



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

" A R A G O N "

INGENIERIA

VARIACION DE LA RESISTENCIA DE UNA
GRAVA-ARENA AL VARIAR EL CONTENIDO
DE FINOS DE DIFERENTE PLASTICIDAD

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

EFREN MÁRCOS BORJA GASPÁR

San Juan de Aragón, Edo. de Méx.,

1984.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	T E M A	Página
	Introducción.....	1
Capítulo 1	Antecedentes.....	4
Capítulo 2	Planeación de la investigación.....	21
Capítulo 3	Características de los materiales.....	23
	Granulometría del material matriz.....	24
	Plasticidad del material matriz.....	29
	Características de los materiales cementan-- tes.....	36
Capítulo 4	Ejecución de la investigación.....	47
	a).- Granulometría de las mezclas.....	48
	b).- Plasticidad de las mezclas.....	58
	c).- Valor cementante de las mezclas.....	64
	d).- Prueba de Porter Estandar.....	68
	1).- Humedad óptima de compactación.....	69
	11).- Peso volumétrico seco máximo.....	73
	111).- Expansión.....	77
	IV).- Valor relativo de soporte.....	80
Capítulo 5	Conclusiones.....	85
	Bibliografía.....	88

Introducción

En la construcción de una obra vial en países con un desarrollo económico atrasado, es necesario utilizar en lo posible los materiales existentes en la región, con objeto de disminuir los acarreos, que en general es el aspecto más costoso de la obra; - si estos materiales no cumplen con todos los requisitos que requieren las especificaciones, se debe estudiar la posibilidad de acondicionarlos mediante tratamientos para hacerlos económicamente aceptables, en comparación con otros de mejor calidad pero no existentes en el lugar.

Cuando los materiales no cumplen los requisitos necesarios se les puede sujetar a tratamientos que hagan mejorar sus características, uno de ellos es la estabilización que es el mejoramiento de las características de un suelo mediante la adición de una pequeña porción de un agente estabilizante y que dicho aumento no debe verse reducido al saturar los materiales.

Con la estabilización de un suelo se mejora su calidad, haciendo que la capa de la obra vial distribuya mejor los esfuerzos que le son transmitidos de una forma mucho más efectiva a las capas subsecuentes.

Los esfuerzos que soportan los materiales son menores a medida que se localizan en una posición más profunda; es por ello que la calidad de los materiales puede ser menor, mientras mayor es la profundidad en que se encuentran, y por lo que las especi-

ficaciones que se requieren de las terracerías son menores a las de los pavimentos, siendo éstas capas a las que se les imponen las condiciones más estrictas.

Se entiende por pavimento al conjunto de capas constituidas por materiales seleccionados, que proporciona una superficie de rodamiento adecuada, que resista los esfuerzos originados por el tránsito y los transmita, adecuadamente distribuidos, a las terracerías.

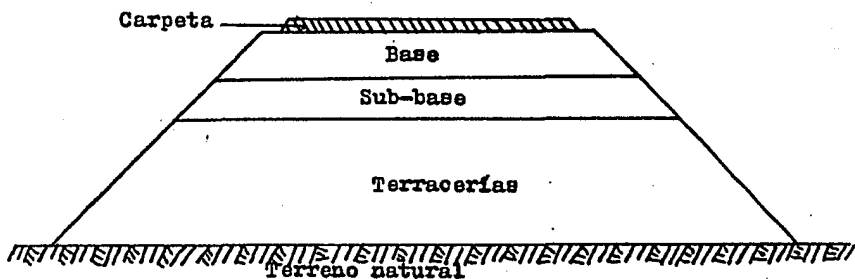


Figura 1

El pavimento se construye sobre las terracerías que están formadas por la capa subrasante y el cuerpo del terraplén y toda la estructura se apoya en el terreno natural.

Las capas que generalmente constituyen un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y sub-base, la primera es una capa delgada que resiste las cargas impuestas por el tránsito en forma directa y los transmite a la base, las otras dos capas son de material natural o triturado.

Los materiales para base deben de ser de buena calidad, ya que ésta capa de pavimento tiene gran importancia dentro del funciona

miento de la obra vial.

Las funciones principales de la base son las siguientes:

A).- Estructurales: recibir y resistir los esfuerzos del tránsito que le son transmitidos a través de la carpeta asfáltica y a la vez transmitirlos adecuadamente distribuidos a las capas inferiores.

B).- Drenantes: impedir el ascenso capilar del agua y permitir el paso de la que se pueda infiltrar desde la carpeta.

Cuando se tienen carpetas asfálticas delgadas y la base construida con material inerte, las partículas que quedan en la parte superior de ésta última capa carecen de confinamiento y como resultado se tiene deformaciones transversales de manera continua que se verán reflejados en la superficie de rodamiento; una forma de contrarrestar este efecto es estabilizando el suelo que se utiliza en su construcción.

Para estabilizar un suelo o material, principalmente de base existen varios agentes como por ejemplo; cal, cemento portland y productos asfálticos.

El cemento portland se debe utilizar siempre que las carpetas sean de concreto asfáltico, aunque el tránsito sea ligero.

Otra forma de estabilizar un suelo es mediante la adición de material fino de baja plasticidad, que haga que se modifiquen las características originales del suelo con que se cuente.

La finalidad de éste trabajo es conocer cual es la acción de los finos al ser incluidos en materiales granulares, ya que existen diversas opiniones al respecto.

CAPITULO 1

Antecedentes.

Desafortunadamente en México existen muchos suelos que en su estado natural no son adecuados para la construcción de carreteras por no reunir las características necesarias, y los que hay generalmente se encuentran a distancias bastante alejadas de la obra en cuestión.

La estabilización de suelos surge como una solución aceptable a este gran problema, puesto que resulta más factible y económico alterar o cambiar las propiedades de los materiales existentes en el lugar, de tal manera que se obtenga una calidad adecuada que traer un material de buena calidad de una distancia considerable.

Respecto al uso de materiales cementantes existen varios criterios.

1.- Las carpetas asfálticas que sirven como superficie de rodamiento requieren de una base que les proporcione una sustentación estable y adecuada, todo esto para que resista satisfactoriamente las cargas que recibe del tránsito en forma directa.

(Referencia 1)

Para la construcción de la base de pavimentos en caminos de bajo tránsito no es conveniente utilizar solamente material inerte, puesto que las carpetas que se utilizan son de pequeño espesor (2 a 7) centímetros, lo cual no le da suficiente confinamiento a la siguiente capa, por lo que su resistencia, princi

palmente a los esfuerzos tangenciales es muy pequeña, por esto es que los materiales de base deben estar adecuadamente cementados y proporcionar, como ya se mencionó anteriormente una sustentación adecuada a las carpetas delgadas.

Para que los materiales inertes que se utilizan en la construcción de una base puedan absorber adecuadamente los esfuerzos transmitidos, es necesario mezclarle pequeñas cantidades o porcentajes de material cementante al pétreo, el cual deberá tener índices plásticos menores del 12%, o sea contracción lineal de 4.5%, generalmente estos materiales son: limos, caliches, silicatos o arenas arcillosas, todos estos materiales deben de ser de baja plasticidad.

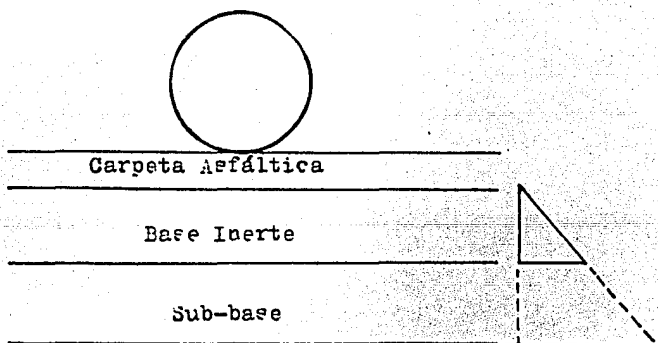


Figura 1-1

Conforme las partículas se encuentran a una mayor profundidad tienen un mejor confinamiento y por lo tanto una mejor resistencia.

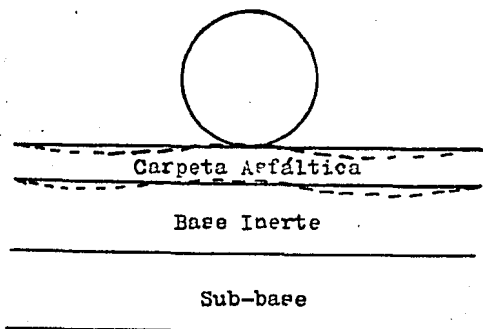
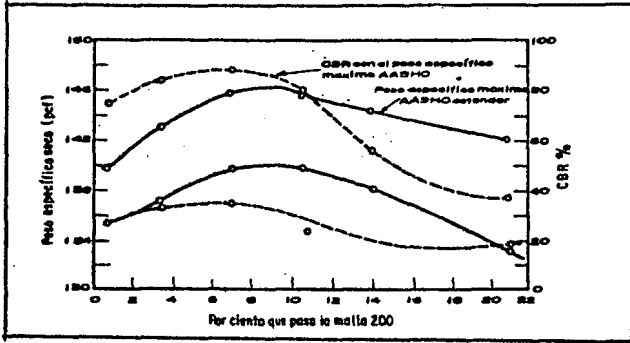


Figura 1-2

Cuando la carpeta es delgada y el material no está cementado, las partículas que quedan arriba carecen de confinamiento, por lo tanto sufre deformaciones transversales de manera continua por no tener resistencia lateral.

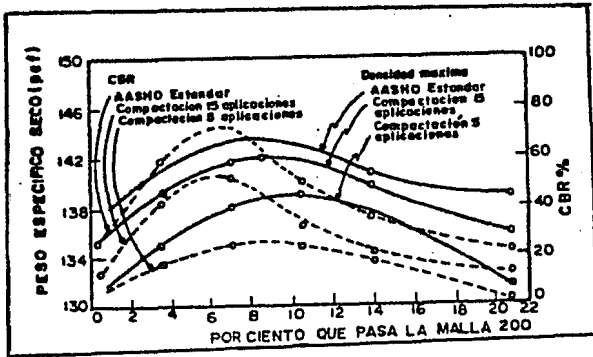
Con la inclusión de ciertos porcentajes de material cementante en los materiales inertes, se tiene como resultado un aumento en el valor cementante, les da un cierto confinamiento a las partículas superiores que componen a la base, y lo más importante, se incrementan el peso específico seco y el valor relativo de soporte, pero con la condición de que se deberá tener especial cuidado de no abusar en el uso de estos cementantes, porque cuando nos dan por resultado contracciones lineales altas en vez de mejorar al material matriz, se pueden obtener mezclas con valor relativo de soporte o plasticidad fuera de especificaciones. Fig.

Por otro lado debe hacerse incapié que si se tienen carpetas de concreto asfáltico de espesores delgados debe tomarse en cuenta la construcción de la base, ya que si se tienen materiales



Gráfica 1-1

Variación del peso específico y CBR con la cantidad de finos (piedra triturada)



Gráfica 1-2

Variación del peso específico y CBR con la cantidad de finos (grava)

que no reúnan las características necesarias y el proceso constructivo no es el adecuado los esfuerzos horizontales que se presentan en la interfase de la carpeta y la base aumentan en forma considerable, puesto que los vehículos no son cargas estáticas, ya que al moverse inducen esfuerzos horizontales en la dirección del movimiento, y como los módulos de elasticidad de este tipo de carpeta con respecto a las bases naturales son muy diferentes, las carpeta tienden a agrietarse con mucha facilidad

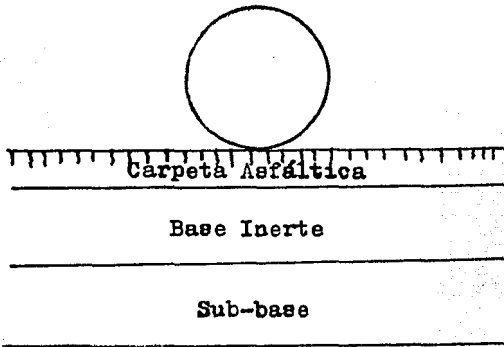


Figura 1-3

Quando los módulos de elasticidad de la carpeta con respecto a la base son muy diferentes, la superficie de rodamiento sufre agrietamientos con mucha facilidad.

Al cementar adecuadamente una base para carpeta asfálticas delgadas tenemos.

A).- Sustentación adecuada a las carpeta, capaz de resistir los esfuerzos horizontales sin que se tengan deformaciones -

transversales de manera continua.

B).- Aumentar la eficiencia de la operación de compactación - pues un material inerte requiere más energía para alcanzar un - cierto grado de compactación que el mismo material cementado ade cuadamente.

C).- Facilidad de mantenimiento en la etapa de construcción.

D).- Aumento de la resistencia general de los materiales.

Se aclara que la principal función es la del inciso A), y los in cisos B) y C) son secundarios.

Respecto al inciso D) podemos decir que al incrementar el con tenido de material cementante, la resistencia aumenta hasta un - máximo para luego disminuir, lo cual sucede sin que ésta baje en forma brusca, esto mismo sucede aún si se utilizan materiales - con índices plásticos altos, sin embargo en este último caso el aumento es menor y la resistencia tiende a disminuir con mayor - velocidad.

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA		
	1	2	4
Límite líquido, en por ciento	30 Máx.	30 Max.	30 Máx.
Contracción lineal, en por ciento.	4.5 Máx	3.5 Max.	2.0 Máx.
Valor cementante, para materiales angulosos, en kg/cm ²	3.5 Mín.	3.0 Mín	2.5 Mín.
Valor cementante, para materiales redondados y lisos, en kg/cm ²	5.5 Mín.	4.5 Mín	3.5 Mín.

Tabla 1-1

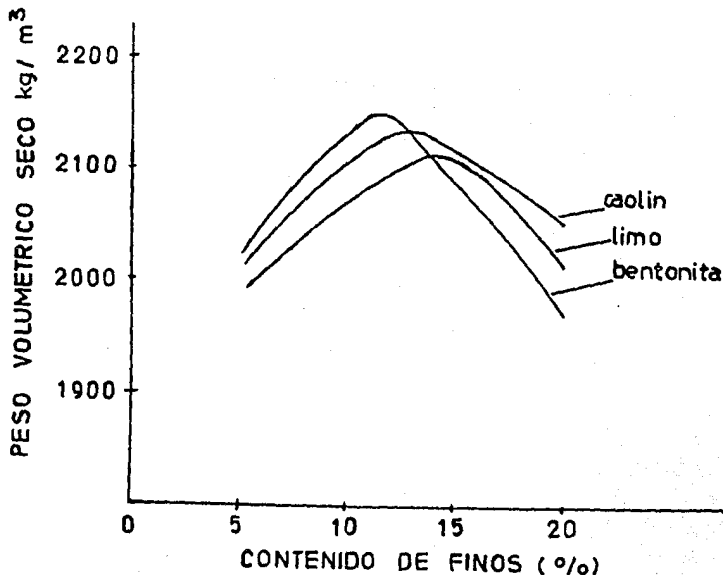
Especificaciones generales de construcción

2.- Otra tendencia (Referencia 2) es la siguiente.

La base de pavimentos necesita para exhibir un buen comportamiento ante las cargas que le son transmitidas una resistencia de tipo friccionante, combinada con un nivel adecuado de deformabilidad y con una permeabilidad adecuada para garantizar buenas características de drenaje, estos requerimientos llevan a aconsejar que la base este formada por materiales friccionantes puros, sin finos, pues la presencia de éstos perjudica las cualidades de deformación, permeabilidad y drenaje necesarios para el material que se utiliza en la construcción de la base.

De acuerdo a la referencia dos (2) se llevaron a cabo algunos trabajos; los materiales que se utilizaron como cementantes de los inertes para la realización de las pruebas fueron los siguientes: limo (CL-ML), caolinita y bentonita; la influencia de los finos en el comportamiento mecánico fué estudiada y realizada en dos formas distintas, la primera fué de humedad de compactación similar a la óptima y la segunda de humedad de saturación eventual que se pudiera tener en el campo.

De este estudio se obtuvieron las siguientes conclusiones: el peso volumétrico máximo del material para construir la base crece en forma considerable al incluirle un cierto porcentaje de material cementante, siendo del orden del 10 al 15%, dependiendo de la plasticidad de los materiales finos, la inclusión de porcentajes mayores trae como consecuencia el decrecimiento del peso volumétrico y el deterioro de propiedades fundamentales



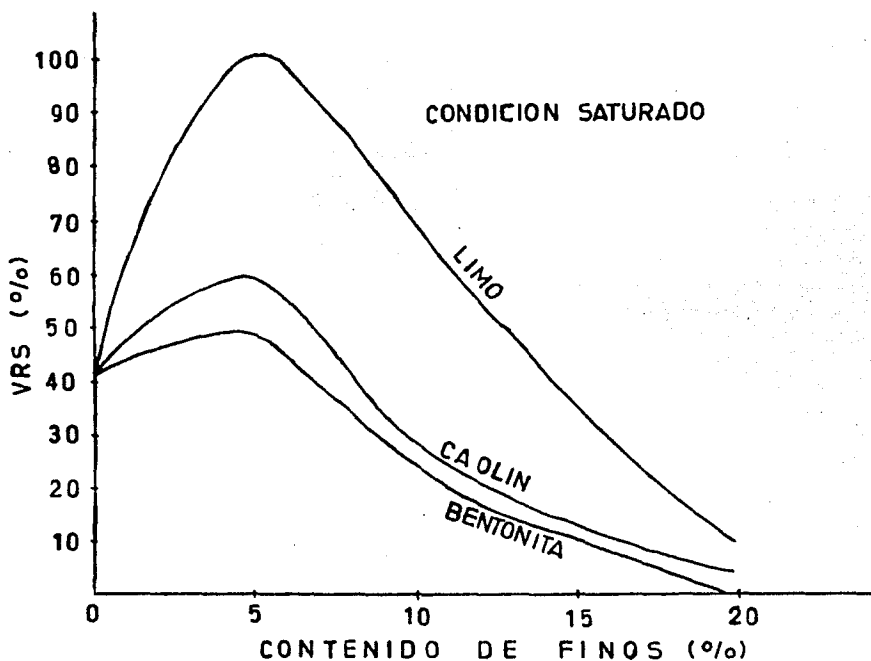
Gráfica 1-3

Puede apreciarse claramente en la gráfica la evolución de el peso volumétrico seco máximo de un material granular, cuando a este se le incluye porcentajes de finos de diferente plasticidad.

Por otra parte cuando se tienen materiales bien graduados es necesario mezclarle pequeños porcentajes de material cementante con el fin de aumentarle la resistencia, pero con la condición de que no se deberá abusar de los porcentajes de finos, ya que a mayor cantidad de finos la resistencia decrece proporcionalmente, por lo tanto la cantidad de materiales finos deberá ser aproximadamente del 5 al 10% en peso, dependiendo de la plasticidad de estos.

El aumento del valor relativo de soporte con pequeños porcentajes de finos de baja plasticidad hace ver la influencia de la

granulometría, en este concepto se sugiere la conveniencia de lograr materiales muy bien graduados como resultado de la trituración de las matrices pétreas que se usan en la construcción de bases, para mejorar el valor relativo de soporte del material - sin necesidad de añadirse posteriormente materiales que sirvan como cementantes.



Gráfica 1-4

En esta gráfica puede observarse la influencia hasta cierto porcentaje que tiene el material cementante en el valor relativo de soporte, en la construcción de la base.

Los autores de este trabajo afirman que es muy peligroso disminuir la resistencia y aumentar la deformabilidad de los materiales con la inclusión de finos, ya que con los actuales métodos o recursos que se utilizan en la compactación permiten trabajar muy convenientemente con los materiales granulares y que la tendencia a soltarse en la parte superior de la capa se puede contrarrestar eficazmente con riegos de protección de carácter provisional y con la carpeta en forma definitiva.

Desde luego indican que lo anterior es tanto más cierto cuanto más alto sea el tránsito del camino y no se excluye la posibilidad de utilizar finos en porcentajes adecuados y de naturaleza probablemente inerte, para fines de estabilización mecánica en caminos donde el tránsito es bajo y con carpeta de espesor delgado.

Así mismo las conclusiones obtenidas afirman lo siguiente.

A).- La incorporación de material fino al que ha sido triturado para la base disminuye la resistencia y aumenta la deformabilidad de estas capas, de las que ambos requisitos son elementales.

B).- El deterioro de las propiedades de los materiales triturados crece muy rápidamente con la plasticidad de los finos incorporados y con su cantidad. Tal parece que los finos arcillosos deben de ser radicalmente excluidos y que porcentajes superiores al 5 y 8% de cualquier clase son nocivos.

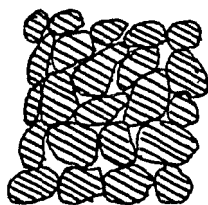
C).- El efecto de los finos parece ser particularmente dañino en la capacidad de generación de resistencia de las mezclas, dentro de niveles de deformación tolerables. Independientemente de que la evolución de las envolventes de falla hace ver que la re-

istencia al corte se abate en forma drástica cuando crece la -
proporción de finos, los que probablemente generan las situacion
nes más peligrosas son aquellos casos en que la mezcla aún es -
capaz de dar la respuesta resistente que se le demanda, pero e-
llo se logra a niveles de deformación que se antojan fuera de -
toda prudencia.

3).- Una tercera tendencia (Referencia 3) es la siguiente. Una de las propiedades más importantes en el suelo es su resistencia y uno de los factores que mayor influencia tienen sobre ella es la distribución granulométrica de las partículas del suelo, sin menospreciar a la forma y textura de éstas. La resistencia de un suelo se ve entonces influenciada por la proporción de los agregados gruesos y finos que éste contenga.

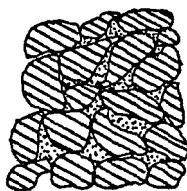
En la figura 1-4 se muestran tres (3) estados físicos de un suelo y algunas de sus propiedades.

Figura 1-4



(a)

material sin finos



(b)

material con finos
suficientes para llenar los huecos



(c)

material granular con gran porcentaje de finos.

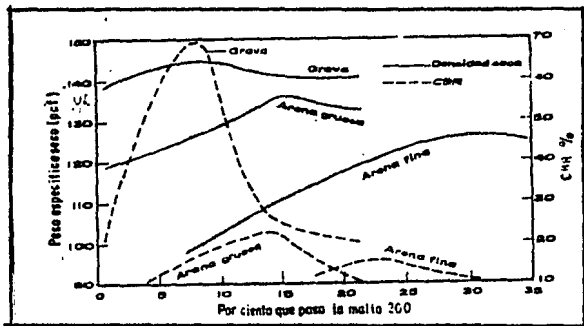
Como se puede apreciar en el inciso (a) un suelo sin finos es permeable y no susceptible a la acción de las heladas, sin embargo este material presenta problemas de trabajabilidad du

rante el periodo de construcción debido a su naturaleza no cohesiva. (b).— Un suelo que contiene los finos suficientes para llenar todos los huecos o vacíos entre las partículas obtendrá su resistencia al contacto directo entre las partículas, pero la presencia de finos hará que se tenga una mejor distribución de los esfuerzos que en el caso de un suelo sin finos; el peso volumétrico es alto, su permeabilidad es baja, y puede ser susceptible a la acción de las heladas, éste material presenta algunos problemas de compactación, pero es ideal desde el punto de vista de la estabilidad ya que tiene una resistencia al esfuerzo cortante relativamente alta para materiales tanto confinados como sin confinar. (c).— En el caso de que el material o suelo contenga una gran cantidad de finos, la transmisión de los esfuerzos no se efectuará a través de los contactos entre las partículas gruesas, las cuales prácticamente flotarán en el suelo fino y por consiguiente el comportamiento general del suelo será el correspondiente al de las partículas finas; el peso volumétrico de éste material es en general bajo, es prácticamente impermeable y susceptible a la acción de las heladas, la estabilidad de este tipo de suelo se ve gravemente afectada por cambios de humedad.

El peso volumétrico y el valor relativo de soporte resultan mayores a medida que se tienen granulometrías más gruesas, pero el contenido óptimo de finos decrece, es decir, que a medida que el material es más grueso el contenido óptimo de finos es menor, como puede verse en la gráfica 1-5

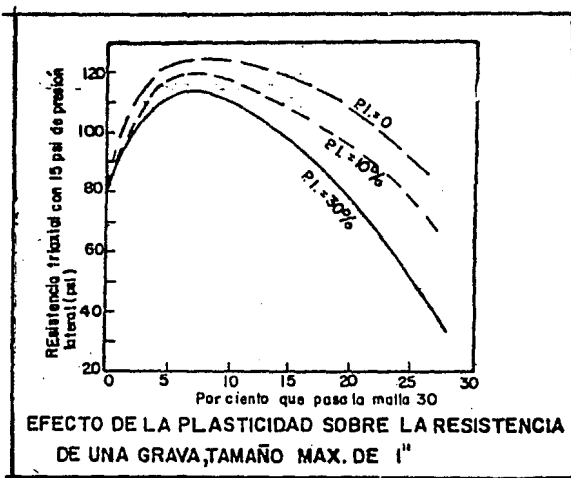
Por otro lado la plasticidad de los finos tiene también una importancia decisiva en el comportamiento de un suelo, especial

mente cuando se destruye el contacto directo entre las partículas. En la gráfica 1-6 se muestra que el efecto más pronunciado del valor relativo de soporte corresponde al suelo con mayor plasticidad. Es también muy importante notar que el suelo más favorecido por la adición de finos es aquel en que éstos presentaron las características de plasticidad más bajas y que un exceso considerable de finos nos pueden conducir a valores relativos de soporte muy bajos que pueden ser inclusive menores que aquellos que tienen una carencia total de finos.



Gráfica 1-5

Con la inclusión de finos en materiales tales como gravas, arenas gruesas y arenas finas, sus características se incrementan.



Gráfica 1-6

En las conclusiones se tiene que:

Es muy importante tener en cuenta que el material grueso de un suelo forma una estructura, que en su conjunto es más resistente mientras menor es el volumen de huecos; las partículas gruesas son las que resisten los impactos y el desgaste, por lo que deben tener características necesarias para ello.

El material fino (limos o arcillas) pueden admitirse en porcentajes adecuados, pero se debe tener en cuenta que se pueden producir al saturarse el material lubricaciones, expansiones, o lo que es más grave, reducciones importantes en la resistencia, razones éstas últimas que nos pueden inclinar a la condición de no introducir ningún suelo a un agregado grueso, máxime si el material fino es de alta plasticidad.

El índice plástico del suelo fino debe de ser menor a medida que la precipitación pluvial sea más alta y que el drenaje sea deficiente ya que de ésta forma las posibilidades de saturación son mayores.

También cuando se va a colocar sobre el suelo en cuestión un tratamiento impermeable, debe tomarse en cuenta que habrá más posibilidades de saturación por capilaridad, y por consiguiente debe exigirse también en estos casos que el índice plástico sea bajo.

Cuando se tienen climas calurosos pueden considerarse índices plásticos mayores, sobre todo si se tienen buenas condiciones de drenaje. Por otra parte es conveniente que el material fino utilizado en estabilizaciones mecánicas tenga un límite líquido que no exceda al 25%.

Todas las ilustraciones y gráficas que aparecen en éste capí

tulo corresponden a Yoder.

Cabe mencionar que el M. en I. Fernando Olivera Bustamante se ñala que la base para carpetas asfálticas de espesor delgado deben tener suficiente sustentación, por lo tanto suficiente valor cementante, pero tomando en cuenta que los materiales deben satisfacer las especificaciones de valor relativo de soporte y plasticidad.

Por otra parte los ingenieros A. Rico y Juan M. Orozco en el trabajo realizado por ambos, indican lo siguiente:

La resistencia de los materiales se disminuye con la inclusión de finos, pero aunque el estudio está realizado con materiales de mayor plasticidad que los que se usan comunmente en la práctica para cementar materiales, las gráficas (porcentaje de finos contra resistencia) indican que la resistencia si disminuye, pero después de haber alcanzado un máximo.

El Ing. Carlos Fernandez Loaliza, señala que la resistencia será mayor cuando el número de huecos sea menor, siempre y cuando el material grueso no se encuentre flotando dentro del fino y sin especificar porcentajes indica que: se pueden utilizar materiales finos para mejorar las características de los gruesos en la construcción de la base, sin embargo llega a una recomendación ilógica de que la mejor condición es no introducir ningún suelo a un agregado grueso, máxime si el agregado fino es de alta plasticidad.

CAPITULO 2

Planeación de la investigación

Como se mencionó en el capítulo anterior, en la construcción de carreteras, existe cierta divergencia en torno a la inclusión de materiales finos en los que se utilizan en la construcción de bases para pavimentos flexibles, que pueden ser triturados o naturales.

Cuando la base es de materiales puramente friccionantes se presentan los siguientes problemas: la capacidad de carga superficial es casi nula, no son fácilmente compactables y no se conservan fácilmente. Es muy difícil que conserven el acomodo original debido a los esfuerzos tangenciales que se producen al pase de los vehículos en caminos con carpeta asfáltica delgada.

Para solucionar éste problema, es necesario adicionarle pequeños porcentajes de material fino de baja plasticidad al granular para que la mezcla tenga un mejor confinamiento en la parte superior, y por otro lado asegurar que distribuya los esfuerzos que le son transmitidos de una mejor forma.

La resistencia de un material o de una mezcla depende de la distribución granulométrica de las partículas gruesas y finas, de la proporción en que intervengan y de su propia dureza.

La mezcla debe de ser de tal manera que los huecos que quedan entre las partículas gruesas sean ocupadas por los finos, cuando las primeras quedan totalmente aisladas entre sí por un exceso de material fino sus características pueden reducirse, por lo que es necesario que se estudie éste efecto variando el porcenta

je de finos en las mezclas para la construcción de bases.

Asimismo el efecto que causan los finos en una mezcla puede depender de la plasticidad de los cementantes que se le agregen, por lo que en la realización de éste trabajo se utilizó material pétreo triturado y como cementantes tres (3) tipos diferentes, - como son: tepetate, material fino de la zona de Teotihuacán y material fino del Lago de Texcoco.

Las mezclas que se realizaron son las siguientes:

SERIE 1.- Es una combinación de la matriz con tepetate en porcentajes de 5, 10, 15, 20, 25 y 30%

SERIE 2.- Proviene de combinar la matriz con porcentajes de 5, - 10, 15, 20, 25 y 30% de material fino de la zona de Teotihuacán

SERIE 3.- Es la combinación del material matriz con material fino del Lago de Texcoco en porcentajes de 5, 10, 15, 20, 25 y 30%

Siendo todos los porcentajes en peso.

A los materiales utilizados, así como a las mezclas se les determinaron sus características de granulometría, plasticidad y contracción lineal.

Clasificadas las mezclas se les determinaron su valor cementante, su humedad óptima, su expansión, su peso volumétrico máximo y su valor relativo de soporte (VRS), estas cuatro (4) últimas características serán determinadas por medio de la prueba de Porter Estandar.

Obtenidos éstos valores se determinarán los efectos causados y las conclusiones de la inclusión del material fino de baja plasticidad en bases que sirven de cimentación a las carpetas asfálticas delgadas.

CAPITULO 3

Características de los materiales

Con el objeto de cuantificar la influencia de los materiales cementantes incluidos en las bases para cimentación, se hizo un estudio, en el cual se trabajó exclusivamente con un material - que se tomó como matriz y otros tres (3) que fueron cementantes.

El material matriz es una mezcla de grava-arena con un tamaño máximo de agregados de una pulgada (1"), los suelos que se utilizaron como cementantes son materiales naturales con diferente plasticidad, los cuales son: tepetate, material fino de la zona de Teotihuacán y material fino del lago de Texcoco.

Las mezclas se realizaron tomando como base la matriz, a la cual se le agregaron ciertos porcentajes de materiales cementantes, como se enumeran a continuación.

SERIE 1.- Es una combinación de la matriz con tepetate en porcentajes de 5, 10, 15, 20, 25 y 30% respectivamente.

SERIE 2.- Proviene de la combinación del matriz con material fino de la zona de Teotihuacan en proporciones de 5, 10, 15, 20, 25 y 30%

SERIE 3.- Es una combinación del matriz con porcentajes de 5, 10, 15, 20, 25 y 30% respectivamente de material fino del lago de Texcoco. Todos los porcentajes son en peso.

Para poder saber las características de los los materiales, tanto matriz como cementantes se les hicieron las pruebas de clasificación: de granulometría y de plasticidad, como a continuación se describen.

Granulometría del material matriz. Para sacar las características del material matriz, se estudió primero el que es retenido en la malla número 4, y posteriormente el que pasó dicha malla.

A).- Material retenido en la malla número 4. Después de homogeneizar bien el material, por medio de cuarteos se llegó a la cantidad aproximada de 8.81 kgs., que a su vez es representativa de la muestra total de 400kgs., posteriormente tomando en consideración las especificaciones generales de construcción, se hizo pasar dicha cantidad por las mallas de 1" (25.4mm), 3/4" (19.1mm), 3/8" (9.52mm) y número 4 (4.76mm), para facilitar esta operación se le imprimió a las mallas o crias un movimiento lateral y vertical que produjeron una vibración para mantener al material en constante movimiento.

Las porciones retenidas en cada una de las mallas mencionadas, así como la porción que pasó la criba número 4 se pesaron en una balanza con sensibilidad de un (1) gramo, anotándose los resultados obtenidos, los pesos de las porciones retenidas en cada criba se expresaron como porcentajes del peso de la muestra total.

Para cada criba considerada, se calculó el por ciento de retenido acumulativo, sumando los porcentajes de retenido en las cribas de abertura mayor con el retenido de dicha criba. Cada uno de los porcentajes de retenidos acumulativos deberán restarse de cien (100) para obtener, para cada una de las cribas, el porcentaje en peso de partículas que pasaron las mismas.

En la tabla 3-1 puede verse el análisis granulométrico del material que es retenido en la malla número 4.

Malla	Peso Retenido Parcial grs.	% Retenido Parcial.	% Retenido Acumulado.	% Que Pasa la Malla.
2° 25.4mm	164.7	$\frac{164.7}{8814.1} \times 100 = 1.87$	= 1.87	100 - 1.87 = 98.13
19.1mm	1503.1	$\frac{1503.1}{8814.1} \times 100 = 17.05$	1.87 + 17.05 = 18.92	100 - 18.92 = 81.08
9.52mm	2689.7	$\frac{2689.7}{8814.1} \times 100 = 30.51$	18.92 + 30.51 = 49.43	100 - 49.43 = 50.57
Número 4.	1252.2	$\frac{1252.2}{8814.1} \times 100 = 14.21$	49.43 + 14.21 = 63.64	100 - 63.64 = 36.36
Para Núm. 4	3204.4	$\frac{3204.4}{8814.1} \times 100 = 36.36$	63.64 + 36.36 = 100	
Suma	8814.1	100.00		

Tabla 3-1

Análisis granulométrico del material matriz (que es retenido en la malla número 4)

B).- Material que pasa la malla número 4. Para saber las características granulométricas del material que pasa la malla número 4, primero se obtuvo por cuarteos la cantidad de 571.80 grs. del porcentaje que pasodicha malla.

Esta muestra se colocó en un vaso metálico de 500 centímetros cúbicos y se le añadió 200 más de agua, dejandose posteriormente en reposo durante las siguientes 24 horas. Después de ese tiempo se procedio a lavar la muestra a traves de la malla número 200, agitando el contenido del vaso con una varilla durante 15 segundos en forma de 8, y dejando reposar durante los siguientes 30 segundos dicho contenido, posteriormente se decantó

sobre la malla todo el material en suspensión, así sucesivamente se repitió el proceso todas las veces que fué necesario, hasta que el agua salió limpia. A continuación se devolvió al vaso de metal el material fino que se retuvo en la malla, utilizando un poco de agua, que se decantó al final de la operación.

Se secó en el mismo vaso todo el material que se retuvo en la malla número 200 en el horno a (100-110) grados centígrados hasta alcanzar peso constante, después se hizo pasar a través de las siguientes mallas: número 10 (2mm), 20 (0.84mm), 40 (0.42mm), 100 (0.149mm) y 200 (0.074mm).

Malla	Peso Retenido Parcial grs.	% Retenido P. inicial.	% Retenido Acumulado.	% Que Pasa La Malla.
10(2mm)	171.7	$\frac{171.7}{571.8} \times 100 = 30.03$	= 30.03	$100 - 30.03 = 69.97$
20(0.84mm)	145.2	$\frac{145.2}{571.8} \times 100 = 25.39$	$30.03 + 25.39 = 55.42$	$100 - 55.42 = 44.58$
40(0.42mm)	140.1	$\frac{140.1}{571.8} \times 100 = 24.50$	$55.42 + 24.50 = 79.92$	$100 - 79.92 = 20.08$
100(0.149mm)	65.1	$\frac{65.1}{571.8} \times 100 = 11.39$	$79.92 + 11.39 = 91.31$	$100 - 91.31 = 8.69$
200(0.074mm)	30.7	$\frac{30.7}{571.8} \times 100 = 5.37$	$91.31 + 5.37 = 96.68$	$100 - 96.68 = 3.32$
Para la 200	19.0	$\frac{19.0}{571.8} \times 100 = 3.32$	$96.68 + 3.32 = 100.00$	
Suma	571.8	100.00		

Tabla 3-2

Análisis granulométrico del material matriz
(que pasa la malla número 4)

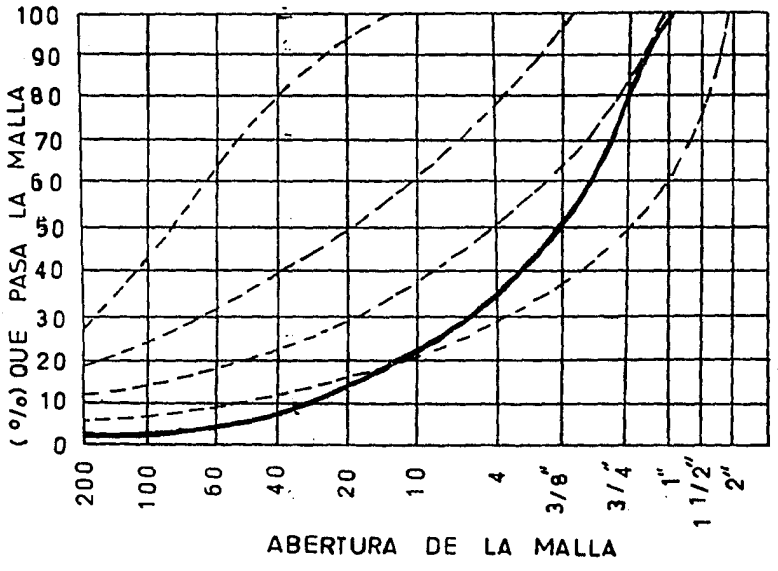
El cálculo de la composición granulométrica se realizó como si fuera material que es retenido en la malla número 4, pero con la diferencia de que el porcentaje que paso la criba en cuestión se multiplica por el porcentaje que pasó la malla número 4, para hacer la correlación con la granulometría de gruesos.

En la tabla 3-3 y en la gráfica 3-1 se observan las propiedades de granulometría del material matriz, tanto del que es retenido en la malla número 4 como el que pasa.

Malla	% Que pasa la malla
25.4mm(1")	98.13
19.1mm(3/4")	81.08
9.52mm(3/8")	50.57
Número 4	36.36
10 (2mm)	$0.3636 \times 69.97 = 25.44$
20 (0.84mm)	$0.3636 \times 44.58 = 16.21$
40 (0.42mm)	$0.3636 \times 20.08 = 7.30$
100 (0.149mm)	$0.3636 \times 8.69 = 3.16$
200 (0.074mm)	$0.3636 \times 3.32 = 1.20$

Tabla - 3-3

Características granulométricas del material matriz.



Gráfica 3-1

**Curva granulométrica del material matriz
mezcla de (Grava-Arena)**

Plasticidad.— La plasticidad es una propiedad de los materiales que les permite cambiar su forma sin agrietarse cuando se les sujeta a una presión, reteniendo su nueva forma cuando desaparece el esfuerzo aplicado. Para su determinación fué necesario hacer las pruebas de Atterberg y contracción lineal, con las primeras se obtuvieron los límites de consistencia, los cuales son: el límite líquido, que se define como el estado de un suelo para el cual se considera que existe una división entre las consistencias plástica y semilíquida, límite plástico es el estado en que se considera que existe una división entre las consistencias plástica y semisólida de un suelo.

El índice plástico o índice de plasticidad es la diferencia aritmética entre el límite líquido y el límite plástico.

Preparación de la muestra.— Del volumen total se obtuvo por cuarteos la cantidad de 5562 gramos, que es representativa del total, posteriormente se hizo pasar esta muestra por la malla número 40, el material que pase la criba se puso a saturar en un vaso metálico durante las 24 horas siguientes a fin de que pusiera de manifiesto su plasticidad, y así poder sacarles tanto sus límites de consistencia como su contracción lineal.

Ejecución de las pruebas.

Límite líquido.— Para la determinación de esta prueba fué necesario contar con el siguiente equipo; una capsula de porcelana, una espátula, una copa de Casagrande, una balanza de un centésimo de gramo de sensibilidad, vidrios de reloj y un horno de temperatura constante entre cien y ciento diez (100-110) grados de temperatura; posteriormente se tomo una muestra de 450 gramos del material preparado y se puso en la capsula de porcelana ha—

ciendolo homogéneo, manipulandolo con la espátula, sin aplicar - una presión excesiva, una vez logrado lo anterior se colocó en - la copa de Casagrande en cantidad ligeramente excedida, de mane- ra que cuando se extendió por medio de la espátula se tuvo en el centro un espesor de un centímetro.

El material se extendió del centro hacia los extremos, una - vez nivelado con la espátula se dividió en mitades utilizando el ranurador; para hacer más facil la ranura se hizo un corte con - la espátula en forma de "V" y después se termino con el ranura- - dor, todo esto es por si el material tiene características aren- sas.

Posteriormente accionando la manivela, se hizo caer la copa - desde una altura de un centímetro, a razon de dos golpes por se- gundo, si al dar veinticinco (25) golpes hay una liga íntima de los bordes inferiores de la ranura en una longitud de trece (13) milímetros, la humedad del material está en su límite líquido, - si el número de golpes para cerrar la ranura es superior de vein- ticinco (25) golpes, la humedad de la muestra es inferior al lí- mite líquido, debiendose entonces retirar el material de la copa juntarlo al que quedo en la cápsula y agregar una pequeña canti- dad de agua, manipulandolo con la espátula hasta lograr una dis- tribución uniforme de la misma, posteriormente se repitió el pro- cedimiento cuantas veces fué necesario, hasta que la ranura ce- rró trece (13) milímetros a los veinticinco (25) golpes.

Cuando la humedad de la muestra ensayada resulto superior al límite líquido, es decir, si el número de golpes necesario para cerrar la ranura fué inferior a veinticinco (25), entonces se de- jo evaporar el agua removiendo constantemente el material con la

espátula, la prueba se repitió el número de veces necesario hasta lograr que con los veinticinco (25) golpes se cerrara la ranura en forma especificada.

La humedad que contiene la muestra en estas condiciones es precisamente la del límite líquido. Para su determinación se tomó una muestra del material del centro de la copa y se puso en el vidrio de reloj para pesarlo, posteriormente se seco en el horno hasta peso constante, pasado ese tiempo se sacó su peso seco, aparte se pesó el vidrio de reloj; con estos datos se calculó el límite líquido como a continuación se describe.

$$W_1 = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_t} \times 100$$

Donde:

W_1 = Humedad del límite líquido (%)

P_1 = Peso de la muestra húmeda + peso del vidrio de reloj

P_2 = Peso de la muestra seca + peso del vidrio de reloj

P_t = Peso del vidrio de reloj

Con esta fórmula y con los resultados obtenidos durante la prueba se llegó al resultado siguiente.

$$P_1 = 52.47 \text{ gramos}$$

$$P_2 = 46.72 \text{ gramos}$$

$$P_t = 19.73 \text{ gramos}$$

$$W_1 = \frac{52.47 - 46.72}{46.72 - 19.73} \times 100 = 21.30\%$$

Límite plástico.- Para su obtención fué necesario contar con el siguiente equipo: una espátula, dos placas de virio, la primera de (40x40x1.5) cms. y la segunda de (11x11x1.5) cms., esta última con dos cinchos paralelos de alambre de tres punto dos (3.2) milímetros de diámetro y una balanza de un centésimo de gramo de sensibilidad.

Para la realización de ésta prueba se tomo una muestra del material con la humedad del límite líquido, con la que se formo una bola de doce (12) milímetros de diámetro aproximadamente, la cual se moldeo con las manos dandosele una forma cilindrica que se colocó sobre la placa de vidrio grande, ahí se continuó el rodillado ejerciendo con la palma de la mano una presión muy ligera hasta que el cilindro alcanzó un diámetro ligeramente mayor de tres punto dos (3.2) milímetros, se continuó el rodillado utilizando la placa de vidrio que lleva los cinchos de alambre hasta alcanzar dicho diámetro especificado, si al alcanzar el diámetro el cilindro no se agrieto ni se rompió, su humedad es superior a la del límite plástico; por lo tanto se sigue el proceso hasta que por fin sufre agrietamientos o rompimientos, entonces la humedad es la correspondiente a la del límite plástico.

Para su determinación es necesario que al agrietarse o romperse los cilindros se coloquen en un vidrio de reloj y se pesen, para posteriormente ponerse a secar en el horno hasta que alcancen peso constante, pasado ese tiempo se obtiene el peso seco de la muestra así como el del vidrio de reloj.

Ya con estos datos se calculó la humedad del límite plástico como a continuación se describe.

$$W_2 = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_t} \times 100$$

Donde:

W_2 = Humedad del límite plástico

P_1 = Peso de la muestra húmeda + peso del vidrio de reloj

P_2 = Peso de la muestra seca + peso del vidrio de reloj

P_t = Peso del vidrio de reloj

Con esta fórmula se calculó el límite plástico

$$P_1 = 30.52 \text{ gramos}$$

$$P_2 = 28.64 \text{ gramos}$$

$$P_t = 19.58 \text{ gramos}$$

$$W_2 = \frac{30.52 - 28.64}{28.64 - 19.58} \times 100$$

$$W_2 = 20.75\%$$

Índice plástico.- Para su obtención se toma en cuenta que este queda expresado por la diferencia aritmética que existe entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo; por consiguiente tenemos que:

$$I_p = W_1 - W_2$$

$$I_p = 21.30 - 20.75$$

$$I_p = 0.55$$

El material matriz por ser inerte de hecho no contiene plasticidad.

Puede decirse que el índice plástico es una medida de la amplitud de la consistencia plástica del suelo.

Mientras mayor sea el índice plástico, mayor será también la variación de humedades para el cual el suelo presenta una consistencia plástica, ya que los límites (líquido y plástico) corresponden a los límites superior e inferior de dicha consistencia.

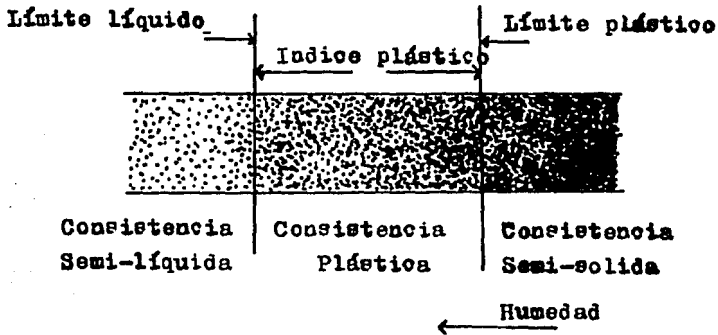


Figura 3-1

Consistencia plástica de un suelo

Contracción lineal.- Para su determinación fué necesario la ayuda del siguiente equipo: una cápsula de porcelana, una espátula, moldes de lámina galvanizada de (10x2x2) centímetros de dimensiones interiores, grasa, un calibrador y un horno con temperatura constante.

Se utilizó el material que sobro de la prueba del límite líquido, inmediatamente después de terminada ésta última, el procedimiento fué el siguiente: fué engrasado anteriormente el molde, para evitar que fuera a adherirse material a las paredes, el llenado se llevo a cabo en tres (3) capas, golpeando en cada ocasión el molde contra una superficie dura, tomándose por sus dos extremos, procurando siempre que el impacto lo reciba en toda su base, ésta operación se continuó hasta lograr la expulsión total del aire, al final se enrasó el material en el molde utilizando la espátula, posteriormente se metio la barra en el horno a secar durante el periodo de 18 horas aproximadamente, finalmente se midió la longitud de la barra de material seco así como la longitud interior del molde.

El cálculo de la contracción lineal se hizo de acuerdo con la siguiente formula.

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

Donde:

Cl = Contracción lineal con respecto a la longitud original de la barra de suelo húmedo.

L₁ = Longitud del molde o de la barra de suelo húmedo (cm)

L₂ = Longitud de la barra de suelo seco (cm)

De los resultados obtenidos en la realización de las pruebas tenemos la tabla 3-4

L.L	L.P.	I.P.	C.L.
21.30	20.75	0.55	0.00

Tabla 3-4

**Características plásticas del
material matriz.**

Características de los materiales cementantes.- El procedimiento que se llevo a cabo en estos materiales fué similar al del material matriz.

Granulometría.- Por ser materiales finos, el volumen total pa so por la malla número 4. su cálculo se realizo similar al material que es retenido en dicha malla.

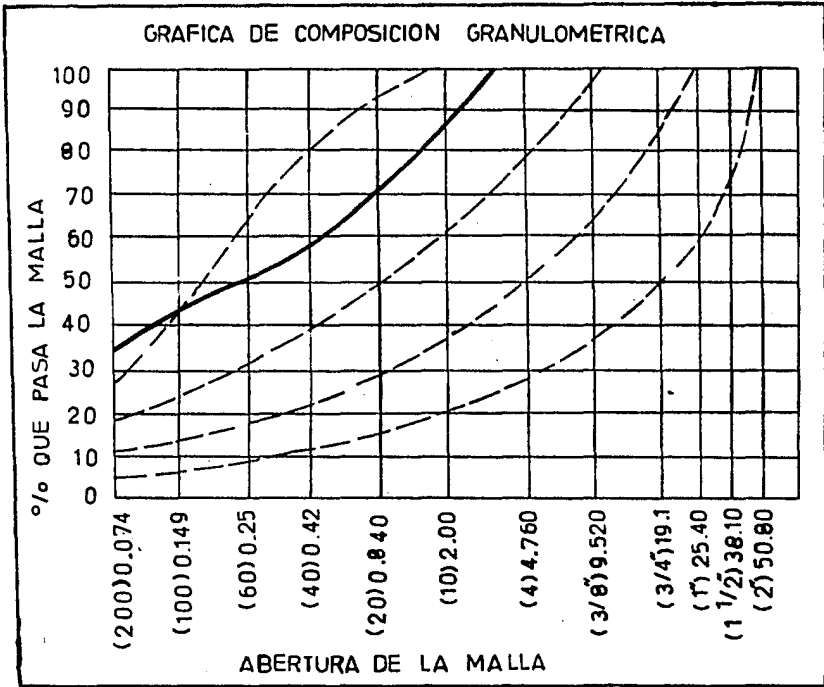
Las muestras representativas de los materiales cementantes fueron: 275.4 gramos de tepetate, 256.4 gramos de material fino de la zona de Teotihuacán y 237.8 gramos de material fino del Lago de Texcoco.

Las tablas 3-5, 3-6 y 3-7 muestran las características granulométricas de los materiales cementantes.

Malla	Peso Retenido Parcial grs.	% Retenido Parcial.	% Retenido Acumulativo.	% Que Pasa la Malla.
10	39.8	$\frac{39.8}{275.4} \times 100 = 14.45$	= 14.45	100 - 14.45 = 85.55
20	40.2	$\frac{40.2}{275.4} \times 100 = 14.61$	14.45 + 14.61 = 29.06	100 - 29.06 = 70.94
40	36.5	$\frac{36.5}{275.4} \times 100 = 13.25$	29.06 + 13.25 = 42.31	100 - 42.31 = 57.69
100	39.5	$\frac{39.5}{275.4} \times 100 = 14.34$	42.31 + 14.34 = 56.65	100 - 56.65 = 43.35
200	24.9	$\frac{24.9}{275.4} \times 100 = 9.04$	56.65 + 9.04 = 65.69	100 - 65.69 = 34.31
Para la 200	94.5	$\frac{94.5}{275.4} \times 100 = 34.31$	65.69 + 34.31 = 100.00	
Suma	275.4	100.00		

Tabla 3-5

Análisis granulométrico del Tepetate



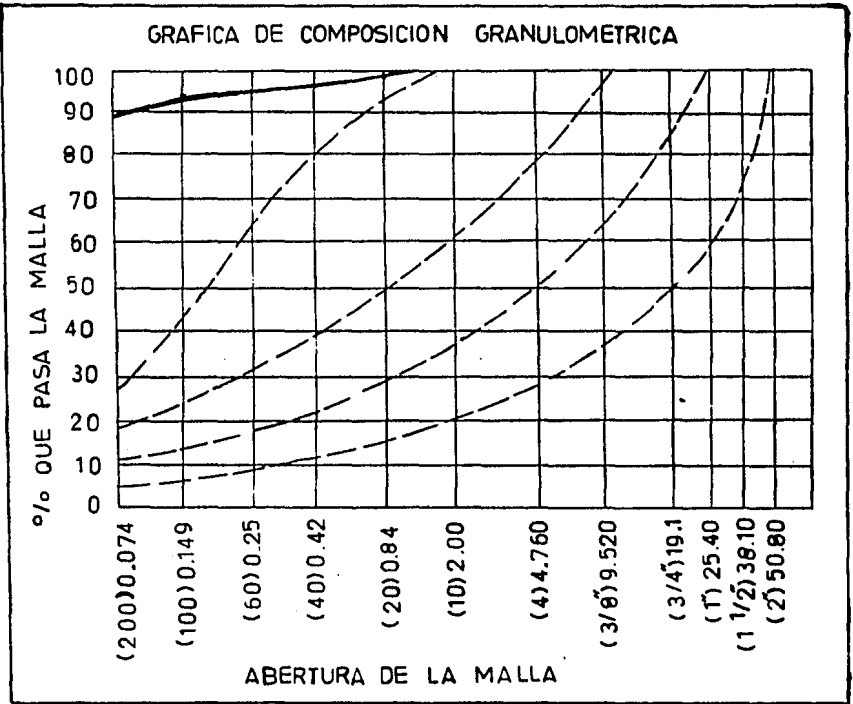
Gráfica 3-2

Curva granulométrica del TEPETATE.

Malla	Peso Retenido Parcial grs.	% Retenido Parcial	% Retenido Acu- mulativo	% Que pasa la Malla.
10	00.00	00.00	00.00	100.00
20	1.4	$\frac{1.4}{256.4} \times 100 = 0.55$	= 0.55	100 - 0.55 = 99.45
40	4.6	$\frac{4.6}{256.4} \times 100 = 1.80$	0.55 + 1.80 = 2.35	100 - 2.35 = 97.65
100	8.7	$\frac{8.7}{256.4} \times 100 = 3.39$	2.35 + 3.39 = 5.74	100 - 5.74 = 94.26
200	11.8	$\frac{11.8}{256.4} \times 100 = 4.60$	5.74 + 4.60 = 10.34	100 - 10.34 = 89.66
Pasa la 200	229.9	$\frac{229.9}{256.4} \times 100 = 89.66$		
Suma	256.4	100.00		

Tabla 3-6

Análisis granulométrico del material fino de la
zona de Textilmacón



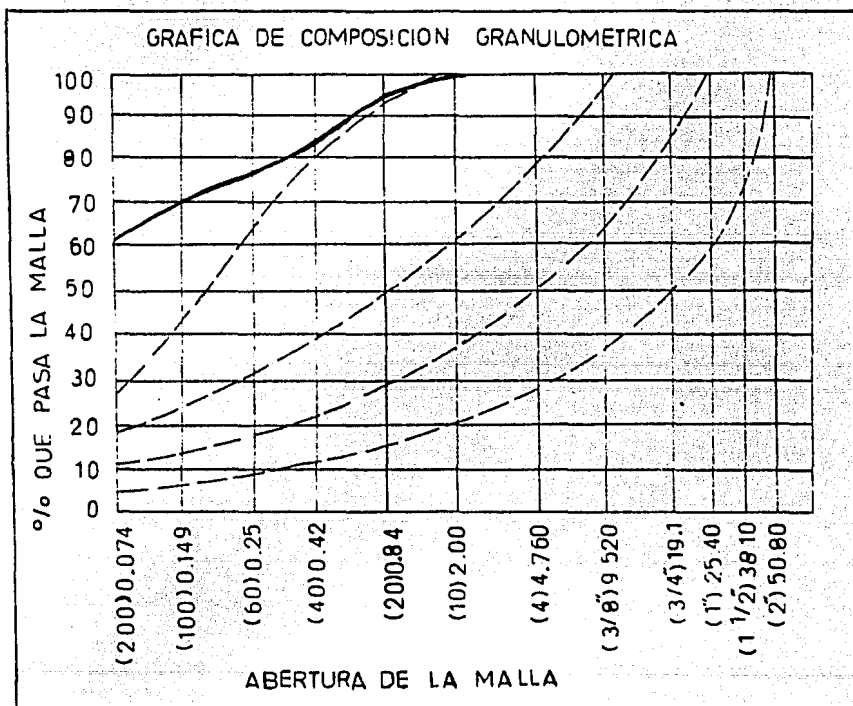
Gráfica 3-3

**Curva granulométrica del material fino de la zona
de TEOTIHUACAN.**

Malla	Peso Retenido Parcial grs.	% Retenido Parcial.	% Retenido Acumulativo	% Que Pasa la Malla
10	1.5	$\frac{1.5}{237.8} \times 100 = 0.63$	0.63	100 - 0.63 = 99.37
20	7.9	$\frac{7.9}{237.8} \times 100 = 3.32$	0.63 + 3.32 = 3.95	100 - 3.95 = 96.05
40	29.2	$\frac{29.2}{237.8} \times 100 = 12.28$	3.95 + 12.28 = 16.23	100 - 16.23 = 83.77
100	32.0	$\frac{32.0}{237.8} \times 100 = 13.46$	16.23 + 13.46 = 29.69	100 - 29.69 = 70.31
200	22.1	$\frac{22.1}{237.8} \times 100 = 9.29$	29.69 + 9.29 = 38.98	100 - 38.98 = 61.02
Para la 200	145.1	$\frac{145.1}{237.8} \times 100 = 61.02$		
Suma	237.8	100.00		

Tabla 3-7

Análisis granulométrico del material fino del
Lago de Texcoco



Gráfica 3-4

Curva granulométrica del material fino del Lago de
TEXCOCO.

Plasticidad de los materiales cementantes.- El procedimiento para obtener las características plásticas de los cementantes es el mismo que para la matriz.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TEPETATE.

Límite Líquido.

$$P_1 = 51.05 \text{ grs.}$$

$$P_2 = 44.34 \text{ grs.}$$

$$P_t = 26.31 \text{ grs.}$$

$$W_1 = \frac{51.05 - 44.34}{44.34 - 26.31} \times 100 = 37.21\%$$

Límite Plástico.

$$P_1 = 28.10 \text{ grs.}$$

$$P_2 = 27.67 \text{ grs.}$$

$$P_t = 26.16 \text{ grs}$$

$$W_2 = \frac{28.10 - 27.67}{27.67 - 26.16} \times 100 = 28.48\%$$

Índice Plástico.

$$I_p = 37.21 - 28.48 = 8.73$$

Contracción Lineal.

$$L_1 = 9.90 \text{ cms.}$$

$$L_2 = 9.70 \text{ cms.}$$

$$CL = \frac{9.90 - 9.70}{9.90} \times 100 = 2.2\%$$

MATERIAL FINO DE LA ZONA DE TEOHUACAN.

Límite Líquido.

$$P_1 = 62.45 \text{ grs.}$$

$$P_2 = 48.06 \text{ grs}$$

$$P_t = 19.46 \text{ grs.}$$

$$W_1 = \frac{62.45 - 48.06}{48.06 - 19.46} \times 100 = 50.31\%$$

Límite Plástico.

$$P_1 = 22.88 \text{ grs.}$$

$$P_2 = 22.11 \text{ grs.}$$

$$P_t = 19.47 \text{ grs.}$$

$$W_2 = \frac{22.88 - 22.11}{22.11 - 19.47} \times 100 = 29.17\%$$

Índice Plástico

$$I_P = 50.31 - 29.17 = 21.14$$

Contracción Lineal.

$$L_1 = 9.90 \text{ cms.}$$

$$L_2 = 8.80 \text{ cms.}$$

$$CL = \frac{9.90 - 8.80}{9.90} \times 100 = 11.11\%$$

MATERIAL FINO DEL LAGO DE TEXCOCO.

Límite Líquido.

$$P_1 = 63.64 \text{ grs.}$$

$$P_2 = 48.04 \text{ grs.}$$

$$P_t = 19.73 \text{ grs.}$$

$$W_2 = \frac{63.64 - 48.04}{48.04 - 19.73} \times 100 = 55.10\%$$

Límite Plástico.

$$P_1 = 27.57 \text{ grs.}$$

$$P_2 = 25.49 \text{ grs.}$$

$$P_t = 19.58 \text{ grs.}$$

$$W_2 = \frac{27.57 - 25.49}{25.49 - 19.58} \times 100 = 35.19\%$$

Índice Plástico.

$$I_p = 55.10 - 35.19 = 19.91$$

Contracción Lineal.

$$L_1 = 9.90 \text{ cms.}$$

$$L_2 = 9.00 \text{ cms.}$$

$$C L = \frac{9.90 - 9.00}{9.90} \times 100 = 9.09\%$$

Con los resultados obtenidos se hace la siguiente tabla.

Material	L.L	L.P.	I.P.	C.L.
TEPETATE	37.21	28.48	8.73	2.2
MATERIAL FINO DE LA ZONA DE TEOIHUACAN	50.31	29.17	21.14	11.11
MATERIAL FINO DEL LAGO DE TEXCOCO.	55.10	35.19	19.91	9.09

Tabla 3-8

Propiedades plásticas de los materiales cementantes.

CAPITULO 4

Ejecución de la investigación.

La influencia de los finos en el comportamiento mecánico de la base se estudió en el laboratorio por medio de las pruebas de granulometría, plasticidad, contracción lineal, valor cementante y porter estandar.

Las tres primeras pruebas fueron realizadas a los materiales por separado, como fueron descritas en capítulos anteriores, a las mezclas se les hicieron todas las pruebas, que son esenciales para la investigación.

Las mezclas realizadas se hicieron en torno al material matriz, al cual se le combino finos naturales de diferente granulometría y plasticidad, así como diferentes porcentajes de los mismos.

SERIE 1.- Es el resultado de la combinación de material matriz con el 5, 10, 15, 20, 25 y 30% de tepetate.

SERIE 2.- Proviene de combinar material matriz con el 5, 10, 15, 20, 25 y 30% de material fino de la zona de Teotihuacan

SERIE 3.- Es la combinación de material matriz con material fino del Lago de Texcoco en proporciones de 5, 10, 15, 20, 25 y 30%. Siendo todos los porcentajes en peso.

La investigación se realizo' a partir de las mezclas obtenidas, las cuales nos llevaran a los fines deseados.

a).- Granulometría de las mezclas.

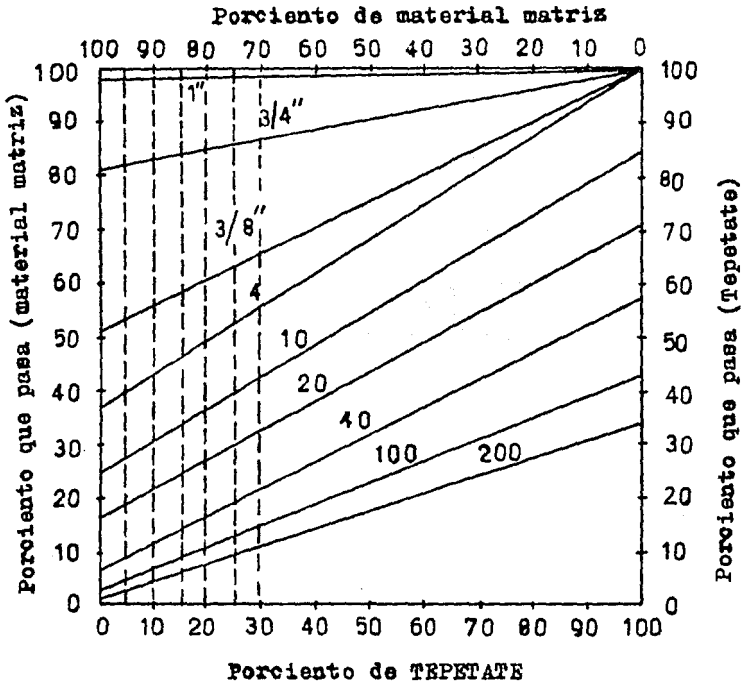
Para la obtención de las características granulométricas fué necesario ayudarnos con el método de solución gráfica, que trata - el caso de dos materiales.

Esto fué posible puesto que ya se conocían con anterioridad - las características de los materiales por separado.

En estos casos resulta más práctica la aplicación del método, que a continuación se indica.

Método de solución gráfica, caso de dos agregados.

- 1.- Se dibuja una figura cuadrada.
- 2.- Se dibujan escalas de 0 a 100 en los dos lados verticales de la figura, teniendo el 0 en la parte inferior y el 100 en la superior.
- 3.- En la abscisa superior se dibuja una escala reciproca a 100 de la escala en la abscisa inferior en donde se tiene origen a la izquierda.
- 4.- A partir de los datos granulométricos, se marcan los porcentajes que pasan de los diferentes tamaños del material "A", en la escala vertical de la derecha, y en la escala vertical de la izquierda los correspondientes porcentajes del material "B".
- 5.- Se conectan con líneas rectas los puntos correspondientes de los agregados "A" y "B" para un mismo tamaño. Se marcan las - líneas con el tamaño correspondiente.
- 6.- Si en algunos de los materiales hay tamaño que en el otro no existen, se mandan al 100% si son gruesos o al 0% si son - finos.



Gráfica 4-1

Análisis gráfico para el diseño de una granulometría. Caso de dos (2) materiales, material matriz con Tepetate.

7.- Se traza una línea vertical correspondiente a los porcentajes en que intervienen los materiales "A" Y "B"

8.- En la escala vertical la correspondiente granulometría.

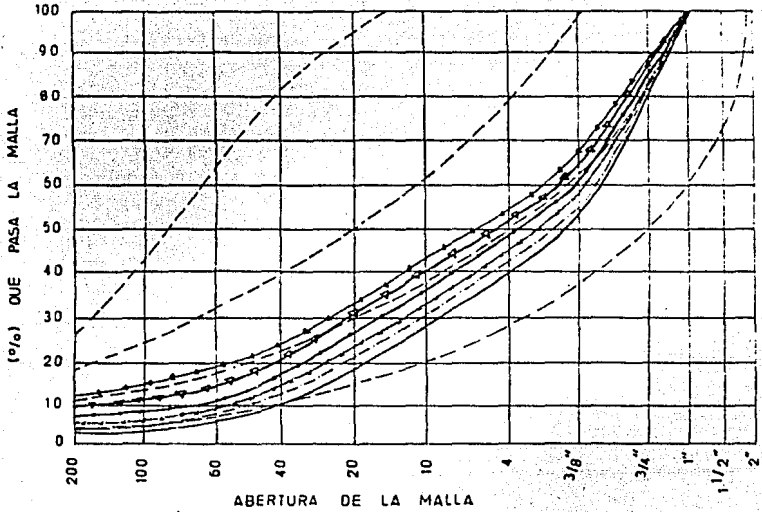
Las gráficas 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5 y 4-6 así como las tablas 4-1, 4-2 y 4-3 muestran las granulometrías de la mezcla de dos materiales.

Malla	(%) Que pasa con diferentes incrementos.					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1"	98.20	98.30	98.40	98.50	98.60	98.70
3/4"	82.00	83.00	84.00	85.00	86.00	86.80
3/8"	53.00	56.50	58.00	60.50	63.00	65.50
4	39.80	43.00	46.00	49.50	52.50	55.50
10	29.00	33.00	36.50	40.00	43.80	47.50
20	20.20	24.50	28.50	32.50	36.50	40.50
40	11.20	15.00	18.50	22.50	26.50	30.00
100	7.00	10.40	14.00	17.40	20.50	24.00
200	4.50	7.50	10.50	13.30	16.50	19.40

Tabla 4-1

Resultados del análisis gráfico en el diseño de la granulometría. Caso de dos (2) materiales, material matriz con Te-
petate.

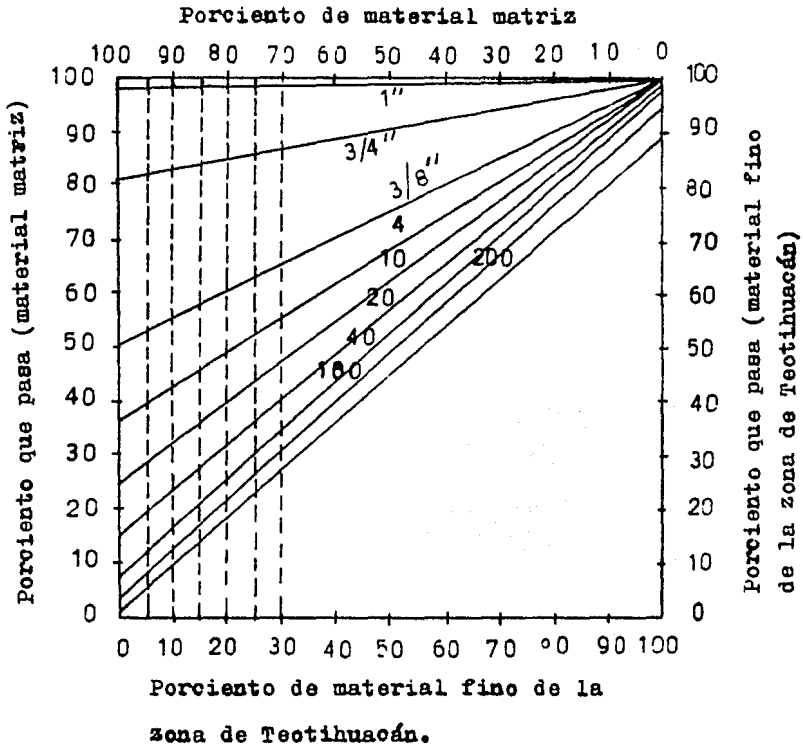
GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Gráfica 4-2

- M.M. + 5% de Tepetate —————
- M.M. + 10% de Tepetate - - - - -
- M.M. + 15% de Tepetate + x x x x x x x x
- M.M. + 20% de Tepetate —●●●●●●●●●●
- M.M. + 25% de Tepetate —▽▽▽▽▽▽▽▽
- M.M. + 30% de Tepetate —◄◄◄◄◄◄◄◄

Curvas granulométricas de la mezcla resultante del material matriz con diferentes porcentajes de Tepetate.



Gráfica 4-3

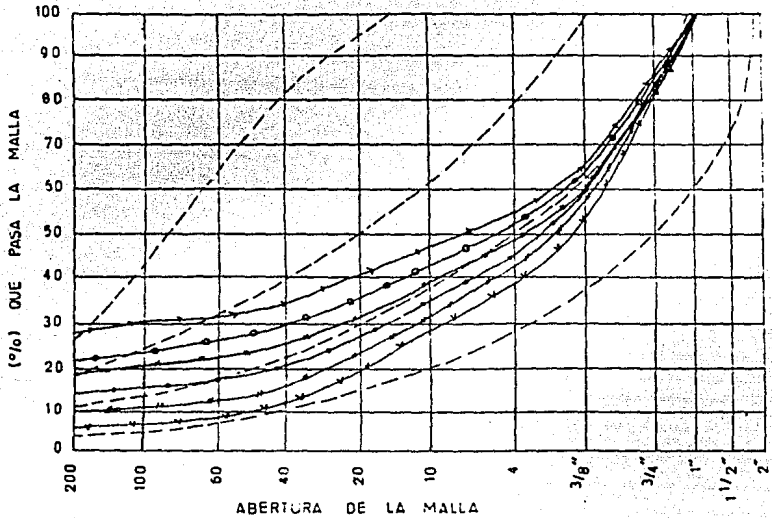
Análisis gráfico para el diseño de una granulometría
 Caso de dos (2) materiales, material matriz con mate-
 rial fino de la zona de Teotihuacán.

Malla	(%) Que pasa con diferentes incrementos					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1"	98.35	98.45	98.55	98.65	98.75	98.95
3/4"	82.00	83.00	84.00	85.00	86.00	87.00
3/8"	53.20	56.60	58.00	60.50	63.00	65.50
4	40.00	43.10	46.20	49.50	52.60	56.00
10	29.30	33.00	36.60	40.40	44.20	47.80
20	19.70	24.00	28.00	32.00	36.50	41.00
40	12.00	16.50	21.00	25.50	30.00	34.60
100	8.20	12.50	17.40	21.50	26.50	31.00
200	5.60	10.00	14.50	18.80	23.30	27.90

Tabla 4-2

Resultados del análisis gráfico en el diseño de la granulometría. Caso de dos (2) materiales, material matriz con material fino de la zona de Teotihuacán

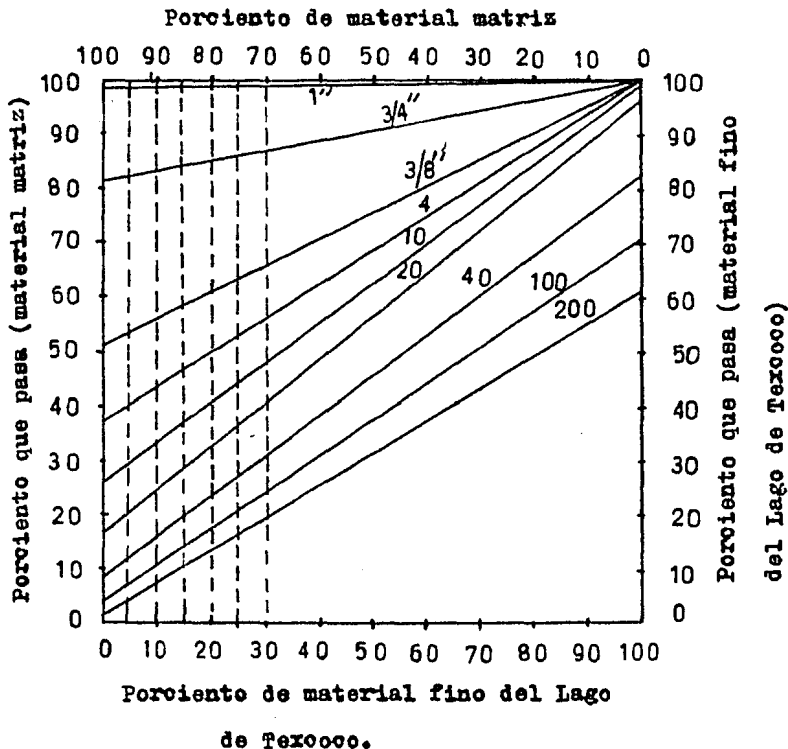
GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Gráfica 4-4

- v — v — v — v — M.M. + 5% de material fino de la zona de Teotihuacán
- // — // — // — // M.M. + 10% de material fino de la zona de Teotihuacán
- • — • — • — • — M.M. + 15% de material fino de la zona de Teotihuacán
- x — x — x — x — M.M. + 20% de material fino de la zona de Teotihuacán
- ○ — ○ — ○ — ○ — M.M. + 25% de material fino de la zona de Teotihuacán
- > — > — > — > — M.M. + 30% de material fino de la zona de Teotihuacán

Curvas granulométricas de la mezcla del material matriz con material fino de la zona de Teotihuacán.



Gráfica 4-5

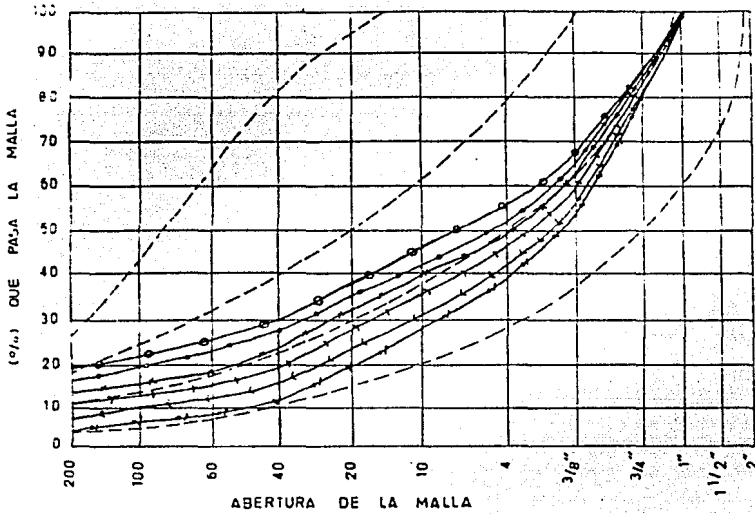
Análisis gráfico para el diseño de una granulometría. Caso de dos (2) materiales, material matrix con material fino del Lago de Texcoco.

Malla	(%) Que pasa, con diferentes incrementos					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1"	98.60	98.90	98.98	99.00	99.20	99.30
3/4"	82.20	83.20	84.20	85.20	86.00	87.00
3/8"	53.20	55.50	58.00	60.50	63.40	65.50
4	39.60	43.70	46.00	49.50	52.50	55.60
10	28.70	32.70	34.70	37.70	41.70	43.70
20	19.50	22.00	24.80	27.50	30.30	33.00
40	10.30	12.80	15.30	18.00	21.40	23.00
100	5.80	7.60	9.50	11.50	13.70	15.70
200	3.00	4.50	6.10	8.00	9.60	11.20

Tabla 4-3

Resultados del análisis gráfico en el diseño de la granulometría. caso de dos (2) materiales, material matriz con material fino del Lago de Texcoco.

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Gráfica 4-6

- M.M. + 5% de material fino del Lago de Texcoco
- ◄—◄—◄—◄— M.M. + 10% de material fino del Lago de Texcoco
- M.M. + 15% de material fino del Lago de Texcoco
- x—x—x—x—x M.M. + 20% de material fino del Lago de Texcoco
- M.M. + 25% de material fino del Lago de Texcoco
- M.M. + 30% de material fino del Lago de Texcoco

Curvas granulométricas de la mezcla resultante del material matriz con diferentes porcentajes de material fino del Lago de Texcoco.

b).- Plasticidad de las mezclas.

Al mezclarle a un material inerte finos u otro material con diferente plasticidad, las propiedades de éstos en estado seco pueden ser semejantes, sin embargo en presencia de agua pueden cambiar - sus características de resistencia y deformabilidad. Por lo que - es necesario realizar las pruebas de plasticidad en forma rigurosa y ver como afectan los finos, ya que las mezclas deben cumplir - con las especificaciones para la capa que se va a construir.

Por lo que es muy importante conocer la plasticidad de los finos que se le agregan a un material pétreo, así como la plasticidad de la mezcla resultante.

En el capítulo anterior se mostraron las características de plasticidad de los materiales en forma individual, a continuación se muestran las características correspondientes a las mezclas.

Material matriz + Tepetate

M.M. + Tepetate	L.L.	L.P.	I.P.	C.L.
5%	23.10	21.11	1.99	1.00
15%	24.82	21.73	3.09	1.20
20%	27.65	22.78	4.87	1.76
30%	29.31	23.74	5.57	1.84

Tabla 4-4

Material matriz + material fino de la zona
de Teotihuacán

M.M. + material fino de la zona de Teotihuacán	L.L.	L.P.	I.P.	C.L.
5%	26.64	21.28	5.36	2.47
15%	32.61	25.07	7.54	3.94
20%	35.70	27.46	8.24	4.62
30%	39.97	28.75	11.22	5.88

Tabla 4-5

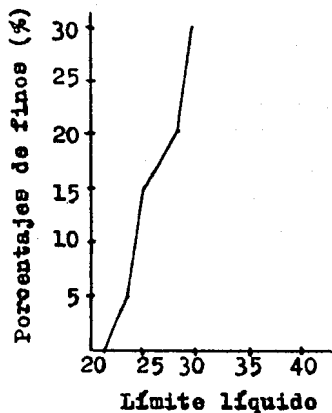
**Material matriz + material fino del Lago de
Texcoco.**

M.M. + Material fino del Lago de Texcoco.	L.L.	L.P.	I.P.	C.L.
5%	26.51	21.75	4.69	2.00
15%	33.08	22.77	10.31	3.06
20%	35.08	24.50	10.58	4.07
30%	38.70	27.75	10.95	5.38

Tabla 4-6

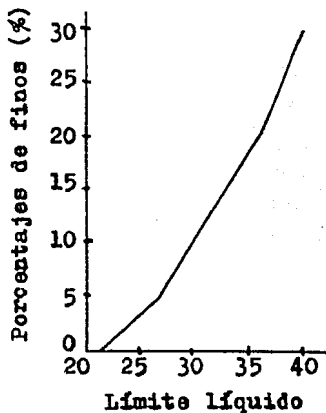
**Características plásticas de las diferentes
mezclas.**

M.M.+ Tepetate



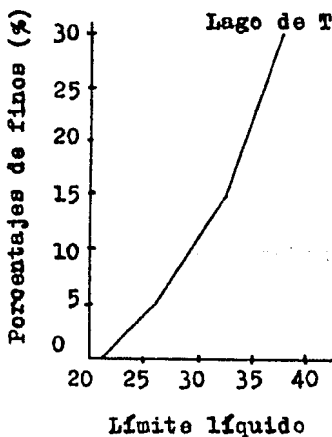
Gráfica 4-7

M.M. + material de la zona de Teotihuacán



Gráfica 4-8

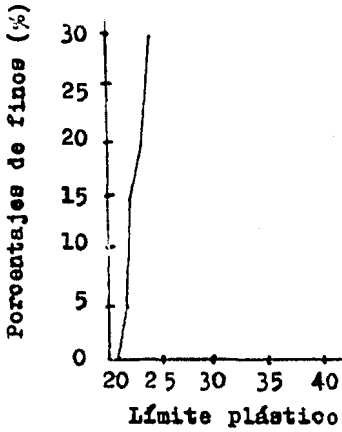
M.M. + material fino del Lago de Texcoco



Gráfica 4-9

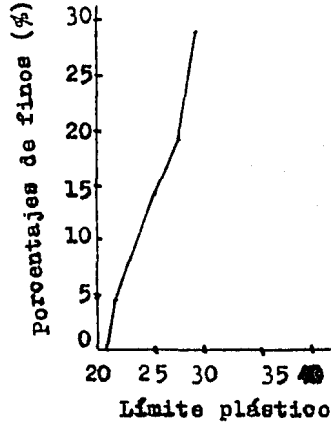
Límites líquidos de las diferentes mezclas

M.M. + Tepetate

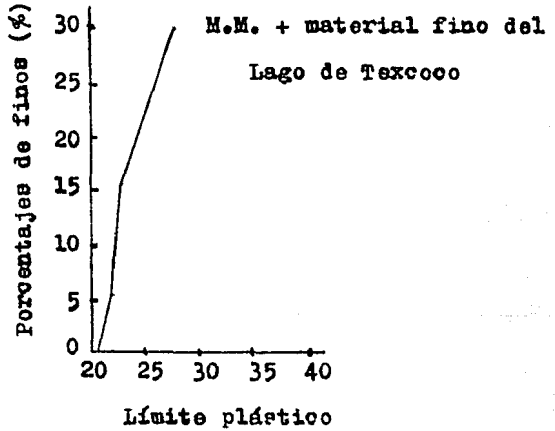


Gráfica 4-10

M.M. + material fino de la zona de Teotihuacán.



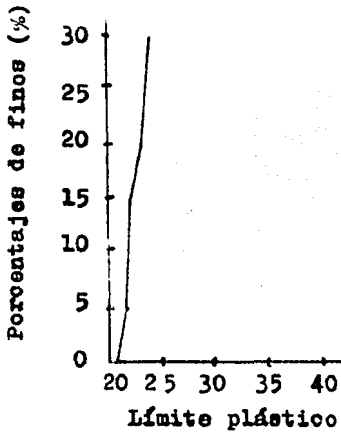
Gráfica 4-11



Gráfica 4-12

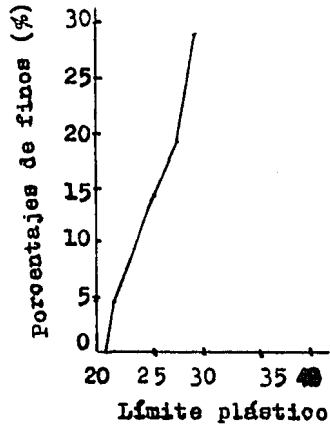
Límites plásticos de las diferentes mezclas

M.M. + Tepetate

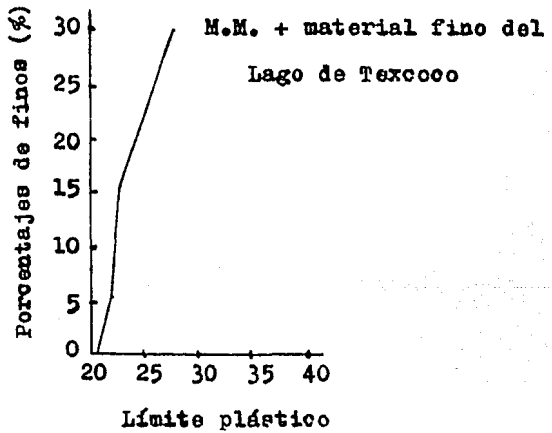


Gráfica 4-10

M.M. + material fino de la zona de Teotihuacán.



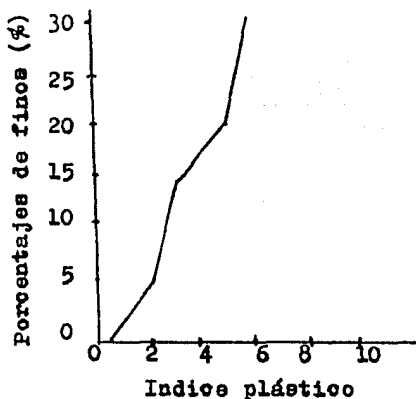
Gráfica 4-11



Gráfica 4-12

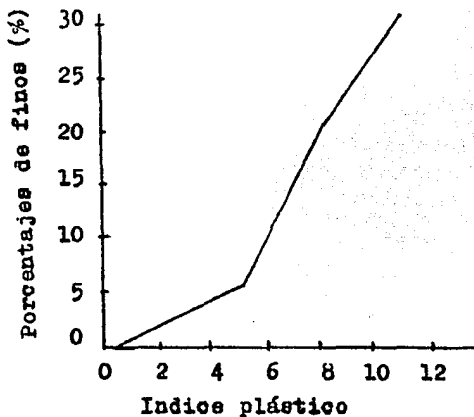
Límites plásticos de las diferentes mezclas

M.M. + Tepetate



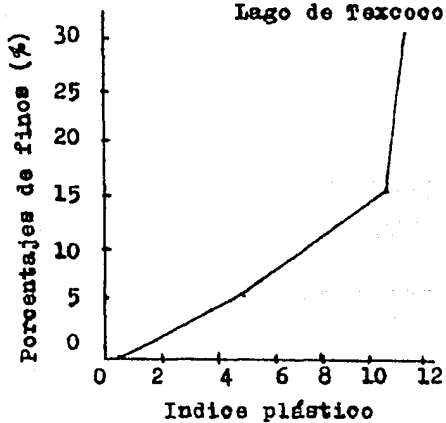
Gráfica 4-13

M.M. + material fino de la zona de Teotihuacán



Gráfica 4-14

M.M. + material fino del Lago de Texcoco.



Gráfica 4-15

Indices plásticos de las diferentes mezclas.

c).- Valor cementante de las mezclas.

Esta prueba tiene por objeto determinar el poder de cementación de un suelo o de la fracción que pasa la malla número 4 de un suelo granular compactado y seco.

El valor cementante es la capacidad que tiene un suelo o una mezcla de aglutinarse o cementarse, y esta en función de la forma y acomodo de las partículas del suelo y de su rugosidad, de la plasticidad de los finos y de otros fenómenos que tienen relación con la composición química.

Es factor primordial para preveer el comportamiento de los suelos que forman el pavimento de un camino, principalmente en el caso de bases.

Una base con un valor cementante adecuado adquiere las siguientes características.

- 1.- Le da mejor sustentación a una carpeta asfáltica de espesor delgado.
- 2.- Un material con suficiente valor cementante es más eficiente en la compactación
- 3.- Se puede tener una conservación económica en la obra.

Es de estimarse que en todos los casos, los suelos que forman la estructura del pavimento tengan un cierto valor cementante, pero hay que tomar en cuenta, sin embargo, que no debe de salirse fuera de las especificaciones generales de construcción, ya que un valor cementante alto no es recomendable en la construcción de la base, porque afecta a las características de resistencia y plasticidad de los materiales.

Los resultados obtenidos en el laboratorio de las mezclas en estudio se ven reflejados en las gráficas 4-16, 4-17, 4-18 y en

las tablas 4-7, 4-8 y 4-9

M.M. + Tepetate	Carga kgs.	Area cm ²	Carga/Area kgs/cm ²
5%	65	60.15	1.08
10%	115	59.94	1.92
15%	125	59.80	2.09
20%	143	59.81	2.39
25%	180	60.11	2.99
30%	216.6	59.96	3.61

Tabla 4-7

Aumento del valor cementante del material matriz
conforme se incrementa el contenido de finos de
Tepetate

M.M. + material fino de la zona de Teotihuacán	Carga kgs	Area cm ²	Carga/Area kgs/cm ²
5%	453	60.22	7.52
10%	550	60.54	9.08
15%	640	60.40	10.59
20%	700	60.89	11.50
25%	830	60.41	13.74
30%	900	60.51	14.87

Tabla 4-8

Aumento del valor cementante del material matriz conforme se incrementa el contenido de finos de la zona de Teotihuacán

M.M. + material fino del Lago de Texcoco	Carga kgs.	Area cm ²	Carga/Area kgs/cm ²
5%	268.33	59.97	4.47
10%	300.00	60.48	4.96
15%	360.00	60.79	5.92
20%	410.00	60.41	6.79
25%	450.00	60.51	7.44
30%	480.00	60.22	7.97

Tabla 4-9

Aumento del valor cementante del material matriz conforme se incrementa el contenido de finos del material del Lago de Texcoco.

d).- Prueba de Porter Estandar.

El valor relativo de soporte es un índice de la resistencia de los materiales en la constitución de vías terrestres, el cual se puede obtener de la prueba de Porter Estandar.

El objeto de ésta prueba es determinar la calidad de los suelos o mezclas en cuanto a valor de soporte se refiere, midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y sujeto a un determinado período de saturación.

Por medio de ésta prueba se pueden sacar las siguientes características: humedad óptima, peso volumétrico seco máximo, expansión y el valor relativo de soporte.

A continuación se hace una reseña general del procedimiento que se sigue en su realización, así como los resultados que se obtuvieron.

La muestra para efectuar ésta prueba deberá haber sido secada, disgregada y cuarteada de acuerdo con las especificaciones generales de construcción. Se tamiza la muestra por la malla de veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros (1"), si la muestra original contiene menos de quince por ciento (15%) en peso de material que se retiene en la malla mencionada, deberá utilizarse para la prueba el material que paso la criba. Cuando el retenido exceda del quince por ciento (15%), será necesario substituir éste retenido por una cantidad igual, en peso de material pétreo que pase la malla de (1") una pulgada y se retenga en la número 4, pero que contenga las mismas características.

1).- Humedad óptima de compactación.

La humedad óptima de compactación en esta prueba es la humedad mínima requerida por un suelo para alcanzar su peso volumétrico seco máximo, cuando es compactado con una carga estática de 27 toneladas.

Su obtención es como a continuación se describe.

Se le agrega cierta cantidad de agua a la muestra de material preparado de acuerdo con las especificaciones generales de construcción, y, una vez lograda la distribución homogénea de la humedad, se coloca en tres (3) capas dentro del molde de prueba y a cada una de ellas se le dan veinticinco (25) golpes con la varilla metálica. Al terminar la colocación de la última capa se compacta el material aplicando carga uniforme y lenta, de modo de alcanzar una presión que sea igual a ciento cuarenta punto seis (140.6) kgs. sobre centímetro cuadrado en un tiempo de cinco (5) minutos, la que deberá mantenerse durante un (1) minuto, e inmediatamente hacer la descarga en forma lenta en el siguiente minuto. Si al aplicar la carga máxima se observa que se humedece la base del molde o sale una gota de agua entre el molde y la base, por haberse iniciado la expulsión, el material se encuentra con su humedad óptima de compactación.

Posteriormente se toma una porción de muestra en estas condiciones y se coloca en una cápsula, la cual se pesa y se pone a secar en el horno hasta peso constante.

Después del secado se pesa nuevamente, así como la cápsula sin material; todo esto para calcular la humedad.

$$W = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_t} \times 100$$

Donde:

W = Humedad óptima de compactación (%)

P_1 = Peso del material húmedo + peso de la cápsula

P_2 = Peso del material seco + peso de la cápsula

P_t = Peso de la cápsula

M.M. + Tepetate

(%) de finos en la mezcla	Humedad óptima (%)
0	5.50
5	6.50
10	8.00
15	9.20
20	10.60
25	12.00
30	13.00

Tabla 4-12

M.M. + material fino de la zona de Teotihuacán

(%) de finos en la mezcla	Humedad óptima (%)
0	5.50
5	6.70
10	8.00
15	9.50
20	11.00
25	12.50
30	13.90

Tabla 4-13

M.M. + material fino del Lago de Texcoco

(%) de finos en la mezcla	Humedad óptima (%)
0	5.50
5	6.80
10	8.00
15	9.80
20	11.40
25	13.00
30	13.80

Tabla 4-14

Humedades óptimas de las diferentes mezclas

II).- Peso volumétrico seco máximo

El peso volumétrico seco máximo es el peso específico que se obtiene cuando se llega a la humedad óptima con el procedimiento descrito anteriormente, para su determinación en el laboratorio se toman las siguientes condiciones: se mide altura y diámetro interior del molde, así como la altura faltante del molde con respecto al espécimen, con estos datos se determinan el área y volumen del espécimen, se calcula el peso específico del material húmedo (P_e), el cual estará dado en kilogramos sobre metro cúbico.

$$P_e = \frac{P_t}{V}$$

Donde:

P_e = Peso específico del material húmedo (kg/m³)

P_t = Peso del material (4 kgs) dado por especificaciones

V = Volumen del espécimen (m³)

Con los datos obtenidos en el laboratorio se determina el peso volumétrico seco máximo.

$$PVSM = \frac{P_e}{1+W} \times 100$$

Donde:

PVSM = Peso volumétrico seco máximo

P_e = Peso específico del material húmedo

W = Contenido de humedad (%)

En los resultados obtenidos del laboratorio puede apreciarse claramente que al ir incrementando finos al material granular, el peso volumétrico seco máximo aumenta hasta llegar a un máximo el cual se llega con un porcentaje de cementante del 15% para luego ir disminuyendo en forma lenta con porcentajes mayores.

M.M. + Tepetate

(%) de finos en la mezcla	PVSM (kg/m^3)
0	1810
5	1870
10	1960
15	1980
20	1930
25	1850
30	1770

Tabla 4-15

M.M. + material fino de la
zona de Teotihuacán

(%) de finos en la mezcla	PVSM (kgs/m ³)
0	1810
5	1860
10	1980
15	2070
20	2030
25	1980
30	1910

Tabla 4-16

M.M. + material fino del
Lago de Texcoco.

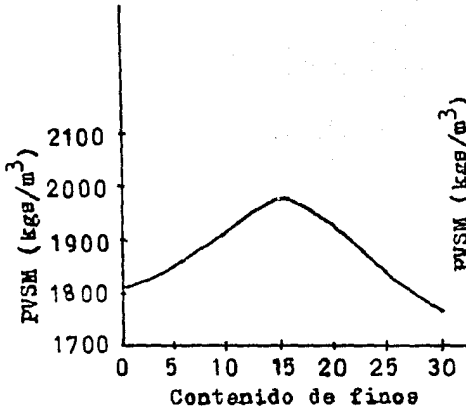
(%) de finos en la mezcla	PVSM (kgs/m ³)
0	1810
5	1820
10	1970
15	2010
20	1980
25	1930
30	1870

Tabla 4-17

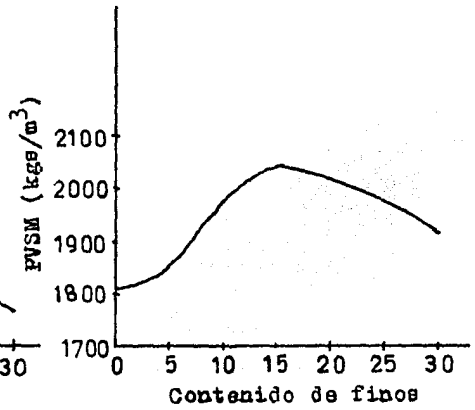
Pesos volumétricos secos máximos de las diferentes mezclas

M.M. + Tepetate

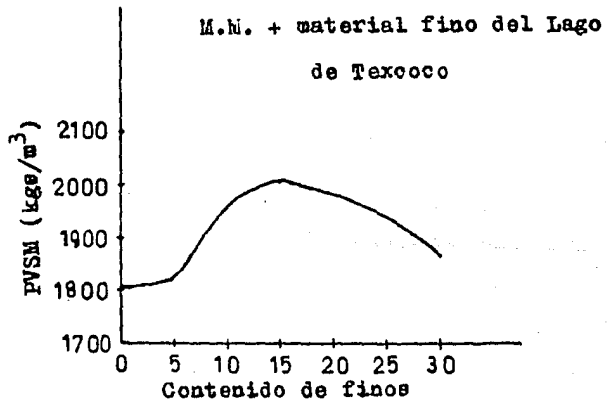
M.M. + material fino de la
zona de Teotihuacán



Gráfica 4-19



Gráfica 4-20



Gráfica 4-21

Evolución del PVSM con la inclusión de finos de diferente plasticidad en materiales para base.

III).- Expansión.

La expansión es el aumento de volumen de un suelo, debido a la absorción de agua.

Su determinación en el laboratorio es como a continuación se describe.

Después de quitarle la presión de compactación al espécimen se le coloca una hoja de papel filtro, una placa perforada y placas de carga, todo el conjunto se introduce en el tanque de saturación. Sobre los bordes del molde se coloca un tripié con el extensómetro, anotándose la lectura inicial; diariamente se hacen lecturas hasta que se observe que cesa la expansión.

La diferencia de lecturas final e inicial del extensómetro expresado en milímetros, se dividirá entre la altura del espécimen antes de ser sometido a saturación, el resultado se multiplica por cien (100).

$$E = \frac{L_f - L_i}{H} \times 100$$

Donde:

E = Expansión (%)

L_f = Lectura final (mm)

L_i = Lectura inicial (mm)

H = Altura del espécimen antes de saturarlo (mm)

Material matriz + Tepetate

(%) de finos en la mezcla	(%) de expansión
0	0.000
5	0.014
10	0.030
15	0.031
20	0.042
25	0.050
30	0.050

Tabla 4-18

Material matriz + material fino de la zona de Teotihuacán.

(%) de finos en la mezcla	(%) de expansión
0	0.000
5	0.015
10	0.017
15	0.022
20	0.026
25	0.032
30	0.037

Tabla 4-19

Material matriz + material
fino del Lago de Texcoco

(%) de finos en la mezcla	(%) de Expansión
0	0.000
5	0.019
10	0.025
15	0.030
20	0.041
25	0.064
30	0.094

Tabla 4-20

De acuerdo a los resultados de la prueba de expansión se concluye que: la inclusión de finos en éste caso no tuvo una influencia decisiva para el comportamiento de los materiales.

IV).- Valor Relativo de Soporte.

El VRS es la resistencia en porciento, que un suelo opone a la penetración de una aguja de acero con sección transversal de 19.35 centímetros cuadrados, con respecto a la resistencia que opone un material considerado estandar (caliza triturada). las resistencias que generalmente se relacionan son las correspondientes a la penetración de 2.54 milímetros.

La formula con que se calcula el VRS corregido es la siguiente

$$\text{VRS} = \frac{\text{RPSC}}{\text{RPSE}} \times 100$$

Donde:

VRS = Valor Relativo de Soporte

RPSC= Resistencia a la penetración de un suelo cualesquiera

RPSE= Resistencia a la penetración de un suelo estandar

(caliza triturada)

Su obtención en el laboratorio es como a continuación se describe.

Al molde con el espécimen que fué retirado del tanque de saturación, se le quitan el tripié y el extensómetro, con todo cuidado se acuesta sin quitar las placas, dejandolo en esa posición durante tres (3) minutos para que escurra el agua. se lleva a la prensa, se retiran las placas y el papel filtro, se colocan nuevamente dos (2) placas de carga con orificio central.

El cilindro de penetración para realizar la prueba debe pasar a través del orificio de las placas hasta tocar la superficie de la muestra.

Se aplica una carga inicial que no sea mayor a 10 kgs. e inmediatamente después, sin retirar la carga, se ajustan los extensómetros, que sirven uno para medir la deformación del anillo de carga y el otro para medir la penetración de la aguja en el cilindro.

Se procede a aplicar carga en pequeños incrementos continuos, procurando que la velocidad de desplazamiento sea de uno punto veinticinco (1.25) milímetros sobre minuto y se anotan las cargas correspondientes, a cada una de las (7) penetraciones.

Aplicación	Tiempo (min)	Penetración (mm)	Cargas Registradas (kgs)
Primera	1	1.27	
Segunda	2	2.54	
Tercera	3	3.81	
Cuarta	4	5.08	
Quinta	5	7.62	
Sexta	6	10.16	
Séptima	7	12.70	

Tabla 4-10

A cada penetración se le toma la lectura correspondiente y se anota en la última columna, para poder obtener el resultado de el VRS correspondiente.

La carga registrada para la penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros se expresa como un porcentaje de la carga estándar de mil trescientos sesenta (1360) kilogramos, si la prueba está bien ejecutada, el porcentaje así obtenido es el Valor Relativo de Soporte correspondiente a la muestra ensayada. Con el fin de saber si la prueba estuvo bien ejecutada, se dibuja la curva carga-penetración, anotando en las abscisas las penetraciones y en las ordenadas las cargas registradas para cada una de las penetraciones.

Con los resultados obtenidos se clasifica el suelo de acuerdo a la tabla 4-11, que indica el empleo que puede dársele al material de acuerdo con su Valor Relativo de Soporte.

Zona	VRS	Clasificación
1	0-5	Sub-razante muy mala
2	5-10	Sub-razante mala
3	10-20	Sub-razante regular o buena
4	20-30	Sub-razante muy buena
5	30-50	Sub- base buena
6	50-80	Base buena
7	80-100	Base muy buena

Tabla 4-11

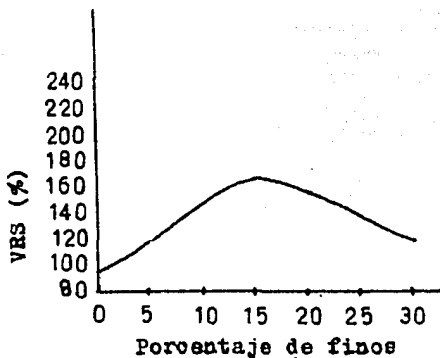
Clasificación del material de acuerdo a su

VRS

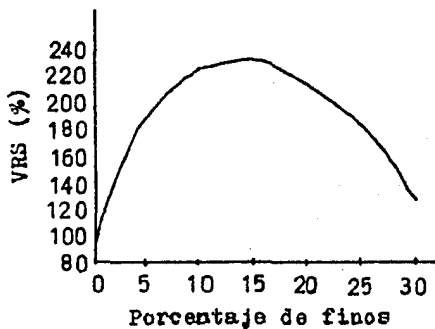
Los resultados obtenidos del "VRS" muestran que aumenta de valor con el incremento de finos hasta llegar a un máximo con un cierto porcentaje de material cementante, para luego ir decreciendo, sin que con el mayor porcentaje de finos usado (30%), la resistencia haya disminuido más allá de la resistencia del material matriz sin cementante.

M.M. + Tepetate

M.M. + material fino de la
Zona de Teotihuacán

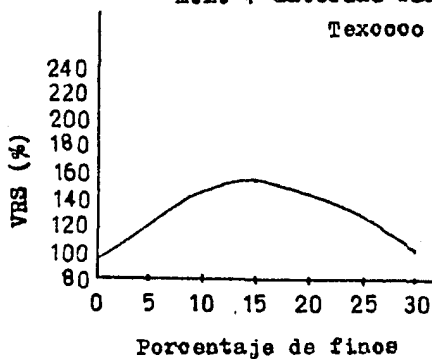


Gráfica 4-16



Gráfica 4-17

M.M. + material fino del Lago de
Texcoco



Gráfica 4-18

Variación del VRS con la inclusión de
finos de diferente plasticidad, en ma
teriales para base.

CAPITULO 5

Conclusiones

A).- Al aumentar el porciento de finos se tiene que:

- 1.- Con los materiales utilizados, al ir aumentando el porciento de finos se propició que las mezclas se alojaron en diferentes zonas granulométricas (de la zona 1 a la zona 3).
- 2.- Al aumentar el porciento de finos se aumentó gradualmente la plasticidad de las mezclas, resultando que cuando se uso Tepetate cualquiera de las mezclas cumplía las especificaciones para bases (tomando en cuenta las zonas granulométricas); con el material de Teotihuacán solo se cumplían las especificaciones con el 5 y 10% de finos y cuando se uso material del Lago de Texcoco, los materiales son aceptables con inclusión hasta del 15% de finos.
- 3.- En cuanto a la expansión, ésta aumentó al aumentar los finos cualesquiera que fuera el cementante, habiendose mantenido siempre dentro de especificaciones..
- 4.- En relación a Los P.V.S.M., éstos se incrementaron conforem aumentan los finos hasta un máximo, para luego descender, el cual aparece aproximadamente con el 15% de contenido de finos.
- 5.- Con respecto al VRS, el correspondiente al material matriz, cumple las especificaciones del 80% mínimo para la construcción de bases de carreteras, y al incluirle finos aumenta la

resistencia hasta el 15% de ellos, obteniendose valores bastante superiores al original, para luego disminuir sin que se lleguen a tener valores menores que el del material matriz.

B).- Al utilizar materiales con diferente plasticidad se tiene que:

- 1.- Al utilizarse los tres (3) materiales diferentes, se obtuvieron granulometrías más finas con el material de Teotihuacán.
- 2.- En relación a la plasticidad, el cementante que más influyó en cambiar ésta característica del material matriz, fué el procedente de Teotihuacán, lo cual se observa en los resultados obtenidos para el límite líquido, índice plástico y contracción lineal, habiendo quedado con resultados intermedios pero cercanos al anterior las mezclas en que se utilizaron finos del Lago de Texcoco.
- 3.- En cuanto a las expansiones, las mezclas que reportaron valores menores fueron las que se elaboraron con material de Teotihuacán, sin que en algún caso fueron de tomarse en cuenta. Se aclara que el tiempo que permanecieron los especímenes en el tanque de saturación fueron de más de los tres (3) días que indica el procedimiento de prueba para asegurar que los materiales ya no sufrieran expansiones.
- 4.- Las mezclas en las que se obtuvieron mayores pesos volumétricos fueron aquellas en que se utilizaron finos de Teotihuacán, en cambio con el Tepetate y los finos del Lago de Texcoco se obtuvieron valores menores que con el primero, pero semejantes entre sí.

5.- En relación al valor relativo de soporte, ésta característica estuvo en concordancia con las características analizadas en los incisos B-3 y B-4, habiéndose tenido valores más altos con el material de Teotihuacán.

Conclusión final

La inclusión de finos a materiales inertes que se van a utilizar en bases de pavimentación, dependiendo de las características de granulometría y plasticidad, tanto del material matriz como de los cementantes propician un mejoramiento de las características de resistencia (VRS) de las mezclas, y hasta un contenido de finos más o menos importante, ésta característica no es menor a la del material matriz; sin embargo los valores de plasticidad de especificaciones, se pueden rebasar con un contenido menor de finos

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

- 1.- Fernando Olivera Bustamante. Tecnología para el Proyecto de Pavimento Flexible. Porter Modificada (México). Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón (1981).
- 2.- Alfonso Rico Rodríguez y Juan Manuel Orozco. Efecto de la Inclusión de Finos en el Comportamiento de Materiales de Base (SAHOP) 1974
- 3.- Carlos Fernandez Loaiza. Mejoramiento y Estabilización de Suelos. 1982
- 4.- E. J. Yoder and Witczak. Principles of Pavement Design. E. J. Yoder 2a Edición 1975
- 5.- Especificaciones Generales de Construcción. Parte Octava (Primer Libro) SOP. 1973
- 6.- Especificaciones Generales de Construcción. Parte Novena (Primer Libro). SOP.