Se ha demostrado que cuanto más alta es la humedad en un estrato de arcilla montmorillonita menor es la presión de expansión y el porcentaje de cambio volumétrico.

Se encontró que la humedad natural del terreno es de 50% lo que reduce la presión de expansión considerablemente, al aumentar la cantidad de agua en el lugar; y la posibilidad de cambios bruscos en esta humedad es bastante improbable debido a la locación y situación atmosférica de la zona.

También se dijo que una de las maneras de contrarrestar los efectos de arcillas expansivas es la de proveer una carga muerta lo suficientemente grande para detener la expansión. Lo siguiente nos lleva a las siguientes recomendaciones para la construcción de bases:

- Para calles y avenidas secundarias en la ciudad, se recomienda asegurar un espesor de al menos 40 cms, además de utilizar los materiales y procedimientos recomendados en el capítulo 3 de esta tesis.

- Para carreteras y vías de importancia que pasan por la ciudad y/o zona se recomienda una estabilización de limos con el siguiente procedimiento:

Para pavimentos de concreto, la práctica aconsejable es la de modificar al menos 15 cms superiores de la capa. Un procedimiento similar es aconsejable para pavimentos flexibles. La modificación de los 15 cms superiores ha demostrado ser muy efectiva para los casos en que existen presiones diferenciales.

Se pueden usar 1 de los dos métodos que a continuación se recomiendan para aplicar la capa de limo hidratado:

- A mano por costales de 25 kg.
- A chorro de mezcla de limo y agua.

Aunque a continuación se darán las especificaciones para cada caso, se cree conveniente explicar en donde está la diferencia. El principal inconveniente de la operación con costales, es el hecho de que el limo se aplica en seco, por lo que una nube de polvo es levantada colestando así en zonas residenciales; mientras con la aplicación a chorro, debido a que el limo se aplica con el agua al mismo tiempo, se evita ese problema y se reduce el número de operaciones. Ahora que, el costo inicial de la planta mezcladora, debe de estar justificada en ese ahorro. También el método a chorro es problemático en suelos cuya humedad está por arriba del óptimo.

Siendo este el caso (alta humedad) aquí se aconseja aplicación por costales, no obstante la decisión final se dejará al encargado de la obra.

PREPARACION DEL TERRENO:

Es la misma para los dos casos; el terreno debe ser escarificado a la profundidad deseada (al menos 15 cms) y pulverizado hasta que esté libre de grumos de más de 10 cms.

Una vez aplicado el limo (ya sea a chorro o a costal) se mezcla con el terreno, con una motoconformadora para después ser sellado con rodillo neumático o de acero. Esta operación debe hacerse al 20% de humedad en el terreno o superior.

La mezcla se deja por lo menos 48 horas y es remezclada y, si es necesario, se añade agua para mantener el nivel en 20%. El material se compacta con rodillo pata de cabra, hasta que el rodillo deje de penetrar; la superficie terminada se deja curar por 7 días, con riegos esporádicos para mantener humedad (si es necesario).

USANDO COSTALES DE 25 KGS.

El espaciamiento de costales es dado por la siguiente

te formula:

$$L = \frac{250,000}{h \times d \times p} \text{ metros}$$

donde

d = densidad del suelo compactado (kg/cm³)

p = % por masa de limo en capa tratada

h = profundidad de la capa tratada

l = espaciamiento de filas centro a centro de costales espaciados 1 mt. centro a centro a través del camino.

En este caso con una profundidad de 15 cms y una concentración del 5% $L = 2$ mts.

UTILIZANDO APLICACION A CHORRO.

La concentración a usarse en este caso es de 1 ton. métrica por cada 2,000 litros de agua, lo que da 2,500 lts de chorreo. El gasto de chorro debe ser aproximadamente 150 m³/hora. Cualquier método que se use dará los resultados adecuados para estabilización.

La estabilización se recomienda por el simple hecho de que por su importancia se desea minimizar lo más posible la posibilidad de reparación o mantenimiento del camino, lo que conllevaría a la necesidad de cerrar la arteria parcial o totalmente al tráfico, y el costo de llevar a cabo esta operación en un futuro justifica el extra que la estabilización original puede costar. Para los caminos y calles secundarias este costo no es justificable, y en este caso vale la pena arriesgar la posible necesidad de una futura estabilización.

- El material a usarse en la construcción esta sugerido en la tesis con los bancos para el mismo, asi como el tratamiento que se le debe dar a este antes de usarse.

- Es obvio que un buen control de calidad debe de mantenerse durante la construcción de nuevas vfas para evitar fallas por mala calidad en la construcción, que tristemente es una de las principales razones por estas en el estado.

- Si el pavimento es rígido, se recomienda un espesor mínimo para la losa de 17 cms y la resistencia del módulo de ruptura debe ser asegurada a 35 kg/cm².

Reparación de los caminos ya construidos es altamente dependiente del estado de deterioro en el que se encuentren al momento de la reparación. Para los pavimentos de concreto que han fallado, y tomando en cuenta el costo-beneficio de una operación mayor se recomienda que a cada losa fallada se le haga una sustitución completa, utilizando las mismas propiedades que se recomendaron para las nuevas. Esta operación será de bajo costo comparada con cualquier otra, y mantendrá una superficie uniforme de rodamiento. Aunque este tipo de solución no conlleva una reparación a la base, las fallas a pavimentos de concreto que se vieron no fueron tan numerosas como para justificar el costo de un tratamiento completo de la base.

Lo mismo se puede decir de los caminos asfálticos, aunque aqui los daños eran un poco mas notables, el levantar toda la capa superficial para tratar la base y el costo y molestias que esto produce podrán no ser justificables dependiendo de la importancia de la vfa. Lo más factible es crear un programa de mantenimiento que se encargue de sellar cualquier falla que se presente.

Una recomendación secundaria se da a continuación, esta es de tipo abierta, si se tienen los recursos y materiales necesarios esta puede ser una solución que se pruebe aceptable a largo plazo en cuanto a reducción en el costo de futuro mantenimiento.

Para caminos construidos que ya han fallado se recomienda lo siguiente:

- A las bases de calles y vías secundarias de cualquier tipo de pavimento que han fallado (y a cualquier camino nuevo, construido con los métodos aquí descritos y que por cualquier razón fallen) se recomienda, para evitar el tener que levantar toda la capa, una estabilización electrocinética.

Este método ha demostrado ser muy efectivo para reducir la expansibilidad de arcillas ricas en montmorillonita. La adición de clorhidro de calcio además de un agente humedecedor (o agua natural en el terreno) bajo un gradiente eléctrico provee iones de potasio para colapsar elementos de la arcilla y alterar el potencial expansivo de la misma. Sin embargo, es dudoso que otro tipo de arcillas pueda ser tratado con estas técnicas. El espaciamiento del electrodo, corriente y gradiente de voltaje, junto con la concentración de la solución de iones variará con el sitio y deberá ser, establecido antes del tratamiento.

Las ecuaciones que se deben usar para obtener los requerimientos de flujo y poder son:

$$Q = ke \frac{2 \cdot Vt}{\ln s/r}$$

$$N = \frac{2 \cdot V^2 t}{p} \cdot \frac{1}{\ln s/r}$$

donde

t = longitud de electrodo (sumergido en el terreno)

s = distancia entre electrodos

r = radio del electrodo

V = voltaje

ke = coeficiente de permeabilidad (cm²/sec. volt)

p = resistencia específica del suelo

Dependiendo de la permeabilidad inicial tres posibles tratamientos se recomiendan.

- a) 2×10^{-4} - 6×10^{-7} adición de silicato de sodio
- b) 2×10^{-6} y menor adición de clorhidro de calcio
- c) 6×10^{-7} y menor no es necesario añadir nada, endurecimiento autógeno sucede.

Las propiedades generales de este suelo tratado son mayor resistencia al cortante y menor hinchamiento.

Una última recomendación es la de escoger selectivamente losas en pavimentos que no han fallado para hacer pruebas de módulo de ruptura y PCA, así como extracción de corazones para checar el f'c del concreto.

Estas son todas las recomendaciones que se dan para la construcción y reparación de bases en la zona. Un último comentario es que como en todas las obras, la calidad del producto es importante, por lo que un buen control de calidad es imperativo.

BIBLIOGRAFIA.-

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

Las Carreteras Modernas

E. Neuman

Editorial Labor, S.A.

Construcción de Carreteras

A. Heeb y A. Kolmel

Editorial Labor.

Mecánica de Suelos

Eulalio Juárez Badillo y Alfonso Rico Rodríguez
Limusa.

Carreteras Calles y Aeropistas

Raúl Valle Rojas

El Ateneo.

Agenda Técnica Agrícola

S.A.R.H.

Pavimentos de Caminos y Aeropuertos

Ing. Jesús González Hermosillo

Escuela Nacional de Ingeniería UNAM.

Instructivo Para Ensaye de Suelos

Secretaría de Recursos Hidráulicos

Editado por la Dirección de Información

Ingeniería de Carreteras

Clarkson H. Oglesky & Laurence L. Hewest

Editorial Continental, S.A.

S.R.H., Distrito de Riego No.24
Boletín Informativo "La Ciénega de Chapala".

Fundamentos de la Mecánica de Suelos
Donald W. Taylor
Editorial C.E.C.S.A.

Mecánica de Suelos
T. William Lambe y Robert V. Whitman
Editorial Limusa.

Especificaciones Generales de Construcción
Secretaría de Obras Públicas.

Reportes de la Oficina Urbanística Municipal
Sahuayo, Michoacán.

American Society For Testing Materials
Committee D-18 On Soils For Engineering Purposes
Procedures For Testing Soils
1958

Highway Materials, Soils And Concretes
Harold N. Atkins
Prentice - Hall Company

Notes For Short Course In Properties Of Soils And
Applications To Highway Construction.
Pickering, H.P.

A Review Of Engineering Experiences With Expansive
Soils In Highway Subgrades.

D.R. Snethen And Others.

U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station

June 1975, Interim Report.

Pavements On Expansive Clays

G. Kassif, M. Livneh, G. Wiseman.

1969 Jerusalem Academic Press.