

5
2ei



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

ESTABILIZACION DE PAVIMENTOS Y
TERRACERIAS CON PRODUCTOS QUIMICOS



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A N :
MARIO CANSECO MORALES
HECTOR M. OLIVARES HERNANDEZ

ACATLAN, EDO. DE MEX.

1988

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

INDICE GENERAL

INTRODUCCION	1
CAPITULO I ANTECEDENTES DE LAS ESTABILIZACIONES	7
1.1 Bancos de Materiales para Pavimentos	7
1.1.1 Exploración de Bancos (Est. Preliminares)	8
1.1.2 Estudios Definitivos	8
1.1.3 Muestreo de Bancos	9
1.1.4 Pruebas de Laboratorio que se efectuan a los suelos que se extraen de Bancos	11
1.2 Características de los Materiales a Estabilizar	13
1.3 Ventajas del Reconocimiento de los Suelos	21
1.3.1 Importancia del Medio Ambiente	24
1.4 Respuestas de los Suelos a la Estabilización	27
1.5 Estabilización de Suelos en la Construcción de Caminos	29
1.6 Métodos Tradicionales de Estabilización	30
1.7 Estabilización de Suelos Mediante su Mezclado con Otros Suelos	31
1.7.1 Estabilización con Cemento	54
1.7.2 Estabilización con Cal	59
1.7.3 Estabilización con Asfalto	61

1.8 Emulsiones Asfálticas	68
1.8.1 Ventajas del uso de las Emulsiones Ca- tiónicas para la pavimentación en Regio- nes de intensa Precipitación Pluvial	72
CAPITULO 2 ESTABILIZANTES QUIMICOS	77
2.1 Estabilización con Mezcla Azufre-Asfalto	77
2.1.1 Antecedentes	77
2.1.2 Utilización en México	78
2.1.3 Tipos de Estudios que se requerían y - Materiales Usados	81
2.1.4 Diseño de la Mezcla	83
2.1.5 Estudios Previos al Diseño de la Estruc- tura del Pavimento	89
2.1.6 Diseño de la Estructura del Pavimento	112
2.2 Estabilización con los Productos Consolid 444 + Conservex	114
2.2.1 Emulsión Consolid 444 y Emulsión Conser- vex	114
2.2.2 Recomendaciones para el uso de los Adi- tivos	115
2.2.3 Dosificación de la Emulsión Consolid 444 y la Emulsión de Conservex para condicio- nes de Laboratorio	118

2.2.3.1	Aplicación del Consolid 444 Solu- ción de Trabajo a la Muestra	121
2.2.3.2	Aplicación del Conservex Solución de Trabajo a la Muestra.....	122
2.2.4	Procedimiento de Aplicación de las Emulsio- nes Consolid 444 + Conservex en el Sitio_ de la Obra	124
2.2.5	Procedimiento de Construcción	130
CAPITULO 3 EXPERIENCIAS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN ALGUNOS TRAMOS DE PRUEBA		132
INTRODUCCION		152
3.1	Carretera: Coatzacoalcos-Villahermosa, Tramo - Cárdenas-Villahermosa	132
3.1.1	Mezclado en Planta.....	153
3.1.2	Tendido de la Mezcla.....	138
3.1.3	Comparativa de Costos	142
3.1.4	Comportamiento del Tramo a la Fecha	143
3.2	Carretera: Colima-Manzanillo, Tramo: Colima- En tronque Tecomán	161
3.2.1	Material para Capa de Sub-base.....	165
3.2.2	Material para Capa de Base	172

3.3 Carretera: Iguala-Acapulco, Tramo Boulevard Chilpancingo.....	179
3.3.1 Material para Capa de Sub-Baso y Base	179
3.4 Evaluación de Calidad para Capa de Rodamiento - por aplicación de los Aditivos Consolid 444 + - Conservex en Caminos Rurales	185
3.4.1 Estudio de Efectividad de los Aditivos - - Consolid 444 y Conservex emulsión.....	186
3.4.2 Tablas de Resultados Obtenidos en las - pruebas de Estabilización	195
3.4.3 Tablas de Incrementos Obtenidos en las Pruebas de Estabilización.....	200
3.4.4 Análisis Económico de la estabilización_ de un Camino Rural empleando los pro -- ductos C444+CX y Cal hidratada	207
 CONCLUSIONES	 213
ANEXO 1 Sistema Tradicional de Construcción de Pavimentos	218
ANEXO 2 Estudios de Laboratorio para Pavimentos	236
ANEXO 3 Pruebas específicas a los materiales de la mezcla Arena- Azufre-Asfalto	261
GLOSARIO	267
BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	284

INTRODUCCION

Las carreteras son uno de los cinco elementos principales de los sistemas de transportación. Las carreteras tienen relación directa con el diseño del vehículo, la fuerza motriz por medio de las cargas que transporta el vehículo, las pendientes y curvas que imponen restricciones al tamaño, velocidad y fuerza de tracción de los vehículos.

Las cargas que se imponen a las carreteras por lo general son mayores de las que puede soportar la capacidad del material de que está hecha la capa de apoyo. Las cargas de las ruedas se tienen que soportar con un mínimo de deformaciones elásticas y plásticas, deformaciones que acortan la vida útil de los caminos, que dificultan y ponen en peligro el tránsito de los vehículos así como su contenido.

La capacidad de soporte o estabilidad de una capa de apoyo es una función de las cargas que se impondrán, de su profundidad e intensidad y de su distribución, de las propiedades de los drenajes y del tipo de carpeta que proteja las capas del pavimento.

La intensidad de la carga se puede asimilar mediante el diseño de la carpeta adecuada, pero esto resulta muy costoso, en relación con los costos de las capas del pavimento para aumentar la capacidad de soporte; sin embargo, dentro de esta economía uno de los principales gastos en la construcción y mantenimiento de las vías terrestres, corresponde a los materiales utilizados, roca, grava, y arena los cuales por su localización y selección se convierten en uno de los --

principales problemas del ingeniero civil.

Los bancos de materiales para terracerías abundan en general y son fáciles de localizar pues para estos fines, sirven casi todos los materiales que sean económicamente explotables, las excepciones son los suelos (MH, CH, OH con LL > 100% y suelos P₁), en todos estos casos no es raro tener que buscar los aprovisionamientos de materiales fuera de estas zonas. Los bancos para terracerías conviene que se fijen no demasiado espaciados para no dar lugar a distancias excesivas de acarreos; la separación óptima está en la mayoría de los casos prácticos, allí donde se alcance el equilibrio de costos entre los acarreos por un lado y el costo por despalle y preparación del banco por el otro.

Actualmente el criterio de no hacer intervenir a las terracerías dentro del diseño del pavimento, debe ser revisado, con el objeto de llegar a una mayor exigencia en la calidad de los materiales que las constituyan, de sus tratamientos y de su protección contra el agua.

En opinión de algunos especialistas muchas de las fallas que actualmente se consideran de pavimento se fraguan las terracerías por lo que su revisión debe hacerse más exhaustiva en el futuro inmediato.

Los materiales para bases y sub-bases además de los requisitos anteriores suelen estar condicionados en forma importante por la calidad de los materiales y por los tratamientos mecánicos que lleguen a requerir para satisfacer normas específicas de calidad, mismos que además necesitan de la instalación de equipos especiales y plantas complejas que no conviene mover mucho.

Todo lo anterior ha ocasionado una búsqueda de procedimientos, productos y equipos para la construcción del pavimento, tratando de dotarlo de la resistencia y estabilidad que requiera el proyecto, pero utilizando los materiales del lugar, evitando acarreos excesivos, los cuales encarecen el costo de la obra.

Actualmente existen una innumerable cantidad de productos que satisfacen los requerimientos de dotación de estabilidad y aumento de resistencia de las capas del pavimento. Dentro de todos estos productos para estabilización sobresalen por su escasa producción e investigación los productos de origen químico.

La finalidad de este trabajo ha sido, la de desarrollar desde un punto de vista general los factores que intervienen y dan origen a los problemas de Estabilización de Pavimentos y Terracerías, aplicando los métodos más comunes en nuestro país, y en particular dos nuevas técnicas de estabilización, basadas en productos de origen químico, como son la mezcla de Azufre-Asfalto y los productos de patente llamados Consolid 444 + Conservex.

Se ha considerado la necesidad de incluir en el Capítulo I, los aspectos más importantes que anteceden a la estabilización como son: La localización de bancos de materiales y sus tratamientos, la importancia del medio ambiente y las posibles respuestas de los materiales a la estabilización; en este mismo capítulo se analizan en forma muy general, los métodos tradicionales de estabilización.

En nuestro país es muy común encontrar estabilizaciones por combinación de materiales, por adición de cemento, cal, asfalto y por supuesto las emulsiones asfálticas que tienen un uso muy común en el Sureste.

Las investigaciones serias para obtener productos que al aplicarlos a suelos de poca calidad para la construcción de un camino, produzcan buenos resultados, además de exigir procedimientos de construcción no complicados, son realmente nuevas, por lo anterior, dentro del capítulo 2, se analizarán dos técnicas de estabilización que han sido utilizadas recientemente y que por considerarse innovadoras, requieren difusión.

En una de las técnicas de estabilización se utiliza una mezcla formada con azufre y cemento asfáltico ambos productos combinados con arena de río mal graduada. La arena requiere tratamientos y combinaciones de material para poder ser utilizada como capa de base.

Este trabajo se aplicó en la carretera Coatzacoalcos-Villahermosa, en el tramo Cárdenas-Villahermosa, en el Estado de Tabasco.

En este capítulo se dará una explicación del por qué se decidió utilizar esta mezcla, los estudios previos al diseño de la mezcla y diseño de la estructura del pavimento con el fin de poder analizar su comportamiento mecánico y su funcionamiento estructural.

En la otra técnica de estabilización se utiliza una emulsión formada por los productos llamados Consolid 444 y Conservex. El Consolid 444 es una emulsión inversa ligeramente ácida compuesta por un número de reactivos cuya misión es la de modificar las características físico-químicas de las partículas del suelo. Por otro lado el Conservex es también una emulsión inversa pero que lleva como parte fundamental de su composición asfalto en solución; ambos productos utili-

zan agua como vehículo para depositar pequeñas partículas de asfalto a través del suelo tratado.

Se consideró que para la exposición de estos productos es necesario tratar sus requerimientos generales de laboratorio para su dosificación, así como un ejemplo de aplicación incluyendo el proceso constructivo.

Los tramos de prueba contruidos para la observación del comportamiento de los productos utilizados en su construcción se encuentran en el capítulo 3, en donde se darán a conocer las experiencias obtenidas con los materiales utilizados en las estabilizaciones de los pavimentos y terracerías en cuestión.

Para la estabilización con azufre-asfalto, se describirá la forma de elaborar la mezcla para su aplicación, los tramos en donde se utilizó y la manera en que se hace el tendido de la mezcla, así también se incluirá una evaluación económica de las diferentes opciones que se tenían en ese momento.

Como ya es sabido, un tramo de prueba se construye como su nombre lo indica, para realizar observaciones y proponer alternativas de solución en el corto plazo, desafortunadamente el tiempo que ha transcurrido desde el inicio de la obra hasta la fecha de elaboración de este trabajo es realmente poco; los resultados de las observaciones hechas al tramo nos proporcionan una escasa idea de su comportamiento a largo plazo, es por esta razón que se debe seguir manteniendo en constante observación para así poder obtener las conclusiones generales, que nos lleven a hacer recomendaciones de uso positivas o de rechazo.

En lo referente a las experiencias obtenidas con el Consolid 444 + Conservex, aplicados en varios tramos de prueba y ensayados con diferentes tipos de materiales, se analizan las características de calidad de los mismos antes y después de su aplicación.

Como ya se ha mencionado los tramos estabilizados con estos productos son de muy reciente construcción, por lo cual la información respecto a su comportamiento mecánico con el tiempo, no existe en este momento.

Las limitaciones que presenta este trabajo en cuanto a los nuevos productos químicos son debidas principalmente a que no existe un respaldo teórico-práctico que avale su técnica, por lo tanto, lo aquí estudiado tiene una base únicamente práctica que no va más allá del laboratorio, lo cual no otorga a estos productos credibilidad, no obstante son una realidad que no podemos ignorar.

CAPITULO I

ANTECEDENTES DE LAS ESTABILIZACIONES.

CAPITULO 1 ANTECEDENTES DE LAS ESTABILIZACIONES

1.1 BANCOS DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS.

La exploración de una zona en la que se pretenda establecer un banco de materiales debe tener las siguientes metas:

- 1.- Determinación de la naturaleza del depósito, incluyendo toda la información que sea dable obtener sobre su geología, historia de explotaciones previas, relaciones con escurrimientos de agua superficial, etc.
- 2.- Profundidad, espesor, extensión y composición de los estratos de suelo o roca que se pretendan explotar.
- 3.- Situación del agua subterránea, incluyendo posición y variaciones del nivel freático.
- 4.- Obtención de toda la información posible sobre las propiedades de los suelos y las rocas, los usos que de ellos se hayan hecho, etc.

Según la topografía de la región, tipo de vegetación, extensión del área por explotar, vías de acceso existentes y demás características, será el procedimiento de exploración a efectuar, pudiendo llevarse a cabo a pie, a caballo, en vehículo automotor, lancha o helicóptero. Por cualquiera de los procedimientos citados se puede llevar a cabo la exploración y durante ella se toman todos los datos necesarios de los bancos probables que se encuentren.

Los estudios que se efectúan a los posibles bancos de materiales, pueden -

ser preliminares, definitivos o para fines de inventario.

1.1.1 EXPLORACION DE BANCOS. (Estudios preliminares).

Después de levantar un croquis del área probable del banco se señalarán -- sus dimensiones aproximadas, incluyéndose en el mismo un esquema con su ubi -- cación en relación con el camino a la obra donde se empleará; a continuación -- se ejecutarán, según el área estimada del banco, algunos sondeos que por lo -- general se hacen a cielo abierto, distribuidos adecuadamente en toda el área, -- los que se señalarán en el croquis.

Los referidos sondeos se llevarán a cabo anotando en el registro de cada -- uno de ellos, el espesor de la capa de despalme y el tipo de material subya -- ciente al material aprovechable, tratamiento y uso probable del material prove -- chable, época del año en que se efectuaron los sondeos y todas las observacio -- nes de campo que se consideren necesarias, como puede ser la existencia de -- estratos de arcilla, fisuras, con o sin relleno, tipo de relleno o empaque, etc.

Este estudio es el que permite en principio si la zona es prometedora para -- la implantación de un banco de las características del que se busca y si por -- consiguiente conviene continuar la investigación sobre él.

1.1.2 ESTUDIOS DEFINITIVOS.

Si el estudio preliminar ha conducido al definitivo, el croquis del banco se -- debe efectuar con mayor precisión, midiendo con exactitud sus dimensiones y -- atacándolo para delimitar la zona de los materiales aprovechables; su ubicación --

con respecto al camino de acceso a la obra, es necesario delimitarla con mayor precisión y calcular su volumen, calculando el área aprovechable y el espesor promedio resultante de la capa o capas de materiales aprovechables deduciendo los volúmenes de los desperdicios que se prevean.

En el estudio definitivo es conveniente distribuir los sondeos a cielo abierto en forma de retículas de tal forma que las distancias entre vértices adyacentes sea de 20 a 100 mts, según la uniformidad, tipo de los materiales y espesor aprovechable, además es aconsejable para su fácil identificación, poner una estaca a un lado del sondeo con su número correspondiente; también deberá llevarse un registro del sondeo, donde se señalen datos como los indicados para los sondeos preliminares y además los espesores de los diferentes materiales encontrados, su clasificación preliminar y todos los datos que se consideren de interés. Terminados los sondeos se toma una muestra representativa en cantidad suficiente del material extraído de cada uno, identificándola correctamente para evitar errores en el laboratorio.

1.1.3 MUESTREO DE BANCOS.

A todas las muestras, se procederá a efectuarlas individualmente los ensayos de calidad correspondientes, y en el caso de que las características de ellos resulten uniformes, se obtendrá por cuarto una muestra representativa del material del banco o bien si hay algunas zonas con características diferentes, se obtendrán muestras representativas de éstas por medio de los materiales extraídos de los sondeos de cada una de dichas zonas; a estas muestras representativas -

so les efectuarán todos los ensayos de calidad correspondientes y se les determinarán los porcentajes de las partículas retenidas en las mallas correspondientes de granulometría, según sea el destino del material (revestimiento, sub-base, base, carpeta asfáltica, sello), así como el tamaño máximo de los mismos, con lo cual se podrá definir el tratamiento probable a que deberán sujetarse dichos materiales.

Todo lo anteriormente expuesto, es aplicable al caso de bancos en los que los sondeos se pueden hacer con pico y pala ya que en el caso de que esto no sea posible, se procederá a efectuar algunos sondeos a cielo abierto por medio de explosivos y a ejecutar algunas otras barrenaciones para determinar el área y espesor del material aprovechable y como consecuencia su volumen.

De los sondeos a cielo abierto se tomarán muestras representativas, las cuales en el laboratorio, se someterán a trituración por medio de una máquina o por marreo, a fin de poder efectuar todos los ensayos de calidad correspondientes, de acuerdo a su probable uso.

Conociendo el resultado de los ensayos de calidad, el tratamiento aplicado en el laboratorio para obtener material trabajable (disgregado, cribado, triturado parcial o total, lavado, etc.), volumen de material disponible y ubicación, estará en posibilidades de recomendar el banco y su utilización, según las especificaciones que cumpla.

1.1.4 PRUEBAS DE LABORATORIO QUE SE EFECTUAN A LOS SUELOS QUE SE EX
TRAEN DE BANCOS SEGUN SU UTILIZACION (6), VER ANEXO NO. 2.

I. - TERRACERIAS.

- a) Clasificación: Límites de plasticidad
Granulometría.
- b) Calidad: Peso volumétrico máximo
a veces, Valor Relativo de Soporte.

II. - CAPA SUB-RASANTE.

- a) Clasificación: Límites de plasticidad
Granulometría.
- b) Calidad: Peso volumétrico máximo.
Valor Relativo de Soporte.
Expansión.
Equivalente de arena.
- c) Diseño: Valor Relativo de Soporte.
(Método del Cuerpo de Ingenieros, U.S.A.)
Pruebas de Hveén, o bien
Pruebas Triaxiales de Texas.

III. - BASE Y SUB-BASE.

- a) Clasificación: Límites de plasticidad
Granulometría.

(6) Rico R. A., Castillo E. "Ingeniería de Suelos en las Ulas Terrestres". V.2

b) Calidad: Peso volumétrico máximo.

Valor Relativo de Soporte.

Equivalente de arena.

Expansión.

c) Diseño: Si se desea hacer un diseño por capas, deberán realizarse las pruebas indicadas para la capa sub-rasante.

IV. - CARPETA ASFALTICA.

a) Clasificación: Límites de plasticidad
Granulometría.

b) Calidad: Pruebas de desgaste y/o alterabilidad.

Equivalente de arena.

Expansión.

Afinidad con el asfalto.

Pruebas para definir la forma de los agregados.

c) Diseño: Prueba de Marshall, o bien:

Prueba de Hveem.

El contenido óptimo de asfalto puede determinarse también por el método C.K.E. * (4).

* Valor del Equivalente de Kerosina Centrifugada, C.K.E.

Contenido óptimo de producto asfáltico = $\frac{0.85 \text{ C.K.E.} + 2.5}{100}$

Pf= Porcentaje de material que pasa la malla No. 4

Af= Superficie total del agregado que pasa la malla No. 4

A = Superficie total del agregado considerado individualmente que pasa la malla No. 4.

$$\frac{Pf}{100}$$

$$Af = \frac{A \times 100}{Pf}$$

(4) "Muestreo y pruebas de materiales". Parte novena ., S.C.I.

1.2. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES A ESTABILIZAR.

Generalmente los suelos se han enmarcado como una combinación de gravas, arenas, limos y arcillas, pero para fines de estabilización esta clasificación no es suficiente, debido a que el especialista debe tener un conocimiento más exacto de las características y propiedades de los suelos, con el fin de minimizar los costos y obtener un buen diseño.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, se basa en la identificación de un suelo, como grava, arena, limo, arcilla o suelos orgánicos, así como en la determinación del porcentaje de contenido de finos y su plasticidad, éste método es muy útil pero para fines de estabilización de suelos es necesario reconocer también la presencia en las zonas en estudio, de aguas cargadas de sales, ácidos orgánicos, álcalis, etc., que pudieran atacar al suelo tratado; otro factor importante es la estructura molecular de la arcilla y su composición mineralógica, factores que son determinantes en el éxito de la estabilización.

Debido a lo anterior se considera el método SUCS, insuficiente para el estudio de una estabilización con productos químicos. No obstante existen algunos sistemas para clasificar a los suelos con fines ingenieriles, uno de los cuales se basa en el tamaño, forma y arreglo de las partículas conocido como método australiano; cabe hacer mención que estos sistemas tienen un carácter local.

El reconocimiento visual y manual es el primer paso para la determinación de la composición y propiedades en un suelo, el segundo paso es la determinación

del tipo de minerales que contiene el suelo, pues de ellos depende en forma directa la estabilidad volumétrica, la cohesión y en especial su respuesta a la estabilización.

Con base en observaciones y pruebas de campo sencillas se puede reconocer con cierto grado de aproximación a la mayoría de los grupos minerales, lo que conduce a un rápido análisis que conlleva un programa de muestreo más racional, así como una mejor elección de las pruebas necesarias para su identificación definitiva.

Los puntos más importantes de ésta secuencia son:

a) Observaciones generales del lugar y del perfil de suelos, para llevar a cabo esto es necesario realizar pozos a cielo abierto y extraer muestras alteradas estructuralmente; es importante tomar nota de los colores del suelo y del agua de los encharcamientos cercanos, de acuerdo a estas observaciones se puede inferir lo que se indica en las tablas 1.1, 1.2 y 1.3 respecto a los minerales de las arcillas.

b) Apreciación de la textura del suelo, ésta se deberá hacer por medio de agua destilada o de lluvia de buena calidad para determinar las proporciones de arenas, arcillas o limos contenidos en una muestra. Una textura arenosa en el suelo amasado indicará la presencia de arena, una textura pastosa la presencia de arcilla y la ausencia de ambas indicará limos. Si se permite que el suelo se seque en los dedos, el suelo arenoso no se adherirá a ellos, el limo se desprenderá fácilmente y la arcilla se adherirá fuertemente a ellos.

TABLA 1.1 PRINCIPALES TIPOS DE MINERALES (1).

Grupo	Minerales	Tamaño promedio	Características físicas
Arena muy fina	Cuarzo	1	abrasiva sin cohesión
Mica	Muscovita, biotita	1	Sin cohesión, se intempertza fácilmente, compactable.
Carbonato	Calcita, dolomita	Variable	Se pulveriza fácilmente.
Sulfato	Yeso	1	Ataca al cemento.
Alófan	Alúmina y sílica hidratada	Variable	Alta relación de vacíos Alta plasticidad
Caolín	Caolínita y halloysita	1	No expansiva, baja plasticidad, baja cohesión.
Illita	Illita y micas parcialmente degradadas	0.1	Expansiva, plasticidad media, baja permeabilidad.
Montmorillonita	Montmorillonita y bentonita	0.01	Altamente expansiva, muy - plástica permeabilidad extremadamente baja.
Clorita	Clorita, Vermiculita	0.1	Expansión baja, resistencia - al cortante baja.
Materia orgánica	Presencia de ácidos húmicos y humatos	Variable	Alta permeabilidad, difícilmente compactable, se puede degradar rápidamente por oxidación.

(1) Ingles O. G., Metcalf. "Soil Stabilization. Principles and Practice". Butterworths. Sidney 1972.

TABLA 1.2 INFERENCIAS DE LA OBSERVACION VISUAL (1).

Observaciones	Componente arcilloso dominante.
Aguas turbias de coloraciones amarillo-café a rojo-café.	Montmorillonitas, Illitas y salinidad de suelos.
Aguas claras.	Calcio, magnesio o suelo rico en hierro, suelos altamente ácidos, arenas.
Aguas claras con tonos azules.	Caolines no salinos.
Zanjas de erosión o tubificaciones en el suelo natural.	Arcillas salinas, usualmente montmorillonitas.
Ligeras erosiones o tubificaciones en el suelo natural.	Caolines.
Desprendimientos de suelo.	Caolinitas y cloritas.
Microrelieves superficiales	Montmorillonitas.
Formaciones rocosas graníticas.	Caolinitas, micas.
Formaciones rocosas basálticas topografía con drenaje pobre.	Montmorillonitas.
Formaciones rocosas basálticas con buen drenaje.	Caolinitas.
Formaciones rocosas de areniscas.	Caolinitas.
Formaciones rocosas de lutitas y pizarras.	Montmorillonitas o illitas, usualmente con salinidad del suelo.
Formaciones rocosas calizas.	Montmorillonitas alcalinas, y cloritas con propiedades muy variables.
Formaciones recientes de proclásticos.	Alófanos.

(1) Inglés O. G., *McCaig*. "Soil Stabilization. Principles and Practice". Butterworths. Sidney 1972.

TABLA 1.3 INFERENCIAS DE LA OBSERVACION DE PERFIL DE SUELO (1).

Arcillas moteadas o jaspeadas, con coloraciones rojo, naranja y blanco.	Caolinitas.
Arcillas moteadas o jaspeadas con coloraciones amarillo, naranja o gris.	Montmorillonitas.
Arcillas gris oscuro y negras.	Montmorillonitas.
Arcillas café o café rojizo.	Illitas con algo de montmorillonita.
Arcillas gris claro o blancas.	Caolinitas y bauxitas.
Partículas pequeñas de alta refracción (micas)	Suelos micáceos.
Cristales pequeños fácilmente disgregables.	Suelos ricos en yeso o zeolitas.
Nódulos suaves, diseminados, solubles en ácido.	Carbonatos.
Nódulos duros, café-rojizo.	Hierro, lateritas.
Agrietamiento intenso con grietas amplias, profundas y con espaciamiento de 5 a 6 cm.	Illitas ricas en calcio y montmorillonitas.
Igual al anterior pero con espaciamiento en las grietas hasta de 30 cm o más.	Illitas.
Suelos disgregables de textura abierta con cantidades apreciables de arcillas.	Suelos usualmente asociados con carbonatos, alófanos o caolín, pero nunca montmorillonita y rara vez illita.
Suelos disgregables de textura abierta con cantidades apreciables de arcilla, de color negro.	Suelos orgánicos, turba.
Suelos disgregables de textura abierta con bajo contenido de arcilla.	Carbonatos, limos y arenas.
Suelos que presentan una apariencia rugosa en la superficie expuesta al intemperismo.	Montmorillonitas con salinidad de sulfatos.

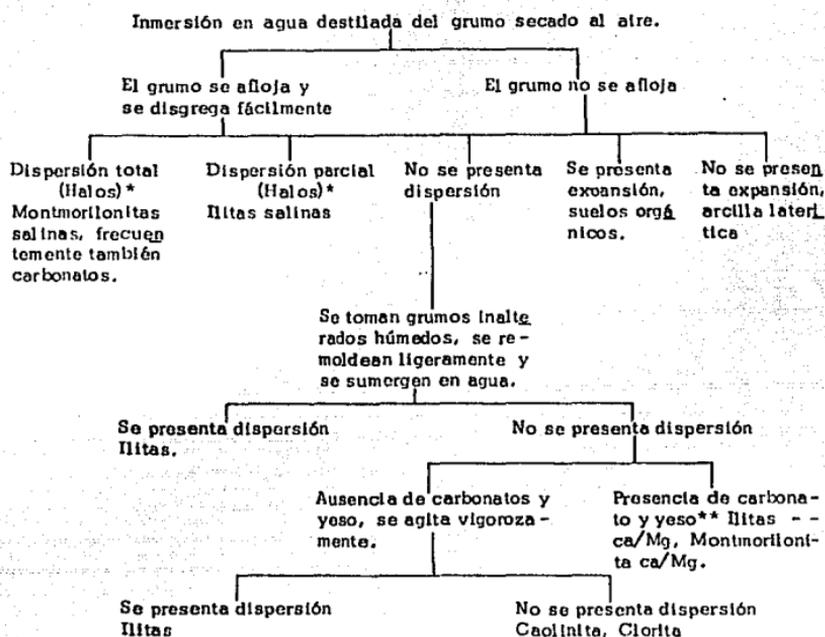
Horizontes de suelos blancuzcos, de espesores relativamente pequeños y cerca de la superficie (hasta 60 cm de la superficie).

Arriba del horizonte blancuzco se tienen limos finos y abajo arcilla dispersa. (En Australia).

(1) Inglis O. G., Metcalf. "Soil Stabilization. Principles and Practice".
Butterworths. Sidney 1972.

PROCESO DE IDENTIFICACION DE LOS MINERALES DE UN SUELO

- Profundidad a partir de la superficie.
- Color, anotando las coloraciones de las motas si hay.
- Inclusiones, indicar si se trata de carbonatos, hierro, rafces, materia orgánica, etc.
- Textura y consistencia.
- Dispersión en agua. Fig. 1.1
- Tipo de perfil.
- Geología. Tipo de rocas o formaciones en la región.
- Aguas superficiales. Coloración, turbidez, etc.
- Erosión. Tipo de erosión.
- Presencia de deslizamientos.
- Microrelieve en los suelos.
- MINERAL INFERIDO.



* La dispersión se detecta mediante la formación de halos nebulosos finos alrededor de cada grumo, fácilmente visibles contra un fondo oscuro, mientras más pronunciados sean los halos, más alta será la dispersión. El asentamiento del suelo en el líquido que permanece claro durante menos de 10 minutos será un signo de la ausencia de dispersión.

** Si no se reconoce claramente la presencia de carbonatos, esta se puede verificar mediante la efervescencia del suelo al colocar una gota de ácido en éste. (El ácido de una batería de automóvil puede ser suficiente).

Fig. 1.1 Esquema de la prueba de inmersión del grumo en agua (3).

(3) Fernández Loiza, C. "Mejoramiento y Estabilización de Suelos".

1.3 VENTAJAS DEL RECONOCIMIENTO DE LOS SUELOS-PROPIEDADES DE LOS SUELOS.

El propósito y las ventajas del reconocimiento de los suelos descritos anteriormente es permitir decisiones lógicas respecto al tipo de estabilización más adecuado así como las pruebas a efectuar. De esta manera se pueden lograr economías considerables sin riesgos para el proyectista de la estabilización.

Para que el reconocimiento de los suelos sea más efectivo debe complementarse con el conocimiento de las propiedades del suelo y de sus componentes. Con este fin en la tabla 1.4 se indican las propiedades ingenieriles de los diferentes componentes de un suelo. Debe tenerse en cuenta que las tablas, como la presentada, son generales y que pueden presentarse excepciones.

El uso adecuado de dichas tablas debe ser sólo con el fin de tener una estimación preliminar de la naturaleza del suelo en cuestión. Para trabajos de poca importancia la exactitud de esta estimación preliminar puede ser suficiente si se presentan todos los signos de diagnóstico; si se presentan algunos conflictos en las indicaciones deberán efectuarse pruebas detalladas de laboratorio.

En trabajos importantes, la estimación preliminar se puede utilizar para formular decisiones correspondientes al probable tipo de estabilizante más adecuado así como la elección de los procedimientos de prueba correspondientes.

Las propiedades de suelos heterogéneos pueden inferirse como una primera aproximación, de los componentes dominantes y subdominantes de los suelos.

COMPONENTE PROPIEDADES		ARENA	LIMO	ARCILLA	CARBONATO	SULFATO	CAOLIN	ILITA	MONTMORILLONITA	CLORITA	ALOFANO	MATERIA ORGANICA
PERMEABILIDAD	SECO	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	HUMEDO	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ESTABILIDAD	VOLUMETRICA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PLASTICIDAD		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
COHESION		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
RESISTENCIA	SECO		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	HUMEDO		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
COMPACTACION	CON LA HUMEDAD OPTIMA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ESTABILIDAD	AL INTemperismo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ABRASIVIDAD		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PROBLEMAS CUANDO EL MATERIA ES UNIFORME												
LA BOTITA CAUSA MAS PROBLEMAS QUE LA MOSCOVITA												
SE SOLUBLE EN ACIDOS												
ATAACA A LOS CEMENTOS PORTLAND												
TOMAR EN CUENTA LA SALINIDAD												
TOMAR EN CUENTA LA SALINIDAD												

m = MODERADO
+ = ALTA
++ = MUY ALTA

- = BAJA
-- = MUY BAJA

★ Los efectos de la salinidad en el suelo pueden ser criticos para ciertos estructuras ingenieriles y deberan evaluarse por separado de acuerdo con la inspeccion preliminar del suelo

UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
PROPIEDADES INGENIERILES DE LOS COMPONENTES DE UN SUELO	
H.M. OLIVARES H. M. CANSECO M.	TABLA I.4

En la tabla 1.5 se presenta un ejemplo del uso de la tabla anteriormente referida.

TABLA 1.5 EJEMPLO DE APLICACION DEL METODO AUSTRALIANO PARA LA CLASIFICACION DE SUELOS.

1. Espesor	2.0 mts.
2. Color	Gris oscuro a negro (Montmorilonita, de la tabla 1.3)
3. Textura	Arcilloso.
4. Consistencia	Muy dura en estado seco a muy firme húmeda (Montmorilonita de la tabla 1.4)
5. Por ciento estimado de finos	95%
6. Agrietamiento	Intenso y profundo con separaciones entre grietas de 5 a 6 cm (Iilita o montmorilonita, de la tabla 1.3)
7. Grumo en agua	El grumo no se aflojó al introducirlo en agua, no se presentó dispersión. Se remoldeó y se volvió a introducir en agua y tampoco se presentó dispersión (Montmorilonita o Iilita, de la figura 1.1)
8. Afloramientos rocosos	Formaciones basálticas (Montmorilonita, tabla 1.2)
9. Drenaje	Pobre (montmorilonita, tabla 1.2)
10. Aguas superficiales	Turbias, amarillo-café (Montmorilonita, tabla 1.2)
11. Ataque del agua	Zanjas y tubificaciones (Montmorilonita, tabla 1.2)
12. Observaciones	Contiene carbonato

Mineral Inferido: MONTMORILONITA.

1.3.1 IMPORTANCIA DEL MEDIO AMBIENTE,

Las condiciones ambientales son de gran importancia en el correcto uso ingenieril de los suelos y en especial de los suelos estabilizados. Probablemente el factor más importante de estos es el diferente grado de saturación que puede tener un suelo.

El hecho de que un suelo se encuentra sin saturar o saturado, tiene importantes implicaciones que hay que tener presentes en el uso ingenieril de un suelo:

- Compactación de suelos saturados.

El suelo arcilloso es difícil de compactar pues las presiones de poro no se disipan rápidamente, se tiene baja trabajabilidad y condiciones de transibilidad pobres. Estos dos problemas se pueden resolver, en algunos casos mediante la adición de cal.

- Compactación de suelos no saturados.

Las arcillas de plasticidad alta a media, especialmente las salinas, presentan graves problemas para la homogeneización de la humedad óptima y además tienden a secarse en forma no uniforme.

- Estabilización química de suelos saturados.

Los asfaltos y las emulsiones asfálticas pueden no romper y la adición de cemento portland manifestará resistencias menores que en el caso de utilizar un suelo más seco.

- Estabilización química de suelos no saturados.

Los productos estabilizantes pueden requerir agua para que se produzca su reacción (la cal y el cemento presentarán una reacción pobre a menos que se agregue agua). Una vez que se adicione agua, su distribución uniforme en la masa del suelo será tan importante como la del mismo estabilizante.

Otro punto que no ha sido muy discutido es la permeabilidad de los suelos, tomando en cuenta a los minerales constituyentes, o bien a la floculación. Pues por ejemplo, si tenemos un suelo con perfil doble, en donde la capa superior esté constituida por un suelo limoso o arenoso y la inferior por una arcilla plástica, deberá de tomarse en cuenta la probabilidad de tener niveles freáticos colgados en la capa superior y considerar sus efectos en la capa inferior.

En tiempos de intensa sequía el suelo de la capa inferior retendrá en dicha capa una cantidad considerable de humedad lo que puede ser muy útil; por ejemplo para una acción puzolánica.

Un aspecto importante se relaciona con la presencia de yeso en el suelo, cuyos efectos son potencialmente mortíferos en las estabilizaciones con cemento Portland. Se ha encontrado que en algunos suelos, el espesor contaminado con yeso se relaciona con la precipitación pluvial, la evaporación y con el grado de aridez de la zona.

En lugares donde las precipitaciones son altas, la capa contaminada con ye-

so es muy superficial, encontrándose la capa contaminada más profunda a medida que la zona es más árida.

Finalmente, cabe hacer mención al hecho de que la estabilización de un suelo puede no realizarse en el campo, aunque los estudios de laboratorio manifiesten lo contrario, esto se puede deber a situaciones no tomadas en cuenta en el laboratorio, pues por ejemplo, si el agua de compactación empleada en el campo es ácida y la empleada en el laboratorio no lo es, se originarán reacciones en el campo que no se presentarán en el laboratorio.

De lo anterior se deduce la necesidad de que en un estudio de estabilización se lleve a cabo una evaluación lo más completa posible y se consideren todos los factores y materiales que pudieran intervenir durante la construcción como posteriores a ella.

1.4 RESPUESTA DE LOS SUELOS A LA ESTABILIZACION.

Posteriormente se indicarán las aplicaciones específicas de los diferentes procedimientos de estabilización, sin embargo, se considera adecuado resumir las respuestas generales de los diferentes tipos de suelos cuando se utilizan diferentes tipos de estabilizantes, de tal manera que teniendo el reconocimiento preliminar de los suelos puede también llevarse a cabo la elección preliminar del método de estabilización más adecuado.

Se ha utilizado como una norma general, el utilizar cementos Portland para las arenas y cal para las arcillas. Esta norma tiene bastante validez pero no toma en consideración muchos otros procedimientos de estabilización que pueden resultar más efectivos y económicos.

En la tabla 1.6 se presentan las técnicas de estabilización química usualmente aplicadas junto con las razones de su utilización. Esta tabla cubre solamente los tres métodos de estabilización más comunes en la práctica, es decir: la adición de cemento, la adición de cal y la adición de productos asfálticos. Posteriormente se describirán otros métodos especiales pero de aplicación más restringida ya sea por razones económicas o de orden práctico.

TABLA 1.6 RESPUESTA A LA ESTABILIZACION DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS (1).

Componente dominante	Estabilizante recomendado	Objetivo
Arenas	Arcilla de baja plasticidad	Para estabilización mecánica.
	Cemento Portland	Incrementar el peso volumétrico y la cohesión.
	Asfaltos	Incrementar la cohesión.
Limos	Dependerá del tipo de minerales que contenga	
Alófanos	Cal	Acción puzolánica o incremento en el peso volumétrico.
Caolín	Arena	Para estabilización mecánica.
	Cemento	Para resistencias tempranas.
	Cal	Trabajabilidad y resistencia tardía.
Bita	Cemento	Igual que el caolín.
	Cal	Igual que el caolín.
Montmorillonita	Cal	Trabajabilidad y resistencia. Reducción de expansiones y contracciones.

(1) Inglés O.G. Metcalf. "Soil Stabilization. Principles and Practice". Butterworths. Sidney 1972.

1.5 ESTABILIZACION DE SUELOS EN LA CONSTRUCCION DE CAMINOS.

En el diseño de pavimentos es muy común encontrar suelos que no satisfacen los requerimientos técnicos necesarios para su empleo en este tipo de trabajo, lo anterior obliga al ingeniero a tomar decisiones que pueden ser las siguientes (1):

- Aceptar el material tal como lo encuentra, pero tomando en cuenta realísticamente su calidad en el diseño efectuado.
- Eliminar el material inadecuado o definitivamente prescindir de usarlo, sustituyéndolo por otro de características adecuadas.
- Modificar las propiedades del material existente, para hacerlo capaz de cumplir mejores requerimientos.

La última alternativa da lugar a las técnicas de estabilización de suelos. En rigor son muchos los procedimientos que pueden seguirse para lograr esa mejora de las propiedades de los suelos, con vista a hacerlos apropiados para el uso de vías terrestres, lo que en sí constituye la estabilización.

A continuación se mencionan las técnicas más comunes en el proceso de estabilización de suelos para pavimentos:

- Estabilización por medios mecánicos, de los que la compactación es el más conocido, pero entre los que las mezclas de suelos se utilizan también muy frecuentemente.

(1) Ingalls O. G. Metcalf. "Soil Stabilization. Principles and Practice". Butterworths, Sidney 1972.

- Estabilización por drenaje.
- Estabilización por medios eléctricos de los que la electrosmosis y la utilización de pilotes electrometálicos son probablemente los más conocidos.
- Estabilización por empleo de calor y calcinación.
- Estabilización por medios químicos, generalmente lograda por la adición - de agentes estabilizantes específicos, como el cemento, la cal, el asfalto u otros.

La gran variabilidad de los suelos y sus composiciones hacen que cada método resulte sólo aplicable a un número limitado de tipos de ellos.

La descripción de algunos métodos de estabilización tradicionales, con sus características principales, se hace en las páginas siguientes.

1.6 METODOS TRADICIONALES DE ESTABILIZACION.

Como ya se mencionó la palabra estabilización ha sido utilizada durante muchos años, existen varias definiciones, aunque básicamente el propósito de cualquier estabilización es la de mejorar las características indeseables o las malas condiciones de los suelos para que puedan ser utilizados con éxito en la estructura del pavimento.

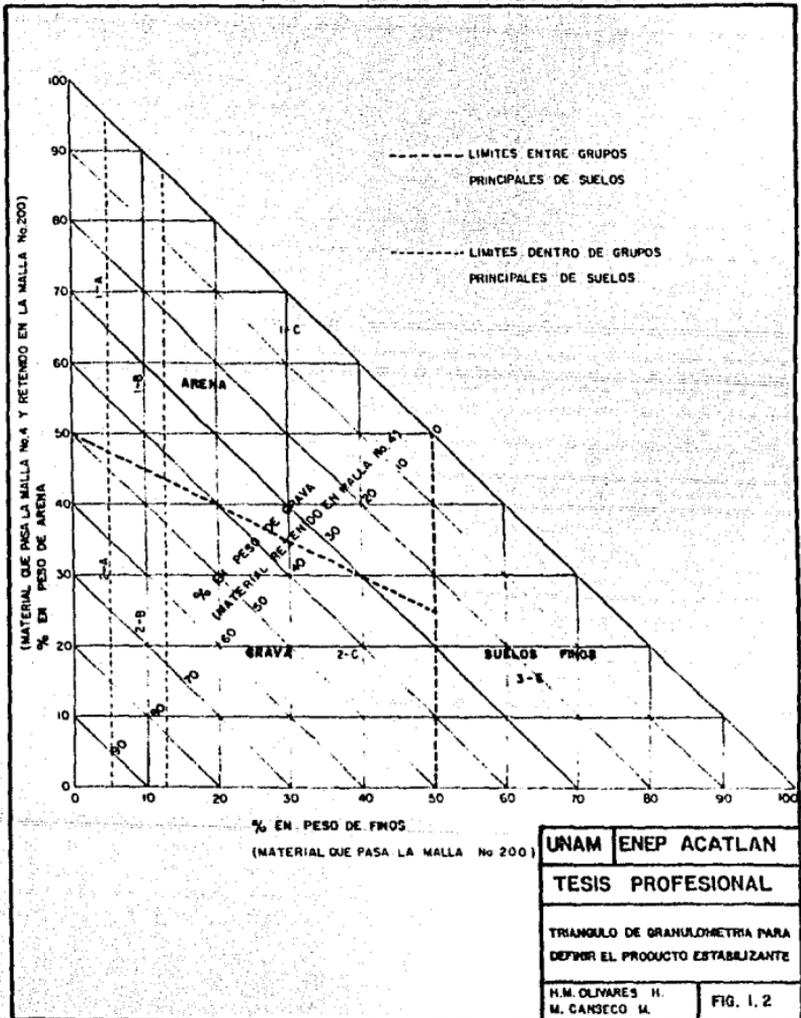
El factor costo es el determinante, cuando el ingeniero que proyecta caminos debe decidir entre utilizar los materiales disponibles del lugar o trasladarlos de

bancos de préstamo, que en ocasiones se encuentran a distancias muy grandes, lo que implica mayores longitudes de traslado. Hasta la fecha se han realizado estabilizaciones con una gran cantidad de productos tales como: Asfalto, emulsiones asfálticas, cloruro de calcio, cemento, cal, granza, cloruro de sodio, alquitrán, brea, escoria de altos hornos, conchas de ostión, etc..., que pueden rendir increíbles resultados, bajo un estudio previo de factibilidad.

Lo tradicional en las estabilizaciones está con la cal, el cemento y el asfalto, para esto los técnicos sólo se han basado en la granulometría del material y de acuerdo a la figura 1.2 que permite determinar cual de los tres agentes es el más ideal, así se determina, que para los materiales muy finos como las arcillas plásticas, el agente indicado es la cal hidratada, para los materiales gruesos como las arenas es el cemento y para los materiales triturados o gravas el asfalto. Estas consideraciones tal vez hayan dado buenos resultados, pero definitivamente no son recomendables como uso general ya que como anteriormente se mencionó es necesario determinar otros factores que son definitivos en el éxito de la estabilización.

1.7 ESTABILIZACION DE SUELOS MEDIANTE SU MEZCLADO CON OTROS SUELOS O LA MODIFICACION DE SU GRANULOMETRIA.

La estabilidad de un suelo que contenga material fino y grueso depende de la distribución de los diferentes tamaños de sus partículas, de la forma de las partículas, su peso volumétrico, su fricción interna y su cohesión. Los materiales que se emplean en carreteras pueden ser:



- a) Suelos procedentes de bancos naturales, como los depósitos de río, que generalmente contienen grava, arena, arcilla y limos o los depósitos de arena de playa constituidos generalmente por arenas uniformes.
- b) Suelos procesados. Muchas veces los suelos naturales tal y como vienen del banco no son adecuados para su uso y por consiguiente se hace necesario procesarlos para cambiar su tamaño, forma o textura mediante trituración o modificación de su granulometría, mediante lavado o su separación en los diferentes tamaños y posterior redosificación.
- c) Suelos procedentes de bancos de préstamo. Cuando los materiales por los que atraviesa el camino son adecuados para su construcción, se les emplea extrayéndolos de excavaciones cercanas.
- d) Suelos de tipo especial, como los que resultan de la modificación en sus características físicas o químicas, de algunos materiales durante algún proceso, como lo es el caso de las escorias de altos hornos. Este material flota durante la fundición del fierro, se separa de éste y se reduce al tamaño deseado para su utilización.

Una de las propiedades más importantes en un 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.

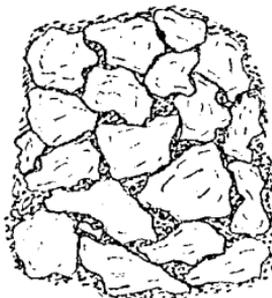
La resistencia de un suelo se ve entonces influenciada por la proporción de

agregados gruesos y finos que contenga éste. En la figura 1.3 se muestran tres estados físicos de un suelo y algunos de sus propiedades físicas. Como se puede observar en dicha figura, un suelo que contiene pocos o ningún fino y que presenta buena sucesión de tamaños, obtiene su estabilidad gracias a un contacto directo entre sus partículas.

Un suelo sin finos es permeable y no susceptible a la acción de las heladas, sin embargo, este material presenta problemas de trabajabilidad durante la construcción debido a su naturaleza no cohesiva.

Un suelo que contiene los finos suficientes para llenar todos los vacíos entre las partículas obtendrá su resistencia del contacto directo entre sus partículas, pero la presencia de los finos hará que se tenga una mejor distribución de los esfuerzos que en el caso del suelo sin finos el peso volumétrico es alto, su permeabilidad es baja y puede ser susceptible a la acción de las heladas; este 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 el material, tanto confinado como sin confinar.

En el otro extremo, en un suelo que contenga una gran cantidad de finos, la transmisión de los esfuerzos no se efectúa 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 a las partículas finas; el peso volumétrico de este material es en general bajo, es prácticamente impermeable y susceptible a la acción de las heladas. Adicionalmente, la



a) Agregados sin finos.

- Contacto grano a grano
- Peso volumétrico variable
- Permeable
- No susceptible a las heladas
- Alta estabilidad en estado confinado
- Baja estabilidad en estado no confinado
- No es afectado por condiciones hidráulicas adversas.
- Se dificulta su compactación

b) Agregados con finos suficientes para obtener una alta densidad.

- Contacto grano a grano con incremento en la resistencia
- Resistencia a la deformación
- Mayor peso volumétrico
- Más baja permeabilidad
- Es susceptible a las heladas
- Relativa alta estabilidad en estado confinado y no confinado
- No es muy afectado por condiciones hidráulicas adversas
- Moderadamente difícil de compactar

c) Agregados con gran cantidad de finos.

- No hay contacto de grano a grano, encontrándose dentro de una matriz de suelos finos
- Este estado disminuye su peso volumétrico
- Baja permeabilidad
- Susceptible a las heladas
- Baja estabilidad
- Es afectado por condiciones hidráulicas adversas
- No se dificulta su compactación

Fig. 1.3. Estado físico de Agregado Mixto.

estabilidad de este tipo de suelo se ve grandemente afectada por cambios de humedad.

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 más gruesas son las que resisten los impactos y el desgaste por lo cual deben tener las características para ello.

El material fino (limos o arcillas) puede admitirse en muy bajos porcentajes, pero se debe tener en cuenta que se puede 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 fino en agregados gruesos, máxime si el material fino es de alta plasticidad.

El índice plástico del suelo debe ser menor a medida que la precipitación pluvial sea más alta y que el drenaje sea deficiente, ya que de esta 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 además en estos casos que el índice plástico sea pequeño.

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 estabilizacio-

nes tenga un límite líquido que no exceda al 25%.

El problema de la estabilización mediante el mezclado de suelos se plantea, pues, desde dos puntos de vista, la granulometría de la mezcla de suelos y la plasticidad resultante en los finos incluidos en la mezcla. Son estos dos aspectos los que se tomarán en cuenta para el diseño de la estabilización cabe mencionar, que el proyectista debe verificar, mediante pruebas de laboratorio, que la calidad del suelo diseñado con base en la granulometría y plasticidad, sea la requerida para los fines que se persigan, sobre todo en lo concerniente a la resistencia.

DISEÑO DE LA GRANULOMETRÍA.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) cuenta con especificaciones de granulometría para los materiales de Base y Sub-base, según se muestra en la figura 1.4. En dichas especificaciones se prefiere a los materiales que caen dentro de la zona 1 y que además tengan sensiblemente la misma curvatura que la de las líneas limítrofes de dicha zona.

En el diseño de granulometrías existe un gran número de métodos de los cuales se ha elegido uno de los más prácticos. Independientemente del número de agregados que se utilicen en el diseño de la mezcla, deberá siempre utilizarse una fórmula que exprese la combinación y que se denomina "Fórmula Básica" la cual es la siguiente:

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

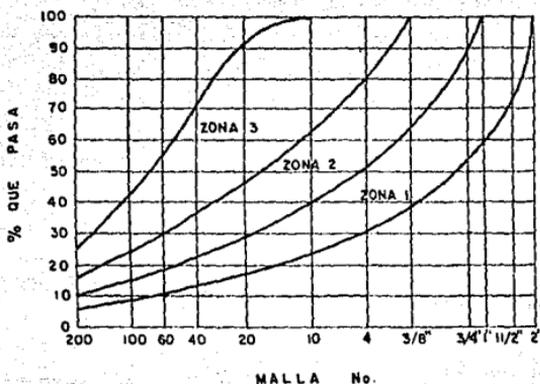


Fig. 1.4 Gráfica de composición granulométrica, para base y sub-base.

Fórmula Básica:

$$P = a(A) + b(B) + c(C) + \dots$$

P: es el porcentaje que pasa por una cierta malla de los materiales $\alpha, \beta, \gamma, \dots$, mezclados.

A, B, C, son los porcentajes de los materiales $\alpha, \beta, \gamma, \dots$, que pasan por una cierta malla.

a, b, c, son los porcentajes en que los materiales $\alpha, \beta, \gamma, \dots$, están en la combinación.

Es obvio que la combinación óptima, será aquella en la cual los diferentes porcentajes "P" de la mezcla queden lo más posible, dentro de las especificaciones, siempre y cuando se tomen en cuenta aspectos de orden práctico y económico.

a) 1. Caso de dos materiales, solución analítico.

Si se tiene el caso de solamente dos materiales podría aplicarse la fórmula básica, en cuyo caso ésta sería:

$$P = a(A) + b(B) \quad 1.1$$

puesto que:

$$a + b = 100\% \text{ o bien } a + b = 1.00 \quad 1.2$$

entonces:

$$a = 1.0 - b \quad 1.3$$

sustituyendo en la ec. 1.1, se tiene.

$$P = A(1-b) + b(B) = A - bA + bB \quad 1.4$$

$$P - A = b(B - A) \quad 1.5$$

Finalmente:

$$b = \frac{P - A}{B - A} \quad 1.6$$

Similarmenete:

$$a = \frac{P - B}{A - B} \quad 1.7$$

Los datos conocidos en las fórmulas 1.6 y 1.7, serían A y B, por lo que para efectuar la determinación de a y b, será necesario que se fije un valor de P con base en las necesidades prácticas del problema o bien tomando en cuenta las especificaciones (4).

Supongamos que contamos con los materiales α , β , cuyos datos granulométricos son los siguientes:

(4) "Muestreo y Pruebas de Materiales". Parte novena S.C.T. .

Malla	3/4"	1/2"	3/8"	N.4	N.8	N.30	N.50	N.100	N.200
Específico	100	80/100	70/90	50/70	35/50	18/29	13/23	8/16	4/10
Material	100	90	59	16	3.2	1.1	0	0	0
Material	100	100	100	96	82	51	36	21	9.2

En la fig. 1.5 se muestran gráficamente las granulometrías anteriores. Para el diseño analítico de la granulometría es necesario efectuar, primero un análisis visual de las representaciones gráficas de ambas granulometrías y estimar en qué proporciones pueden contribuir ambos agregados.

Por ejemplo, en el presente caso se puede apreciar que los finos son proporcionados por el material β , y los gruesos por el α . De acuerdo con lo anterior podríamos escoger para el diseño, a la malla No. 8 y al punto medio de las especificaciones para dicha malla; con base en ello y de acuerdo con la fórmula 1.6 tenemos:

$$b = \frac{P - A}{B - A} ; \text{ donde}$$

$$P = \frac{50 - 35}{2} + 35 = 7.5 + 35 = 42.5\%$$

$$A = 3.2\%$$

$$B = 82.0\%$$

Haciendo sustituciones:

$$b = \frac{42.5 - 3.2}{82.0 - 3.2} = 0.50 \text{ ó sea } 50\%$$

como:

$$a+b = 1.0 = 100\% \text{ entonces}$$

$$a = 100 - b = 100 - 50 = 50\%$$

lo cual significa que como primer tanteo podr a utilizarse a estas proporciones - de acuerdo con esto se tendr a:

Malla	3/4"	1/2"	3/8"	N.4	N.8	N.30	N.50	N.100	N.200
0.5x	50.0	45.0	29.0	8.0	1.6	0.6	0.0	0.0	0.0
0.5x	50.0	50.0	50.0	48.0	41.0	25.0	18.0	10.5	4.6
Total	100.0	95.0	79.5	56.0	42.6	25.6	18.0	10.5	4.6
Especif. 100.0	80/100	70/90	50/70	35/50	18/29	13/23	8/16	4/10	

Observando la granulometría resultante se puede apreciar que ésta queda cer- ca del límite inferior en lo que respecta al porcentaje que pasa por la malla -- No. 200; ya sabida la gran influencia que tiene el contenido de finos en un ma- terial, se debe proceder mediante otro tanteo a afinar dicho contenido, pues si_ por ejemplo, se estima que la parte media de las especificaciones es lo más - adecuado, entonces se podr a aumentar el porcentaje de finos, incrementando el_ porcentaje del material β a 55% o tal vez a 53%. Suponiendo que la decisión - es emplear $b = 55\%$, entonces la nueva granulometría ser a:

Malla	3/4"	1/2"	3/8"	N.4	N.8	N.30	N.50	N.100	N.200
0.45	45.0	40.5	26.6	7.2	1.4	0.5	0.0	0.0	0
0.55	55.0	55.0	55.0	52.8	45.1	28.5	19.8	11.5	5.1
Total	100.0	95.5	81.6	60.0	46.5	29.0	19.8	11.5	5.1
Específic.	100.0	80/100	70/90	50/70	35/50	18/29	13/23	8/16	4/10

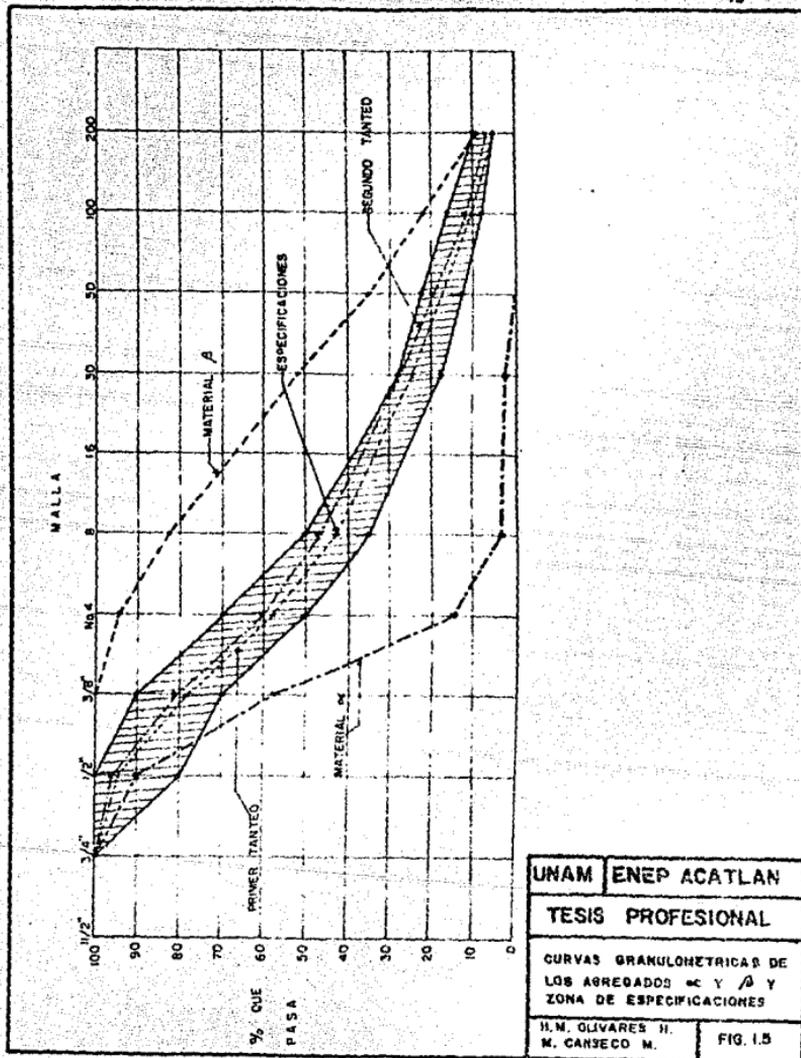
Nótese que ahora el material de la malla No. 30 quedó en el límite superior. Podría hacerse un nuevo tanteo con $b = 52\%$ o $b = 53\%$, si el proyectista así lo considera conveniente. En la figura 1.5 se muestran gráficamente las granulometrías de los dos tanteos.

a) 2. Caso de dos agregados. Solución gráfica.

Algunas veces los materiales que se van a mezclar tienen granulometrías tales que resulta difícil de estimar, mediante el simple examen visual la mezcla óptima, es el caso cuando las curvas granulométricas se traslapan o se cruzan.

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

- 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 de la figura y el 100 en la parte superior.



UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

CURVAS GRANULOMETRICAS DE
LOS ABREDADOS α Y β Y
ZONA DE ESPECIFICACIONESH. M. OLIVARES H.
M. GANSECO M.

FIG. 1.5

- 3.- En la abscisa superior se dibuja una escala recíproca a 100, de la escala en la abscisa inferior en donde se tiene origen a la izquierda ver -- fig. 1.6.
- 4.- A partir de los datos granulométricos, se dibujan los porcentajes que pasan de los diferentes tamaños del material α en la escala vertical de la derecha, y en la escala vertical de la izquierda los correspondientes porcentajes del material β .
- 5.- Se conectan con líneas rectas los puntos correspondientes de los agregados α y β para un mismo tamaño. Se marcan las líneas con el correspondiente tamaño, ver figura 1.6.
- 6.- Se marcan sobre las líneas trazadas los límites de las especificaciones de acuerdo con las especificaciones y de acuerdo con la escala vertical, ver figura 1.6.
- 7.- Nótese que marcando un punto sobre cualquiera de las líneas identificadas con los tamaños de los agregados, éste nos definirá los porcentajes en las escalas horizontales, en que los materiales α y β entrarían en la mezcla para el punto marcado y el tamaño correspondiente.
- 8.- Con base en lo anterior, se podrían trazar dos líneas verticales que cubran los límites de las especificaciones, Ver las líneas discontinuas en la figura 1.6.

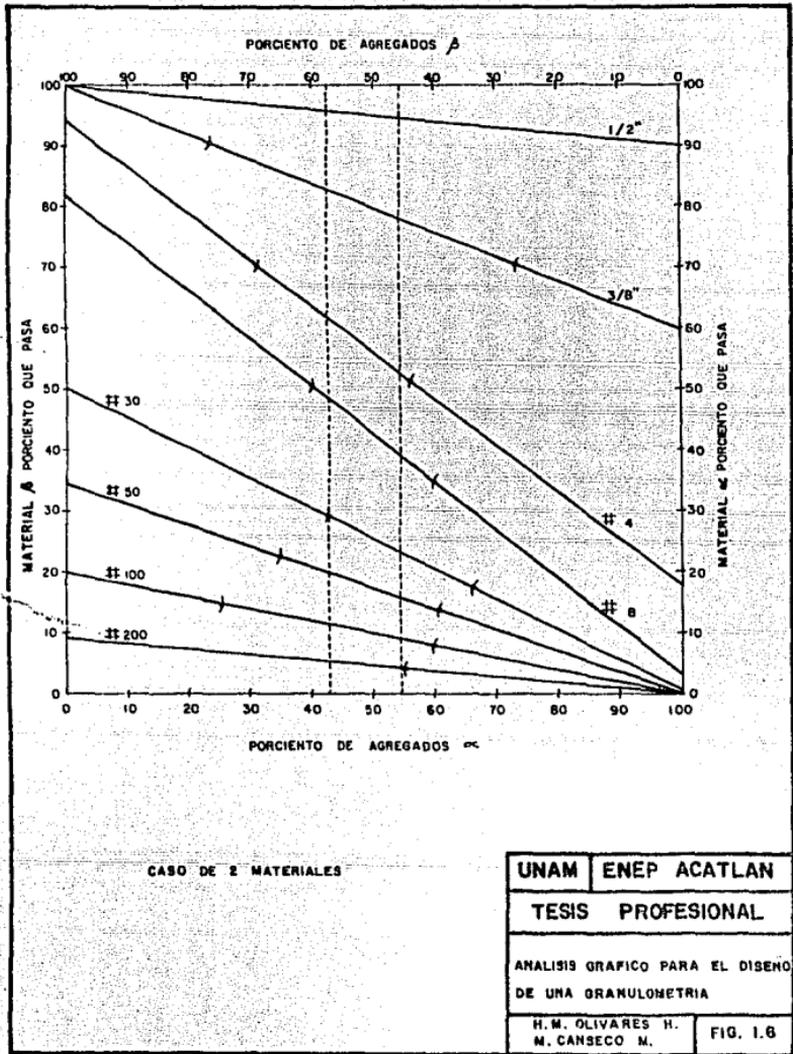


Caso de 2 materiales.

9. - Se traza una línea vertical central entre las dos rectas anteriores.

Esta línea nos definirá, en las escalas horizontales, los porcentajes en que los materiales α y β entran en el proporcionamiento y en las -- proyecciones en la escala vertical de las intersecciones de dicha línea central con las diferentes líneas de cada tamaño, a la granulometría resultante en la mezcla.

Aplicando este procedimiento al ejemplo mostrado en el inciso a) anterior se obtiene, como se muestra en la figura 1.6 que los porcentajes óptimos son de - 48% para el material α y de 52% para el β . Proyectando en los ejes vertica



les a las intersecciones de la línea central se obtendría la granulometría óptima, en cuanto a especificaciones.

Este método presenta la ventaja, sobre el método analítico, de que proporciona al calculista un panorama más amplio de la posible dosificación, si se quiere cumplir al máximo con las especificaciones, sobre todo en aquellos casos en que las granulometrías se traslapan, ya que en dicho caso el análisis numérico hace que la elección del primer tanteo sea difícil si no es que prácticamente imposible.

Cabe aclarar que cualquiera que sea el proporcionamiento escogido deberá tenerse la seguridad de que el producto resultante representa un equilibrio entre el aspecto económico y la calidad.

PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION.

Una vez proyectada una mezcla, su ejecución y aplicación a la construcción del camino se realiza de acuerdo con las etapas siguientes:

- Escarificación o remoción, hasta la profundidad proyectada, del suelo in situ.
- Acarillamiento de los materiales a mezclar, en las proximidades del suelo escarificado o sobre el suelo descubierto si se efectuaron remociones.

- Comprobación tanto de las características de los suelos constituyentes como las del material resultante en la mezcla.
- Mezclado y homogeneización de la mezcla de suelos.
- Adición de la humedad de compactación.
- Colocación y extendido de la mezcla.
- Compactación de la mezcla.

Algunos materiales como las arenas y gravas pueden mezclarse con relativa facilidad, pero las arcillas pueden requerir la previa disgregación para efectuar el mezclado y poder lograr una mezcla uniforme.

La preparación de la mezcla puede hacerse en el lugar, mediante el empleo de máquinas especiales o bien con el equipo tradicional*, o bien en plantas fijas.

Disgregación.

Para disgregar las arcillas se pueden emplear arados de discos o de rastras.

El grado de disgregación que se ha considerado (J.L. Escario 1964) es el siguiente (7):

* En el anexo 1. se detalla el proceso constructivo tradicional
(7) Escario J. L., Escario V., Balaguer E. "Caminos." V. 2.

Malla	% que debe pasar, mínimo.
1"	100
No. 4	85
No.10	65

* En el anexo 1. Se detalla el proceso constructivo tradicional.

MEZCLADO.

Como se indicó anteriormente, el mezclado se realiza en parte durante el -- proceso de disgregación, pero debe completarse con varias pasadas de una mota conformadora para lograr homogeneidad; esta operación debe repetirse cuantas veces se juzgue necesario.

ADICION DEL AGUA DE COMPACTACION.

Esta es una operación delicada, ya que durante el tiempo caluroso puede evaporarse el agua de compactación rápidamente, por lo cual es conveniente que -- las etapas de construcción posteriores a la adición del agua se lleven a cabo lo más rápidamente posible, e inclusive se puede llegar a requerir que dichas etapas se lleven a cabo durante la noche.

La adición de agua en exceso puede resultar en detrimento de la resistencia, Es necesario regar a las superficies expuestas del suelo antes de colocar una -- capa y compactarla.

SUELO DE APOYO DE LA CAPA ESTABILIZADA.

El suelo sobre el cual se vaya a colocar la capa estabilizada deberá estar previamente nivelado y compactado. Cuando se juzgue necesario deberá colocarse una capa de material granular que sirva para cortar la ascensión capilar.

MEZCLADO Y EXTENDIDO DEL MATERIAL.

El mezclado del suelo con el agua puede efectuarse con motoconformadora, replitiendo las operaciones todas las veces que se juzgue necesario hasta obtener un material uniforme y homogéneo.

La motoconformadora puede así mismo servir para el extendido del material, debiéndose comprobar en diferentes puntos la uniformidad en los espesores tendidos.

COMPACTACION.

La operación de compactación puede llevarse a cabo en forma normal.

Este tema es ampliamente tratado en la literatura existente por lo que en el presente trabajo no se detalla, pero se le da un enfoque general*.

* Ver anexo 1. Compactación.

CONTROL DE CALIDAD.

No obstante que se tenga un minucioso control de la cantidad de finos contenidos en la mezcla, generalmente se tienen pequeñas variaciones en dicho contenido de finos con respecto al porcentaje de diseño, que a la postre pueden ocasionar la falla en la capa de la cual la mezcla de suelos forma parte.

Un procedimiento para el control de las mezclas de suelos gruesos con finos podría ser el propuesto por E. J. Yoder y T.G. Williamson (2), el procedimiento consiste en los siguientes:

- a) Una vez proyectada la mezcla de suelos, se deberá determinar o estimar el rango probable que se pueda tener en el contenido de finos.

Con base en este rango se deberán fabricar especímenes, con diferentes contenidos de finos, compactados con la humedad óptima de la prueba especificada para el proyecto en cuestión.

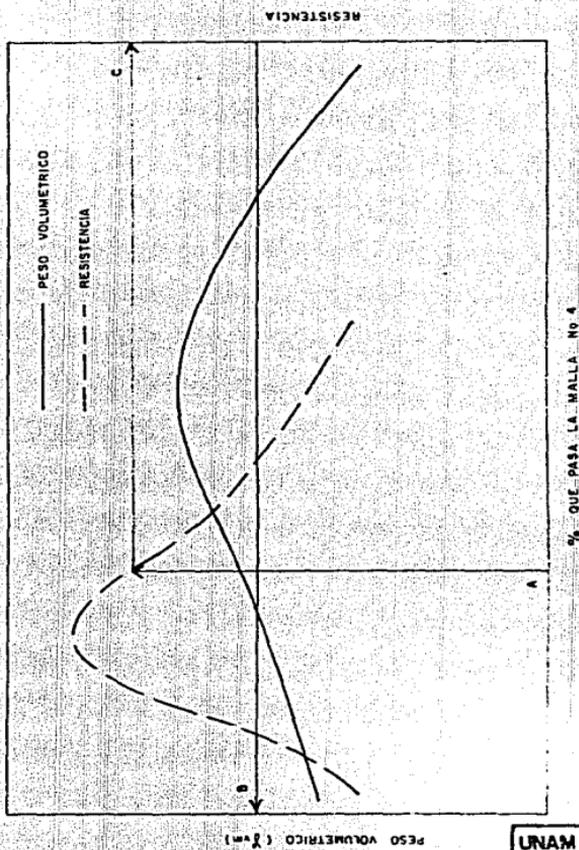
- b) Se llevan a cabo pruebas de resistencia y se determinan los pesos volumétricos en los diferentes especímenes.

- c) Con los datos obtenidos se dibuja una gráfica como ilustrada en la fig. 1.7, en donde se tiene en las ordenadas el peso volumétrico y a la resistencia, y en las abscisas, el por ciento que pasa la malla No. 4.

- d) Una vez que se tienen estas curvas de calibración se puede proceder al control de la compactación, lo cual se haría como sigue:

[2] T. G. Williamson y E. J. Yoder. "An Investigation of Compaction Variability -- for Selected Highway Projects in Indiana U.S.A.".

- 1^a Se efectúa una cala en el punto considerado y se determina tanto el peso volumétrico en el lugar " γ_v "; como el porcentaje "A" de material que pasa la malla No. 4.
- 2^a Con dicho porcentaje se entra a la curva de calibración y se determina el peso volumétrico máximo " γ_{vm} ", de acuerdo con el porcentaje de finos.
- 3^a El porcentaje de compactación deberá entonces determinarse dividiendo -- " γ_v " entre " γ_{vm} " simultáneamente; si la compactación resulta próxima a 100%, se podría tener una idea de la resistencia aproximada del suelo compactado en la forma indicada en la figura 1.7.



CURVAS DE VARIACION DEL PESO VOLUMETRICO Y DE LA RESISTENCIA
CON EL CONTENIDO DE FINOS. (Rsf.2)

UNAM ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

VARIACION DEL PESO VOLUMETRICO Y LA RESISTENCIA CON EL CONTENIDO DE FINOS

H. M. OLIVARES H.
M. CANSECO M.

FIG. I. 7

1.7.1 ESTABILIZACION CON CEMENTO.

La escasez de materiales adecuados para la construcción de sub-bases o bases de pavimento, obliga muchas veces, por razones de economía, a utilizar los materiales disponibles que se encuentran cercanos a la obra, y que por sí solos no reúnen características físicas satisfactorias para dichos fines. Los casos más comunes corresponden a materiales que están excedidos en plasticidad o presentan bajo valor de soporte, a los que conviene adicionar cemento hidráulico con el objeto de corregir dichas deficiencias.

Existen dos tipos de estabilizaciones con cemento: las de tipo flexible y las de tipo rígido.

- A) En las de tipo flexible la estabilización del suelo se logra empleando únicamente la cantidad necesaria de cemento para neutralizar la arcilla por reacciones físico-químicas, sin llegar a alcanzar la aglutinación suficiente para producir una más rígida. Aún cuando se utilizan porcentajes relativamente bajos de cemento, puede producirse una cierta rigidez en la capa compactada, que es perjudicial cuando las deformaciones en la terracería, ocasionadas por cargas, producen en la capa estabilizada esfuerzos mayores que los que ésta puede resistir, esto puede dar lugar a la formación de fisuras, grietas e incluso a la desintegración de la capa estabilizada.

Para evitar esta rigidez, es necesario que transcurra un período mínimo de tres días entre la incorporación del cemento y el agua, y la compacta

ción del suelo estabilizado; durante este período deberá removerse la mezcla dos veces al día. Será conveniente aplicar dicho lapso, si por el tipo de cemento empleado o por alguna otra causa, las pruebas acusan contracciones comparativamente elevadas al finalizar el período de tres días.

- B) La estabilización del tipo rígido difiere de la anterior en que el cemento no solamente neutraliza la actividad de la arcilla, sino que también proporciona al suelo una elevada resistencia que le permite, una vez compactado, trabajar en forma semejante al pavimento de concreto hidráulico. La cantidad de cemento que se utiliza es función del grado de finura y plasticidad del suelo, y varía generalmente entre seis y catorce por ciento del peso del suelo seco; con la cantidad elevada de cemento comúnmente utilizada, se pueden producir grietas de contracción, que es necesario evitar o disminuir protegiendo de la evaporación, la capa compactada.

Para este objeto se puede aplicar una película asfáltica, o se puede cubrir con arena, paja o cualquier otro material que conserve la humedad durante el período de curado, o bien pueden aplicarse riegos sucesivos de agua. El tipo de asfalto generalmente puede ser asfalto rebajado de fraguado rápido o medio en proporciones que varían de 0.7 a 1.4 lts/m².

Los procesos de construcción de un suelo cemento se pueden resumir en la siguiente forma (3):

B.1) Mezcla en el lugar.

Preparación del material por estabilizar que consta fundamentalmente de los siguientes pasos:

- Conformación
- Escarificación
- Pulverización
- Prehumedecimiento, si es necesario
- Conformación del suelo preparado

El proceso de estabilización del material que consta de:

- Aplicación del cemento
- Aplicación del agua
- Mezclado
- Tendido y afinado
- Compactación
- Curado

B.2) Mezcla en planta.

La preparación de la superficie sobre la que se tenderá la mezcla de suelo con cemento que consta de:

- Conformación

(3) Fernández Loiza, C. "Mejoramiento y Estabilización de Suelos".

- Compactación

El proceso de construcción* de la capa estabilizada que consta de:

- Elaboración de la mezcla
- Acarreo
- Tendido y afinado
- Compactación
- Curado

* Se detalla en el anexo 1.

de +10 a +50.

La cal también reacciona con algunos tipos de limos pero no debe ser utilizada sola en suelos arenosos; para estos suelos la experiencia recomienda, previo estudio, una puzolana del tipo "fly ash" para que ésta reaccione con la cal proporcionando así una resistencia grande a la base del camino.

Los cambios que se pueden tener en los suelos estabilizados con cal son:

- A) Reducción del índice plástico en forma considerable; esto se debe a generalmente a un pequeño incremento en el límite plástico y una considerable reducción en el límite líquido.
- B) El agua y la cal colaboran para acelerar la disgregación de los grumos de arcilla durante la operación de pulverización, lo cual facilita la trabajabilidad.
- C) Se reducen los efectos aglomerantes.
- D) En áreas pantanosas o donde los suelos tienen humedades superiores a la óptima, la aplicación de la cal facilita el disgregado del suelo, lo que a su vez propicia un secado más rápido.
- E) Las contracciones y expansiones debidas a cambios de humedad se reducen considerablemente.
- F) La resistencia del suelo a la compresión se incrementa. Así mismo se incrementa el valor relativo de soporte.

1.7. 2 ESTABILIZACION CON CAL.

Este tipo de estabilización utiliza derivados de la caliza calcinada, cal viva o cal hidratada (óxido o hidróxido respectivamente), y no caliza (carbonato), tal como la caliza pulverizada que se aplica sobre todo en agricultura; esta última reacciona de manera mecánica, pero químicamente es más bien inerte.

La cal es una fuerte base alcalina que reacciona químicamente con las arcillas, originando un cambio en la base con los iones de calcio, desplazando los cationes de sodio a hidrógeno, combinándose con el sílice y la alumina del suelo para formar complejos silicatos y aluminatos, que son materiales cementantes.

La cal trabaja con todas las arcillas, aunque las reacciones tienen distintas variaciones; la arcilla utilizada más comúnmente con la cal, es la variedad expansiva que contiene gran cantidad de montmorillonita.

Debido a la escasez mundial de cal hidratada la tendencia es hacia la utilización de la granza o desperdicio del proceso industrial que contiene un elevado porcentaje de cal viva, la cual la hace muy recomendable para la estabilización en zonas pantanosas; por ejemplo en los campos petroleros del sureste tiene una amplia aplicación, ya que es tan grande su afinidad con el agua que es necesario agregarle más cuando se está haciendo el mezclado.

La cal es más efectiva con suelos arcillosos plásticos, principiando con las gravas sucias y el caliche; hasta los suelos con partículas más finas: arcillas o limos, materiales limo-arcillosos con índices plásticos que varían

G) La capa estabilizada proporciona una excelente plataforma de trabajo para las capas superiores de la sección estructural de un camino.

H) El proceso constructivo se detalla en el anexo 1.

1.7.3 ESTABILIZACION CON ASFALTO.

La estabilización de suelos con un producto asfáltico, tiene dos finalidades principales:

- 1ª En los suelos de plasticidad excesiva, la de impermeabilizar y aglomerar las partículas de arcilla, contrarrestando la actividad de ésta y del agua.
- 2ª En los suelos no plásticos o arenosos, la de proporcionar la cementación requerida que asegure la estabilidad permanente del suelo al evitar deformaciones por desplazamiento de sus partículas bajo la acción de las cargas.

En los suelos plásticos o arcillosos, la presencia de humedad provoca un descenso en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, lo que se traduce en deformaciones de éste bajo la acción de las cargas, y al formar una película de asfalto que cubra las partículas de arcilla, se reduce el efecto perjudicial.

Con objeto de que la estabilización sea eficiente, se requiere una distribución uniforme del asfalto, lo cual requiere a su vez que el suelo se encuentre con un bajo contenido de humedad, para que pueda ser disgregado antes de adicionar el producto asfáltico; dicha humedad debe ser tal que permitiendo la disgregación del material, facilite la distribución del asfalto en una película delgada.

Algunos materiales presentan ciertas dificultades para la adición del asfalto y puede facilitarse esta operación si previamente se adiciona agua hasta que el

cance el material cierto grado de humedad; el agua adicionada más la correspondiente a la humedad del suelo, más la cantidad adecuada de asfalto que llamaremos contenido líquido, tienen un valor óptimo para lograr la compactación más eficiente. Cuando en estas condiciones, a pesar de haber alcanzado el mayor peso volumétrico, la resistencia del suelo estabilizado sea baja, puede ser conveniente reducir el contenido líquido, sin variar el contenido de asfalto; con lo cual, para el mismo esfuerzo de compactación, se alcanza una mayor resistencia y un peso volumétrico más bajo; éste puede incrementarse aumentando el esfuerzo de compactación, con el consiguiente aumento en la resistencia, pero ello puede resultar antieconómico al llevarse a la práctica.

Por lo que respecta a la cantidad de producto asfáltico necesario para estabilizar el suelo, podemos decir que es mayor mientras mayor sea el grado de finura del suelo.

La presencia de fragmentos gruesos en el material, además de aumentar la estabilidad, disminuye el contenido de asfalto al reducirse la superficie por cubrir; de allí que en algunos casos convenga incorporarse gravas a suelos finos, y el conjunto tratarlo con asfalto.

En los suelos arenosos, es común encontrar, principalmente en los depósitos de corrientes fluviales, un bajo valor cementante y una composición granulométrica defectuosa, debida a una escasez de los tamaños finos de las partículas de suelo. La cementación puede ser proporcionada mediante la estabilización del suelo con un asfalto rebajado o una emulsión asfáltica.

La deficiencia de finos puede originar variaciones bruscas en la resistencia mecánica del suelo estabilizado, debido a que gran parte de dicha resistencia queda proporcionada por la cementación que da el asfalto; tales variaciones pueden ocasionarse por pequeños cambios en el contenido de asfalto o en la temperatura.

Para asegurar que el material estabilizado no presente las condiciones críticas de resistencia mencionadas, es conveniente proporcionarle previamente la cantidad de finos que razonablemente se crea conveniente para mejorar las condiciones de estabilidad. Como este incremento de finos obliga a elevar el porcentaje de asfalto, deberá ser tal que no provoque un aumento de consideración en el contenido de asfalto necesario para estabilizar el suelo.

Si el defecto de granulometría del suelo, consiste en la presencia de un exceso de partículas finas, puede encontrarse conveniente adicionar al suelo arena gruesa o grava para disminuir la superficie total del agregado, con la consiguiente reducción en el contenido de asfalto, obteniéndose a la vez una mayor resistencia.

En cuanto al producto asfáltico adecuado para la estabilización de suelos arcillosos, deberán recomendarse los asfaltos rebajados de fraguado rápido o medio, o las emulsiones asfálticas de fraguado lento; así también deberán escogerse los productos menos viscosos para los suelos con mayor contenido de finos, y para las condiciones más bajas de temperatura ambiente durante la construcción. Así mismo, deberá tomarse en cuenta al hacer la elección del producto el tipo

de equipo de construcción disponible para hacer la estabilización. Las máquinas especiales, como es la estabilizadora de un solo paso, permiten emplear productos más viscosos.

MATERIALES ASFÁLTICOS.

Los materiales asfálticos con materiales bituminosos con propiedades aglutinantes sólidas, semisólidas o líquidas, que se utilizan en estabilizaciones, en riegos de impregnación, de liga y de sello, en la construcción de carpetas y en la elaboración de mezclas y morteros.

Los materiales asfálticos que pueden emplearse son los siguientes:

- Cementos asfálticos
- Asfaltos rebajados, y
- Emulsiones asfálticas

Los riegos de materiales asfálticos se darán de preferencia con petrolizadas aprobadas, dotadas del equipo de calentamiento que se requiera, bomba de presión, barra de riego con espreas regulables, tacómetro, aditamento de medición de volúmenes, termómetro y todo lo necesario para su correcta operación.

Cuando se utilicen materiales asfálticos para elaborar mezclas en planta móvil, estos se aplicarán y dosificarán por medio de dichas plantas, incorporando el material pétreo o suelo por estabilizar, con la cantidad de material asfáltico fijado en el proyecto.

Cuando se utiliza cemento asfáltico para la elaboración de concreto asfáltico en planta estacionaria, una vez calentado el cemento a la temperatura fijada, se añadirá el material pétreo o suelo en la propia planta, dosificandolo por peso, - procediendose a su mezclado hasta obtener un producto homogéneo y a la temperatura fijada. La cantidad de cemento asfáltico podrá variar en relación con la - de proyecto en \pm 5% en peso.

Las temperaturas de los materiales asfálticos en el momento de su empleo de - borán ser las siguientes (5):

I.- Cemento asfáltico

CA-3, CA-6, CA-7 y CA-8
de 120 °C a 160 °C

II.-Asfaltos rebajados de

II.1. - Fraguado lento

FL-0 de 20 °C a 30 °C

FL-1 de 30 °C a 45 °C

FL-2 de 75 °C a 85 °C

FL-3 de 85 °C a 95 °C

FL-4 de 95 °C a 100 °C

(5) "Normas de Materiales para Pavimentos", Parte octava, S.C.T. .

II. 2.- Fraguado medio	FM-0	de 20°C	a 40°C
	FM-1	de 30°C	a 60°C
	FM-2	de 70°C	a 85°C
	FM-3	de 80°C	a 95°C
	FM-4	de 90°C	a 100°C

II. 3.- Fraguado rápido	FR-0	de 20°C	a 40°C
	FR-1	de 30°C	a 50°C
	FR-2	de 40°C	a 60°C
	FR-3	de 60°C	a 80°C
	FR-4	de 80°C	a 100°C

III.- Emulsiones asfálticas.

Por lo general no se les

aplica calentamiento. de 5°C a 40°C

De acuerdo con la manufactura y tipo de materiales empleados, a las emulsiones se les identifica como a continuación se indica (3):

Velocidad de

Rompimiento	Aniónicas	Catiónicas
Rápido	RR-1, RR-2	RR-2K, RR-3K
Medio	RM-2	RM-2K, RM-3K
Lento	RL-1, RL-2	RL-2K, RL-3K

(3) Fernández Loaiza, C. "Mejoramiento y estabilización de Suelos".

La emulsión RR-1 difiere de la RR-2 en que ésta última, contiene un poco más de cemento asfáltico y es más viscosa que la emulsión RR-1.

La emulsión RL-2 contiene un cemento asfáltico más duro que la RL-1.

La RR-3K es más viscosa y contiene un poco más de residuo asfáltico que la RR-2K. La RM-2K difiere de la RM-3K en que la primera contiene menor cantidad de residuo asfáltico, aunque esta diferencia es pequeña. Finalmente, la emulsión RL-3K difiere de la RL-2K, en que esta última contiene un residuo menos duro que aquélla.

1.8 EMULSIONES ASFALTICAS.

Se puede definir a las emulsiones desde el punto de vista físico-químico, como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, "no miscibles" entre sí.

Componentes de una emulsión antes y después del proceso de emulsificado.



Dentro de una emulsión, los líquidos que la forman constituyen dos partes que se llaman, respectivamente:

- a) Fase dispersa o discontinua (F.D)
- b) Fase dispersante o continua (F.C)



El emulsificante define el tipo de emulsión; Las aniónicas con carga del glóbulos negativo y las catiónicas positivo.

Los emulsificantes catiónicos y aniónicos son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado; su parte hidrocarbonada lineal o cíclica es soluble en el asfalto.

Los emulsificantes aniónicos tienen grupos ácidos y los catiónicos grupos amfónicos que se encuentran saponificados; su parte polar es soluble en el agua e hidrófila.

Estos productos son los que, producida la emulsión, se sitúan en su mayor parte en la interfase. Su parte polar orgánica se dirige hacia el asfalto y su parte polar inorgánica hacia el agua. Con estos emulsificantes iónicos, los glóbulos adquieren cargas eléctricas del mismo signo, repeliéndose entre ellos.



Pasado un tiempo determinado, las emulsiones depositan sobre esa superficie mineral una película de ligante. Este fenómeno se conoce como ruptura. Previamente la emulsión pasa por un intervalo en el que se concentra su porcentaje de asfalto, convirtiéndose en una emulsión del tipo inverso, para luego perder

toda el agua hasta tener una emulsión totalmente rota, imposible de reactivarse, aun en presencia de humedad.

Los factores que influyen en la ruptura de una emulsión aniónica son: La evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y en menor grado, factores físico-químicos y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material pétreo.

La absorción puede ser de la parte polar ácida y ácidos grasos, que efectúan su reacción con el material, lo cual destruye la película protectora haciendo depositar el ligante sobre el agregado, esto origina la ruptura de una emulsión catiónica lo anterior sucede con casi todos los materiales; esta absorción de la parte polar del jabón por los agregados, provoca la ruptura de la emulsión, haciendo que los glóbulos de asfalto se adhieran inmediatamente a las partículas del material pétreo, aun en presencia de humedad.



Pasos por los que atraviesa una emulsión hasta tener la ruptura completa - ante un material pétreo.

Ese fenómeno, en la mayoría de los casos, mejora la adherencia y permite una mejor distribución de la mezcla dentro de la masa.

Las citadas propiedades de las emulsiones catiónicas, permiten proseguir los trabajos en climas húmedos o durante la temporada de lluvias. La perfecta liga del asfalto con el material pétreo, garantiza la apertura de caminos al tránsito en corto período de tiempo.

La clasificación de las rocas tiene en cuenta la proporción en sílice que -- contienen. La que contienen más del 66% de dióxido de sílice (Si O₂) son ácidas, las que contienen entre 52 y 66 Intermedias y básicas las que contienen menos del 52% del mismo mineral.

Clasificación de las rocas según su contenido de Sílice.

<u>Rocas Ácidas</u>	<u>Rocas Intermedias</u>	<u>Rocas Básicas</u>
Granitos	Sienita	Gabro
Granodiorita	Traquita	Basalto
Granito pórfido	Traquandesita	Peridotita
Riolita	Diorita	Piroxenita
Dacita	Andesita	Diabasa
	Fonolita	Dolerita

1.8.1 VENTAJAS DEL USO DE EMULSIONES CATIONICAS PARA LA PAVIMENTA -- CION EN REGIONES DE INTENSA PRECIPITACION FLUVIAL.

Se expondrán algunas de las ventajas que se obtienen del uso de emulsiones catiónicas, sobre el uso de asfaltos rebajados o mezclas en caliente, tanto desde el punto de vista del proceso constructivo, como por la posibilidad de trabajar en todo tiempo.

Entre las ventajas que presentan su empleo tenemos:

1°. - Es más fácil para manejar, debido a que no es necesario calentar el producto.

2°. - Tiene mayor estabilidad que el asfalto rebajado, al carecer de solventes puede almacenarse prácticamente por tiempo indefinido.

3°. - Se obtienen buenos resultados con casi todos los agregados, por la propiedad que le confiere el mismo emulsificante a la emulsión, haciendo que la afinidad entre los dos sea automática. Al existir esta afinidad, se elimina totalmente el empleo de aditivos.

4°. - No es necesario secar, así como tampoco calentar el material pétreo,

Al no importar la temperatura* ni el grado de humedad** se obtiene un periodo mucho mayor para trabajar con estos productos asfálticos. La experiencia habla de casi los 365 días del año y de 24 horas por día; esto se justifica debido a que no será necesario esperar a que se evapore la humedad producida en el curso de la noche, así tampoco es ne-

cesario suspender el trabajo como precaución al amenazar la lluvia, y aún se puede trabajar de noche con tal que la temperatura no baje de -5°C .

Ahora bien, además de todo lo anterior, hay dos aspectos, que fijaran en definitiva la utilización de la emulsión, estos son:

El programa de construcción y el punto de vista económico.

a) Utilizando mezclas asfálticas a partir de emulsiones catiónicas y al trabajar con una planta de tipo viajera para mezclar y tender en sitio, se logra ejecutar el trabajo con flujo continuo. Solamente se necesita que se inicie el proceso de compactación, no será necesario secar la arena así como tampoco evaporar solventes, en virtud de que estos no existen (Nota: 1).

El rendimiento debe ser aproximadamente de $30\text{ m}^3/\text{hr}$; este rendimiento se podrá conservar de ser necesario, aún trabajando día y noche, e inclusive hasta con lluvia.

(Nota: 1). Se pueden usar también a conveniencia del constructor, plantas estacionarias con rendimientos de 30 a $40\text{ m}^3/\text{hr}$.

* Siempre y cuando la temperatura no exceda de 40°C ni disminuya de 5°C .

** Humedad producida por el rocío del transcurso de la noche.

En estas condiciones un programa de 50,000 m³ de base negra solamente requiere de 1 666 horas con este equipo, funcionando al 100% y cuya inversión es menor al millón de pesos (1977).

COMPARACION DE COSTOS.

Este mismo trabajo, sin emulsiones o sea, utilizando asfaltos rebajados necesita una fuerte inversión en motoconformadoras. Esto se debe a que en una región de intensa precipitación pluvial, como puede ser el delta del Grijalba-Usumacinta, donde únicamente se podrá trabajar con "arenas" y a lo sumo 180 días al año, una motoconformadora trabajará entre 600 y 700 horas al año como máximo.

Para secar arena, mezclarla con asfalto rebajado, evaporar los solventes y tender, se necesita en esta región; además de un sol intenso, de 0.3 horas de motoconformadora por m³ de arena.

Esto es, en un año una motoconformadora puede secar, mezclar, evaporar solventes y tender, solamente 2 000 m³ de base negra. Este rendimiento está absolutamente comprobado por los técnicos que han hecho trabajos en esa región.

Por ejemplo: para realizar el programa de la Chontalpa, necesitarían por lo tanto 25 motoconformadoras o más, porque habrá interrupciones lógicas por falta de asfalto, por descompostura del equipo, por haber mal tiempo, etc.

(Nota: 2). El precio en 1987 de una motoconformadora fué de \$150,000,000.00

por las 25 que se requieren da un total de \$ 3 750,000,000.00. En cambio una estabilizadora costaba \$ 130,000,000.00, con el mismo rendimiento de las 25 motoconformadoras.

Al comparar el resultado de la pavimentación de mezcla asfáltica en planta estacionaria a partir del cemento asfáltico No. 6, y saber que el promedio de humedad de la arena es del 15% en este lugar, el secador de la planta reducirá su producción al 50% de la normal.

Por ejemplo: si usamos un secador Barber Greeno, modelo DA55, se obtendrán los resultados siguientes.

- 1.- Con el 5% de humedad se obtendrán 95 m²/hr.
- 2.- Con el 10% de humedad se obtendrán 55 m²/hr. (Nota: 3).

Esto es, el costo de operación de esta planta se duplica, trabajando con arenas, en esa región, además se debe considerar el alto costo de esta planta, debido a las relativamente pocas horas en las que se puede trabajar al año, en virtud de que la temporada de sequía es muy corta, muy relativa y muy indefinida.

A todo lo anterior deberá agregarse que al utilizar emulsiones que lógicamente sustituirán a los asfáltos rebajados, todos los solventes empleados en estos últimos (gasolina principalmente), podrán ser utilizados como combustible lo cual significa una mayor optimización que produce, un mejor aprovechamiento de los recursos, en otras áreas prioritarias, (Nota: 4).

(Nota: 3). En el caso de las mezcladoras en caliente, podemos suponer que el rendimiento para un porcentaje de humedad de 7% es de 75 ton/hr, igual a $50 \text{ m}^3/\text{hr}$, entonces para procesar $50,000 \text{ m}^3$ se requerirán 1 000 horas, lo que implicará un gasto de 7 lts/hr de diesel, es decir en el proceso se gastarán 70,000.00 lts. de diesel no recuperable, si el rendimiento se considera de 600 hr/año, entonces se requerirán de 1.65 años para terminar el programa.

Los casos de alquiler de la maquinaria, en que la sola planta cuesta \$ 2,000,000.00, la mano de obra, la administración, etc., se aumentarán enormemente.

(Nota:4). En un estudio realizado al respecto, se ha visto que los rebajados empleados en el país llegan a 600 millones de litros que contienen 150 millones de litros de solventes que se pierden en el aire.

Como nota paradójica se puede decir que el agua que se emplea como medio de difusión en la emulsión, sí se recupera. Al evaporarse vuelve al aire donde se condensa y vuelve a hacerle lluvia. Esto quiere decir que es un recurso (en este caso) renovable, lo que no sucede con los solventes del rebajado asfáltico.

CAPITULO 2

ESTABILIZACIONES CON PRODUCTOS

QUIMICOS.

2.1 ESTABILIZACION CON MEZCLA AZUFRE-ASFALTO

2.1.1 ANTECEDENTES.

La utilización de azufre, para reemplazar parte del aglutinante en concreto agfáltico para pavimentos, fue descrita en 1938 por Bencowitz y Boe. Dichos investigadores publicaron que podfan formarse mezclas estables de 25% de azufre en - asfalto (relación en peso respecto al peso total de la mezcla), mezclando dichos materiales durante dos horas a una temperatura de 149°C, mediante un agitador - que funcionaba a 300 r.p.m.

Su informe agregaba que el azufre, en aglutinantes asfalto-azufre disminuía - la viscosidad a la temperatura de mezclado y mejoraba el comportamiento del pa- vimento. Además al aumentar el contenido de azufre arriba del 25% también au- - mentaba la estabilidad del pavimento compactado.

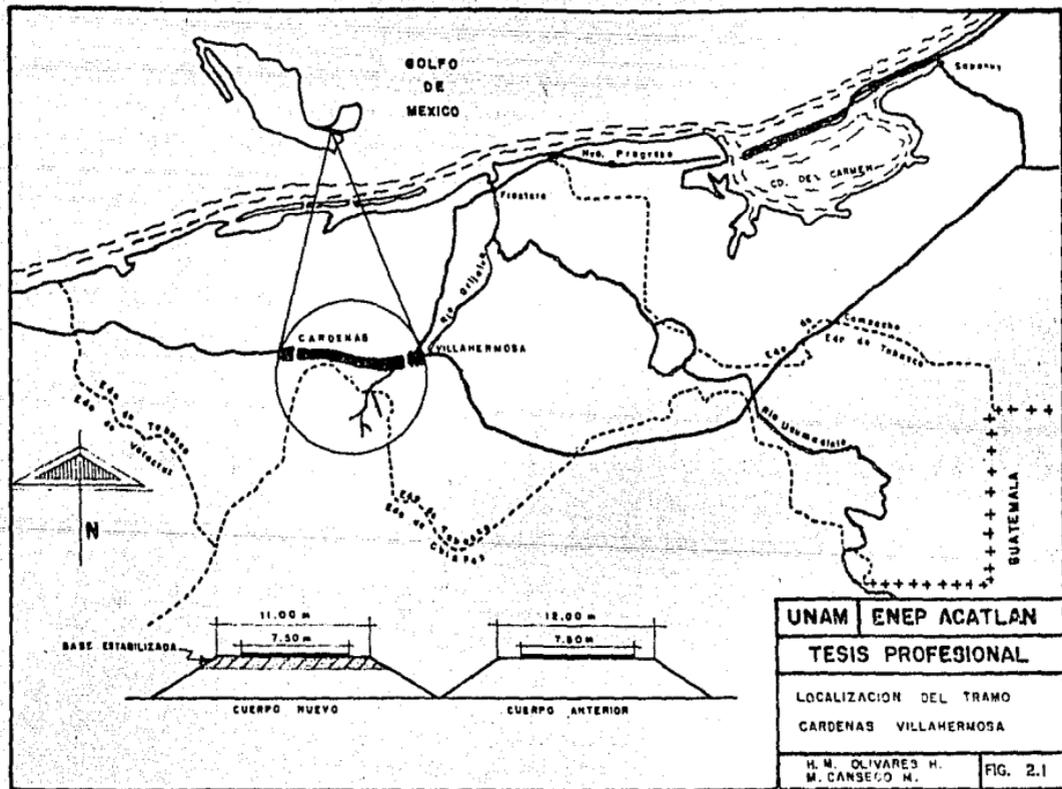
Una característica particular del azufre es aquella que le permite ser utiliza- do ya sea como agente estructural (funcionando como agregado), o bién, formar - parte integral del aglutinante. También puede actuar en forma combinada, agrega - do y aglutinante.

Aún cuando el trabajo de Bencowitz sentó las bases para los pavimentos con azufre-asfalto, no fue sino hasta principios de la década de los años setentas - cuando se realizaron trabajos adicionales. En esa época, la preocupación sobre el aumento en precio y menor oferta de asfalto, aunado a la carencia de bancos de buena calidad y a la predicción de la disponibilidad creciente del azufre, - reactivaron el interés en la estabilización de pavimentos con la mezcla azufre- asfalto.

Los estudios del azufre a nivel mundial, han mostrado que se obtienen beneficios al emplearlo en la construcción de carreteras. Los beneficios se dan por su versatilidad al actuar como elemento estructural, reemplazar parte del asfalto empleado en la construcción de carpetas y bases, así como aumentar la estabilidad de la mezcla debido a que el azufre cubre los huecos que el asfalto no llena.

Por primera vez en México, se emplea la emulsión azufre-asfalto, con arena mal graduada. Esta mezcla fue utilizada en la carretera Cardenas-Villahermosa localizada en el estado de Tabasco, con una longitud de 48 km. Este camino estaba funcionando mediante un cuerpo de dos carriles, con un ancho de corona de 12 m y un ancho de calzada de 7.5 m. El tipo de tránsito que fluye por él, demandando su ampliación y modernización, por ser la vía en donde se transportan los sumos y productos a la zona petrolera principal de México, por lo cual se decidió construir un cuerpo paralelo de 11 m de corona y 7.5 m de calzada. La carretera se encuentra alojada en terrenos arcillosos, de difícil drenaje, con zonas pantanosas y clima de tipo amazónico, Fig. 2.1.

Con esto la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, basándose en la literatura que se tenía a nivel mundial sobre la emulsión azufre-asfalto, pudo resolver con éxito el problema de la escasez de materiales pétreos y también obtuvo experiencias nuevas al utilizar el azufre.



2.1.3 TIPOS DE ESTUDIOS QUE SE REQUERIAN Y MATERIALES UTILIZADOS.

Después de haberse decidido por la utilización del azufre-asfalto, los objetivos a cubrir fueron:

- Primero, obtener una mezcla que tuviera propiedades mecánicas, semejantes a las de un concreto asfáltico y que además conservara sus condiciones originales de elasticidad durante su vida útil, debido a las condiciones que imponía el medio topohidráulico donde se localiza la obra. Para esto fue necesario realizar estudios de Pruebas Marshall y de Pérdida de Estabilidad por Inmersión en Agua.
- Segundo, se tenía que dimensionar las capas de la estructura del pavimento, con los resultados obtenidos en Pruebas de Tensión Indirecta, de Fatiga a Tensión Indirecta y pruebas sobre Modelos a Escala Natural Bajo Carga Cíclica.

Los estudios para el diseño de las proporciones de la mezcla los realizó la propia SCT, pero los referentes al dimensionamiento de las capas del pavimento, fue una propuesta de investigación que realizó el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, con los materiales típicos que se utilizaron en la carretera Cardenas-Villahermosa.

Se decidió utilizar una arena fina extraída con draga del río Samaria. Esta arena es un material del grupo uniforme, pasa casi totalmente la malla de 1/4" y en malla No. 200 pasa 6%, Fig. 2.2.

CARACTERISTICAS DE LA ARENA UTILIZADA

Granulometría		P.E. en g/cm^3	2,670
Malla	% que pasa	P.E. suelto, en kg/m^3	1,526
1"	100	Absorción, en %	2.3
3/4"	100	Equivalente de arena	77
1/2"	99	Contracción lineal	0.0
3/8"	99	Límite líquido	24
1/4"	98	Límite plástico	NP
No. 4	97	Índice plástico	--
No. 10	93	Clasificación (SUCS)	SP-SM
No. 20	80		
No. 40	57		
No. 60	33		
No. 100	12		
No. 200	6		

FIG. 2.2

El azufre procedió de los Damos de Jaltixpan, Ver. y contenía 99.5% de azufre por 0.5% de impurezas (hidrocarburos y carbono)

Se ocupó cemento asfáltico del No. 6.

2.1.4 DISEÑO DE LA MEZCLA.

Con el fin de poder obtener las proporciones óptimas, de los materiales que integrarían la mezcla de arena con los ligantes, se hicieron pruebas Marshall, procediendo a determinar como punto de partida, las características de la mezcla sin azufre, es decir de la arena con cemento asfáltico únicamente. Para esta prueba los resultados óptimos fueron:

Contenido de cemento asfáltico, en % con respecto al peso de la arena	5,5
Estabilidad, en kg	86
Flujo, en mm	1,6
Vacios, en %	19
P.E. máximo, en kg/m^3	1870

Se puede observar que la arena mezclada con cemento asfáltico, tiene una estabilidad muy baja, lo cual no produciría un comportamiento adecuado, si se utilizara para una base.

Al incluir el azufre, la finalidad era de poder obtener un material con propiedades mecánicas semejantes a las de un concreto asfáltico, con 750 kg de estabilidad como mínimo y flujo de 2 a 4 mm.

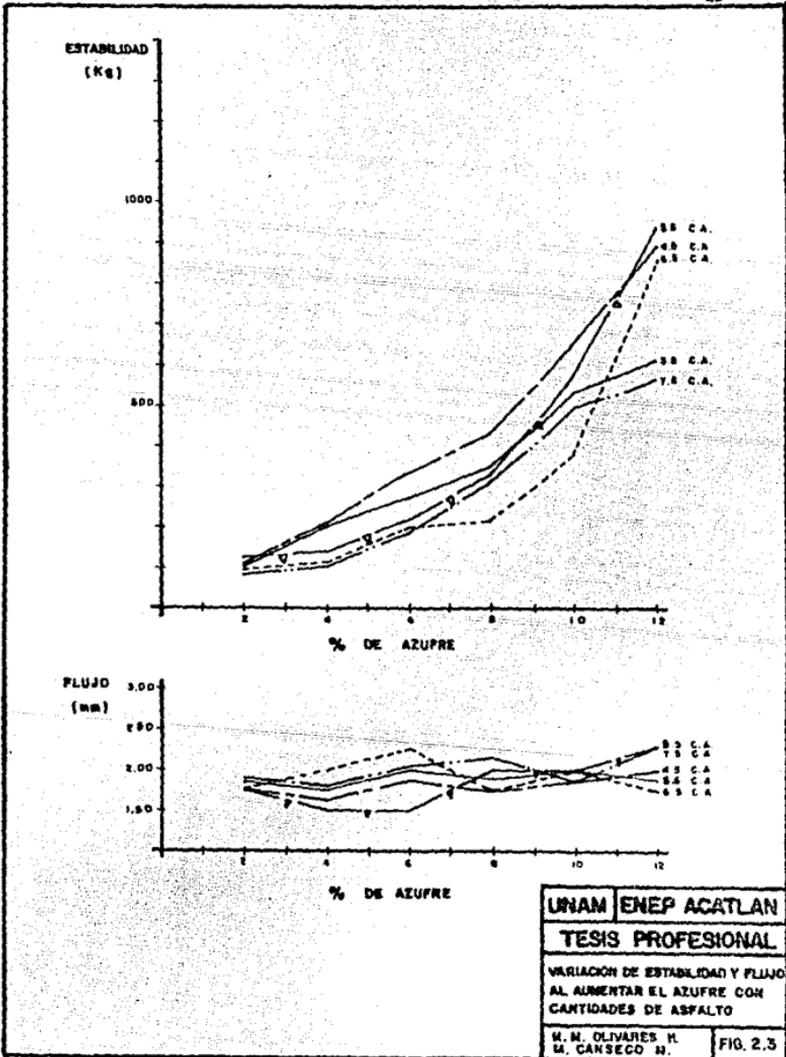
Como la utilización del azufre implicaba precauciones especiales, se tuvo

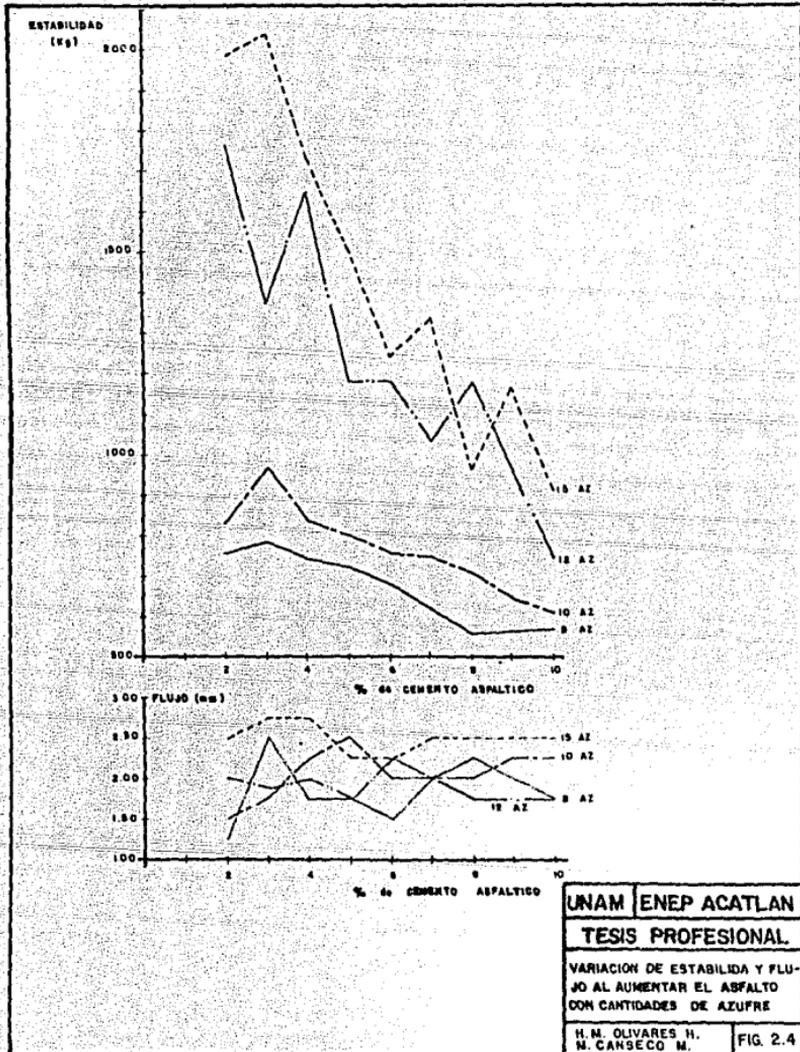
que adiestrar al personal para poder realizar los estudios.

Los estudios con pruebas Marshall para definir las proporciones de azufre y asfalto, consistían en conocer el comportamiento de cada uno de los ligantes.

Se elaboraron mezclas con 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 7.5% de cemento asfáltico y en cada una de ellas se varió el contenido de azufre desde 2 hasta 12%. Con esto se pudo observar que los valores de estabilidad obtenidos, para cada uno de los porcentajes de cemento asfáltico, resultaron cada vez mayores a medida que aumentaba el porcentaje de azufre. El flujo permaneció entre 1.5 y 2.1 mm. La figura 2.3 da una mejor visión de los resultados obtenidos.

Otro estudio realizado correspondió a mezclas elaboradas con 8, 10, 12 y 15% de azufre, variando para cada uno de los porcentajes el contenido asfáltico, desde 2 hasta 10%. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 2.4, de la que se puede concluir, que a mayor contenido de cemento asfáltico disminuye la estabilidad, permaneciendo el flujo entre 1.2 y 2.75 mm.





Se puede ver que el azufre, aumenta la estabilidad de la arena y el cemento asfáltico la baja, manteniéndose mínimas las variaciones de flujo.

El estudio anterior permitió definir las proporciones más adecuadas para la mezcla, las cuales fueron 10% de azufre y 6% de cemento asfáltico, con relación al peso de la arena. Con estos porcentajes se ensayaron varias muestras, observándose estabildades entre 756 y 914 kg, con flujo entre 1.25 y 1.75 mm, como lo muestra la figura 2.5.

Como la carretera esté alojada en terrenos de difícil drenaje, era necesario asegurar que la mezcla no fuera susceptible al agua, para esto se procedió a revisar el contenido de cemento asfáltico mediante la prueba de pérdida de estabilidad por inmersión en agua, obteniéndose los siguientes resultados.

Cemento Asfáltico (%)	Azufre (%)	Pérdida de Estabilidad (%)	Especificaciones
4	10	33	25% max.
5	10	27	25% max.
6	10	18	25% max.

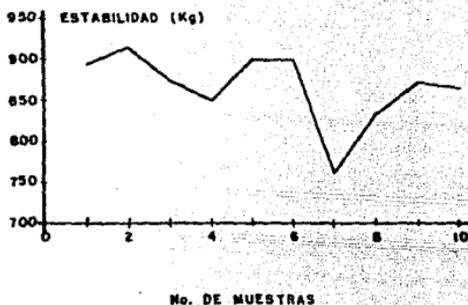
El 6% de cemento asfáltico es una cantidad que asegura suficiente protección a la mezcla, en cuanto a la susceptibilidad que pudiera tener al agua.

En resumen las proporciones en peso óptimas, obtenidas para la mezcla fueron:

- Arena fina mal graduada,

clasificación SUCS. SP-SM

100 %



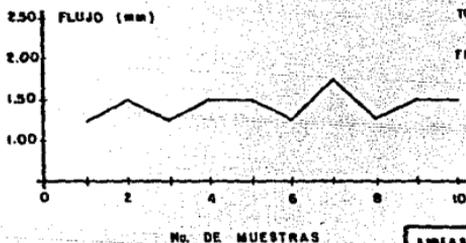
GRAFICAS DE ESTABILIDAD Y FLUJO

DE 10 MUESTRAS PREPARADAS CON

LA PROPORCION 6% DE CEMEN-

TO ASFALTICO Y 10% DE AZU-

FRE.



UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

REPRODUCIBILIDAD DE LA MEZCLA
CON 6% DE CEMENTO ASFAL-
TICO Y 10% DE AZUFREH.M. OLIVARES H.
M. CANSECO M.

FIG. 2.5

- Azufre 10%
- Cemento asfáltico No. 6 6%

2.1.5 ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

El diseño de la estructura del pavimento se llevó a cabo aplicando el modelo matemático de Jones and Peattie (14) para capas semi-rígidas, que involucran esfuerzos de tensión máximos, con base a módulos de elasticidad de las capas y al espesor de las mismas.

Para poder correlacionar las pruebas y el modelo matemático, fue muy importante estudiar la influencia que en la mezcla arena-azufre-asfalto tiene la temperatura y la rapidez de aplicación de las cargas, debido a la naturaleza visco-elástica del aglutinante (azufre-asfalto).

Es por esto que fue necesario determinar el módulo dinámico y resistencia a la tensión de la mezcla, así como las deformaciones límite a tensión de modelos multicapa construidos en foso de forma cúbica de 2 m por lado.

Como ya se mencionó el Instituto de Ingeniería de la UNAM realizó dichos estudios, con el fin de conocer las características de la mezcla, que permiten relacionar el modelo matemático.

A continuación se explican las pruebas que se hicieron, los valores obtenidos y su correlación con el modelo matemático empleado.

[14] E. J. Yoder; M. W. Witzak. "Principles of Pavement Design".

PRUEBA DE FATIGA A COMPRESION.

Esta prueba se practicó con la finalidad de poder conocer el módulo dinámico de la mezcla arena-azufre-asfalto y de la arena con asfalto.

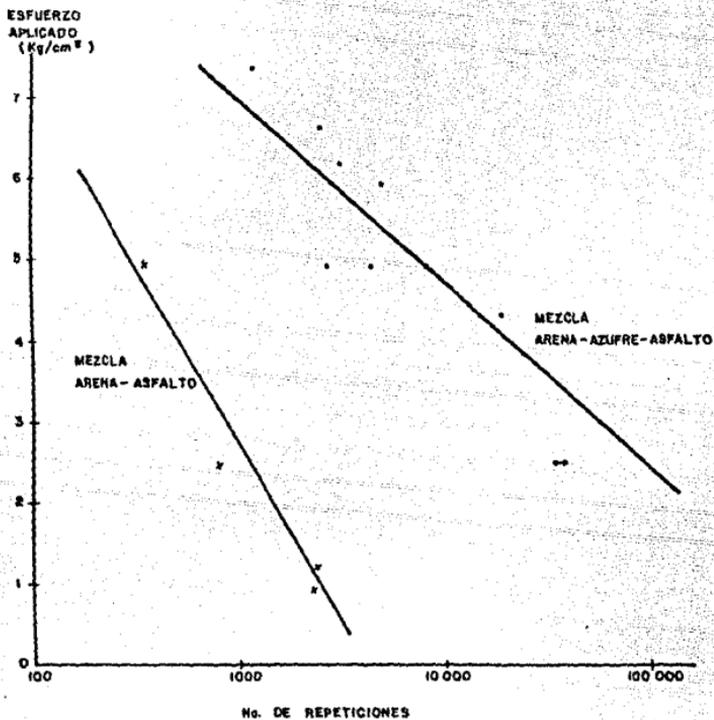
Para este estudio se utilizan probetas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, las cuales se ensayan bajo condiciones de compresión dinámico sin confinar, utilizando un equipo electrohidráulico que está diseñado y construido especialmente para este tipo de pruebas.

Las sollicitaciones que se aplican son de forma senoidal, con un tiempo de reposo entre cada aplicación de carga y sin inversión de esfuerzos, la figura -- 2.6 da más claridad al tipo de prueba.



Fig. No. 2.6 Prueba de fatiga a compresión.

La frecuencia de aplicación de la carga ($1/t_1$) fue de 11 Hz y la de la función escalonada (carga y reposo) de 2 Hz ($1/t = 1/0.5$). Esta prueba se realizó a una temperatura de 30°C. En la figura No. 2.7 aparecen los resultados obtenidos.



PROBETAS DE ARENA - ASFALTO, PVS = 1973 Kg/m³

PROBETAS DE ARENA - AZUFRE - ASFALTO, PVS = 1800 Kg/m³

TEMPERATURA DE PRUEBA 30°C

TIEMPO DE CARGA 0.1 s.

TIEMPO DE REPOSO 0.4 s.

PROBETAS HECHAS CON EL COMPACTADOR POR AMASADO A 140°C

UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	

PRUEBAS DINAMICAS DE COMPRESION SIN CONFINAR.

H.M. OLIVARES H
M. CANSECO M.

FIG. 2.7

El módulo dinámico se determinó con el valor absoluto del módulo determinado con los valores máximos de esfuerzo y deformación unitaria.

$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0}$$

donde

$|E^*|$ módulo dinámico, en kg/cm^2

σ_0 esfuerzo máximo aplicado, en kg/cm^2

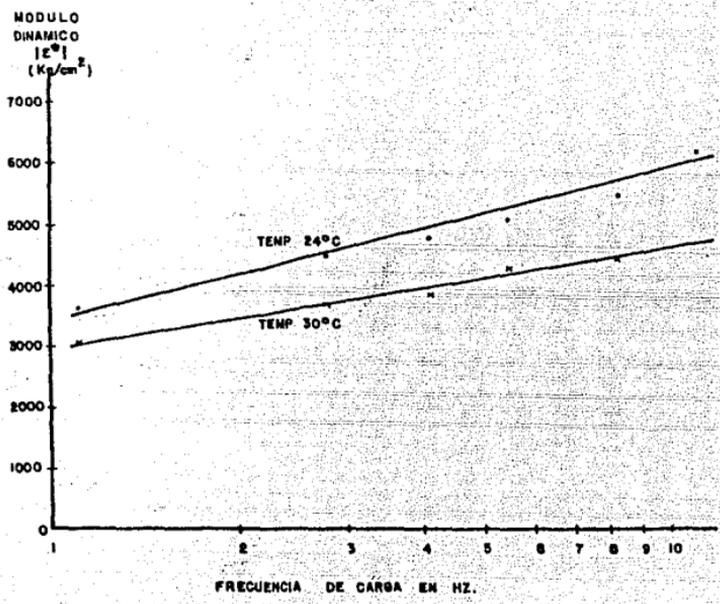
ϵ_0 deformación unitaria máxima, en cm/cm

Los módulos dinámicos dependen únicamente del nivel de esfuerzo y de la frecuencia cuando la temperatura es constante. Para la temperatura de 30°C y frecuencia de 11 Hz, las muestras de arena-azufre-asfalto tuvieron módulos dinámicos $|E^*|$ del orden de 5130 kg/cm², para esfuerzos entre 2.5 y 5.0 kg/cm². Por otra parte los módulos dinámicos en las muestras de arena-asfalto fueron menores, del orden de 2 000 kg/cm² para niveles de esfuerzo entre 1.0 y 1.25 kg/cm².

Al variar la frecuencia, varía el módulo dinámico, observándose que existe una relación lineal entre el módulo y la frecuencia en el trabajo experimentado. Este se hizo con un esfuerzo de compresión de 4.87 kg/cm², una temperatura de 24°C, manteniendo constante la frecuencia de la función escalonado y únicamente variando los tiempos de carga y reposo, pero sin variar la relación t_1/t . Los resultados se muestran en la tabla 2.1 y figura 2.8.

tiempo de carga, en S	Frecuencia, en Hz	$ E^* $, en kg/cm ²
0.091	11.0	6,674
0.181	5.5	6,052
0.362	2.75	5,536
0.905	1.1	4,753

Tabla 2.1 Variación de $|E^*|$ con la frecuencia de carga (1/t.)



UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
VARIACION DEL MODULO DINAMICO DE LA ARENA-AZUFRE-ASFALTO, CON LA FRECUENCIA DE CARGA.	
H. M. OLIVARES H. M. CANSECO M.	FIG. 2.B

PRUEBAS DE TENSION INDIRECTA.

Estas pruebas tuvieron la finalidad de conocer la resistencia a la tensión, de la mezcla arena-azufre-asfalto. Se realizan aplicando una compresión diametral (con un dispositivo construido especialmente) a unos especímenes de 1,3 cm de ancho por 10 cm de diámetro.

La resistencia a la tensión se calcula con la siguiente expresión:

$$R_t = \frac{2 F}{\pi D H}$$

donde:

F = carga de fractura.

D = diámetro del espécimen.

H = altura del espécimen.

Las pruebas se realizaron de dos tipos: pruebas estáticas de tensión indirecta y pruebas dinámicas de tensión indirecta.

1. PRUEBA ESTÁTICA DE TENSION INDIRECTA.

En esta prueba, las muestras son cargadas uniformemente a lo largo de dos generatrices diametralmente opuestas. La fractura ocurre en el plano vertical que contiene dichas generatrices. La prueba se realiza con una velocidad de 5 cm/min, hasta alcanzar la falla.

Con fin ilustrativo se ensayaron especímenes con mezclas de arena-azufre-asfalto, arena-asfalto y concreto asfáltico de la planta del DDF. En la tabla 2.2 - están los resultados.

Material	Temperatura de ensaye, en °C	Rt. en kg/cm ²
Arena-azufre-asfalto	30	9.2
Arena-azufre-asfalto	60	3.8
Arena-asfalto	30	2.6
Concreto asfáltico	24	11.9

Tabla No. 2.2 Resistencia a tensión indirecta.

A estos resultados se les consideró un carácter cualitativo, por tener una dispersión alta. Lo interesante fue la resistencia de la mezcla arena-azufre-asfalto, la cual fue 3.5 veces mayor que la muestra arena-asfalto, ambos a 30°C. También se aprecia la fuerte reducción de la arena-azufre-asfalto al aumentar la temperatura a 60°C.

2. PRUEBAS DE FATIGA A TENSION INDIRECTA.

Esta prueba es similar a la anterior, lo único que varía son las cargas de compresión diametral, aquí son sollicitaciones senoidales de carga y reposo igual a las utilizadas en la prueba de fatiga a compresión. Frecuencias de 11 Hz para la carga y 2 Hz para la función escalonada (carga y reposo).

Para tensiones de 1.5 kg/cm^2 se estimó que la falla se presentó a más de -- 1'000,000 de repeticiones. En la gráfica de la figura 2.9 se muestran los resultados obtenidos.

PRUEBAS A ESCALA NATURAL, BAJO CARGA CICLICA.

Estas pruebas tuvieron como finalidad estimar los módulos elásticos de la base estabilizada (arena-azufre-asfalto), así como el de las terracerías.

Las pruebas se hicieron con un foso cúbico de 2m por lado, el cual cuenta con un marco de reacción acoplado con gatos pulsadores, que se controlan con un equipo hidráulico de precisión.

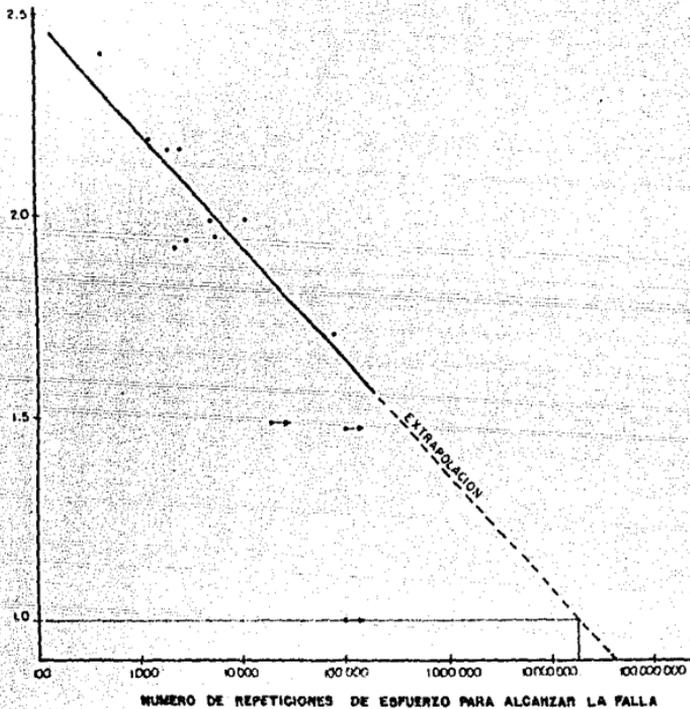
Con este equipo se pueden aplicar solicitaciones de forma senoidal sin inversión de esfuerzos. La frecuencia de operación fue de 0.42 Hz y se reducía a -- 0.07 Hz cuando se tenían deflexiones en la superficie.

Se ensayaron dos modelos, con una estructuración de dos capas cada uno -- (base estabilizada y terracería), con el fin de resaltar las características de la base.

Los modelos se apoyaron en la cimentación del foso y fueron confinados por las paredes del mismo. Todo el foso es de concreto armado.

Las características de los modelos, las pruebas ensayadas y resultados obtenidos son los siguientes.

ESFUERZO DE
TENSION
(Kg/cm²)



LA TEMPERATURA DE PRUEBA FUE DE 30°C

EL TIEMPO DE CARGA 0.1s Y REPOSO 0.4s

UNAM ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

PRUEBAS DINAMICAS DE TENSION
EN PROBETAS DE MEZCLA
ARENA - AZUFRE - ASFALTO

H.M. OLIVARES II.
M. CANSECO M.

FIG. 2.9

MODELO 1.

Este modelo se construyó en:

Base arena-azufre-asfalto (10% azufre y 6% asfalto en peso), de 11.3 cm de espesor, un grado de compactación de 84% con relación al peso volumétrico Marshall - que fue de $2,088 \text{ kg/m}^3$.

Terracería construida con un MM, de 190 cm de espesor, grado de compactación de 80%, contenido de agua de 45.6% y con un V.R.S. medido en el lugar - después de los ensayos, de 6.6%.

En este modelo se ensayaron pruebas de placa en las dos capas, con el fin de conocer la capacidad de carga de la base, así como estimar los módulos estáticos de la misma, de acuerdo con el método de Burmister. La prueba se hizo con diez repeticiones de carga, utilizando una placa rígida de 30 cm de diámetro.

Para la terracería de los modelos, se buscó un material de alta deformabilidad, con el fin de que se presentaran en la parte inferior de la base, grandes deformaciones unitarias de tensión, ayudando a esto, el grado de compactación fijado entre 80 y 85%. El material utilizado procedió de las excavaciones del metro en la estación Instituto Mexicano del Petróleo, con las características de la figura 2.10.

Fig. 2.10 Propiedades Mecánicas medias del material empleado en la terracería de los modelos 1 y 2.

Malla	% que pasa		
1/2"	98.5	L.L.	69.9%
No. 4	96.6	L.P.	25.4%
No. 10	95.0	Equivalente de	
No. 20	92.8	arena	16.0%
No. 40	90.3	P.V.S. max. Proctor	1113 kg/m ³
No. 60	86.8	Humedad óptima	
No. 100	80.8	Proctor	44.6%
No. 200	75.6	Clasificación SUCS	MH

Para la terracería el módulo elástico se calcula con la siguiente expresión:

$$E_2 = \frac{C q a}{W_0} (1 - \nu^2)$$

donde:

E_2 = módulo elástico de la terracería, en kg/cm².

C = constante igual a $\frac{\pi}{2}$ para placa rígida.

q = esfuerzo vertical, en kg/cm²,

a = radio de la placa, en cm.

ν = Coeficiente de poisson, supuesto igual a 0.35.

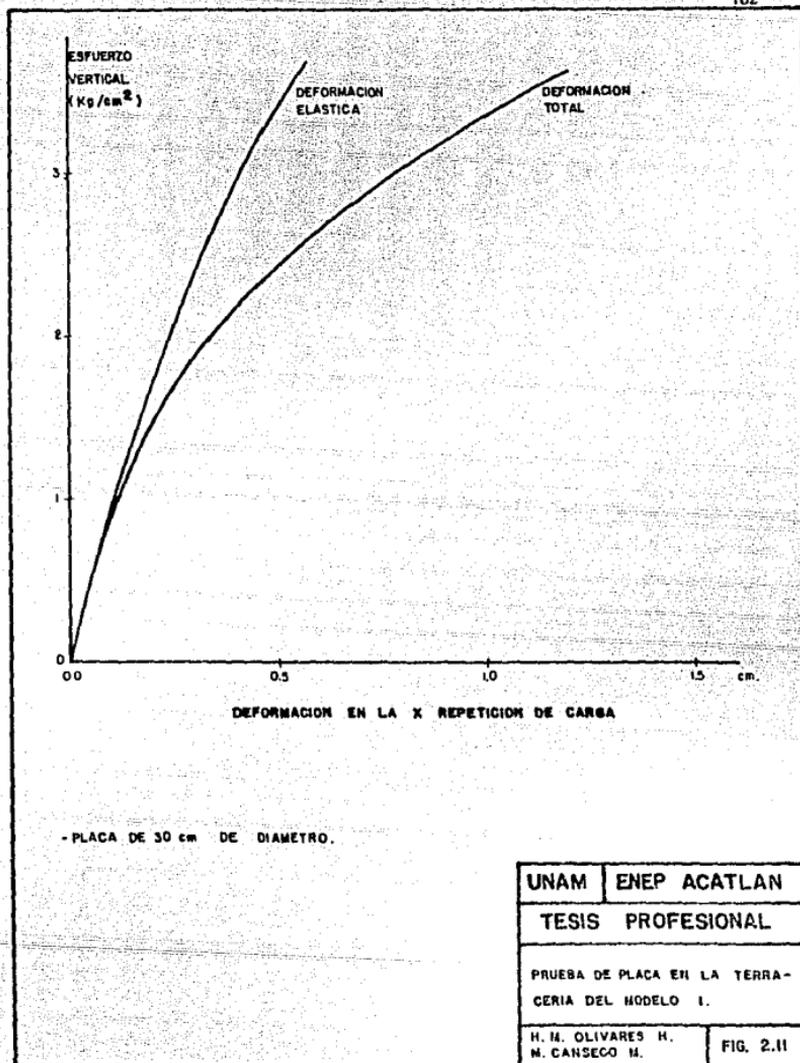
W_0 = deflexión máxima de la placa.

Los resultados que se obtuvieron para esta capa se dan en la tabla 2.3 y figura 2.11.

P, kg.	q, kg/cm ²	W ₀ *, cm	E ₂ , kg/cm ²
800	1.13	0.12	195
1650	2.33	0.28	172
2550	3.62	0.535	140

* Promedio de 2 determinaciones en el perímetro de la placa.

Tabla 2.3 Prueba de placa sobre la terracería, modelo 1.



Para conocer los módulos elásticos de la base, era necesario primero conocer el de la terracería, ya que el método de Burmister menciona, que la relación de módulos entre la primera y segunda capa (E_1 / E_2), queda definida por el factor de deflexiones (F_w) y el espesor de la primera capa, medido en radios de placa (h/a).

$$F_w = \frac{W_0 E_2}{C q a}$$

Los resultados experimentales y los módulos elásticos de la base, aparecen en la tabla 2.4 y figura 2.12.

En los resultados de la tabla mencionada anteriormente, se puede apreciar que los módulos disminuyen rápidamente al aumentar la carga, debido posiblemente a fractura progresiva de la base al aumentarse el esfuerzo de tensión.

Tabla 2.4 Módulos elásticos de la base arena-azufre-asfalto, de acuerdo con el método de Burmister.

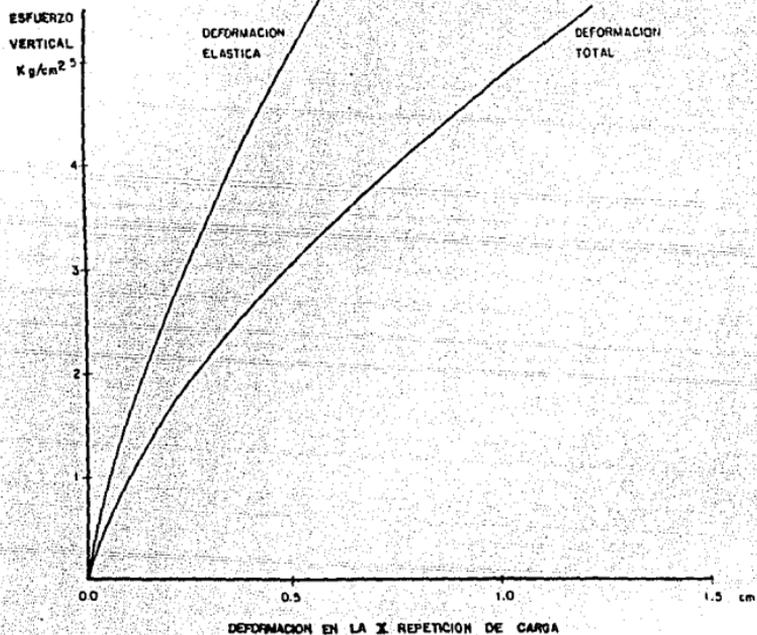
$$(V=0.35; h/a = 11.3/15 = 0.75)$$

P, carga total en Kg.	q, esfuerzo vertical, en kg/cm ²	E ₂ , Módulo terracería, en kg/cm ²	W ₀ *, deflexión, en cm	F _w ** factor de deflexión	E ₁ / E ₂	E ₁ ***, módulo de la base, en kg/cm ²
500	0.71	170	0.35	0.36	35.56	6046
1000	1.41	170	0.85	0.43	17.76	3019
1500	2.12	170	0.145	0.49	10.60	1807
2000	2.83	170	0.210	0.54	7.59	1291
2500	3.54	170	0.290	0.59	5.00	850
3000	4.24	170	0.370	0.63	3.87	657
3500	4.95	170	0.450	0.66	3.25	552
4000	5.66	170	0.540	0.69	2.62	445

* W₀, deflexión elástica

$$** F_w = \frac{W_0 E_2}{(\pi/2)15q} = \frac{W_0 E_2}{23.56 q}$$

*** Módulo a la temperatura de ensayo, cercana a 24°C.



PLACA DE 30.5 cm. DE DIAMETRO.

UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONA

PRUEBA DE PLACA EN LA BASE
DE ARENA - AZUFRE - ASFALTO

H. M. OLIVARES H.
M. CANSECO M.

FIG. 2.12

MODELO 2.

Fue construido con una base de 12 cm de espesor, grado de compactación de 85.5% con relación al peso volumétrico Marshall. La terracería fue construida con material MH, de 190 cm de espesor, compactado al 85% y con un V.R.S., medido en el lugar después de los ensayos, de 7.3%.

Para este modelo se realizaron tres diferentes pruebas, señaladas con modelos 2A, 2B y 2C.

Modelo 2A.

En esta prueba se utilizó una placa semiflexible de 30 cm de diámetro, formada por una placa rígida de acero y en la parte inferior una placa de neopreno de 0.5 cm de espesor. La placa se colocó al centro del modelo para iniciar las pruebas de carga cíclica, incrementando la carga de 2 000 a 5 000 kg, y manteniendo una carga mínima de 500 kg.

Así con los datos obtenidos, fue posible estimar los módulos elásticos de acuerdo con el criterio de Burmister, considerando para la terracería un módulo de 170 kg/cm² de acuerdo con las pruebas de placa realizadas para ésta. Los resultados aparecen en la tabla 2.5.

Posteriormente se realizó un ensayo a fatiga, conservándose una variación de carga entre 500 y 5 000 kg. La falla, por cortante perimetral en la circunferencia de la base, se presentó a 1 000 repeticiones de carga.

Carga mín. ma, en kg	Carga máx. ma, en kg	ΔP , en kg	Δq , en kg/cm ²	E_2^* , en kg/cm ²	W_c , en kg	F_w	E_1 / E_2	E_1 , en kg/cm ²
500	2 000	1 500	2.12	170	0.0724	0.25	93.00	15,809
500	3 000	2 500	3.54	170	0.1194	0.24	100.00	17,000
500	4 000	3 500	4.95	170	0.1715	0.25	89.06	15,141
500	5 000	4 500	6.37	170	0.2616	0.30	50.00	8,500

* El módulo E_2 se supone constante, y está estimado de acuerdo con las pruebas de placa. Cálculo como placa rígida.

Tabla 2.5 Modelo 2, Pruebas de placa con placa semiflexible antes de iniciar las pruebas de fatiga. Las deflexiones son bajo carga cíclica lenta, a una frecuencia de 0.07 Hz.

($V = 0.35$; $H/a = 0.80$; temperatura aproximada 24°C).

Modelo 2B.

Para este modelo, se practicó un ensaye a fatiga, colocando la placa a 50 cm de las paredes del foso. Las cargas se controlaron entre 500 y 3 500 kg, alcanzando la falla a 13,500 repeticiones de carga.

Modelo 2C.

Aquí también se hizo otro ensaye a fatiga, colocando la placa de carga a 50 cm de la pared del foso, en posición simétrica a la del modelo B. Las cargas que se aplicaron fueron entre 500 y 2 000 kg, continuando el ensaye hasta 100 000 repeticiones de esfuerzo sin alcanzar la falla.

En la tabla 2.6 aparecen los resultados de los ensayes a fatiga en los modelos 2A, 2B, 2C.

En las tablas 2.4 y 2.5 se observó que los módulos son muy sensibles al modelo teórico empleado, por lo tanto fué necesario hacer un mejor análisis del estado de esfuerzos y deformaciones de la base arena-azufre-asfalto. Para esto el Instituto de Ingeniería de la UNAM, utilizó un modelo multicapa (CHEV 4)* y después ajustó por iteraciones, el perfil calculado de deflexiones con el perfil experimental.

* Programa para computadora adaptado por el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

MOD.	No. Repet.	C. mín. en kg.	C. máx. en kg.	Δp , en kg.	Δq , en kg/cm ²	E_2^* , en kg/cm ²	Wc	Fw	E_1/E_2	E_1
A	1	500	5,000	4,500	6.37	170	0.290	0.33	38.39	6,526
A	1,000	500	5,000	4,500	6.37	170	0.280	0.32	42.59	7,241
B	1	500	3,500	3,000	4.24	170	0.1365	0.23	114.54	19,471
B	13,575	500	3,500	3,000	4.24	170	0.1730	0.29	53.43	9,080
C	1	500	2,000	1,500	2.12	170	0.081	0.28	66.33	11,276
C	23,000	500	2,000	1,500	2.12	170	0.597	0.20	200.00	34,000
C	100,000	500	2,000	1,500	2.12	170	0.0616	0.21	169.51	28,816

* El módulo E_2 se supone constante, y está estimado de acuerdo con las pruebas de placa. Cálculo como placa rígida.

Tabla No. 2.6 Modelos 2A, 2B y 2C. Pruebas de carga durante las pruebas de fatiga. Placa semiflexible.

($\nu = 0.35$; $H/a = 0.80$; temperatura aproximada 24°C.)

Dichos cálculos muestran que el módulo elástico de la base a la frecuencia de medición de 0.07 Hz, puede estar comprendido entre 3 000 y 5 000 kg/cm², para que la curva elástica teórica, se aproxime a la experimental; para esto fue necesario que los módulos elásticos de la terracería fueran del orden de 300kg/cm².

El incremento del módulo de la terracería a valores de 300 ó 350 kg/cm², superiores a los medidos en pruebas de placa (140-195 kg/cm²), puede explicarse satisfactoriamente ya que los niveles de esfuerzo verticales en el modelo 2A, son inferiores al mínimo utilizado en pruebas de placa (1.13 kg/cm²).

Para el intervalo de módulos de la base (3000 a 5000 kg/cm²), se obtuvieron los valores mostrados en la tabla 2.7.

Por otra parte, de la gráfica de módulos dinámicos contra frecuencia para 24°C (fig. 2.8), se obtienen los siguientes valores, que también fundamentan la estimación del módulo elástico de la base.

- Módulo dinámico a 24°C (E^*) para 0.07 Hz (frecuencia de medición en el modelo). 2 240 kg/cm²
- Módulo dinámico a 24°C (E^*) para 0.04 Hz (frecuencia de ensaye del modelo). 3 900 kg/cm²

		$E_2 = \text{Módulos de la terracería, en kg/cm}^2.$					
		350			300		
		τ_t	ϵ_t	σ_2	τ_t	ϵ_t	σ_2
$E_1 = \text{Módulo de la base en kg/cm}^2$	5 000	--	--	--	+4.31	+608	-0.69
	3 000	+2.84	+722	-0.91	+3.17	+786	-0.86

τ_t = Esfuerzo tangencial de tensión en la parte inferior de la base estabilizada, en kg/cm^2 .

ϵ_t = Deformación unitaria tangencial de tensión en la parte inferior de la base estabilizada.

σ_2 = Esfuerzo vertical de compresión en la terracería, en kg/cm^2 .

Tabla 2.7 Valores obtenidos para el intervalo de módulos de la base.

2.1.6 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

La carretera funcionaba con dos carriles de circulación, en los que se detectó un aforo de 14 000 vehículos diarios en promedio. Para la estructuración del pavimento del nuevo cuerpo, se consideró una vida de servicio de 10 años, un incremento anual del 5% y un 40% de vehículos pesados. El número de pasadas acumuladas necesarias para causar la fatiga resultó de 33'075,000.

Para la determinación de los espesores en el modelo matemático de Jones and Peattie, se utilizaron los siguientes datos:

<u>CAPA</u>	<u>ESPESOR</u>	<u>MODULO DINAMICO</u>
Carpeta	7.5 cm	$E_1 = 12\ 000\ \text{kg/cm}^2$
Base estabilizada	24 cm	$E_2 = 5\ 000\ \text{kg/cm}^2$
Subrasante arena emulsión	15 cm	$E_3 = 2\ 000\ \text{kg/cm}^2$
Subrasante arena-limo	15 cm	$E_4 = 1\ 000\ \text{kg/cm}^2$
Terracerfa, arcillo-limosa	2 m	$E_5 = 200\ \text{kg/cm}^2$

Carga con radio de 15 cm, constituido por un eje de 10 ton. y dos llantas gemelas colocadas a 32 cm de centro a centro, teniendo presión de inflado de $6.0\ \text{kg/cm}^2$.

Los resultados obtenidos en el modelo matemático empleado, fueron los siguientes:

Esfuerzo tangencial de tensión

$1.01\ \text{kg/cm}^2$

Deformación unitaria tangencial de tensión.	260×10^{-6}
Esfuerzo vertical de compresión en la base.	-4.0 kg/cm^2
Esfuerzo vertical de compresión en la terracería.	-0.15 kg/cm^2

Como puede verse en la gráfica de la figura 2.9, el valor del esfuerzo tangencial de tensión correspondiente a 40×10^6 repeticiones de la carga, lo cual es suficiente para la vida de servicio establecida. Puede observarse también que la deformación tangencial en la base y los esfuerzos verticales generados en ésta y en la terracería, están dentro de valores que pueden ser resistidos por los respectivos materiales.

2.2 ESTABILIZACIÓN CON LOS PRODUCTOS CONSOLID 444 + CONSERVEX

2.2.1 EMULSION CONSOLID 444 Y EMULSION CONSERVEX.

El uso de estos aditivos en la estabilización de suelos ha tenido por objeto -- principal, formar una estructura impermeable al agua, abatir la plasticidad, aumentar la resistencia mecánica de los materiales y por consiguiente reducir al máximo los costos de conservación de la obra en cuestión.

El CONSOLID 444 es una emulsión inversa ligeramente ácida (pH-5), que está compuesta por un número de reactivos cuya misión es la de modificar las características físico-químicas de las partículas del suelo; debido a esta modificación -- que sufren las partículas por la influencia del Consolid 444, se producen los cambios esperados, en particular la aglomeración estable entre sí de las partículas -- muy finas de arcilla y limo que normalmente se encuentran disociadas y sueltas en el suelo y la reducción de la ascensión capilar, debido esto último al -- efecto hidrófobo que provoca el Consolid 444.

El CONSERVEX es una emulsión inversa ligeramente alcalina (pH-9), soluble -- en agua tratada previamente con ácido clorhídrico (una parte por mil), esta emulsión está compuesta principalmente por asfalto en solución. Este producto utiliza el agua como vehículo para depositar pequeñas partículas de asfalto a través del suelo que ya ha sido tratado con la emulsión Consolid 444.

Ambos productos son solubles en agua, por lo que se aplican por medio de -- un carro tanque con berra de rociado a los materiales utilizados en la construcción del camino. Después del rociado se recomienda una homogeneización -- mediante un arado de discos, la compactación del suelo una vez concluida pro --

ca una disminución de la cantidad de vacíos de la estructura del suelo, impidiendo de esta forma el acceso a la humedad lo que produce un incremento en la resistencia original del suelo.

2.2.2 RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LOS ADITIVOS.

En este tema se abordarán los puntos referentes a las condiciones de uso, las características de los aditivos sus restricciones de seguridad, para el personal y el manejo de las emulsiones.

A) Para la estabilización de suelos con los aditivos C444 y CX se recomienda que los materiales a tratar se encuentren en un rango de humedad óptima del 10% al 30%.

B) La dosificación recomendada por M³ de material compactado con humedad óptima es la siguiente:

- | | | |
|-----------------|----------|-----------------|
| a) Consolid 444 | emulsión | 0.4 a 1.0 lts. |
| b) Conservex | emulsión | 4.0 a 15.0 lts. |

C) Para la elaboración de estas emulsiones, se debe usar agua con pH ≤ 7 . Si el pH del agua es mayor de 7, se debe usar de 0.5 a 1.0 lt de ácido clorhídrico o ácido muriático por cada 1,000 lts de agua, esto es 1 ó 2 gotas de ácido por cada 100 cc. de agua.

D) Se debe tener una perfecta homogeneización de los aditivos y sus emul-

siones antes de usarse, una vez usado se debe mantener el depósito bien cerrado.

E) La relación mínima de Consolid 444 emulsión con el agua es de 1:50; pero puede ser de 1:75 o mayores.

Por otro lado, la relación mínima de Conservex emulsión con el agua es de 1:1, pero también puede ser de 1:2, 1:3, etc. dependiendo de la humedad faltante y de la capacidad de la petrolizadora.

F) El agua faltante, mencionada en la columna 15 de la tabla de campo, se aplica antes de las soluciones de trabajo, o bien se puede repartir en los carros tanque que contienen las emulsiones de trabajo de C444 y de CX respectivamente, siempre y cuando lo permita la capacidad de la pipa y de la petrolizadora.

G) Para el manejo de ambas emulsiones, se recomienda que el personal encargado de esto, use guantes, que no se talle los ojos, y que en caso de haber existido algún contacto de los aditivos con la piel, ésta deberá ser bien lavada.

H) Se deberá preparar la solución de trabajo, únicamente en la cantidad necesaria para la jornada del día de trabajo.

I) Se debe verificar que se elaboren bien las emulsiones y soluciones de trabajo, revolviendo perfectamente los ingredientes.

J) Se recomienda no parar las bombas de la pipa y de la petrolizadora durante la aplicación de las soluciones de trabajo, con el fin de no interrumpir el mezclado, con lo que se evita una posible separación de la emulsión.

DOSIFICACION DE CONSOLID 444 EMULSION + CONSERVEX EMULSION.

TABLA DE CAMPO.

1	2	3	4	5	6	7	8 9		10	11	12	13	14	15	Observes.
Mtra.	P, V, H, M,	Humedad Natural = H, N.	Humedad Optima = H, O.	Peso Inicial con H, N, (kg)	Peso Final con H, O, (kg) 2 x 10	Humedad Faltante Lts.	C444 Emulsi3n Lt/m ³	CX Emulsi3n Lt/m ³	Volumen de Mat ^{er} ial con H, O, m ³	CONSOLID Emulsi3n Lts. 8 x 10	CONSERVEX Emulsi3n Lts. 9 x 10	C444+H ₂ O Lts. 1:50	CX+H ₂ O Lts. 1:1	Agua faltante para obtener H ₂ O, Lts.	
Ejem:	2096	3.8	10.7	393,071	419,200	26,129	1,000	11,000	200	200	2,200	200+ 10,000	2,200+ 2,200	11,529	
												10,200	4,400		

NOTAS:

- 1) Utilizar agua con PH = 7 ó menor
- 2) Relación mínima C444 : H₂O = 1:50
- 3) Relación mínima CX : H₂O = 1:1
- 4) Agitar los Aditivos antes de usarse.
- 5) Mezclar bien las soluciones de trabajo.

Materia:
Localización:

$$\text{PESO INICIAL CON H, N,} = \frac{\text{PESO FINAL CON H, O,}}{100 + \text{H, O,}} = (100 + \text{H, N,}) \text{ VOLUMEN FINAL CON H, O,} = \frac{\text{PESO FINAL CON H, O,}}{\text{P, V, H, M,}}$$

K) Se debe cuidar que la barra espesora de la petrolizadora, riegue en forma tal que a cada carril del tramo le correspondan cantidades iguales de solución.

L) Finalmente en el proceso de homogenización del material con las soluciones de trabajo, se deberá cuidar que esta se haga destruyendo los terrones de material, de tal forma que se obtenga una buena disgregación, lo que ocasiona una mejor distribución de las emulsiones en el material.

2.2.3 DOSIFICACION DE LA EMULSION CONSOLID 444 Y LA EMULSION CONSERVEX PARA CONDICIONES DE LABORATORIO (TABLA DE CALCULO DE LA BORATORIO).

Para la demostración de este tema, se necesita elaborar especímenes con y sin aditivos para así obtener puntos de comparación, las muestras elaboradas son:

Muestra "O" sin aditivos (3 especímenes)

Muestra "1" con aditivos Consolid 444 + Conservex (3 especímenes).

I.- PRUEBAS A REALIZAR EN EL LABORATORIO.

1) Capilaridad.

Esta prueba se realiza después de someter a los especímenes a un secado a temperatura ambiente de laboratorio, durante tres días (temperatura aproximadamente de 20°C).

2) Compresión Simple.

Esta prueba se realiza una vez terminada la prueba de capilaridad, en el

equipo convencional.

3) Valor Relativo de Soporte (Estándar).

Los especímenes ya mencionados con y sin aditivos, se dejan secar a temperatura ambiente del laboratorio (20°C) durante tres días para después sumergirlos en una pileta con agua durante tres días posteriormente se sacan y se penetran.

4) Valor Relativo de Soporte (Modificada).

Se elaboran seis especímenes de prueba con y sin aditivos, estos se dejan secar a temperatura ambiente del laboratorio y posteriormente se penetran.

II. - DOSIFICACION DE LAS EMULSIONES C444 Y CONSERVEX EN EL LABORATORIO. (TABLA DE CALCULO DE LABORATORIO).

Para este efecto nos auxiliaremos de un ejemplo, ya que creemos de esta forma se observarán mucho mejor las características generales de la dosificación.

Datos del material por estabilizar.

- Peso Volumétrico Seco Máximo (Porter) = 1 893 kg/m³
- Peso Volumétrico Húmedo Máximo = 2 096 kg/m³ (valor registrado en la columna 2 de la tabla de cálculo del laboratorio).
- Humedad Natural (H.N) = 3.8%, dato registrado en la columna 3.
- Humedad Óptima (H.O) = 10.7%, dato registrado en la columna 4.

- Se obtiene el peso de la muestra inicial con H.N \Rightarrow 5 000 grs. col. 5.
- Se obtiene el peso final de la muestra con H.O

$$\Rightarrow (5/100+3.6) (100+10.7) = 5,332 \text{ grs. valor a columna 6,}$$

- Se calcula la Humedad Faltante para obtener la Humedad Optima. Valor asignado a la columna 7.

$$\Rightarrow (5,332 \text{ grs}) - (5,000 \text{ grs.}) = 332 \text{ grs.} \cong 332 \text{ cc. de Agua.}$$

Para este ejemplo, la Empresa decidió utilizar, para un metro cúbico de suelo compactado con H.O, las siguientes proporciones:

- 600 cc. de Consolid 444 emulsión, valor asignado a la columna 8.
- 7,000 cc. de Conservex emulsión, valor asignado a la columna 9, de la tabla de cálculo de laboratorio.
- Cálculo del volumen de material pétreo con H.O, valor registrado en la columna 10.

Peso = 5,332 grs.

$$\text{Volumen} = 5,332 \times 1000 / 2096, \quad \text{Vol} = 0.0025438 \text{ m}^3$$

- Dosificación de Consolid 444 por M³ de suelo compactado = 600 cc. valor de la columna II (tabla de cálculo para laboratorio).

$$\begin{array}{r}
 1 \text{ M}^3 \text{ --- } 600 \text{ cc. de C444} \\
 0.0025438 \text{ M}^3 \text{ ---} \\
 \hline
 = 1.5 \text{ cc. de C444}
 \end{array}$$

- Cálculo de Conservex por M³ de suelo compactado = 7 000 cc. valor de columna 12.

$$\begin{array}{r}
 1 \text{ M}^3 \text{ --- } 7\,000 \text{ cc. de CX} \\
 0.0025438 \text{ M}^3 \text{ ---} \\
 \hline
 = 18.0 \text{ cc. de CX}
 \end{array}$$

2.2.3.1 APLICACION DEL CONSOLID 444 SOLUCION DE TRABAJO A LA MUESTRA.

El valor que se obtiene en este punto es el que se registra en la columna II, de la tabla de cálculo de laboratorio.

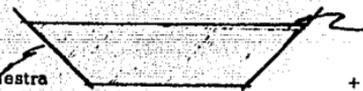
- a) De los datos ya registrados, del Peso de la Muestra con Humedad Natural que fué de 5.0 kg. y de la proporción ya obtenida del aditivo C444 de 1.5 cc. ambas cantidades se mezclan en una relación de 1:50 de agua.

1 cc. de C444 — 50 cc. de Agua.

1.5 cc. de C444 — 75 cc. de Agua.

Se agregan 1.5 cc. de C444 en 75 cc. de Agua, se mezclan ambos hasta obtener una mezcla homogénea de agua y C444.

b) La emulsión ya obtenida se aplica a la muestra de suelo en forma homogénea.

Peso de la muestra 5.0 kg.		75 cc. de Agua <u>+ 1.5 cc. de C444 emulsión</u> + 76.6 cc. de C444 emulsión <u>5000.0 grs</u> Peso total: 5076,5 grs
-------------------------------	---	---

c) El paso siguiente consiste en obtener el agua faltante de la muestra en cuestión, lo cual se obtiene restando de la humedad total por aplicar, la solución obtenida de 76.5 cc. de C444 emulsión.

_332,0 cc.	Humedad total por aplicar.
<u>-76,5 cc.</u>	C444 emulsión.
255,5 cc.	de agua faltante.

2.2.3.2 APLICACION DEL CONSERVEX solución de trabajo a la mezcla.

El valor que se obtiene en este punto es el que se registró en la columna 12, de la tabla de cálculo de laboratorio.

a) Se habían obtenido ya 18,0 cc. de CX emulsión con los valores registra-

dos en las columnas 9 y 10 de la tabla de laboratorio.

Como nota complementaria podemos decir que el Conservex puede mezclarse con el agua en una relación de: 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, etc. es conveniente una relación mínima de 1:5, para lograr una mejor dispersión del aditivo con el agua.

Para este problema se usó una relación de 1:13,2 con lo cual se obtiene:

$$\begin{array}{r}
 1.0 \text{ de CX} \text{ --- } 13.2 \text{ cc. de Agua.} \\
 18.0 \text{ de CX} \text{ ---} \\
 \hline
 = 237.6 \text{ cc. de Agua,}
 \end{array}$$

Se agitan y se disuelven perfectamente los 18,0 cc. de Conservex con los 237,6 cc. de agua, para obtener una solución de trabajo de:

$$237.6 \text{ cc. de agua} + 18.0 \text{ cc. de CX emulsión} = 255.6 \text{ cc. emulsión.}$$

Esta solución de trabajo se añade a la mezcla en forma homogénea.



255.6 cc. de solución
(CX + Agua).

$$\text{Peso total} = 5,000 + 76,5 + 255.6 = 5,332.10 \text{ grs.}$$

2.2.4 PROCEDIMIENTO DE APLICACION DE LAS EMULSIONES CONSOLID 444 Y CONSERVEX EN EL SITIO DE LA OBRA.

El proceso de aplicación de estos aditivos, se basa principalmente en tres etapas, los cuales se desglosan como sigue:

1a. Etapa. En este punto se trata de obtener las características generales del material por estabilizar, para la tabla de campo.

Al respecto se deben obtener las siguientes propiedades de los materiales.

a) Peso Volumétrico Húmedo Máximo (P.V.H.M.), del material por estabilizar, valor obtenido de laboratorio y asignado en la columna 2, de la tabla de campo.

b) Humedad Natural del Material (H.N), valor obtenido en campo y asignado a la columna 3, de la tabla de campo.

c) Humedad Óptima del Material (H.O), valor obtenido de laboratorio y registrado en la columna 4, de la tabla de campo.

d) Peso Inicial con H.N, en kg, registrado en la columna 5.

$$P.I \text{ con H.N} = \frac{P.F \text{ con H.O}}{(100 + H.O)} (100 + H.N)$$

e) Peso Final con H.O, en kg, registrado en la columna 6.

f) Humedad Faltante, en lts, este punto se obtiene restando los valores ob

tenidos en el inciso e) de los obtenidos en el inciso d), y éste valor se registra en la columna 7, de la tabla de campo.

g) Volumen Final con H.O del material por estabilizar, este valor se asigna a la columna 10, de la tabla de campo.

2a. Etapa. Esta etapa, comprende la obtención en sí, de los volúmenes requeridos de las emulsiones compuestas por los aditivos C444 y CX.

a) Consolid 444 emulsión, en lts por aplicar; multiplicando la dosificación de Consolid 444 por el Volumen Final con H.O y se registra en la columna 11, de la tabla de campo.

b) Conservex emulsión, en lts. por aplicar; multiplicando la dosificación de Conservex por el Volumen Final con H.O y el resultado se registra en la columna 12.

3a. Etapa. En esta etapa, observaremos la aplicación de las etapas anteriores, y como ya se mencionó se trata un ejemplo, comprendiendo cada una de las partes que integran este proceso.

De acuerdo a los datos ya obtenidos en las etapas anteriores, se tiene un requerimiento de 200 lts de Consolid 444 emulsión, (columna 11) y 2 200 lts. de Conservex emulsión (columna 12), éste requerimiento nos da una relación de Consolid 444-Conservex de (1.0:11.0). Por lo tanto el ejemplo requiere una preparación de 200 lts. de Consolid 444 emulsión

a) El fabricante recomienda, usar el 20% del volumen requerido de emulsión - total con Consolid 444 concentrado, y el resto se cubre con agua de $\text{pH} \leq 7$.

Lo anterior, nos da los siguientes valores:

20% de Consolid 444 concentrado $200 \times 0.2 = 40 \text{ lts.}$

80% de Agua con $\text{pH} \leq 7$ $200 \times 0.8 = \frac{160 \text{ lts.}}{200 \text{ lts.}}$

Se vacían en un tambor metálico y se revuelven perfectamente, para obtener - 200 lts. de Consolid 444 emulsión.

b) Para la obtención de la solución del trabajo el fabricante nuevamente nos indica la relación mínima 1:50 de Consolid 444 emulsión con agua y la cantidad - de agua necesaria para elaborar la solución de trabajo de Consolid 444.

Así se obtiene que:

$50 \times 200 \text{ lts. de C444} = 10,000 \text{ lts. de agua con } \text{pH} \leq 7 + 200 \text{ lts de so-}$
lución, nos dan 10,200 lts. de solución de trabajo de Consolid 444 (columna -
13).

Esta solución se introduce en un carro tanque con barra rociadora y bomba, - la solución se homogeniza perfectamente y ya podemos incorporarla al suelo por - estabilizar.

c) Como ya se mencionó en el proporcionamiento del C444, ya se obtuvo - una relación de la cantidad de aditivos (C444 : CX) \Leftrightarrow 1.0:11.0) por aplicar por

lo que el ejemplo requiere de 2 200 lts. de Conservex emulsión.

Para la obtención de ésta emulsión el fabricante recomienda respetar la utilización del 5% de Conservex concentrado del volumen total que se requiera de ésta emulsión, y el resto será ocupado por un asfalto rebajado del tipo FR-3 ó FM-1.

De esta manera se tiene lo siguiente:

5% de Conservex concentrado	$2\ 200 \times 0,05 = 110$ lts.
95% de FR-3 ó FM-1	$2\ 200 \times 0,95 = \frac{2\ 090}{2\ 200}$ lts.

La emulsión se vacía en un carro tanque con bomba para su mezclado, hasta formar la emulsión asfáltica, la forma de comprobar el mezclado perfecto, se hace, obteniendo 1/2 lt. de solución y se mezcla con agua de pH ≤ 7 , se observa si ya existe una buena dispersión, se continúa el proceso de obtención de la emulsión de trabajo, si aún no se ha obtenido, se debe mantener el mezclado dentro de la petrolizadora.

Cabe hacer mención, que dependiendo del tipo de rebajado que se utilice se debe mantener una temperatura en la emulsión obtenida, esto es, la temperatura para el rebajado FR-3 será de 60°C y para el FM-1 de 20°C.

d) Para la obtención de la solución de trabajo de Conservex, el fabricante indica nuevamente una relación mínima de (1:1) de Conservex emulsión y el agua de pH ≤ 7 , por lo tanto al dato obtenido en la columna 12 de la tabla de campo indica 2 200 lts. de CX emulsión, por lo que la cantidad de agua con pH ≤ 7 ne-

cesaría para elaborar la solución de trabajo resulta de 2200 lts, lo que equivale a obtener 4400 lts de solución de trabajo de Conservex, este valor se registra en la columna 14, de la tabla de campo.

La emulsión de Conservex y el agua obtenida se mezclan perfectamente en un carro tanque con bomba y barra rociadora, una vez que obtiene la homogenización correcta de la emulsión, se puede iniciar su aplicación.

a) Por último, se debe hacer una revisión del agua que podría faltar a las soluciones ya mencionadas, para esto, el proceso es el siguiente:

De la Columna 7, restar las columnas 13 y 14 de la tabla de campo. El resultado obtenido representa la cantidad de agua que será necesario incorporar al suelo por estabilizar antes de las soluciones de trabajo de Consolid 444 y Conservex.

2.2.5 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION.

El proceso constructivo que se sigue en el empleo de esta técnica, no es diferente al usado en las estabilizaciones mencionadas en el capítulo anterior, sin embargo, mencionaremos a continuación los pasos más representativos de este proceso.

1^a La capa sujeta a tratamiento, deberá ser escarificada.

2^a La incorporación del agua señalada en la columna 15, de la tabla de campo, deberá ser homogénea en todo el suelo a tratar y en el espesor escarificado.

3^a La incorporación de la solución de trabajo, también se hará en forma homogénea con ayuda de un tractor agrícola y discos o una planta del tipo travel mixer en el espesor escarificado, esta solución de trabajo de Consolid 444, es la representada en la columna 13, de la tabla de campo.

4^a La incorporación de la solución de trabajo de Conservex, citado en la columna 14, de la tabla de campo, también se hará como lo indica el 3er. paso de esta secuencia de trabajo.

5^a El tendido, el afinado y la compactación se hará de acuerdo al sistema tradicional de construcción de caminos, detallado en el anexo 1, de este trabajo.

6^a Se deberá poner un sello con material pétreo 3-A ó 3-E, con un rebajado FR-3 ó solución de trabajo de Conservex, de acuerdo a las cantidades por -

aplicar que indique el laboratorio.

CAPITULO 3

EXPERIENCIAS Y RESULTADOS

OBTENIDOS EN ALGUNOS TRAMOS

DE PRUEBA.

CAPITULO 3 EXPERIENCIAS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN ALGUNOS TRAMOS DE PRUEBA.

INTRODUCCION

Hasta ahora se han tratado únicamente los procesos de dosificación y manejo, de la mezcla Azufre-Asfalto y de la emulsión de Consolid 444 + Conservex, así también se analizaron sus respectivas pruebas de laboratorio.

En adelante se expondrán las experiencias obtenidas al aplicar los productos ya mencionados.

La mezcla Azufre-Asfalto se aplicó en la carretera Coatzacoalcos-Villahermosa, en el tramo comprendido entre las poblaciones de Cárdenas y Villahermosa en el Estado de Tabasco, dicho tramo representa 48 Km.

La emulsión de Consolid 444 + Conservex se aplicó en las carreteras Colima - Manzanillo en el tramo Colima-Entronque Tecoman; Iguala-Acapulco tramo Boulevard Chilpancingo; también se realizó la evaluación de calidad en los materiales usados para la capa de rodamiento por la aplicación de éstos aditivos en diferentes Caminos Rurales.

Ya expuestos los puntos anteriores se aclara que este capítulo se divide en dos secciones las cuales se analizan en el orden siguiente:

Primeramente la mezcla Azufre - Asfalto, partiendo de sus procesos fundamentales hasta llegar a su aplicación en el tramo ya mencionado.

En la segunda sección se analizan los materiales que constituyen los tramos tratados con los aditivos C444 + CX, iniciando esto con la localización de los bancos, los tramos de prueba y sus análisis de estabilización respectivos.

3.1 CARRETERA : COATZACOCALCOS - VILLAHERMOSA

TRAMO : CARDENAS - VILLAHERMOSA

3.1.1 MEZCLADO EN PLANTA

El azufre que se utiliza en mezclas asfálticas destinadas a la pavimentación de carreteras, puede emplearse en sus dos formas, sólida o líquida, teniendo en cada una de ellas diferentes propiedades al trabajarse. En el tema de estudio, el tramo Cardenas Villahermosa se empleó el azufre primeramente en estado sólido y posteriormente en estado líquido, obteniéndose experiencias importantes en cada uno de los dos estados físicos.

Inicialmente se decidió utilizar azufre sólido, ya que no se contaba con instalaciones especiales que se requieren para manejarlo en estado líquido. El azufre utilizado fue el llamado azufre de mina de color grisáceo, el cual se acarró en camiones de volteo a la planta asfáltica.

El proceso para incluir el azufre sólido en la mezcla es de la siguiente manera: Primeramente se extiende en una plataforma para su disgregación con un compactador vibratorio, en seguida se pasa a un mezclador que junto con la arena a una temperatura de 165°C se mezcla aproximadamente de 20 a 30 segundos, por último se agrega el asfalto dando un mezclado de 40 segundos obteniendo así la mezcla. Se cuida que la cantidad de azufre y asfalto sean de 10 y 6% respectivamente con respecto al peso de la arena.

Se pudo notar que el azufre disgregado al mezclarse con la arena, tendía a reagruparse formando grumos que se notaban tanto en la descarga de la mezcla en los camiones como en el extendido.

También se observó que el azufre sólido produce polvo muy fino, que al estar suspendido en el aire en el área de alimentación y en la de mezclado, producía molestias al personal, como irritación en los ojos y en la piel a pesar de usar anteojos, guantes y petos especiales.

Este sistema de mezclado no resultó el esperado, por la dificultad para alcanzar la compactación de 95% P.V.M.

El problema de los grumos, de la agresividad del azufre en polvo y el de la dificultad para compactar la mezcla, hizo que se optara por utilizar el azufre en su forma líquida.

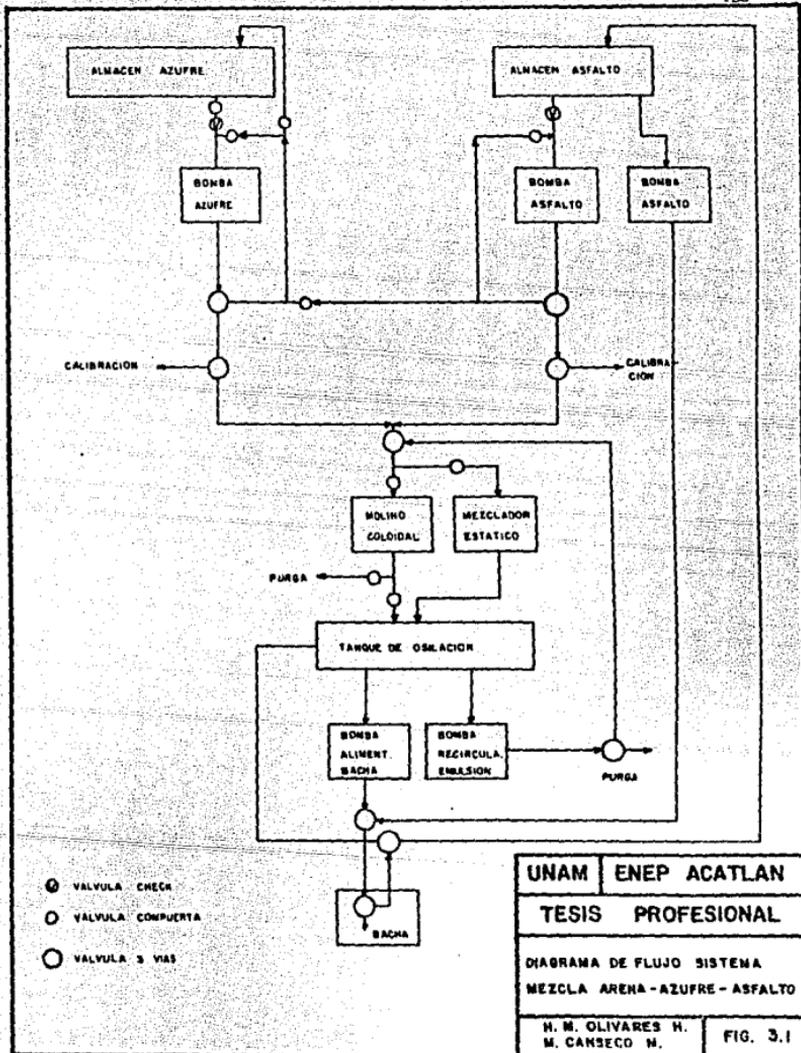
El empleo del azufre líquido requiere de instalaciones adecuadas para su manejo, almacenamiento, calibración, dosificación y elaboración de la emulsión azufre asfalto. El sistema de mezclado más adecuado es el siguiente:

Se almacenan los materiales tanto azufre como asfalto en depósitos especiales que los conservan en estado líquido. Una vez en el almacén, los materiales son bombeados simultáneamente hacia un cabezal en proporciones de 6% para el asfalto y 10% para el azufre, en esta parte al juntarse los dos líquidos en un mismo tubo se realiza un mezclado preliminar. La mezcla obtenida pasa inmediatamente a un molino coloidal o bien a un mezclador estático y posteriormente a un tanque de oscilación. En el tanque de oscilación la bomba de llenado de bcha envía la emulsión hacia la planta, en caso de que se encuentre en operación, si no es así, se recircula la emulsión que contiene el tanque para evitar que el azufre y el asfalto se separen. Es importante señalar que usando el mo

lino coloidal se logra una dispersión del azufre en el asfalto tal que cuando menos el 85% del azufre tiene una distribución de tamaños de partículas menores de cinco micrones.

Con el fin de garantizar una temperatura especificada, las tuberías de circulación y recirculación, bombas e instrumentos de medición de los productos, deben contar con una protección térmica, ya que podría correr el riesgo de inundarse la tubería al perder temperatura los materiales.

En las figuras 3.1 y 3.2 se presentan diagramas de flujo del sistema de mezclado de la emulsión azufre asfalto.



3.1.2 TENDIDO DE LA MEZCLA.

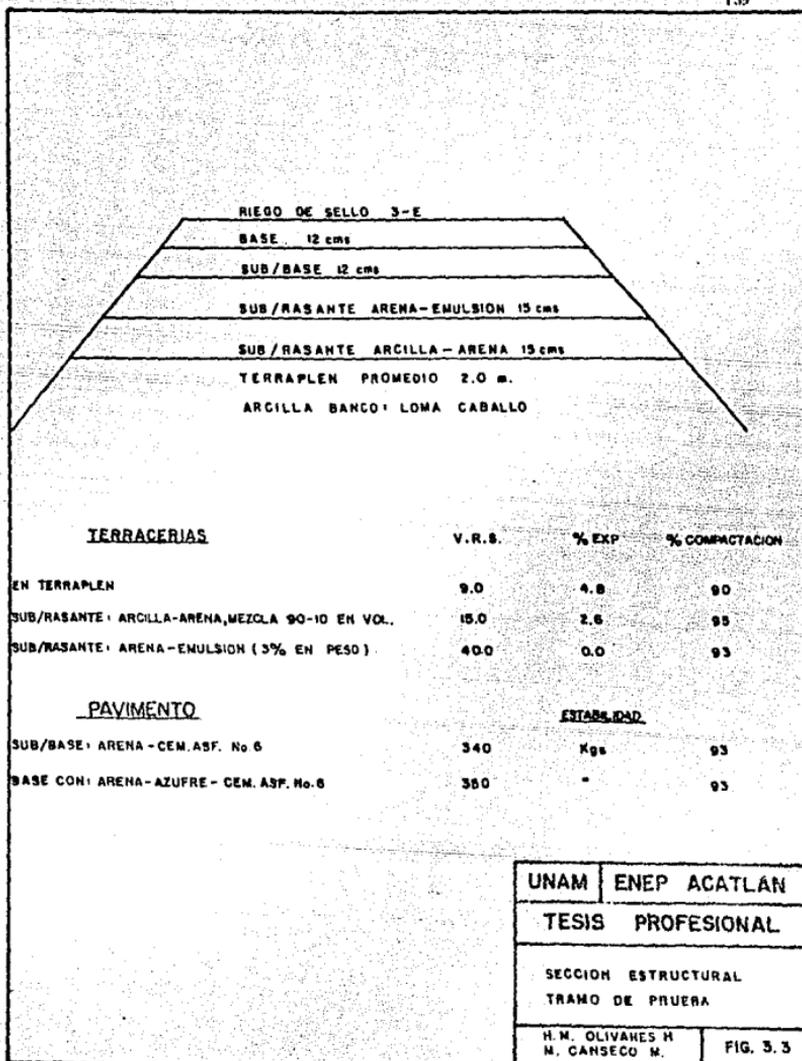
Con el fin de conocer las características del mezclado en estado sólido y su comportamiento al incluirlo en la estructura del pavimento, se construyó un tramo de prueba localizado en el km 0+380 al 1+300 del tramo Cárdenas-Villahermosa. La sección estructural se muestra en la figura 3.3

El extendido y la compactación de la capa en estudio (la base), se hizo con el mismo equipo utilizado en los concretos asfálticos.

Una vez extendida la mezcla, se empieza a compactar a una temperatura de 70°C procurando alcanzar como mínimo el 95% del P.V.M. Cabe hacer mención que en obra se tuvieron muchos problemas para compactar la mezcla, ya que los grumos de azufre que quedaban en la superficie, se rompían fácilmente formando se cajetes que son futuras fallas. También se observó que a temperaturas mayores de 60°C la plancha dejaba huellas y desplazaba la mezcla o cuando la temperatura era menor, la compactación no alcanzaba valores mayores a 93%.

Al tramo en cuestión se le dió un riego de sello con material 3E, con excepción de 80 m que se dejaron para observaciones, abriéndose al tránsito.

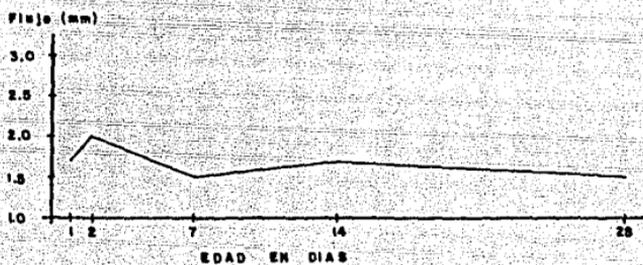
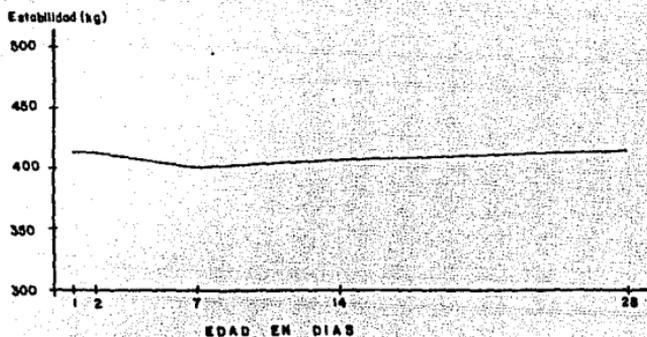
Como este sistema de mezclado no resultó el esperado, por lo difícil para alcanzar el 95% P.V.M. y la dificultad para elaborar la mezcla, en la demás parte del tramo Cárdenas-Villahermosa, la base colocada fue con mezcla elaborada en estado líquido. Para la colocación y compactación se utilizó también el mismo equipo que para concretos asfálticos



Al igual que el mezclado en estado sólido, para este mezclado también se tuvieron problemas para proporcionar compactación a la arena estabilizada, pues cuando ésta no se desplazaba al paso del equipo de compactación era porque ya se estaba presentando el endurecimiento causado por el azufre, al irse enfriando la mezcla. Los pesos específicos alcanzados en las capas construidas, variaron de 88 a 92% del estandar correspondiente, que se determinó con la prueba Marshall.

Por tal motivo, en el laboratorio se llevó a cabo un estudio mediante la elaboración de diferentes especímenes Marshall, reduciendo el número de golpes del pisón en la formación de los especímenes a fin de obtener probetas con pesos específicos menores al máximo. Se encontró que para reproducir en forma aproximada el peso específico alcanzado en la obra, solo se requerían 5 golpes de pisón por cada capa.

Para poder conocer el efecto de la edad en especímenes compactados con un peso específico similar al de las capas construidas, se hicieron pruebas ensayando muestras a edades de 1, 2, 7, 14 y 28 días. En la figura 3.4, se puede observar que la estabilidad prácticamente se conservó constante con valores de 400 kg, lo cual se estima suficiente para la resistencia de la mezcla en la capa.



UNAM ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

ESTABILIDAD Y FLUJO DE ESPECIMENES
COMPACTADOS CON CINCO GOLPES Y
PRÓBADOS A DISTINTAS EDADESH. M. OLIVARES H.
M. CANSECO H.

FIG. 3.4

3.1.3 COMPARATIVA DE COSTOS.

Con el fin de tener una idea en números, de las diferentes alternativas que se tenían para la base, se hizo una evaluación económica de los posibles materiales a utilizar y su equivalente en la sección estructural.

Se determinó el precio por metro cúbico del concreto asfáltico con triturados, de las mezclas de arena con cemento asfáltico, arena-azufre-asfalto y como referencia de arena estabilizada con 12% de cemento portland. Los costos fueron los siguientes:

Material	Costo/ m ³ a jul. 1983	Equivalente estructural	Costo Equivalente
- Concreto asfáltico	\$ 11,655.00	1.0	\$ 11,655.00
- Arena cemento asfáltico No. 6	\$ 6,727.00	1.6	\$ 10,763.00
- Arena-azufre-asfalto	\$ 7,887.00	1.0	\$ 7,887.00
- Arena estabilizada con 12% de cemento portland (proceso no práctico)	\$ 6,842.00	1.0	\$ 6,842.00

El ahorro que se obtenía al utilizar la mezcla arena-azufre-asfalto era del 48% con respecto al concreto asfáltico de triturados y 36% relativo a la mezcla arena cemento asfáltico No. 6, lo que fue decisivo para definirse por este elemento.

También se sacaron los costos por kilómetro considerando diferentes estructuras, pero con un ancho de 12 mts., los costos fueron los siguientes,

Alternativas	Capas	Espesores	Costo
1	Carpeta de concreto asfáltico	7.5 cm	\$ 37'000,000
	Base de arena azufre-asfalto	24 cm	
2	Carpeta de concreto asfáltico	7.5 cm	\$ 42'000,000
	Base de grava-arena triturada	48 cm	
3	Carpeta de concreto asfáltico	7.5 cm	\$ 43'000,000
	Base de concreto asfáltico	24 cm	

Una vez más, se pudo observar que para este proyecto, la alternativa más económica era utilizando la arena azufre asfalto, debido a la dificultad para encontrar bancos de agregados pétreos, lo que elevaba el costo,

3.1.4 COMPORTAMIENTO QUE HA TENIDO EL TRAMO A LA FECHA.

Por tratarse de un método de estabilización que se ha aplicado por primera vez en nuestro país, fue muy importante construir primeramente un tramo de prueba con el fin de mantenerlo en observación y así conocer el comportamiento que va teniendo conforme pasa el tiempo.

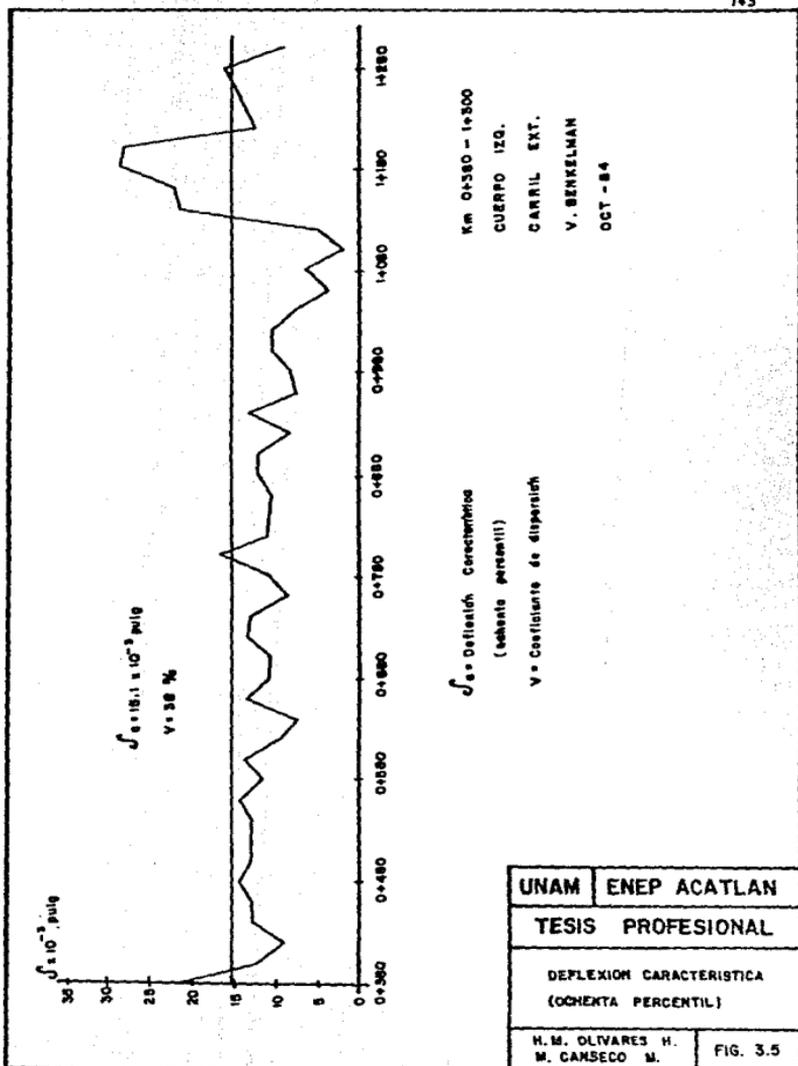
Como se dijo anteriormente, éste tramo de prueba se construyó en el km 0+300 al 1+300 del tramo Cárdenas-Villahermosa, con la sección estructural mostrada en la figura 3.4. Para su observación, a este tramo se le practicaron trabajos de campo y de laboratorio.

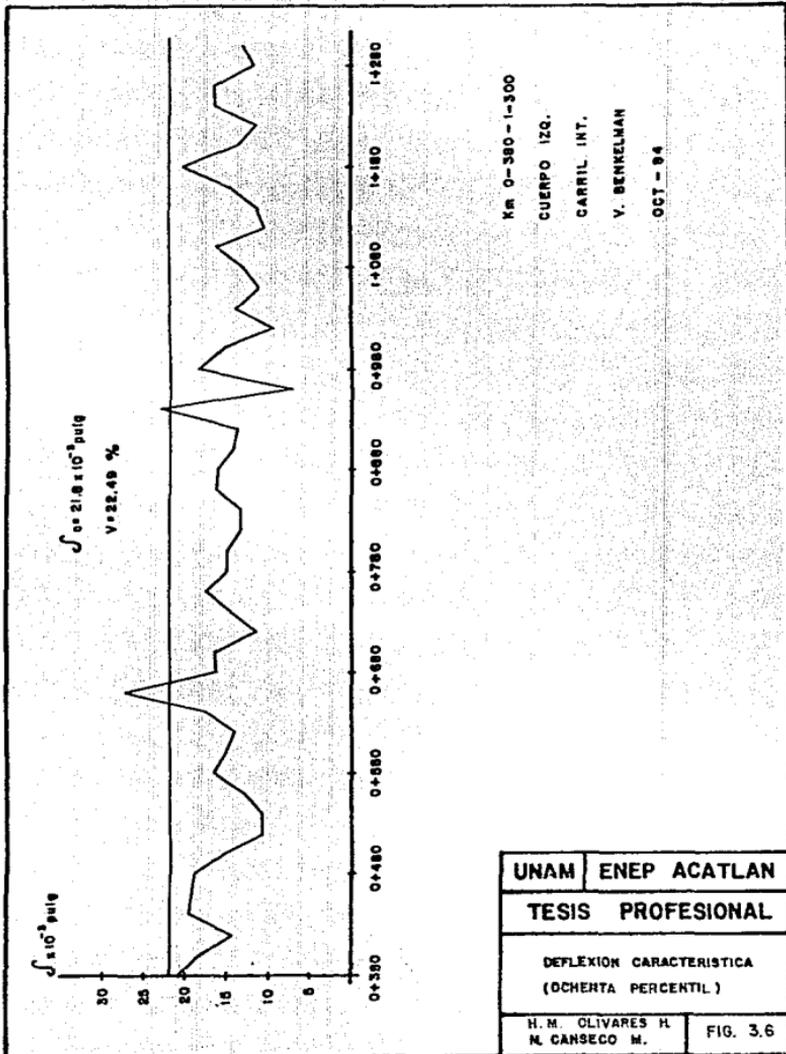
a) TRABAJOS DE CAMPO EN EL TRAMO DE PRUEBA.

Con el objeto de conocer las propiedades mecánicas y condiciones hidráulicas del terreno de cimentación, se efectuaron dos sondeos, pozos a cielo abierto, hasta profundidades de 1.50 m. y prosiguiendo con posteadora hasta alcanzar el nivel de 5.5 m. Estos sondeos se localizan en los kms. 0+780 y 1+130; ambos en las inmediaciones de los dos cuerpos.

Además se efectuaron tres calas sobre el pavimento, a fin de realizar pruebas de valor, relativo de soporte en el lugar. Este ensayo se ejecutó precisamente en la última capa de terracerías; al mismo tiempo se determinaron espesores del pavimento en cuestión.

Con el propósito de conocer la evaluación de la fatiga en la sección estructural del tramo experimental, se efectuaron mediciones de deflexiones estáticas con viga Benkelman, los resultados obtenidos se muestran en las figuras 3.5 y 3.6. En estas figuras se puede notar que la deflexión al ochenta por ciento para el carril externo es de 15.1×10^{-3} pulg. y de 21.0×10^{-3} pulg. para el interno; referente a los coeficientes de dispersión, estos tienen valores de 38.0% y 22.49 respectivamente.





Por último en los cadenamientos 0+760 y 1+090 se tomaron lecturas a través de una viga metálica, a fin de conocer las deformaciones de tipo plástico. Estas deformaciones alcanzaron valores de hasta 40 mm en la frontera izquierda de la carpeta.

b) TRABAJOS DE LABORATORIO EN EL TRAMO DE PRUEBA.

A los sondeos explorados se les extrajeron muestras alteradas representativas de los diferentes estratos encontrados, con el fin de practicarles en el laboratorio los siguientes ensayos:

Granulometría

Límites de Atterberg y

Contenido de humedad.

Con base a estos resultados así como de la visita al lugar, se pudo hacer el perfil estratigráfico del subsuelo. Estos perfiles aparecen en las figuras 3.7 y 3.8

A las calas realizadas, se les obtuvieron muestras alteradas de la última capa de terracerías, para practicarle en el laboratorio pruebas de calidad y resistencia. Los resultados aparecen en la Tabla 3.1. A la capa de base constituida por arena azufre asfalto, se le practicaron pruebas de Hveem. Los valores promedio aparecen en la tabla 3.2, donde se puede ver que el valor de estabilidad de la mezcla, es en promedio de 22 y el valor del cohesímetro de 200 gr/pulg².

PROF. M	PERFIL	%W +LL +LP WNA.F.			GRANULOM., %			SUCS	DESCRIPCION
		20	40	60	S	A	F		
0.40					2	40	58	CL	ARCILLA FIRME DE COLOR NEGRO
1.70					0	19	81	CH	ARCILLA MEDIANAMENTE DE COLOR ROJIZO
2.00					2	40	58	CL	ARCILLA FIRME DE COLOR CAFE CON BETAS BLANCAS Y GRIS
2.55					0	24	76	CH	ARCILLA MEDIANAMENTE FIRME DE COLOR ROJIZO CON BETAS BLANCAS
3.05					0	42	58	CL	ARCILLA FIRME DE COLOR AMARILLO CON BETAS ROJIZO Y CAFE
3.65					0	22	78	CH	ARCILLA FIRME DE COLOR CAFE
4.30					0	22	78	CL	ARCILLA FIRME DE COLOR GRIS
5.50					0	6	94	CH	ARCILLA MEDIANAMENTE FIRME DE COLOR GRIS

F. 3.

LOCALIZACION: A 2.50m DE LA ORILLA DER.

DE LA CARPETA DEL CUERPO
 NUEVO DEL TRAMO CARDENAS-
 VILLANERMOZA EN LA EST.

Km 0+180

UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

SONDEO No. 1

H. N. OLIVARES H.
M. CANSECO M.

FIG. 3.7

PROF. M	PERFIL	°%W +LL °LP ΦI.A.F.			GRANULOM., %			SUCS	DESCRIPCION
		20	40	60	G	A	F		
0.30			+		3	50	47	CL	ARENA ARCILLOSA DE COLOR NEGRO
2.25					0	40	60	CL	ARCILLA FIRME DE COLOR CAFE
3.00					0	12	88	CL	ARCILLA FIRME DE COLOR CAFE
F.S									

LOCALIZACION: A 2.80m. DE LA ORILLA DER.
DE LA CARPETA DEL CUERPO
NUEVO DEL TRAMO CARDENAS-
VILLAHERMOSA EN LA EST.
Km. 0+180.

UNAM ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

BONDEO No. 2

H.M. OLIVARES H.
M. CANSECO M.

FIG. 3.B

OBRA CUERPO IZO, DEL BOULEVARD GRUVALVA
 LOCALIZACION PUENTE CARRIZAL, EN VILLAHERMOSA, TAB.

IDENTIFICACION

NUM. DE ENSAYE	2973	3009	3021
ESTACION	167+155	166+605	165+460
LADO	Izq.	Izq.	Izq.
CAPA	ULT. CAPA	TERRACERIA	

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

TAMAÑO MAXIMO	75	4.75	12.50
% RETENIDO EN MALLA DE 75 mm			
% QUE PASA MALLA DE 4.75 mm	100	100	95
" " " " DE 0.425 mm	73	74	71
" " " " DE 0.075 mm	50	51	51
P.E. RELATIVO	2.63	2.68	2.61
LIMITE LIQUIDO %	70	47	51
INDICE PLASTICO %	35	27	31
CONTRACCION LINEAL %	14.0	11.0	12.3
P.E.S. SUELTO kg/m ³	1105	1101	1230
P.E.S. MAXIMO kg/m ³	1700	1720	1705
HUMEDAD OPTIMA %	18.5	17.5	18.0
HUMEDAD NATURAL %	18.7	17.9	17.8
COMPACTACION DEL LUGAR %	106	100	100
V.R.S. ESTANDAR SATURADO %	4.5	5.0	5.5
EXPANSION %	9.5	8.0	7.3
CLASIFICACION SUCS	CH	CL	CH
V.R.S. LUGAR	3.58	11.70	9.41

ESTUDIO DE ESPESORES

ESP. DE BASE ASF., cm	41	31	33
HUMEDAD DE PRUEBA %	20.2	19.0	19.9
VALOR RELATIVO DE SOPORTE %	12.5	7.0	10.0

CH = Arcilla inorgánicas de alta plasticidad.
 CL = Arcilla inorgánica de mediana plasticidad.

TABLA No. 3.1

ESTUDIO HVEEM (MEZCLAS HIDRAULICAS)

VALORES PROMEDIO HVEEM

FECHA INF. 2-01-84

ENSAYE No.	% DE HUM.	PESO VOL. MAXIMO	EXPANSION Kg/cm ²	ESTABILIDAD (R)	EXUDACION (kg/cm ²)	COHESION Gr/pulg ² .	TEMPERATURA °C
3269	10.0	1976	3.50	74.5	56.0	489.2	27
3270	12.5	1926	2.28	71.0	48.3	450.1	30
3271	15.0	1870	1.54	60.0	40.0	425.0	28
3272	17.5	1848	1.05	50.5	33.5	400.0	26
3273	20.0	1834	0.58	43.5	25.0	369.1	30
3274	25.0	1812	0.42	39.0	20.0	328.2	30

OBRA: CARRETERA COATZACOALCOS-VILLAHERMOSA

TRAMO: CARDENAS-VILLAHERMOSA KM 167+155 lado Izq. Carril Izq.

ESTUDIO HVEEM (MEZCLAS ASFALTICAS)

VALORES PROMEDIO HVEEM

ENSAYE No.	% DE HUM.	PESO VOL. MAXIMO	EXPANSION Kg/cm ²	ESTABILIDAD (R)	EXUDACION (kg/cm ²)	COHESION Gr/pulg ² .	TEMPERATURA °C
3008	-	2030	-	45.0	-	285	28

ENSAYE No.	% DE HUM.	PESO VOL. MAXIMO	EXPANSION Kg/cm ²	ESTABILIDAD (R)	EXUDACION (kg/cm ²)	COHESION Gr/pulg ² .	TEMPERATURA °C
3008	-	1966	-	21.0	-	220.5	60

NOTA: La muestra ensayada (mezcla esf. con azufre)

TABLA No. 3.2.

Todo el estudio que se le practicó a este tramo de prueba, arrojó resultados satisfactorios, ya que si se toma en cuenta, el tramo se construyó con un espesor insuficiente de pavimento utilizando la arena estabilizada; y después de abrirlo al tránsito por más de dos años, se observó que solo en los primeros meses se presentó cierta deformación, tal vez por acomodamiento de algunas de las capas, pero que, contrario a lo esperado por la rigidez prevista en la capa de base, no hubo agrietamientos.

En este tramo de prueba, a una parte de 80 m se le substituyó la carpeta de 7.5 cm de concreto asfáltico, por una capa de 9.0 cm de espesor, construida - ésta con arena-azufre-asfalto; esta capa se selló y se abrió al tránsito. Los resultados obtenidos se consideraron tan satisfactorios después de año y medio, - por lo que se decidió, que en el subtramo próximo a Villahermosa no se construyera la carpeta de concreto asfáltico.

Al igual que en el tramo de prueba, todo el tramo Cardenas-Villahermosa se ha mantenido en observación, practicándole trabajos de campo y de laboratorio.

c) TRABAJOS DE CAMPO EN EL TRAMO CARDENAS VILLAHERMOSA.

Para conocer el perfil estratigráfico y las propiedades mecánicas del tramo Cardenas Villahermosa, se llevaron a cabo pruebas destructivas y no destructivas.

En las figuras 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12 se muestran los perfiles estratigráficos de algunos kilometrajes.

Se extrajeron en el campo núcleos con broca de 10.2 cm en 8 estaciones, para ensayarlos y así conocer la Estabilidad Marshall de las capas. Los resultados obtenidos de estos ensayos se muestran en la tabla 3.3.

Las pruebas no destructivas se ejecutaron con viga Benkelman obteniendo así las deflexiones estáticas de la sección estructural del camino. Estas pruebas, se llevaron a cabo sobre 16 subtramos de 500 m cada uno. Se tomaron lecturas en ambos carriles a cada 20 m.; las deflexiones al ochenta percentil en el carril interno, alcanzaron valores de $\delta = 31 \times 10^{-3}$ pulg, con un coeficiente de dispersión $V = 32\%$; para el carril externo se obtuvieron $\delta = 37.7 \times 10^{-3}$ pulg y $V = 21 \%$.

d) TRABAJOS DE LABORATORIO COMPLEMENTARIOS.

Con el objeto de conocer las propiedades mecánicas de los materiales que constituyen la mezcla en estudio, se procedió a efectuar a cada uno de ellos, pruebas de calidad y resistencia. Los resultados obtenidos aparecen en el anexo 3.

km. 127+000 (TERMINADO 100%)

CARP. CONC. ASF. CON MAT. 3/4" COMP. A 95%	7.5 cm
BASF ASF. C/S COMP. A 95%	8.0 "
SUB/BASF ASF. ARENA CEM. 6 COMP. A 95%	15 "
2a. CAPA SUB/RASANTE A 95% ARENA-EMULSION	15 "
CAPA DE TRANS. COMP. A 95% ARENA.	50 "
TERRAPLEN COMP. A 90% ARENA	217 "
D E S P A L M E	

km. 128+000 TERMINADO 100% CARP. C/S

CARPETA CON AZUFRE A 95%	9.0 cm
BASE CON AZUFRE A 95%	8.0 "
SUB/BASF ASF. COMP. A 95% ARENA - CEM 6	15 "
2a. CAPA SUB/RASANTE COMP. A 95% ARENA-CEM. 6	15 "
CAPA TRANS. COMP. A 95% ARENA	50 "
TERRAPLEN COMP. A 95% - ARENA	115 "
D E S P A L M E	

UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

PERFILES ESTRATI Graficos DE
ALGUNOS KILOMETRAJES.H. M. OLIVARES H.
M. CANSECO M.

FIGS 3.9, 3.10

Km. 164+000

1a. CAPA DE BASE ASF. COMPACTADO A 95% ARENA CEMENTO # 6	8 cms
SUB/BASE HCA C/MAT A 1 1/2" COMP. A 100 %	15 "
2a. CAPA SUB/RASANTE COMPACTADO A 95%	15 "
CAPA DE TRANSICION COMPACTADO A 95 % ARCILLA	50 "
TERRAPLEN COMPACTADO A 90% ARCILLA	196 "
DESPALME	30 "

Km. 151+000 (A NIVEL 2a. CAPA S/RAS.)

2a. CAPA SUB/RASANTE ARENA EMULSION	15 cms
1a. CAPA SUB/RASANTE - ARCILLA	15 "
CAPA TRANSICION COMP. A 95% ARCILLA	50 "
TERRAPLEN COMP. A 90 % ARCILLA	188 "
DESPALME	30 "

UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

PERFILES ESTRATIGRAFICOS DE
ALGUNOS KILOMETRAJES.H.M. OLIVARES H
M. CANSECO M.

FIGS. 3.11, 3.12

Estación km	Lado	Capa de	Esesor cms.	Materiales Componen tes de la mezcla	Peso Vol. kg/cm ³	Estab. kgs	Flujo mm
121+000	I	Sub-base	5.4	Arena-C, Asfáltico	1854	410	2.54
"	D	"	6.8	" " "	1783	477	2.79
"	D	S/ras.	5.8	" " "	1865	81	2.79
121+500	I	Base	6.5	Arena-C, A. -Azufre	1802	429	3.30
"	D	"	5.9	" " "	1392	334	3.81
"	D	S/ras.	5.7	Arena-C, Asfáltico	1793	386	3.30
122+000	I	Carpeta	7.8	Grava-C, Asfáltico	2402	1121	4.06
127+000	I	S/ras.	6.1	Arena-Emuls. Asf.	1904	300	3.81
128+000	I	Sub-base	5.0	Arena-C, Asfáltico	1830	181	2.54
"	I	S/ras.	6.9	Arena-Emuls. Asf.	1865	420	4.54
"	D	Base	6.6	Arena-C, A. -Azufre	1956	143	3.04
129+000	I	Carpeta	6.9	Grava-C, Asfáltico	2291	644	5.08
"	D	Base	5.7	Arena-C, A. -Azufre	1951	434	2.79
130+000	I	Carpeta	7.7	Grava-C, Asfáltico	2173	620	4.57
"	D	"	7.3	" " "	2347	1121	4.06
156+000	I	Base	6.6	Arena-C, A. -Azufre	1715	124	2.28
"	D	"	6.5	Arena-C, A. -Azufre	1670	315	3.04

RESULTADOS OBTENIDOS EN NUCLEOS, EXTRAIDOS CON BROCA DE 10,2 CMS.
DE DIAMETRO EN CAPAS DE PAVIMENTO DEL CARRIL DERECHO, TRAMOS: -
CARDENAS-VILLAHERMOSA, CARRETERA: COATZACOALCOS-VILLAHERMOSA.

TIPO DE PRUEBA: Procedimiento Marshall

TEMPERATURA DE PRUEBA: 60 °C

TABLA NO. 3.3

En dicho anexo se puede observar que la arena es mal graduada con limo (SP-8M), con V.R.S. = 43.2% y densidad de 2.56; el asfalto presenta características de cemento asfáltico No. 6; la resistencia a la compresión simple del azufre, anda en el orden de 90 kg/cm² y con peso volumétrico de 1 950 kg/m³.

El contenido óptimo promedio de cemento asfáltico con respecto a la arena fue de 5.8 %, por procedimiento del C.K.E.*; con una estabilidad en la prueba Marshall de 215 kg, pérdida de estabilidad por inmersión en agua de 19.2, valor de extrusión a 25°C de 883 y de 251 a 60°C. Con el contenido óptimo de cemento asfáltico, se procedió a efectuar pruebas de Hveem, Marshall y valor de extrusión; con proporcionamientos de 1:1, 1:1.5, 1:1.66 con respecto al peso del azufre. Los resultados aparecen en la tabla 3.4.

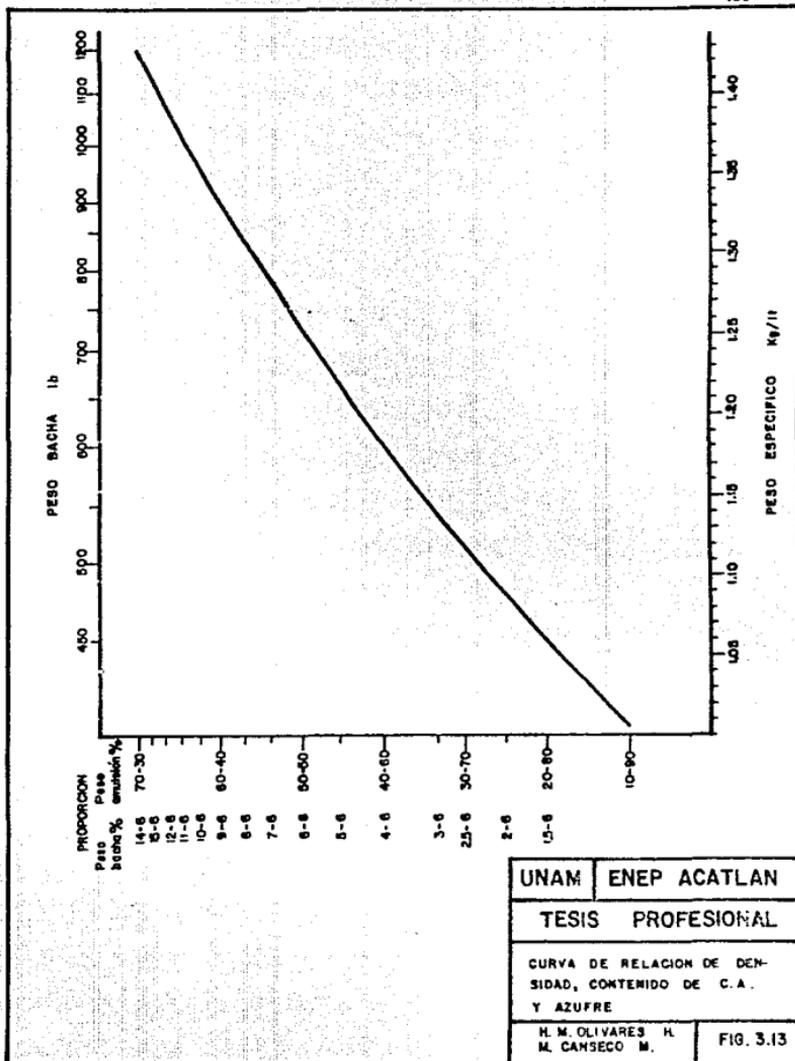
La verificación de los contenidos de cemento asfáltico y azufre, se llevó a cabo por medio de una curva que relaciona densidad y contenidos de cemento asfáltico y azufre. figura 3.13. Como en planta era difícil mantener una temperatura constante, se procedió a elaborar una gráfica que tomara en cuenta diferentes temperaturas. figura 3.14. Relacionando las dos figuras anteriores, se observa que, para una misma densidad y a diferentes temperaturas, existen diferentes contenidos de cemento asfáltico y azufre.

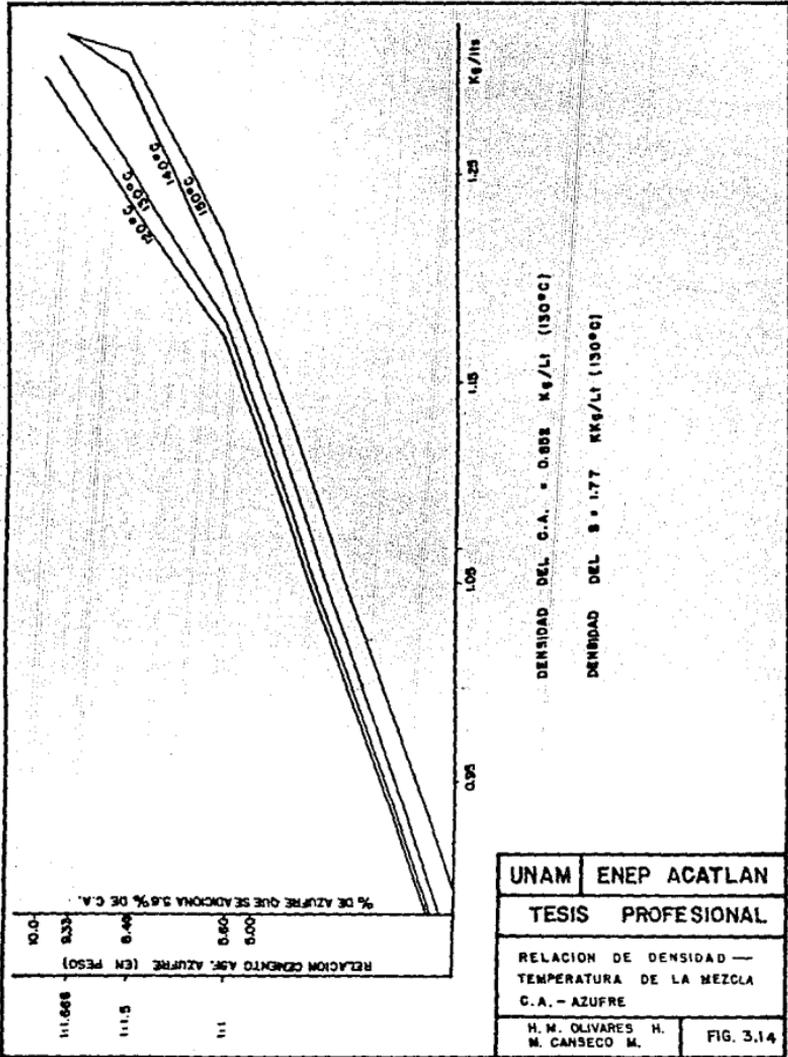
Por la cuestión anterior, se elaboraron especímenes a diferentes temperaturas de compactación y posteriormente se les practicó la prueba Marshall. A una temperatura de 60°C la estabilidad fue de 281 kg; mientras que para temperaturas de 130°C, la estabilidad fue de 1 569 kg, como se muestra en la Fig. 3.15.

* "Muestreo y Pruebas de Materiales". Parte Novena., S.C.T.

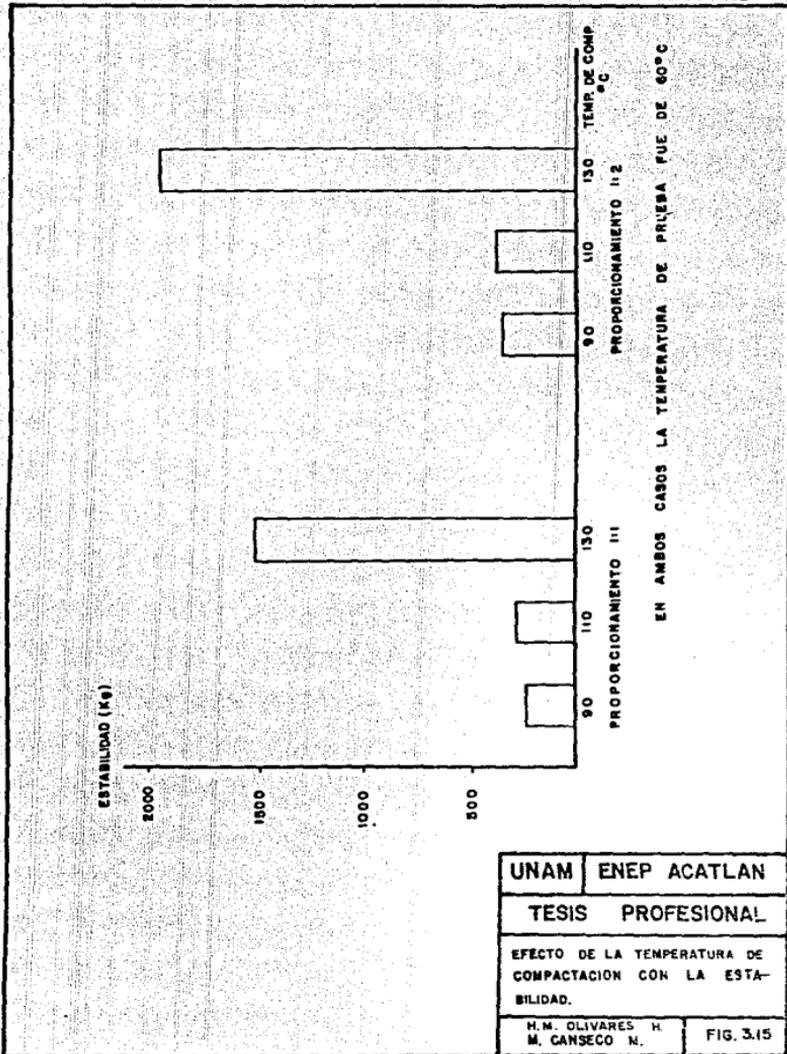
CONTENIDO DE CEM. ASF. %	RELACION C.A. AZUF.	TIPO DE PRUEBA	TEMPERATURA			PESO VOL. kg/m ³	VALORES DEL		ESTABILIDAD kg	FLUJO mm
			DOSIFICACION	FABRIC.	PRUEBA		COHESIOMETRO	ESTABILOMETRO		
5.80	1:1.0	ProcedL miento_ Marshall	Arena a 170 °C C. Asf. a 110 °C Azufre a 110 °C	110 °C	60 °C	1925			290	3.30
"	1:1.5	"	"	"	"	1930			381	3.42
"	1:1.666	"	"	"	"	1970			353	3.55
"	1:1.0	ProcedL miento_ HVEEM	Arena a 170 °C C. Asf. a 110 °C Azufre a 90 °C	70 °C	"	1960	99.3	25.0		
"	1:1.5	"	"	"	"	1965	100.9	27.2		
"	1:1.666	"	"	"	"	1967	111.1	31.2		
						PESO VOL. Kg/m ³	Resistencia Kg/cm ²	Carga Máxima Kg.		
"	1:1.0	Compre- sion sin confinam	Arena a 170 °C C. Asf. a 110 °C Azufre a 110 °C	110 °C	"	1850	2.4			
"	1:1.5	"	"	"	"	1887	3.3			
"	1:1.666	"	"	"	"	1888	3.8			
"	1:2.0	"	"	"	"	1919	4.6			
"	1:1.0	Extru- sión	"	"	"	1896		146		
"	1:1.5	"	"	"	"	1900		227		
"	1:1.666	"	"	"	"	1919		250		
"	1:2.0	"	"	"	"	1929		277		

TABLA NO. 3.4





UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
RELACION DE DENSIDAD — TEMPERATURA DE LA MEZCLA C.A. - AZUFRE	
H. M. OLIVARES H. M. CANSECO M.	FIG. 3.14



UNAM

ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

EFECTO DE LA TEMPERATURA DE
COMPACTACION CON LA ESTABILIDAD.H. M. OLIVARES H.
M. GANSECO N.

FIG. 3.15

Dadas las características de rigidez del azufre, se pensó de que podría afectar al comportamiento mecánico de la estructura en dos formas.

- Podría ser, de que la rigidez de la mezcla de arena azufre asfalto, que constituye la capa de bases, no fuera compatible con las rigideces de las capas superiores (carpetas) e inferiores (sub-base o sub-rasante).

- Como las capas superiores están expuestas a sufrir esfuerzos de tensión -- por flexión, se tuvo la precaución de que la mezcla fuera resistente a los esfuerzos arriba señalados.

Debido a estas inquietudes, se llevaron a cabo pruebas de compresión simple y cohesiómetro a fin de conocer la relación esfuerzo deformación unitario y valor del cohesiómetro.

Tomando en cuenta los valores de esfuerzo deformación unitaria que acusaron la arena cemento asfáltica y la arena azufre asfalto, los valores del cohesiómetro -- así como las deformaciones que presenta el tramo de prueba de hasta 4.0 cm sin que se formen agrietamientos; se puede decir que el problema de la rigidez no es grave a corto plazo. Por esta razón, es muy importante que este camino se siga manteniendo en observación, con el fin de conocer su comportamiento a largo plazo.

EXPERIENCIAS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN ALGUNOS TRAMOS DE PRUEBA CON LA APLICACION DE LOS ADITIVOS CONSOLID 444 Y CONSERVEX.

En esta parte se analizarán los resultados obtenidos en los diferentes tramos de prueba, por la incorporación de los aditivos Consolid 444 y Conservex, así mismo se determinará la efectividad de estos productos en la estabilización de los diferentes tipos de materiales empleados para estos estudios.

TRAMO DE PRUEBA.**3.2 CARRETERA: COLIMA-MANZANILLO.****TRAMO : COLIMA-ENTRONQUE TECOMAN.****3.2.1 MATERIAL PARA CAPA DE SUB-BASE.**

Este tramo de prueba se efectuó del km 15+000 al km 15+268, cuerpo derecho del tramo antes mencionado, en una longitud de 140 mts. (7 estaciones); se seleccionó un Conglomerado Arcilloso, producto del corte en el km. 25+000, con tratamiento de disgregado y papeo, adicionándole posteriormente un 20% de Arena, procedente del préstamo lateral km. 12+240 lado izquierdo del camino, en las primeras tres estaciones se aplicó el conglomerado arcilloso con arena, en las siguientes cuatro restantes se empleó el conglomerado arcilloso en un 100%, disgregándolo y papeándolo, posteriormente se les incorporaron los aditivos Consolid 444 y Conservex, con la finalidad de mejorar sus características, específicamente disminuir su plasticidad y aumentar el V.R.S.

El material acamellonado previo a la incorporación de los aditivos (C444+CX), arrojó los siguientes resultados:

Ensayes: 1
2

TIPO DE PRUEBA Valores en (%)	CONGLOMERADO ARCILLOSO	
	CON 20% DE ARENA	SIN ARENA
V. R. S.	66.1	58.8
EQUIVALENTE DE ARENA	17.4	12.5
LIMITE LIQUIDO	28.0	34.0
LIMITE PLASTICO	17.0	20.0
INDICE PLASTICO	11.0	14.0
CONTRACCION LINEAL	4.6	5.9
EXPANSION	0.54	0.83
Ensaye	2	1

El material acamellonado, después de la aplicación del aditivo Consolid 444, obtuvo los siguientes resultados:

Ensayes: 3
4

TIPO DE PRUEBA Valores en (%)	CONGLOMERADO ARCILLOSO CON CONSOLID 444	
	CON 20% DE ARENA	SIN ARENA
V. R. S.	79.4	68.5
LIMITE LIQUIDO	26.0	30.0
LIMITE PLASTICO	15.0	19.0
INDICE PLASTICO	11.0	11.0
EQUIVALENTE DE ARENA	18.3	16.8
CONTRACCION LINEAL	4.2	4.8
EXPANSION	0.54	0.66
Ensaye	4	3

El material acamellonado, después de la aplicación de los aditivos Consolidid 444 + Conservex, obtuvo los siguientes resultados:

Ensayes: 5
6

TIPO DE PRUEBA	CONGLOMERADO ARCILLOSO CON EMULSION (C444+CX)	
	CON 20% DE ARENA	SIN ARENA
Valores en (%)		
V. R. S.	90,5	77,2
LIMITE LIQUIDO	25,0	29,0
LIMITE PLASTICO	16,0	18,0
INDICE PLASTICO	9,0	11,0
EQUIVALENTE DE ARENA	20,5	17,4
CONTRACCION LINEAL	3,8	4,0
EXPANSION	0,44	0,55
Ensaye	6	5

En resumen, el incremento en porcentaje, obtenido a partir del material por estabilizar y el ya estabilizado, con los aditivos Consolidid 444 + Conservex en 0.7 lts/m³, con 10 lts/m³ de asfalto, son los siguientes:

TIPO DE PRUEBA	CONGLOMERADO ARCILLOSO CON EMULSION (C444+CX)	
	CON 20% DE ARENA	SIN ARENA
Valores en (%) de incremento registrado antes y después de la aplicación de los aditivos.		
V. R. S.	24,4%	18,4%
EQUIVALENTE DE ARENA	0,8%	1,9%
LIMITE LIQUIDO	3,1%	4,9%
LIMITE PLASTICO	3,0%	5,0%
INDICE PLASTICO	1,0%	2,0%
CONTRACCION LINEAL	2,0%	3,0%
EXPANSION	0,1%	0,28%

Como se observa en los ensayos de laboratorio, el material con 20% de arena tuvo un incremento en el VRS de 66.1% a 90.5% y una disminución de la Contracción líneal de 4.6% a 3.8%; el material sin arena obtuvo mejora en el VRS de -- 58.8% a 77.2% y en la contracción líneal de 5.9% a 4.0%; estos resultados se obtuvieron con 0.7 lts/m³ de Consolid + Conservex y 10 lts/m³ de asfalto. Si se aumenta la proporción de los aditivos podrían obtenerse mejores resultados.

Se anexan los ensayos de calidad de los materiales, como se puede observar los materiales usados, ya presentan un tratamiento previo que introduce a estos materiales dentro de normas. Ensayos 1,2,3,4,5 y 6.

Si los materiales ya reúnen los requisitos de calidad exigidos, no se presenta tan obvia la utilización de ningún agente estabilizante, sí con ello se pretende elevar su calidad en tan bajos porcentajes.

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

169

OBRA Carretera: Colima-Manzanillo

ENSAYE No. 1 y 2

LOCALIZACION Tramo: Colima-Entronque Tecomán.

DATOS DEL MUESTREO

MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE BASE

DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL Conglomerado arcilloso
Natural natural por estabilizar, Camellón km15+20:

TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO Papeo a tamaño máximo de 2" (50,8 mm) 15020

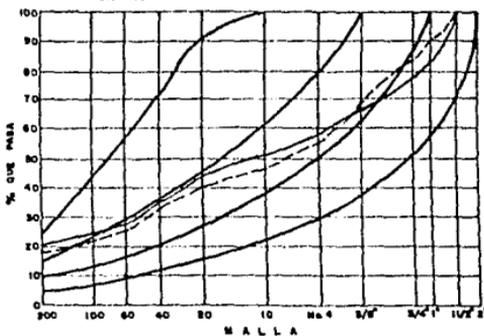
UBICACION DEL BANCO Km 25+000 préstamo lateral derecho

	2	1
Y SECO BUEL %	1545	1615
Y SECO MAX %	1975	2050
HUMEDAD OPTIMA %	10,3	12,2

COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% QUE PASA	
2"		
1 1/2"	100	100
1"	90	83
3/4"	84	78
5/8"	69	67
No 4	55	58
10	47	51
20	40	44
40	33	36
80	26	28
100	22	25
200	19	21

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



V.R.S. (ESTANDAR) %	58,80	66,1
EXPANSION %	0,83	0,54
VALOR CEMENTANTE kg/m ³		
EQUIVALENTE DE ARENA %	12,0	17,4

PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA 3/8"	
ABSORCION %	6,60 6,20
DENSIDAD	2,33 2,22

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA No 40				
LIMITE LIQUIDO %	34	28	CONTRACCION LINEAL %	5,9 4,6
LIMITE PLASTICO %	20	17	CLASIFICACION UCS	
INDICE PLASTICO %	14	11		

OBSERVACIONES

Muestra de suelos 80-20

UNAM ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES
PARA SUB-BASE Y BASE

H. M. OLIVARES H.
N. CANSEGO M.

FIG.

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

OBRA Carrtera: Colima-Manzanillo ENSAYE No. 3 y 4
 LOCALIZACION Tramo: Colima-Entronque Tecoman

DATOS DEL MUESTREO

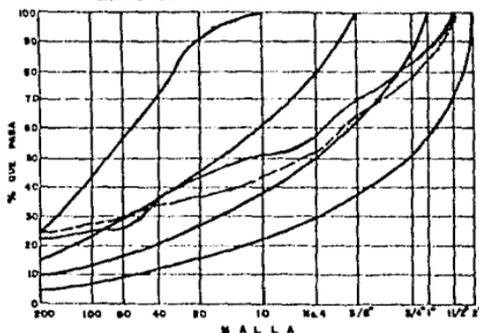
MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE BASE
 DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL Camellón km. 15+220 ; 15+020
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO Mejorado con aditivo Consolida 444(C444)
 UBICACION DEL BANCO _____

	4	3
Y SECO SUEL kg/m ³	1565	1585
Y SECO MAX kg/m ³	1975	2015
HUMEDAD OPTIMA %	12.1	11.7

COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% QUE PASA	
2"		
1 1/2"	100	100
1"	85	87
3/4"	78	83
5/8"	64	70
No.4	52	58
10	43	51
20	37	44
40	33	37
60	30	25
100	28	26
200	25	22

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



V. R. S. (ESTANDARI) %	68.5	79.4
EXPANSION %	0.66	0.54
VALOR CEMENTANTE kg/cm ²		
EQUIVALENTE DE ARENA %	16.8	18.3

PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA 3/8"	
ABSORCION %	
DENSIDAD	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA No. 40					
LIMITE LIQUIDO %	30	26	CONTRACCION LINEAL %	4.8	4.2
LIMITE PLASTICO %	19	15	CLASIFICACION SUCE		
INDICE PLASTICO %	11	11			

OBSERVACIONES

Mecia de suelos S0-20

UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES
 PARA SUB-BASE Y BASE

H. M. OLIVARES H.
 M. CANSECO N.

FIG.

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

171

OBRA Carretera: Colima-Manzanillo. ENSAYE No. 5 y 6
 LOCALIZACION Tramo: Colima-Entronque Tecomán

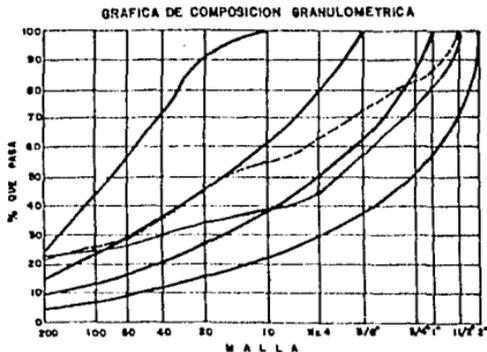
DATOS DEL MUESTREO

MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE BASE
 DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL Camellon km 15+240, 15:020
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO Mejorado con aditivos Consolid 444 + Conservex
 UBICACION DEL BANCO _____

	6	5
Y SECO SUEL. AER	154.5	158.0
Y SECO MAX. 100%	204.5	204.0
HUMEDAD OPTIMA %	12.4	11.9

COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% QUE PASA	% QUE PASA
2"		
1 1/8"	100	100
1"	81	88
3/4"	74	83
5/8"	58	72
No. 4	45	62
10	39	55
20	34	46
40	30	37
80	27	29
100	25	26
200	23	22



V.R.S. (ESTANDAR) %	77.2	90.5
EXPANSION %	0.55	0.44
VALOR CEMENTANTE Kg/ton ³		
EQUIVALENTE DE ARENA %	17.4	20.5

PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA 3/8"	
ABSORCION %	
DENSIDAD	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA No. 40			
LIMITE LIQUIDO %	29	25	
LIMITE PLASTICO %	18	15	
INDICE PLASTICO %	11	9	
CONTRACCION LINEAL %	4.0	3.8	
CLASIFICACION BUCS			

OBSERVACIONES
 Mezcla de suelos 80-20

UNAM ENEP ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES
 PARA SUB-BASE Y BASE
 H.M. OLIVARES H. FIG.
 M. CANSECO M.

3.2 CARRETERA: COLIMA-MANZANILLO.

TRAMO : COLIMA-ENTRONQUE TECOMAN

3.2.2 MATERIAL PARA CAPA DE BASE.

Ensayes correspondientes al estudio de Estabilización de suelos, con los materiales del banco km 23+000 derecha (roca intemperizada estratificada) y arena del préstamo lateral izquierdo del camino km 12+240 en mezclas, 70-30, 75-25 y -- 80-20 con los aditivos Consolid 444 y Conservex en proporción 1:1, 1:2 y 1:3.- (C444-CX).

Se anexan los informes de calidad de los materiales usados para las pruebas, referentes a la estabilización.

MATERIAL PARA CAPA DE BASE.

Mezcla: 70-30 en volumen, *Ensayo No. 1

Muestra: con Aditivos C444+CX en Proporción	V.R.S. (Estándar) (%)	Expansión (%)	Límite Líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice plástico (%)	Contracción lineal (%)	P.V.S.M. (kg/m ³)	Humedad Óptima (%)	Humedad Natural (%)
Sin aditivo	90.30	0.32	21.00	13.00	8.00	2.10	2055	10.10	
1:1	96.30	0.00	23.00	13.00	10.00	3.20	2034	10.20	1.00
1:2	116.10	0.00	24.00	12.00	12.00	3.10	2043	10.00	1.00
1:3	114.80	0.00	23.00	12.00	11.00	2.70	2046	10.30	1.00

La mezcla de suelo obtenida con esta proporción, reúne dentro de normas los valores de plasticidad y resistencia ya que la norma exige un VRS para bases de 80% mínimo. Los incrementos obtenidos en el VRS con la adición de los aditivos, se muestran ya necesarios, ya que el incremento de 23.80% al VRS natural, únicamente, representa un mayor costo, por otro lado se tiene un incremento considerable en la contracción lineal que saca de normas al material, es este aspecto muy importante ya que la C.L. tiende a formar agrietamientos del pavimento que permiten la entrada de agua, lo que puede provocar la falla del pavimento.

MATERIAL PARA CAPA DE BASE.

Mezcla: 75-25 en volumen * Ensaye No. 2

Muestra con Aditivos C444+CX en proporción	V.R.S. (Estándar) (%)	Expansión (%)	Límite Líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice plástico (%)	Contracción Lineal (%)	P.V.S.M. (kg/m ³)	Humedad Óptima (%)	Humedad Natural (%)
* Sin aditivo	75.40	0.10	24.00	14.00	10.00	3.60	2045	10.90	
1:11	63.10	0.00	27.00	13.00	14.00	5.10	2061	11.20	0.80
1:12	72.70	0.00	26.00	13.00	13.00	3.70	2066	10.90	0.80
1:13	74.8	0.00	28.00	13.00	15.00	4.50	2065	11.20	0.80

* En esta mezcla, se observa que al aplicar los aditivos, no se presenta mejoría alguna en su plasticidad y VRS, sino por el contrario afecta en forma negativa; como se puede ver en el cuadro.

La observación anterior nos lleva a pensar, que estos aditivos no pueden ser aplicados en cualquier material, sin antes haber realizado las pruebas pertinentes de laboratorio.

MATERIAL PARA CAPA DE BASE.

Mezcla: 80-20 en volumen		* Ensayo No. 3							
Muestra:	V.R.S.								
con aditivos C444+CX en proporción	(Estándar) (%)	Expansión (%)	Límite Líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice plástico (%)	Contracción Lineal (%)	P.V.S.M. (kg/m ³)	Humedad Óptima (%)	Humedad Natural (%)
*									
Sin aditivo	88.20	0.22	29.00	15.00	14.00	5.20	1960	13.60	
1:11	96.80	0.00	31.00	14.00	17.00	5.00	1980	13.20	
1:12	88.20	0.00	30.00	14.00	16.00	4.80	1984	13.00	
1:13	95.60	0.00	30.00	14.00	16.00	4.80	1979	13.30	

El material que resulta de esta mezcla, cumple con las normas en su VRS, Límite Líquido y Expansión, pero en su contracción lineal no, ya que el valor máximo para ésta debe ser de 3.5%.

Se observa que al incluir los aditivos a la mezcla, no se obtienen cambios significativos, lo que nos lleva a decidir que en este material no es necesario la aplicación de los aditivos.

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

OBRA Carretera Colima-Manzanillo ENSAYE No. 1
 LOCALIZACION Tramo: Colima-Entronque Tecoman

DATOS DEL MUESTREO

MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE BASE

DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL Roca intemperizada estratificada

TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO Muestra en Mezcla 70-30 en volumen

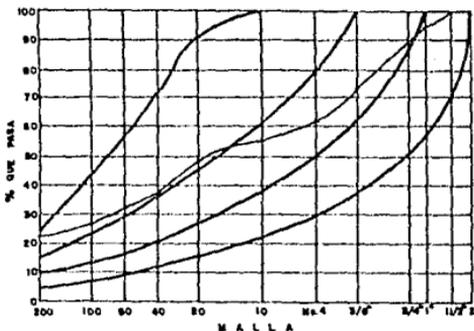
UBICACION DEL BANCO Km 23+000 desviación derecha y Arena préstamo lateral 129.-
km. 12+240.

Y SECO BUEL. kg	1.600
Y SEC MAX kg	2.055
HUMEDAD OPTIMA %	10.1

COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% QUE PASA
8"	
1 1/8"	100
1"	95
3/4"	89
3/8"	73
No 4	61
10	55
20	49
40	37
60	32
100	27
200	22

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



V.R.B. (ESTANDAR) %	90.3
EXPANSION %	0.32
VALOR CEMENTANTE kg/m ³	4.0
EQUIVALENTE DE ARENA %	28.0

PRUEBAS EN NAT. MAYOR QUE LA MALLA 3/8"	
ABSORCION %	6.05
DENSIDAD	2.30

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA No. 40	
LIMITE LIQUIDO %	21.0
LIMITE PLASTICO %	13.0
INDICE PLASTICO	8.0
CONTRACCION LINEAL %	2.1
CLASIFICACION SUELO	

OBSERVACIONES

UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES
 PARA SUB-BASE Y BASE

H. N. OLIVARES H.
 M. CANSECO H.

FIG.

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

177

OBRA Carretera: Colima-Manzanillo ENSAYE No. 2
 LOCALIZACION Tramo: Colima-Entronque Tecoman

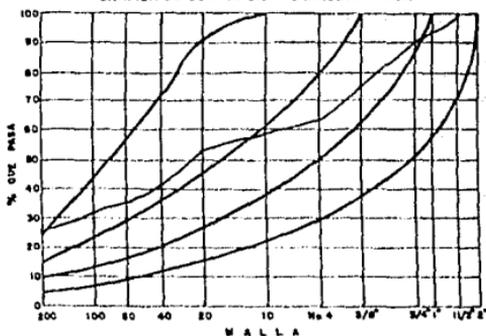
DATOS DEL MUESTREO

MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE BASE

DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL Roca intemperizada estratificada.
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO Mazcla 75-25 en volumen.
 UBICACION DEL BANCO 23+000 Derecha y Arena préstamo lateral izq. km 12+240.

Y SECO BUEL. kg/m ³	1540
Y SECO MAX. kg/m ³	2045
HUMEDAD OPTIMA %	10.9

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% QUE PASA
2"	
1 1/2"	100
1"	94
3/4"	90
5/8"	76
No. 4	63
10	59
20	53
40	41
60	36
100	32
200	26

V.R.S. (ESTANDAR) %	75.4
EXPANSION %	0.1
VALOR CEMENTANTE kg/m ³	4.5
EQUIVALENTE DE ARENA %	22.0

PRUEBAS EN NAT. MAYOR QUE LA MALLA 3/8"	
ABSORCION %	6.0
DENSIDAD	2.4

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TANIZADO POR LA MALLA No. 40

LIMITE LIQUIDO %	24.0	CONTRACCION LINEAL %	3.1
LIMITE PLASTICO %	11.0	CLASIFICACION SUCS	
INDICE PLASTICO %	10.0		

OBSERVACIONES

Área reservada para las observaciones del ensayo.

UNAM ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES
 PARA SUB-BASE Y BASE

H. H. OLIVARES H.
 M. CAHSECO H.

FIG.

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

OBRA Carretera: Cojima-Manzanillo ENSAYE No. 3.
 LOCALIZACION Tramo: Cojima-Entronque Tecomán

DATOS DEL MUESTREO

MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE BASE

DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL Roca Intemperizada estratificada.

TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO Mqzcla 80-20 en volumen.

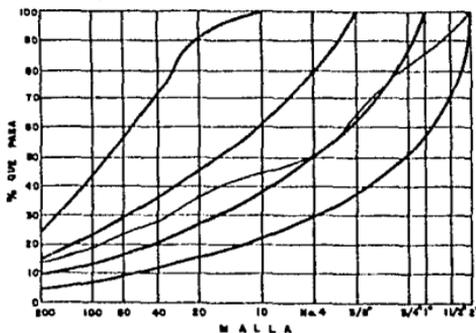
UBICACION DEL BANCO Km 24+600 lkr. y Arena Préstamo Lateral lza. Km 12+240.

Y SECO SUEL. MSA	1510
Y SECO MAX kg/m ³	1960
HUMEDAD OPTIMA %	13,6

COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% QUE PASA
2"	100
1 1/2"	92
1"	86
3/4"	81
3/8"	64
No 4	50
10	44
20	37
40	28
60	23
100	19
200	15

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



V.R.B. (ESTANDAR) %	88,20
EXPANSION %	0,22
VALOR CEMENTANTE kg/m ³	9,80
EQUIVALENTE DE ARENA %	18,40

PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA 3/8"	
ABSORCION %	6,24
DENSIDAD	2,26

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA No. 40

LIMITE LIQUIDO %	29,0	CONTRACCION LINEAL %	5,2
LIMITE PLASTICO %	15,0	CLASIFICACION SUCA	
INDICE PLASTICO %	14,0		

OBSERVACIONES

Área reservada para las observaciones del ensayo.

UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES
PARA SUB-BASE Y BASEH. N. OLIVARES H.
M. CANSECO M.

FIG.

3.3 CARRETERA: IGUALA-ACAPULCO.

TRAMO : BOULEVARD CHILPANCINGO.

3.3.1 MATERIAL PARA CAPA DE BASE Y SUB-BASE.

Estudio efectuado a los materiales procedentes de los bancos ubicados en los kms. 97+750 desviación derecha 16000 m. y 50+500 desviación derecha 1000 m. - Mezclados en proporción de 90% Riolita triturada y 10% de arena, del río Mezcala en volumen, para observar el comportamiento con los aditivos Consolid 444 y Con servex.

Se incluyen los informes de calidad de los materiales usados en las pruebas de estabilización.

Cuadro de estudio con aditivos Consolid 444 y Conservex al material "Riolita" triturada a tamaño máximo de 1 1/2" (37.5 mm) para sub-base y base hidráulica, mezclado en proporción de 90% en volumen del banco ubicado en km. 97+750 desviación derecha 16 000 m. y el 10% en volumen de arena del río Mezcala, ubicado en km. 50+500 desviación derecha 1 500 mts. occidente. Iguala Guerrero.

Cuadro de resultados obtenidos en los ensayos de calidad de los materiales - Riolita triturada en mezcla con arena (90-10), sin los aditivos y con la adición - de ellos. (C444+CX).

Muestra	Proporción C444+CX (Lt/m ³)	Contracción Lineal (%)	Expansión (%)	Capilaridad 60' (%)	VRS (%)	Compresión simple (kg/cm ²)
1	-	3.8	0.0	100	113.2	14.0
2	0.8/10.0	3.9	0.0	50.9	122.9	19.0
3	1.0/12.0	3.8	0.0	40.2	132.3	19.8
4	1.0/15.0	3.7	0.0	38.3	149.2	20.9

Como se puede observar al incluir los aditivos al material, éste presenta una - mejora en la compresión simple, en el VRS y en la capilaridad, estos resultados - no representan realmente una mejora ya que el material por estabilizar, ya presen - ta un alto grado de aceptación para cumplir con los requisitos marcados en las - normas SCT.

Por otra parte los resultados obtenidos con estos materiales, no demuestran -- efectividad real de los aditivos empleados; por lo que se estiman necesarios un -

mayor número de ensayos con otros materiales.

Se anexan los reportes de calidad de los materiales, en los que se puede observar la granulometría de cada uno de los materiales, así como los resultados de la estabilización de los materiales naturales y en su combinación.

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

OBRA Boulevard Chilpancingo, Gro. ENSAYE No. 1
 LOCALIZACION Carretera Iquala-Acapulco, Origen del cadenasamiento, Iquala, Gro.

DATOS DEL MUESTREO

MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE BASE

DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL Blolita triturada

TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO almacen de banco. (para estabilizar)

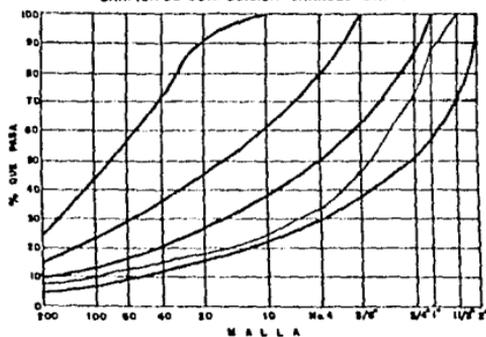
UBICACION DEL BANCO Km. 97+250 desviación derecha 16.000 metros

Y SECO BUEL. kg/m ³	1380
Y SECO MAX. kg/m ³	1960
HUMEDAD OPTIMA %	10.6

COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% QUE PASA
2"	
1 1/2"	100
1"	88
3/4"	72
3/8"	47
No. 4	33
10	24
20	18
40	14
60	12
100	10
200	8

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



V.R.S. (ESTANDAR) %	100.70
EXPANSION %	0.21
VALOR CEMENTANTE kg/cm ²	19.10
EQUIVALENTE DE ARENA %	

PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA 3/0"	
ABSORCION %	0.28
DENSIDAD	2.25

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA No. 40			
LIMITE LIQUIDO %	39.0	CONTRACCION LINEAL %	0.0
LIMITE PLASTICO %	23.0	CLASIFICACION SUCC	
INDICE PLASTICO %	16.0		

OBSERVACIONES

UNAM ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES
 PARA SUB-BASE Y BASE

H.M. OLIVARES H.
 M. CANSECO M.

FIG.

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE.

OBRA Boulevard Chilpancingo, Gro. ENSAYE No. 2
 LOCALIZACION Carretera: Iguala-Acapulco, Origen del cademiento: Iguala, Gro.

DATOS DEL MUESTREO

MATERIAL PARA CAM DE: SUB-BASE BASE

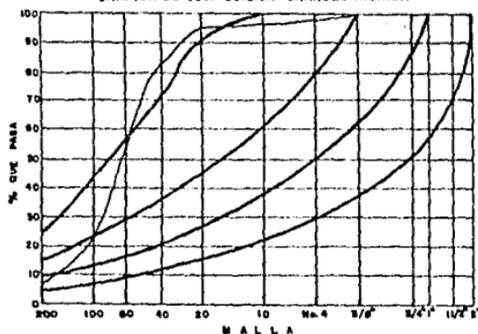
DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL arena de río
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO Almagón (para estabilizar)
 UBICACION DEL BANCO Km. 50+500 desv. derecha 1.000 m.

Y SECO BUEL. M ³	1382
Y SECO MAX. kg/M ³	
MOLEDAJÓ OPTIMA %	

COMPOSICION GRANULOMÉTRICA

MALLA	% QUE PASA
8"	
1 1/8"	
1"	
3/4"	
3/8"	100
No. 4	98
10	97
20	95
40	83
80	53
100	22
200	8

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



V.R.S. (ESTANDARI) %
EXPANSION %
VALOR CEMENTANTE kg/cm ²
EQUIVALENTE DE ARENA %

PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA 3/8"
ABSORCION %
DENSIDAD

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA No. 40	
LIMITE LIQUIDO %	24.0
LIMITE PLASTICO %	Inapreciable
INDICE PLASTICO %	Inapreciable
CONTRACCION LINEAL %	0.0
CLASIFICACION SUES	

OBSERVACIONES

UNAM | ENEP ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES
 PARA SUB-BASE Y BASE

H. N. OLIVARES II.
 M. CANSECO N.

FIG.

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

OBRA Boulevard Chilpancingo, Gro. ENSAYE No. 3
 LOCALIZACION Carretera: Iguala-Acapulco, Origen del cedonamiento, Iguala, Gro.

DATOS DEL MUESTREO

MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE BASE

DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL Mezcla 90-10 en volumen

TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO Material para estabilizar con aditivos C444+CX

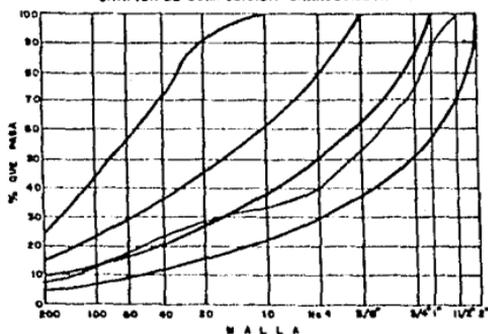
UBICACION DEL BANCO Km. 97+750 dsv. der. 16.000 m y 50+500 dsv. der. 1000 m

Y SECO SUEL. kg/m ³	1430
Y SECO MAX. kg/m ³	1960
HUMEDAD OPTIMA %	10.7

COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% QUE PASA
2"	
1 1/2"	100
1"	89
3/4"	75
5/8"	53
No. 4	40
10	33
20	28
40	23
80	18
100	12
200	8

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



V. R. E. (ESTANDAR) %	113.2
EXPANSION %	0.0
VALOR CEMENTANTE kg/asm ³	19.1
EQUIVALENTE DE ARENA %	27.1

PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA 3/8"	
ABSORCION %	6.38
DENSIDAD	2.31

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TANIZADO POR LA MALLA No. 40	
LIMITE LIQUIDO %	30.0
LIMITE PLASTICO %	21.0
INDICE PLASTICO %	9.0
CONTRACCION LINEAL %	3.8
CLASIFICACION SUCS	

OBSERVACIONES

UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES
PARA SUB-BASE Y BASEH. M. OLIVARES H.
M. CANSECO M.

FIG.

**3.4 EVALUACION DE CALIDAD EN MATERIALES PARA CAPA DE RODAMIENTO, -
POR APLICACION DE LOS ADITIVOS CONSOLID 444 + CONSERVEX, EN -
LOS TRAMOS:**

- Camino Rural, Ramal Ixpuchtlapan.

Kms. 0+400 y 1+400 (Sondeos).

- Camino Sta. Teresa-Ejido Ixpuchtlapan.

Kms 0+900 y 1+800. (Sondeos).

- Camino Rural, Tenancingo-Acatzingo.

Kms. 1+400 y 1+300. (Sondeos).

3.4.1 ESTUDIO DE EFECTIVIDAD DE LOS ADITIVOS C 444 EMULSION Y CX _ EMULSION.

De acuerdo al manual de laboratorio Consolid 444 y Conservex, las pruebas a realizar, para observar el comportamiento en las propiedades de los materiales son las siguientes:

Obtención del V.R.S. estándar

Se elaboraron seis especímenes para cada proporción, tres con los aditivos y tres sin ellos, dejándolos secar a temperatura ambiente del laboratorio durante 3 días, posteriormente se sumergieron en una pileta con agua durante 3 días, para después sacarlos y penetrarlos.

Obtención del V.R.S modificado.

De los especímenes antes mencionados, se dejan secar a temperatura ambiente del laboratorio durante tres días y posteriormente se probaron, a la penetración.

Capilaridad.

Se elaboraron seis especímenes, según el procedimiento anterior, para posteriormente alojarlos en una pileta, con 2 cm de altura de agua y el tiempo necesario para que el espécimen sin aditivos se sature.

Compresión Simple.

Se realiza, en los mismos especímenes empleados en la prueba de capilaridad.

dad. Observándose que el espécimen, se encuentra saturado al momento de realizar esta prueba.

Para la realización del presente estudio, se elaboraron, para cada proporción y cada muestra de material 6 especímenes para las cuatro pruebas mencionadas anteriormente; a estos especímenes se les agregaron los aditivos en las proporciones elegidas (Tabla 3.5).

PROPORCIONES EMPLADAS	C-444 lts/m ³	CX lts/m ³	ESPECI MENES
1	0.8	11.0	6
2	0.8	13.0	6
3	1.0	7.0	6
4	1.0	15.0	6

Las cantidades son lts/m³ de suelo -- compactado, con la humedad óptima.

Tabla 3.5 Proporcionamiento de los aditivos a los especímenes muostreados.

MUESTRAS.

M₁ .- Material de superficie de rodamiento, tomada de sondeos en kms. 0+400 y 1+400. Camino Rural. Ramal Ixpuchiapan, material (Toba).

M₂ .- Material de superficie de rodamiento, con sondeos en el km. 0+900 y 1+800. Camino Sta. Teresa-Ejido Ixpuchiapan. (Toba).

M₃.- Material de superficie de rodamiento, tomada de sondeos en el km 1+400 y 3+100. Camino Rural. Tenancingo-Acatzingo. (Toba).

Camino para estabilizar con los productos C444+CX, en estudio, se anexan los ensayos de calidad de cada una de muestras de suelo obtenidas, con la adición_ de los agentes estabilizantes y sin ellos.

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

OBRA Camino Rural, (Edo. México) ENSAYE No. 1
 LOCALIZACION Ramal, Ixuchitapan.

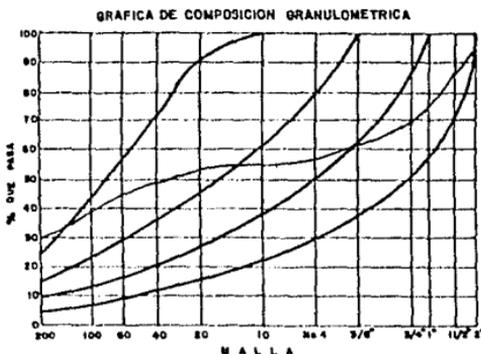
DATOS DEL MUESTREO

MATERIAL PARA CARA DE: Re- SUB-BASE BASE
 DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL Toba (Superficie de rodamiento) M₁
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO Material para estabilizar.
 UBICACION DEL BANCO Tomada de sondeos, km 0+400 y 1+400

Y SECO SUEL. kg/m ³	1340
Y RECOM. kg/m ³	1635
HUMEDAD OPTIMA %	23,9

COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% QUE PASA
2"	93
1 1/2"	87
1"	75
3/4"	69
3/8"	61
No. 4	56
10	54
20	53
40	49
60	44
100	39
200	30



V. S. (ESTANDAR) %	63,2
EXPANSION %	1,57
VALOR CEMENTANTE kg/cm ³	4,9
EQUIVALENTE DE ARENA %	12,2

PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA 3/8"	
ABSORCION %	
DENSIDAD	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA No. 40	
LIMITE LIQUIDO %	43
LIMITE PLASTICO %	25
INDICE PLASTICO	18
CONTRACCION LINEAL %	7,1
CLASIFICACION SUCS	CL

OBSERVACIONES

Sondeos realizados en la superficie de rodamiento

UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES
 PARA SUB-BASE Y BASE

H. M. OLIVARES H.
 M. CANSECO M.

FIG.

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

OBRA Camino Rural. (Edo. de México) ENSAYE No. 2
 LOCALIZACION Camino Santa Teresita-Ejido Ixpuchitapan

DATOS DEL MUESTREO

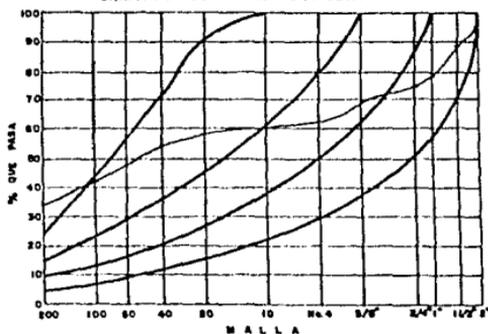
MATERIAL PARA CAPA DE: Re- SUB-BASE BASE
 vestimiento
 DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL Toba. (Superficie de rodamiento) M₂
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO Material para estabilizar
 UBICACION DEL BANCO Tomada de sondeos. km 0+900 y 1+800.

Y SECO SUEL M_2	1340
Y SECO MAX. M_2	1850
INMEDIATA OPTIMA %	16,0

COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% QUE PASA
2"	94
1 1/2"	89
1"	79
3/4"	75
5/8"	69
No. 4	62
10	60
20	58
40	54
80	48
100	42
200	34

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



V.R.S. (ESTANDAR) %	20, 20
EXPANSION %	3, 11
VALOR CEMENTANTE M_2 M_2	8, 50
EQUIVALENTE DE ARENA %	8, 00

PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA 3/8"

ABSORCION %	14, 50
DENSIDAD	1, 96

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA No. 40

LIMITE LIQUIDO %	32, 0	CONTRACCION LINEAL %	10, 60
LIMITE PLASTICO %	15, 0	CLASIFICACION SUCE	CC
INDICE PLASTICO %	22, 0		

OBSERVACIONES

Sondeos realizados en la superficie de rodamiento

UNAM ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES
 PARA SUB-BASE Y BASE

H. M. OLIVARES M.
 M. CANSECO M.

FIG.

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

OBRA Camino Rural. (Edo. de México) ENSAYE No. 3
 LOCALIZACION Tenancingo-Acatzingo

DATOS DEL MUESTREO

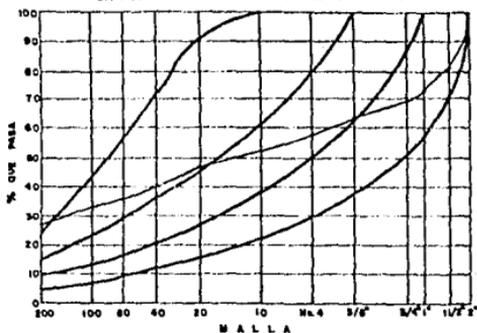
MATERIAL PARA CAPA DE: Re- SUB-BASE BASE
 DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DEL MATERIAL vestimiento Toba alterado (Superficie de rodamiento) Mg
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO Materia para estabilizar
 UBICACION DEL BANCO Tomada de sondeos, km 1+400 y 3+100

Y SECO BUEL 1g/100	1530
Y SECO MAX 1g/100	2020
HUMEDAD OPTIMA %	14.6

COMPOSICION GRANULOMÉTRICA

MALLA	% QUE PASA
2"	84
1 1/2"	81
1"	73
3/4"	69
3/8"	63
Nº 4	57
10	52
20	47
40	40
60	36
100	32
200	27

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMÉTRICA



V. N. S. (ESTANDAR) %	25.70
EXPANSION %	2.12
VALOR CEMENTANTE Kg/cm ³	10.20
EQUIVALENTE DE ARENA %	8.30

PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA 3/8"	
ABSORCION %	5.10
DENSIDAD	2.49

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA Nº 40			
LIMITE LIQUIDO %	42.0	CONTRACCION LINEAL %	10.60
LIMITE PLASTICO %	21.0	CLASIFICACION SUCS	CC
INDICE PLASTICO %	21.0		

OBSERVACIONES

Sondeos realizados en la superficie de rodamiento

UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES
 PARA SUB-BASE Y BASE

H. M. OLIVARES H.
 M. CANSECO M.

FIG.

Límites de Consistencia de materiales sin estabilizar y estabilizados con los aditivos Consolid 444 y Conservex, agregados en diferentes proporciones.

M₁.- Tomada de sondeos km 0+400 y 1+400.

Camino Rural: Ramal Ixpuchiapán.

Proporción	Límite Líquido %	Límite plástico %	Índice plástico %	Contracción Lineal %	Equivalente de Arena %
Sin Aditivo	43.00	25.00	18.00	7.10	12.20
0.8-11.0	44.00	29.00	15.00	6.30	12.50
0.8-13.0	-	-	-	-	-
1.0-7.0	49.00	26.00	23.00	7.30	8.50
1.0-15.0	43.00	24.00	19.00	7.00	12.20

M₂.- Tomada de sondeos. km 0+900 y 1+800

Camino Rural: Sta. Teresa-Ejido Ixpuchiapán.

Proporción	Límite Líquido %	Límite plástico %	Índice plástico %	Contracción Lineal %	Equivalente de Arena %
Sin Aditivo	37.00	15.00	22.00	10.60	8.00
0.8-11.0	39.00	18.00	21.00	7.70	10.90
0.8-13.0	39.00	16.00	23.00	10.00	9.80
1.0-7.0	34.00	19.00	15.00	8.40	6.50
1.0-15.0	37.00	19.00	18.00	9.70	8.10

M₃.- Tomada de sondeos, km 1+400 y 3+100.

Camino Rural: Tenancingo-Acatzingo.

Proporción	Límite Líquido %	Límite plástico %	Índice plástico %	Contracción Lineal %	Equivalente de Arena %
Sin Aditivo	42.00	21.00	21.00	10.60	5.30
0.8-11.00	43.00	20.00	23.00	10.90	8.30
0.8-13.0	45.00	22.00	23.00	12.00	7.10
1.0-7.0	42.00	20.00	20.00	11.00	5.80
1.0-15.0	44.00	20.00	24.00	11.70	7.60

De las pruebas realizadas a los materiales de las muestras - M_1 , M_2 y M_3 se muestra lo siguiente:

En la muestra M_1 se observa que la proporción de 0.8 - 11.0- de C444 y CX respectivamente produjo las mejores características; obteniéndose un I.P. de 15%, una Contracción Lineal de -- 6.3% (Normas: 6% máx.) y un Equivalente de Arena de 12.5%. En lo que respecta a los demás proporcionamientos se observó una fuerte alteración de las propiedades de estos materiales.

En la muestra M_2 se obtuvieron las mejores características-- con la proporción de 0.8 - 11.0 de C444 y CX, con un Índice --- Plástico de 21%, una Contracción Lineal de 7.7% y un Equivalente de Arena de 11%, las demás proporciones elevan la plasticidad del material en lugar de disminuirla.

En la muestra M_3 se obtuvieron características muy dispersas y en general fuera de los requerimientos exigidos por las Normas de Construcción.

Todas las proporciones muestran en general una plasticidad-- excesiva con la incorporación de los aditivos en este tipo de material (TOBA) grava arcillosa.

3.4.2 TABLAS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE ESTABILIZACION:

Valor Relativo de Soporte (Estándart)

Valor Relativo de Soporte (Modificado)

Expansión

Capilaridad, y

Compresión simple.

Pruebas realizadas a las muestras M_1 , M_2 y M_3 de acuerdo a las proporciones de Consolid 444 y Conservex (C444+CX).

Relaciones:

0.8-11.0 , 0.8-13.00 , 1.0-7.0 y 1.0-15.0

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A ESPECIMENES

Muestra	Sin aditivo S/A Con aditivo C/A	V. R. S. (Estándar) (%)	V. R. S. (Modificado) (%)	Expansión (%)	Copilaridad (%)	Compresión Simple (kg/cm ²)
M ₁	S/A	95.60	198.00	0.39	26.00	9.00
	C/A	104.00	176.40	0.55	19.00	14.20
M ₂	S/A	12.80	205.80	2.67	64.00	0.40
	C/A	22.00	205.20	2.75	41.00	1.90
M ₃	S/A	9.20	209.5	3.23	69.00	0.30
	C/A	12.80	211.40	2.93	49.00	1.90

Proporción: C444+CX, 08 - 11.00 lts/m³,

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A ESPECIMENES

Muestra	Sin aditivo S/A Con aditivo C/A	V. R. S. (Estándar) (%)	V. R. S. (Modificado) (%)	Expansión (%)	Copilaridad (%)	Compresión Simple (kg/cm ²)
M ₁	S/A	-	-	-	-	-
	C/A	-	-	-	-	-
M ₂	S/A	18.00	161.70	2.05	45.00	1.30
	C/A	27.50	187.50	2.05	34.00	10.30
M ₃	S/A	7.30	224.20	1.81	65.00	0.30
	C/A	16.50	246.30	2.28	55.00	1.30

Proporción: 0.8 Consolid 444 + 13.0 Conservex.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A ESPECIMENES

Muestra	Sin aditivo	V.R.S.	V.R.S.	Expansión	Capilaridad	Compresión
	S/A	(Estándar)	(Modificado)			Simple
	Con aditivo	(%)	(%)	(%)	(%)	(kg/cm ²)
	C/A					
M ₁	S/A	80.80	198.50	1.02	32.00	9.00
	C/A	84.50	213.20	0.55	26.00	21.90
M ₂	S/A	9.19	229.70	3.79	76.00	0.38
	C/A	14.70	257.30	3.39	68.00	0.77
M ₃	S/A	7.35	193.00	3.69	100.00	0.13
	C/A	9.19	220.50	3.54	81.00	0.52

Proporción: C444 + CX, 1.0-7.0 l/m³.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A ESPECIMENES

Muestra	Sin aditivo S/A	V.R.S.	V.R.S.	Expansión	Capilaridad	Compresión Simple
	Con aditivo C/A	(Estándar) (%)	(Modificado) (%)	%	%	(kg/cm ²)
M ₁	S/A	80.80	150.70	0.70	30.00	11.60
	C/A	110.30	183.80	0.62	23.00	16.10
M ₂	S/A	11.00	220.50	2.60	86.00	0.40
	C/A	14.70	238.90	2.83	60.00	1.20
M ₃	S/A	7.50	227.90	3.62	83.00	0.30
	C/A	9.20	229.60	3.23	56.00	1.00

Proporción: 1.0 Consolid 444 + 15.0 Conservex.

3.4.3 TABLAS DE INCREMENTOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE ESTABILIZACION.

Valor Relativo de Soporte (Estándar)

Valor Relativo de Soporte (Modificado)

Expansión

Capilaridad, y

Compresión Simple.

Pruebas realizadas a las Muestras M_1 , M_2 y M_3 de acuerdo a las -
proporciones de Consolid 444 y Conservex. (C444-CX).

Relaciones:

0.8 - 11.0 , 0.8-13.0 , 1.0 - 7.0 y 1.0 - 15.0

INCREMENTOS EN PORCIENTO DE LOS VALORES ANTERIORES, COMO RESULTADO DEL "MEJORAMIENTO" EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO.

Muestra	% Δ	V.R.S.	V.R.S.	Expansión %	Capilaridad %	Compresión Simple (kg/cm ²)
		(Estándar) (%)	(Modificado) (%)			
M ₁	% Δ	8.80	11.60	41.00	-26.90	57.80
M ₂	% Δ	71.90	0.00	3.00	-35.90	375.00
M ₃	% Δ	39.10	0.90	-8.70	-29.00	533.00

Proporción: 0.8 Consolid 444 + 11.0 Conservex. 1/m³.

Muestra	% Δ	V.R.S. (Estándar)	V.R.S. (modificado)	Expansión %	Capilaridad %	Compresión Simple kg/cm ²
M ₁	-	-	-	-	-	-
M ₂	% Δ	52.80	16.00	0.00	-13.30	692.00
M ₃	% Δ	126.00	9.90	26.00	-35.30	333.00

Proporción: 0.8 Consolid 444 + 13.0 Conservex (lt/m³).

Muestra	% Δ	V.R.S. (Estándar)	V.R.S. (Modificado)	Expansión %	Capilaridad %	Compresión Simple Kg/cm ²
M ₁	% Δ	4.60	7.40	-46.10	-18.80	143.00
M ₂	% Δ	60.00	12.00	-10.60	-10.50	102.00
M ₃	% Δ	25.00	14.20	-4.10	-18.80	300.00

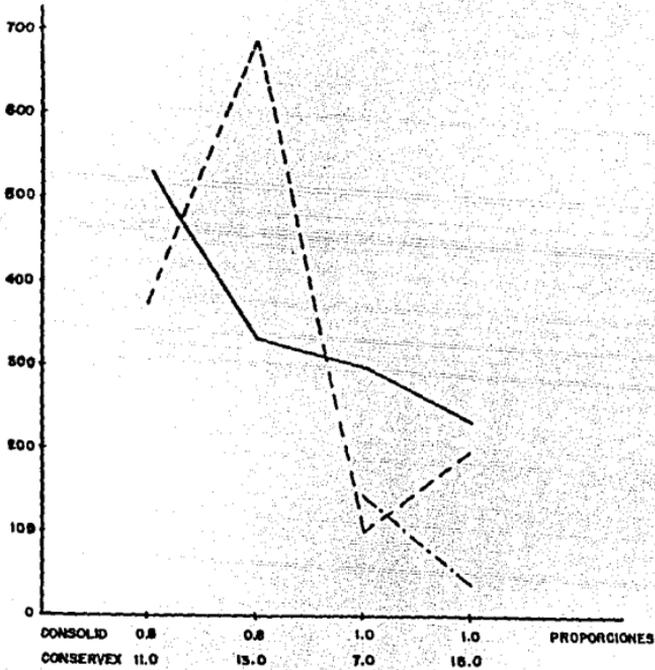
Proporción: 1.0 Consolid 444 + 7.0 Conservex. (lt/m³).

Muestra	% Δ	V.R.S. (Estándar)	V.R.S. (Modificado)	Expansión ,	Capilaridad ,	Compresión Simple kg/cm ²
M ₁	% Δ	36.50	22.00	-11.40	-23.30	38.80
M ₂	% Δ	33.60	8.30	8.80	-30.20	285.00
M ₃	% Δ	26.00	0.70	-10.80	-32.50	233.00

Proporción: 1.0 Consolid 444 +15.0 Conservex (lt/m³).

En las figuras 3.16 y 3.17, se observan los resultados de estas tablas, gráficamente se han representado los valores obtenidos con cada uno de los proporcionamientos -- ya citados.

% DE INCREMENTO DE
RESISTENCIA EN
COMPRESION SIMPLE



..... MUESTRA 1
 - - - - - MUESTRA 2
 _____ MUESTRA 3

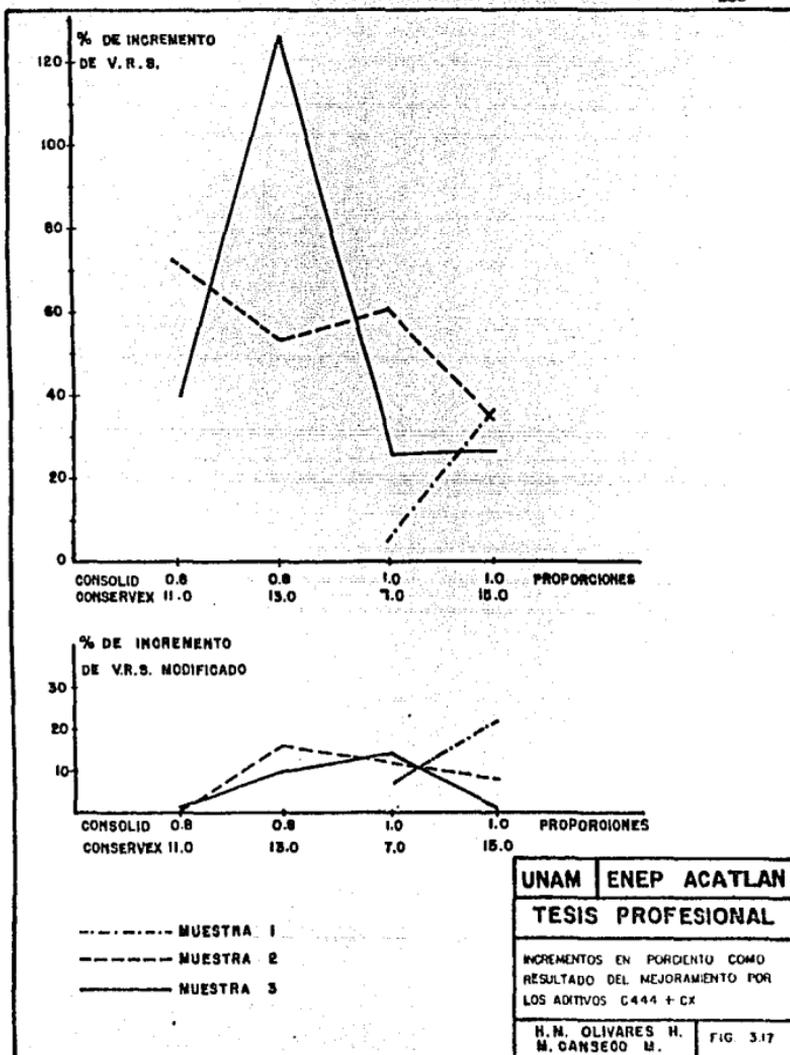
UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

INCREMENTOS EN PORCIENTO COMO
RESULTADO DEL MEJORAMIENTO POR
LOS ADITIVOS C444 + CX

H. M. OLIVARES
M. CANSECO M.

FIG 3 16



3.4.4 ANALISIS ECONOMICO DE LA ESTABILIZACION DE UN CAMINO RURAL - EMPLEANDO LOS PRODUCTOS C444 + CX Y CAL HIDRATADA.

Finalmente abórdaremos el punto referido al ahorro logrado por no transportar materiales de banco para la construcción del camino sería (en los casos aquí -- tratados) un punto de vista sin base debido a que el análisis respectivo no se llevó a cabo. Sin embargo en el Estado de Quintana Roo se realizó un estudio referente el análisis económico de la estabilización de un camino rural empleando los productos C444 + CX y Cal hidratada, la cual se describe a continuación.

Para el análisis económico del uso de estos productos se tomó como base la obra de reparación del camino rural: Tres Garantías-Ramal a Dos Aguadas, que tiene una longitud de 27.28 kms. y que intervienen los conceptos de Terracerías, Drenaje, capa Subrasante, Estabilizaciones, Carpeta de un riego y señalamiento correspondiente.

Las cantidades de estabilizante que se estimaron fueron las siguientes:

CONSOLID 444 Y CONSERVEX = 0.12 y 0.40 lts/m³ de material compactado -- respectivamente.

CAL HIDRATADA = 2% en peso con relación al material seco.

En las tablas I y II podemos observar que el costo para el empleo de los -- aditivos C444+CX resultó de \$ 85'486,561.45 + IVA contra \$ 55'748,828.80 + IVA de la Cal, POR LO QUE RESULTA 65% MAS CARO EL USO DE LOS ADITIVOS.

En la tabla III se han calculado los costos por km de camino construido con y sin el empleo de los estabilizantes; podemos observar que con el uso de los aditivos, éste resulta de \$ 29'691/km. a comparación de \$ 28'601/km. empleando la Cal. Con estas dos cantidades y con los costos sin el empleo de la estabilización (a diferentes distancias de acarreo de los materiales de banco para la capa subrasante). Se ha trazado la gráfica de la tabla IV; en la que se nota que la distancia máxima de acarreo en que resulte económicamente factible la utilización de los bancos de buena calidad para la subrasante, contra la opción a emplear estabilizantes, es de 12 km. para el caso de la Cal y de 17 km. para el caso de los aditivos.

Para distancias mayores a las indicadas, lógicamente resulta más económica la estabilización en el que las distancias de acarreo que se estimaron son de 3 kilómetros, tanto para los materiales de la subrasante como para las terracerías.

Es importante hacer notar que esta comparación constituye un enfoque desde el punto de vista económico, pretendiéndose en lo sucesivo, realizar estudios y pruebas de laboratorio tendientes a probar su bondad; ya que a la fecha son muy escasos estos resultados en el empleo de estos aditivos.

TABLA 1. COSTO DE ESTABILIZACION CON CONSOLID 444 + CONSERVEX

<u>C O N C E P T O</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>PRECIO UNITARIO</u>	<u>IMPORTE</u>
Adquisición de Consolid 444 para el tramo (27, 28 km) - dosificación: 0,12 lts/m ³ x 28012 m ³ = 3361 lts.	Lts.	3361	4,300.00	14'452,300.00
Adquisición de Conservex para el tramo (27, 28 km) - dosificación: 0,40 Lts/m ³ x 28012 m ³ = 11205 Lts.	Lts.	11205	4,300.00	48'181,500.00
Adquisición del Asfalto FR-3 para la elaboración de la emulsión con Conservex (27, 28 kms); 28012 m ³ x 7.6 lts/m ³ .	Lts.	212891	57.38	12'215,686.00
Aplicación de la solución de trabajo a base de Conservex FR-3 y agua.				
Volumen de Emulsión 212891 Volumen de Agua <u>212891</u> 425782	Lts.	425782	17.52	7'459,700.00
Almacenamiento del FR-3	Lts.	212891	4.64	987,814.20
Calentamiento y bombeo de la solución del trabajo a base de Conservex Asfalto FR-3 y agua.	Lts.	425782	3.62	1'541,330.80
Acarreo local de asfalto FR-3 a una distancia de 20 km.				
1er. km	m ³	212891	410.35	87,359.80
kms. Sub.	m ³ /km	4044.93	138.66	<u>550,869.90</u>
			SUMA	85'486,561.40
			+ 15% IVA	12'822,984.20
			TOTAL	98'309,545.60

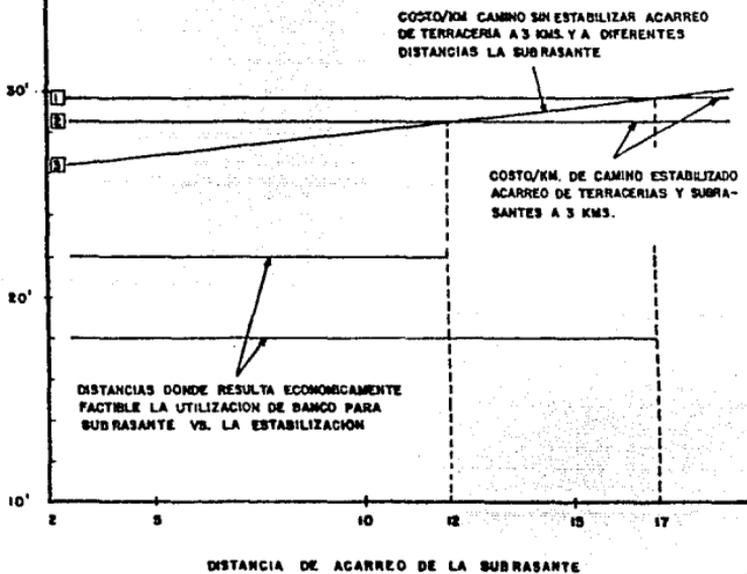
TABLA 2. COSTO DE ESTABILIZACION EMPLEANDO CAL HIDRATADA AL 2% EN PESO

<u>C O N C E P T O</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>PRECIO UNITARIO</u>	<u>IMPORTE</u>
Incorporación de Cal.	m ³	560	11, 231. 48	6' 289, 628. 80
Cal empleada en estabiliza-- ción.	kg	672000	73. 60	49' 459, 200. 00
			SUMA	55' 748, 828. 80
			+ 15% IVA	8' 362, 324. 32
			TOTAL	64' 111, 158. 12

TABLA 3. CALCULO DE COSTOS POR KILOMETRO CONSTRUIDO CON Y SIN EL EMPLEO DE LOS ESTABILIZANTES.

CONCEPTO	\$ EMPLEANDO CONSOLID + CONSERVEX ACARREO DE TERRACERIAS Y SUBRASANTE A 3 KMS.	\$ EMPLEANDO CAL HIDRATADA AL 2 % EN PESO ACARREO DE TERRACERIAS Y SUBRASANTE A - 3 KMS.	SIN ESTABILIZAN TE ACARREO DE TERRACERIAS Y SUBRASANTE A 3 KMS.	SIN ESTABILIZAN TE ACARREO DE TERRACERIAS A - 3 KMS Y SUBRASANTE A 12 KMS	SIN ESTABILIZAN TE ACARREO DE TERRACERIAS A 3 KMS. Y SUBRASANTE A - - 17 KMS.
1.- TERRACERIAS	434'211,065	434'211,065	434' 211,065	434'211,065	434'211,065
2.- OBRAS DE DRE NAJE	74'670,911	74'670,911	74' 670,911	74'670,911	74'670,911
3.- SUBRASANTE	121'923,983	121'923,983	121'923,983	178'972,259	210'665,750
4.- ESTABILIZACION	85'486,561	55'748,828			
5.- CARPETA DE UN RIEGO	83'129,722	83'129,722	83'129,722	83'129,722	83'129,722
6.- SEÑALAMIENTO	10'556,120	10'556,120	10'566,120	10'556,120	10'566,120
TOTAL	809'978,367	780'240,629	724'491,801	781'540,077	813'233,568
\$/KM	29'691 \approx 29.7'	28'601 \approx 28.6'	26'557 \approx 26.5'	28'648 \approx 28.6'	29'810 \approx 29.8'

COSTO/KM.

MILLONES
DE PESOS

- 1 — \$/KM. UTILIZANDO CONSOLID 444 — CONSERVEX
 2 — \$/KM. UTILIZANDO CAL HIDRATADA
 3 — \$/KM. SIN ESTABILIZAR

UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
GRAFICA COMPARATIVA DE ESTABILIZACIONES VS. ACARREOS	
H.M. OLIVARES H. M. CANSECO N.	TABLA 4

CONCLUSIONES

Independientemente de que la técnica de aplicar azufre a las capas de pavimentos no este muy desarrollada, ha sido importante este trabajo que se realizó en México, ya que es la primera vez que se utiliza el azufre en mayor proporción y mezclado con una arena mal graduada, obteniéndose buenos resultados.

Por tanto las experiencias aquí descritas servirán para definir en el corto plazo, las ventajas y desventajas que se tienen al utilizar azufre en las capas de un pavimento.

En la actualidad el aplicar esta técnica implica costos altos. Si existen condiciones y situaciones que justifiquen su aplicación como en el caso expuesto, con el tiempo permitirán desarrollar y hacer más eficiente el método y con ello a la larga abatir el costo.

Refiriéndose al lugar donde se aplicó este material y considerando los trabajos de laboratorio y de campo que se llevaron a cabo, se puede decir lo siguiente:

Aunque los trabajos de laboratorio arrojaron resultados muy satisfactorios, en campo no pudieron producirse al cien por ciento, debido fundamentalmente a detalles en el control de la fabricación de la mezcla, ya que era la primera vez que se elaboraba. Se ve que la mezcla presenta variantes dependiendo de la dosificación, la homogeneidad del mezclado y la temperatura de elaboración y compactación, y se ve que a mayor temperatura de compactación la mezcla presenta

mayor estabilidad.

Una observación que se puede mencionar es de que existen varias secciones estructurales en el tramo Cárdenas-Villahermosa, sin que presenten alguna relación entre ellos, esto limita obtener mayor información del comportamiento mecánico, además de que el diseño se hizo para una sección estructural tipo.

Observando que los resultados obtenidos son satisfactorios al substituir la carpeta de concreto asfáltico, por una capa construida con la mezcla arena-azufre-asfalto, se puede pensar que esta mezcla es posible usarla con mayor frecuencia en diferentes lugares y condiciones, dependiendo de una mayor investigación que se pudiera hacer al respecto y que involucra otro tema de estudio.

Tomando en cuenta las deformaciones que presentaron los tramos de prueba de hasta 4 cm sin que se formaran agrietamientos, se ve que el problema de la rigidez no es grave a corto plazo, y que al no saber como evolucionará con el tiempo, este trabajo debe seguirse manteniendo en observación, efectuándose periódicamente pruebas no destructivas como Viga Benkelman, Dynaflect, Prueba de Placa y Perfilógrafo a fin de conocer el comportamiento mecánico de las diferentes secciones estructurales del tramo con el paso del tiempo.

En lo que respecta al estudio de los aditivos C444 + CX para la estabilización de pavimentos podemos observar lo siguiente:

Los estudios referentes a las estabilizaciones hechas con los aditivos ya mencionados, en los Estados de Colima y Guerrero muestran una estabilización previa por combinación de materiales (arena), los cuales presentan características de plasticidad muy aceptables. Una vez incorporados los aditivos al suelo éste presenta en general propiedades indeseables y antagónicas al comportamiento esperado.

Lo anterior hace pensar, que no es ésta la forma en la que se debe efectuar el trabajo ya que la finalidad de una estabilización radica principalmente en el hecho de que no existen materiales de buena calidad en la cercanía de la obra, por lo que se hace necesario efectuar las pruebas mencionadas anteriormente, en suelos que realmente presenten características no contempladas en las Normas de Construcción, de esta forma el mejoramiento será representativo lo que mostraría el verdadero trabajo de los aditivos.

Por otro lado los materiales tratados con los aditivos C444 + CX muestran en general una deficiente investigación con respecto a la cantidad y tipo de minerales que los constituyen, así también estos estudios denotan un marcado desinterés por el conocimiento del medio ambiente en el que se localizan los materiales a utilizar en la estabilización.

Lo anterior ratifica la posibilidad de no obtener resultados satisfactorios, como lo muestran los estudios aquí expuestos, ya que la teoría de las estabilizaciones basa el uso de un determinado producto estabilizante en las características físicas, del medio ambiente y del tipo y cantidad de los minerales que constituyen los materiales a mejorar.

Debemos recordar que las características físicas de los materiales a estabilizar, el reconocimiento efectivo de la zona y el medio ambiente son determinantes en la respuesta de los materiales a la estabilización.

En comentarios sostenidos con el fabricante de estos productos se mencionaron algunas de las ventajas más importantes que se producen al incorporar los aditivos a una masa de suelo.

A) El suelo tratado es altamente resistente al ataque del agua, la capacidad es reducida, incrementándose con el tiempo las propiedades mecánicas del suelo, lo que produce una reducción en los costos de conservación de la obra en cuestión.

B) El ahorro logrado por no transportar materiales de banco, es considerable, ya que es más económico utilizar los materiales existentes en el lugar, que por sí solos no reúnen las características exigidas por las Normas de Construcción de la S.C.T.

Los comentarios expuestos no son posibles de comprobar en este momento, ya que los tramos de prueba son de reciente construcción y las ventajas expues-

tas requieren de cierto tiempo en el cual se pueda implantar un programa de estudio, por medio del cual se obtengan las características del comportamiento de los materiales tratados con estos productos,

Estos programas podrían estar basados en las actuales metodologías de rehabilitación de pavimentos flexibles. Ya que estos métodos se han basado en algunos de los más recientes estudios para el análisis y correcto diagnóstico ingenieril - de los problemas de rehabilitación de pavimentos.

Estos estudios nos darían un correcto criterio de las ventajas que se pudieran obtener (con todos los aspectos técnicos y económicos que ello conyeva) por la aplicación de los aditivos C444 + CX,

Con respecto a la comparativa de costos en la estabilización del camino rural se observa lo siguiente:

Empleo de los aditivos	\$ 85'486,561.45 + IVA
Consolid 444 + Conservex	
Empleo de Cal hidratada	\$ 55'740,828.80 + IVA

Por lo que resulta 65% más caro el uso de los aditivos, sin embargo, este valor sólo representa un costo inicial que sería necesario afectar por sus respectivos costos de mantenimiento, para de esta manera obtener el costo hasta el final de la vida útil de la obra estabilizada. Este valor nos daría la precisión correcta de las ventajas que ofrecen cada uno de los productos usados.

ANEXO I

SISTEMA TRADICIONAL DE
CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS.

ANEXO 1. SISTEMA TRADICIONAL DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS.

1.1 - Sub-bases y bases.

1.2 - Transportación.

1.3 - Tendido y afinado.

1.4 - Compactación.

1.5 - Proceso Constructivo General para Estabilizaciones.

1.6 - Resumen de Especificaciones Generales de Construcción.

1.1. BASES Y SUB-BASES.

La construcción de un pavimento con sus terracerías, en general observan el mismo proceso que se describe párrafos abajo, ésto es, se traslada el material al lugar de aplicación, se acamellona, se extiende, se nivela y se compacta en capas que no sobrepasan los 30 cm de espesor, las variantes en estos casos consisten, dependiendo de la capa en construcción, de los siguientes factores: humedad, características físicas y mecánicas de los materiales y grado de compactación.

En este anexo se consideró conveniente explicar únicamente las capas de pavimento más representativas de acuerdo al proceso constructivo de un pavimento.

Definiremos como base y sub-base a las capas sucesivas de material seleccionado que se construyen sobre la sub-rasante, cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas de manera que no se produzcan deformaciones perjudiciales en éstas.

Desde el punto de vista de procedimientos de construcción, es indistinto referirse a la sub-base o a la base, pues una y otra se construyen de la misma forma.

En México, las sub-bases y bases se construyen, en general, con un material granular (grava) mezclado con: cementante natural y agua, cemento y agua, cal y agua, emulsión asfáltica, o asfalto fluxado, agentes químicos (orgánicos e inorgánicos), o bien, se construyen de arena mezclada con emulsión asfáltica. Las más usuales son las construidas con un material granular (grava mezclada con -

cemento natural y agua, y las construidas con arena y emulsión asfáltica.

Algunas veces los pavimentos se diseñan con una capa de concreto asfáltico - elaborada en planta estacionaria, a la que se llama base por construirse a todo - el ancho de la corona y por no usarse como superficie de rodamiento.

OBTENCION Y TRATAMIENTO DE LOS INGREDIENTES PETREOS.

En nuestro país los materiales pétreos para sub-base y base se obtienen en - forma natural, por disgregado, por cribado o por trituración y cribado. Para la tri - turación el equipo que en la mayoría de los casos es el más conveniente, debe - constar de conos y no de rodillos como anteriormente se venía usando en forma - casi generalizada en el país.

ELABORACION DE SUB-BASE Y BASE.

La planta mezcladora de sub-base y base constituye la herramienta más apro - piada para realizar el mezclado de los materiales. A pesar de lo anterior, en Mé - xico todavía se hace, en la mayoría de los casos, utilizando motoconformadora.

Todos los tipos de sub-base y base, exceptuando el que se construye con un material granular (grava) mezclado con asfalto fluxado, es muy conveniente proce - sarlos en plantas mezcladoras de sub-base y base.

Estas mezcladoras son del tipo volumétrico y constan de lo siguiente: alimen - tador(es), desgrumador de cementante, unidad mezcladora de una o dos flechas, -

bomba de agua de gasto variable y/o bomba de emulsión asfáltica también de gasto variable.

El procedimiento consiste en:

- 1.- Proporcionar por medio de alimentadores, cada uno de los materiales y, por medio de bombas, el agua a la emulsión asfáltica.
- 2.- Reunir en una tolva, una vez dosificados, los materiales y el agua o, si tal es el caso la emulsión asfáltica.
- 3.- Mezclar y homogeneizar los ingredientes utilizando flechas provistas de paletas.

La decisión más importante, después de haber determinado la capacidad de la planta mezcladora por adquirir, es la selección del tipo de alimentador(es). Exceptuando la alimentación de cemento y cal, que siempre debe hacerse con tornillos sin fin, en una planta mezcladora se puede considerar la utilización de cualquiera de los tres tipos de alimentador que se mencionan a continuación:

- 1.- Alimentador de banda de velocidad variable (el más exacto de los tres), - utilizado para alimentar materiales finos o muy finos en volumen de regular cuenta. El flujo del material se regula por medio de ajuste de la compuerta de entrada y/o por medio de la velocidad de la banda.
- 2.- Alimentador de mandil (el de más alto costo de los tres), utilizable donde se quiera soportar cargas por impacto y donde sea necesario utilizar sue-

los gruesos y abrasivos en volumen de gran cuantía. El flujo del material se regula por medio de ajuste de la compuerta de entrada.

- 3.- Alimentador de plato reciprocante (el de más bajo costo de los tres), utilizable para alimentar materiales húmedos de todos tamaños en volúmenes de gran cuantía. El flujo se regula por medio del ajuste de la compuerta de entrada y/o por medio de la mayor o menor longitud del brazo del excéntrico y/o por medio de la velocidad.

Podría ser que para un mismo caso hubiera la posibilidad de escoger más de un tipo de alimentador.

La construcción de sub-base y base con planta mezcladora tiene las siguientes ventajas sobre el procedimiento de mezclado por medio de motoconformadora:

- 1.- Procedimiento volumétrico exacto.
- 2.- Homogeneidad de la mezcla.
- 3.- Ahorro, cuidado de no incurrir en acarreo muertos cuantiosos.

Aquí debe entenderse por acarreo muerto aquel cuyo pago cubre el contratista y no el contratante. De acuerdo con las Especificaciones Generales de Construcción, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes paga el acarreo de los materiales como si éstos se acarrearán directamente de los bancos a la carretera o a la aeropista. En general y por razón lógica, la planta mezcladora de sub-base y base debe instalarse en donde se va a

necesitar mayor cantidad de material. Podría ser el caso que, además del material del banco donde se instale la planta mezcladora, se requiera otro material, cementante por ejemplo, y que el banco estuviera localizado en tal forma que en su acarreo a la planta mezcladora, se incurriera en un acarreo muerto de una magnitud tal que hiciera incosteable producir la sub-base o la base en planta mezcladora. En este caso, desde luego, la mezcla debe hacerse directamente en la carretera o en la autopista utilizando motoconformadora.

- 4.- Menor interrupción al tránsito. Tratándose de carreteras, se entiende que al no necesitarse motoconformadoras para mezclar en el camino, el tránsito de vehículos usuarios será más fluido.
- 5.- Mejor utilización del equipo de compactación. Cuando se usa planta mezcladora, se pueden ir tendiendo tramos de 200 m por ejemplo y empezar así la compactación desde casi el principio del tendido.
- 6.- Menos perjuicios por causa de lluvia. Esto es obvio si se considera que casi todo el volumen que se acarrea a la obra puede ser tendido y compactado prácticamente de inmediato.
- 7.- Mejor control general de la obra. Es entendible que es más fácil controlar plantas que máquinas (motoconformadoras), que necesariamente están repartidas para atender las demandas que una obra requiere en sus diferentes etapas.

Naturalmente que para que se pueda disfrutar de las ventajas citadas en los incisos 5, 6 y 7 y por lo tanto de ahorro global, es necesario que la producción se organice en forma rutinaria y masiva.

1.2 TRANSPORTACION.

Una vez elaborada la mezcla en planta, los camiones de volteo son cargados - por gravedad mediante la abertura de las compuertas de la tolva de descarga.

Pensando en acarreo no mayores de 20 km es usual que para un trabajo de pavimentación, en el que la sub-base y la base se produzcan en planta mezcladora de 540 ton/lr. de capacidad y la carpeta asfáltica en planta de 3000 lb/pesada - de capacidad, se requieran hasta 300 camiones de volteo de 6 m³ de capacidad. - Sería absurdo adquirir camiones de volteo para satisfacer las demandas que se requieren en trabajos organizados a base de plantas, la inversión sería altísima y control de los camiones prácticamente imposible. Si por alguna circunstancia no se contara con el número de camiones necesarios, el trabajo se encarecería notablemente. Para agilizar el pago de los camiones, evitar errores y tener mejor control, es recomendable calcular los fletes por medio de computadora y utilizar en lo posible, básculas de piso.

1.3 TENDIDO Y AFINADO.

El tendido y afinado de la sub-base, puede hacerse usando cualquiera de los siguientes procedimientos:

1.- Por el método tradicional utilizando motoconformadora estándar.

Este es el procedimiento más barato y más inexacto, y cuando se aplica el perfil, las secciones, los espesores y el acabado de la sub-base y/o la base no cumplen con las tolerancias estipuladas en las Especificaciones Generales de Construcción de la S.C.T.

La rigidez de las tolerancias en el tendido es creciente para los siguientes tipos de sub-base y base.

- a) Sub-bases y bases para carreteras.
- b) Bases construídas por el sistema de estabilización en carreteras.
- c) Sub-bases y bases en autopistas.

Las tolerancias para sub-bases y bases en carreteras que no se cumplan - cuando el tendido se hace con motoconformadora son las siguientes:

	Sub-base	Base
Pendiente transversal	$\pm 1/2 \%$	$\pm 1/2 \%$

Profundidad de las depresiones observadas

colocando una regla de 3 m de longitud, -

paralela y normalmente al eje. Máximo.	2,0 cm	1 1/2 cm.
--	--------	-----------

En espesores para carreteras, la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de las diferencias calculadas restando el espesor real obtenido de cada punto de prueba, el espesor real promedio correspondiente a todos los

puntos de prueba, siempre deberá ser menor o igual que 0.14 del espesor real promedio de la sub-base, igual o menor que 0.12 del espesor real promedio de la base e igual o menor que 0.09 del espesor real promedio conjunto de la base más sub-base; además el valor absoluto de la diferencia entre los espesores real y de proyecto, correspondiente al 84% como mínimo, de las determinaciones realizadas para la sub-base, al 90% como mínimo, de las determinaciones realizadas para la base y al 95% como mínimo, en el caso del conjunto de sub-base más base, siempre deberá ser igual o menor que el 20% de los espesores de proyecto.

- 2.- Por medio de una extendidora de carpeta asfáltica (finisher) equipado con control electrónico y dotada de una área de acabado suficiente para extender espesores hasta de 25 cm. Se entiende por área de acabado a la superficie máxima de la sección transversal que esta máquina es capaz de extender y así se dirá; por ejemplo que la extendidora Barber Greene SA35 tiene un área de acabado de 0.3855 m², que la SB41, 0.5881 m², o que la SB140, 2.2296 m².

Este procedimiento es muy recomendable para sub-bases y bases estabilizadas con cemento, con cal, o con emulsión asfáltica.

Es un sistema muy práctico para extender sub-base y base, en caminos en operación y con fuerte tránsito, porque no se tiene necesidad de interrumpir éste en lo más mínimo, ya que el extendido y compactado puede hacerse, como se hace con la carpeta, por alas.

Sin embargo el gran desgaste de la extendedora, cuando no se maneja un producto asfáltico, hace que este procedimiento resulte caro, no obstante que elimina la eventualidad de camellones saturados por lluvias imprevistas y que hace funcionar muy eficientemente al equipo de compactación.

1.4 COMPACTACION.

El costo de la compactación representa una muy pequeña parte del costo total de la obra. A cambio de esto, la compactación tiene una decisiva influencia en la calidad y tiempo de vida de la obra. Una compactación eficiente incrementa sustancialmente el valor de soporte y la estabilidad del material, mejora la impermeabilidad en la mayoría de los casos y prácticamente elimina los asentamientos. Así, la compactación hace al suelo capaz de soportar las cargas impuestas por los vehículos y reduce sustancialmente los costos de mantenimiento.

La compactación de sub-base y base ha tenido una evolución muy importante con la introducción de compactadores vibratorios autopropulsados.

Actualmente, para compactar la producción de una planta mezcladora de sub-base y base de 540 tn/hr. de capacidad, se requiere de un compactador vibratorio autopropulsado de 9.0 tn de peso estático compuesto de un solo rodillo, y de un compactador neumático autopropulsado de 11 tn con llantas de 90 psi. El compactador neumático se utiliza no por falta de capacidad de producción de compactador vibratorio, sino porque éste no puede orillarse lo suficiente para compactar los hombros del pavimento. El compactador vibratorio autopropulsado cuenta con la

tracción suficiente para compactar espesores hasta de 25 cm, lo que hace que el número de capas para compactar del pavimento, se reduzca.

Las ventajas principales de este método de compactación son los siguientes:

- 1.- Bajo costo.
- 2.- Menos interrupción al tránsito.
- 3.- Estandarización de equipo para compactar tanto sub-base y base como carpeta asfáltica.

1.5 PROCESO CONSTRUCTIVO GENERAL EN ESTABILIZACIONES.

Como ya se ha mencionado, las estabilizaciones consisten en la incorporación de un determinado producto a los materiales seleccionados utilizados en la construcción de la capa sub-rasante, de la sub-base o de la base, para modificar algunas características de los materiales y mejorar el comportamiento de las capas.

Los productos que se utilizan con más frecuencia son los siguientes:

- Cal hidratada.
- Cemento portland.
- Materiales puzolánicos.
- Materiales asfálticos.

Para llevar a cabo las estabilizaciones de materiales se tomará en cuenta lo siguiente:

1.- Las estabilizaciones se llevan a cabo en los siguientes casos:

A) En materiales que forman la capa sub-rasante, para su mejoramiento, sean de terreno natural o de banco.

B) En materiales para base y/o sub-base, que se encuentren en el camino o que procedan de banco.

2.- La capa inferior a la que se establece deberá estar bien terminada.

3.- El material o materiales por estabilizar deberán estar disgregados convenientemente.

4.- Se forma un camellón con los materiales que se vayan a estabilizar, homogenizándolos previamente mediante mezclado.

5.- Se abre el camellón y se incorpora el material estabilizante, distribuyéndolo sobre los materiales tendidos.

6.- Se mezclan en seco los materiales, usando mezcladora móvil o motoconformadora, cuando el trabajo se efectúa en el camino. El mejor mezclado se realiza con planta fija de mezclado y se usa generalmente, cuando los pétreos proceden de banco.

7.- Se agrega el agua que se requiera, en el caso de las estabilizaciones

con asfalto hasta completar el contenido líquido de proyecto. Cuando se estabiliza en planta fija con cal, cemento o puzolana, la incorporación del agua se hace durante el mezclado que se indicó antes debiendo ser en seco.

8.- Se tiende el material estabilizado con extendidora, dando el espesor requerido a la capa.

9.- Se compacta la capa del material estabilizado al grado que indique el proyecto (95 a 100%).

10.- Cuando se estabiliza con cemento portland deberá curarse la capa construída.

11.- Las mezcladoras de planta fija deberán tener almacenamientos en los que el material quede protegido de la lluvia y del polvo; silos cerrados para el material estabilizante; dispositivos para dosificar por peso o por volumen, tanto el estabilizante como el agua, cámara de mezclado y compuerta de descarga.

12.- Para dosificar en el camino las proporciones de materiales que se fijan, cuando se utilicen dos o más pétreos, se determinarán, los coeficientes de variación volumétrica por mezclado y compactación, como ya se indicó antes.

13.- No deberán hacerse estabilizaciones cuando amenace lluvia, ni cuando la temperatura sea menor de 5°C.

14.- Las superficies estabilizadas en ocasiones deben ser protegidas y no se abrirán al tránsito, sino hasta después de un cierto tiempo.

15.- Las tolerancias en dimensiones geométricas serán las siguientes:

Ancho, del eje a la orilla + 10 cm.

Niveles para aeropistas ± 1 cm.

Pendiente transversal para carreteras ± 1/2 %.

Dimensiones con reglas de 3 y 5 m.
para carreteras y aeropistas.

1.- Cuando se estabiliza con asfalto.

Carreteras 0.5 cm. máx.

Aeropistas 0.5 cm. máx.

2.- Con otros productos.

Carreteras 0.5 cm. máx.

Aeropistas 1.5 cm. máx.

1.6 RESUMEN DE ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION (5).

TABLA I. BASES,

CARACTERISTICAS	DESEABLE	ADECUADA
TAMAÑO MAXIMO (mm).	38	38
% MALLA N° 200	10 MAX.	15 MAX.
ZONA GRANULOMETRICA	1 y 2	1, 2 y 3
L.L. (%).	25 MAX.	30 MAX.
I.P. (%).	6 ^o MAX.	6 MAX.
E.A. (%).	50 MIN.	40 MIN.
COMPACTACION (%).	100 MIN.	100 MIN.
V.R.S. (%).	100 MIN.	80 MIN.
DESGASTE LOS ANGELES (%).	40 MAX.	40 MAX.

[5] "Normas de Materiales" Parte Octava, Primera Edición. S.C.T.

TABLA II. SUB-BASES Y REVESTIMIENTOS

CARACTERISTICAS	DESEABLE	ADFCUADA	TOLERABLE
TAMAÑO MAX. (mm).	51	51	76
% MALLA N° 200	15 MAX.	25 MAX.	10-20
ZONA GRANULOMETRICA	1 y 2	1 a 3	1 a 3
L.L. (%)	25 MAX.	30 MAX.	40 MAX.
I.P. (%)	6 MAX.	10 MAX.	4-15
E.A. (%)	40 MIN.	30 MIN.	-
COMPACTACION (%)	100 MIN.	100 MIN.	95 MIN.
V.R.S. (%)	40 MIN.	30 MIN.	30 MIN.
CONTRACCION LINEAL (%)	-	-	7-4 MAX.

TABLA III. SUB-RASANTE

CARACTERISTICAS	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
TAMAÑO MAX. (mm)	75	75	75
% MALLA N° 200	25 MAX.	35 MAX.	-
L. L. (%)	30 MAX.	40 MAX.	50 MAX.
I. P. (%)	10 MAX.	20 MAX.	25 MAX.
COMPACTACION (%)	100 MIN.	100 \pm 2	100 \pm 2 95 (ESPECIFICACIONES)
V. R. S. (%)	30 MIN.	20 MIN.	15 MIN.

83

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

438

439

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522

523

524

525

526

527

528

529

530

531

532

533

534

535

536

537

538

539

540

541

542

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562

563

564

565

566

567

568

569

570

571

572

573

574

575

576

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619

620

621

622

623

624

625

626

627

628

629

630

631

632

633

634

635

636

637

638

639

640

641

642

643

644

645

646

647

648

649

650

651

652

653

654

655

656

657

658

659

660

661

662

663

664

665

666

667

668

669

670

671

672

673

674

675

676

677

678

679

680

681

682

683

684

685

686

687

688

689

690

691

692

693

694

695

696

697

698

699

700

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710

711

712

713

714

715

716

717

718

719

720

721

722

723

724

725

726

727

728

729

730

731

732

733

734

735

736

737

738

739

740

741

742

743

744

745

746

747

748

749

750

751

752

753

754

755

756

757

758

759

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

770

771

772

773

774

775

776

777

778

779

780

781

782

783

784

785

786

787

788

789

790

791

792

793

794

795

796

797

798

799

800

801

802

803

804

805

806

807

808

809

810

811

812

813

814

815

816

817

818

819

820

821

822

823

824

825

826

827

828

829

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

840

841

842

843

844

845

846

847

848

849

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

860

861

862

863

864

865

866

867

868

869

870

871

872

873

874

875

876

877

878

879

880

881

882

883

884

885

886

887

888

889

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

910

911

912

913

914

915

916

917

918

919

920

921

922

923

924

925

926

927

928

929

930

931

932

933

934

935

936

937

938

939

940

941

942

943

944

945

946

947

948

949

950

951

952

953

954

955

956

957

958

959

960

961

962

963

964

965

966

967

968

969

970

971

972

973

974

975

976

977

978

979

980

981

982

983

984

985

986

987

988

989

990

991

992

993

994

995

996

997

998

999

1000

CARACTERISTICAS	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
TAMAÑO MAX. (mm ^ϕ)	76	1 500 ϕ 0,5 espesor de capa	2 000 ϕ 0,5 espesor de capa
% MALLA N ^o 200	30 MAX.	-	-
L.L. (%)	40 MAX.	50 MAX.	60 MAX.
I.P. (%)	-	-	25 MAX.
COMPACTACION	95 MIN.	90 ± 2 ϕ bandeado	90 ± 2 ϕ bandeado
V.R.S. (%)	5 MIN.	5 MIN.	3 MIN.
EXPANSION (%)	-	-	3

NOTA: En el caso de que el porcentaje de suelo (partículas menores de 76 mm) en una terracería de calidad "deseable" sea menor de 50%, cumpliendo con todos los requisitos señalados, podrá aceptarse por el proyectista un valor del límite líquido mayor del 40%, pero siempre menor del 60%, siempre y cuando se garantice un comportamiento y calidad de obra de una terracería "Deseable".

A N E X O 2

ESTUDIOS DE LABORATORIO

PARA PAVIMENTOS.

I N D I C E

ANEXO 2. ESTUDIOS DE LABORATORIO PARA PAVIMENTOS.

Introducción

- 2.1 Prueba de Granulometría.
- 2.2 Determinación del Peso Específico.
- 2.3 Límites de Atterberg.
 - A. Límite Líquido.
 - B. Límite Plástico.
 - C. Índice Plástico.
- 2.4 Determinación del Contenido de Humedad.
- 2.5 Equivalente de Humedad de Campo.
- 2.6 Contracción Lineal.
- 2.7 Prueba de Expansión.
- 2.8 Prueba del Equivalente de Arena.
- 2.9 Pruebas de Compactación.
 - A. Pruebas Dinámicas.
 - A.1 Prueba Proctor Estándar.
 - B. Pruebas Estáticas.
- 2.10 Prueba Estándar de V.R.S. (Prueba de California o Porter).
 - A. Prueba de V.R.S. en el Campo.
 - B. Número de Pruebas de V.R.S. en el Lugar.
- 2.11 Prueba Marshall.
- 2.12 Recomendaciones Hveem para Mezclas Asfálticas.

INTRODUCCION.

Las pruebas aquí mencionadas tienen su aplicación específica en la Ingeniería de Vías Terrestres, el objeto de incluir este apartado tiene como finalidad principal, la de dar el apoyo técnico necesario para la mejor comprensión de las pruebas de laboratorio que se mencionan a lo largo de este trabajo. Por lo tanto este apartado no incluye una explicación detallada de todos los elementos que intervienen en el muestreo, equipo y ejecución de las pruebas mencionadas, ya que estos aspectos son mencionados y analizados en su profundidad pertinente, en la mayoría de los textos que sobre este tema se han publicado.

El desarrollo tratado en este anexo comprende las ventajas, recomendaciones y procedimientos generales al usuario; por lo que, estas pruebas están basadas principalmente en las recomendaciones que hace la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para el Muestreo y Pruebas en los materiales constituyentes de un pavimento.

Las pruebas ya mencionadas tienen sus bases teóricas en las pruebas realizadas por la American Society For Testing and Materials; A.S.T.M., Standards; -- D 915-61.

2.1 PRUEBA DE GRANULOMETRIA.

El método más reconocido de clasificación de suelos es el llamado Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Esta prueba tiene como objeto determinar la distribución de los tamaños de las partículas de una muestra de suelo.

Mediante un proceso de cribado, el sistema divide a los suelos en dos grandes fracciones: la gruesa, formada por partículas mayores que las aberturas de la malla No. 200 (0.074 mm) y menores que la malla de 3" (7.62 cm); y la fina formada por partículas que pasan la malla 200.

La fracción gruesa se divide en gravas y arenas, teniendo como frontera la malla No. 4 (4.76 mm).

La distribución del material más fino de las aberturas de la malla No. 200 se encuentra por sedimentación mediante la prueba del hidrómetro.

Los resultados son generalmente más útiles cuando se presentan en forma gráfica, el tamaño de partículas en milímetros, se grafica en una escala logarítmica, el porcentaje de partículas más pequeña se grafica aritméticamente. La forma de la curva indica si la graduación es buena o mala.

El propósito principal en la determinación de la clasificación de suelos consiste en permitir al ingeniero predecir el comportamiento probable de los suelos.

Se recomienda que para terracerías se utilicen materiales no mayores de 76 mm y que el 30% sea menor que la malla No. 200. Para capa subrasante no deberán

ser mayores de 76 mm y el 25% ser menor de la malla No. 200. Para capa de sub-base se recomienda que los materiales sean menores de 51 mm, que el 15% del material pase la malla No. 200 y que se encuentre en la zona granulométrica 1 ó 2. Para base hidráulica el material no deberá ser mayor a 76 mm y el 10% del material deberá ser mayor que la abertura de la malla No. 200 y se deberán localizar en la zona granulométrica 1 ó 2.

2.2. DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO.

Para la determinación directa del peso específico deberán valuar: el peso de la muestra (W_m) y el volumen de la misma (V_m).

El W_m puede conocerse pesando la muestra del suelo; el V_m se puede obtener, labrando la muestra original en un forma geométrica simple (cilíndrica) o bien por inmersión en mercurio (el peso del mercurio desalojado dividido entre el peso específico del mismo, nos da el volumen desplazado, que será el volumen de la muestra).

$$\gamma_m = W_m / V_m$$

El peso específico de la mayoría de las partículas minerales constituyentes de un suelo varía entre límites estrechos (2.6 a 2.9), siendo sus unidades más comunes.

$$\text{Ton} / \text{m}^3 \quad ; \quad \text{Kg} / \text{m}^3 \quad \text{y} \quad \text{Kg} / \text{cm}^3$$

2.3 LIMITES DE ATTERBERG (ATTERBERG 1911)

A. LIMITE LIQUIDO.

La técnica actual para la determinación del límite líquido, se debe al Dr. A. Casagrande, la cual esta basada en la utilización de un recipiente que lleva su propio nombre.

La copa de Casagrande es un recipiente (generalmente de bronce), con un tacón solidario del mismo material; el tacón y la copa giran en torno a un eje fijo unido a la base; un sistema de eje excéntrico hace que la copa golpee periódicamente la base del dispositivo, que es de hule duro o micarta 221. La altura de caída de la copa es de 1cm, medido verticalmente desde el punto de la copa que toca la base al caer hasta la base misma, estando la copa en su punto más alto.

La copa es esférica con radio interior de 54mm, espesor de 2mm y peso de 200 ± 20 g excluyendo el tacón.

Sobre la copa se coloca una muestra de suelo y se le hace una ranura trapezoidal de 1cm de ancho, para hacerle la ranura, debe usarse un ranurador especial, el cual se pasa a través de la muestra, manteniéndolo normal a su superficie, a lo largo del meridiano que pasa por el centro del tacón, con un movimiento de arriba hacia abajo.

El límite líquido, es el contenido en por ciento de humedad al cual un suelo pasa del estado plástico al estado líquido. El límite líquido se define como el estado en el cual se considera que existe una división entre las consistencias

plástica y semi-líquida. En los suelos de características arenosas, el límite líquido queda expresado por la humedad que contiene el suelo en el estado que separa las consistencias semi-sólida y semi-líquida.

B. LIMITE PLASTICO.

La prueba de la determinación del límite plástico, consiste en rolar un fragmento de suelo contra una placa de vidrio, hasta convertirlo en un cilindro con un diámetro de 3mm; una vez alcanzada esta medida los rollitos se doblan y se presionan formando una pastilla, que vuelve a rolarse, hasta que a los 3mm justos ocurra el agrietamiento de ellos, en tal momento se obtiene su contenido de humedad, que presenta al límite plástico.

Podemos decir así que el límite plástico se define como el estado en que se considera que existe una división entre la consistencia plástica y semi-sólida de un suelo. En los suelos de características arenosas, el límite plástico coincide con el límite líquido.

Los suelos de alto índice plástico son afectados notablemente por la variación en la humedad, aumentando de volumen con los incrementos de humedad y contrayéndose cuando ésta disminuye.

Estos cambios volumétricos perjudican grandemente la estabilidad de las terracerías, pues en tiempo de estiaje cuando disminuye la humedad, las contracciones que sufre el material provocan la formación de grietas que fácilmente permiten el paso del agua durante la temporada de lluvias, lo que disminuye notable-

mente la capacidad de soporte de los suelos, llegando frecuentemente a provocar fallas de trascendencia.

C. INDICE PLASTICO.

El índice plástico o índice de plasticidad, es la diferencia aritmética entre el límite líquido y el límite plástico del suelo, e indica el contenido de humedad sobre la cual un suelo queda en estado plástico antes de pasar al estado líquido.

2.4 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.

Dada la muestra de suelo, se pesa para tener W_h . A continuación se seca al horno y se vuelve a pesar, para obtener W_s (peso de la muestra seca). Ahora el contenido de humedad se obtiene:

$$\omega (\%) = \frac{(W_h - W_s)}{W_s} \times 100$$

Esta prueba provee datos útiles para estimar la compactación del suelo y su compresibilidad, es útil también en la prueba del V.R.S., así como para determinar los posibles cambios físicos del suelo ante la posible saturación y/o disminución de su contenido de agua.

Como datos generales; para terracerías se recomienda un contenido de humedad máxima de 40%, para la capa sub-rasante 30%, para la base y la sub-base un 25% como máximo.

2.5 EQUIVALENTE DE HUMEDAD DE CAMPO.

Se define como la humedad mínima requerida para que una gota de agua colocada en una superficie aislada del suelo, no sea absorbida totalmente, sino que permanezca extendida en dicha superficie dándole una apariencia brillante, durante 30 segundos.

Los suelos plásticos que se encuentran con una humedad igual a la del equivalente de humedad de campo, adquieren cierta impermeabilidad, por lo que esta prueba proporciona una indicación de la capacidad del suelo para adquirir agua.

En los suelos de características arenosas, el equivalente de humedad de campo es muy cercano al límite líquido. A medida que los suelos son más plásticos, el equivalente de humedad de campo se aleja del límite líquido.

2.6 CONTRACCION LINEAL.

La contracción lineal de un suelo es la reducción del volumen del mismo, medida en una de sus dimensiones y expresado como porcentaje de la dimensión original, cuando la humedad se reduce desde la correspondiente al límite líquido hasta la del límite de contracción.

El Límite de Contracción, corresponde al contenido de agua para el cual el suelo alcanza su máxima contracción.

La contracción lineal es una función de la plasticidad del suelo, siendo nula para los suelos de características arenosas y aumentando a medida que el suelo

es más plástico.

2.7 PRUEBA DE EXPANSION.

El objeto de esta prueba es medir la presión que desarrolla bajo ciertas condiciones, un espécimen de suelo al que se permite absorber agua libre; debe efectuarse esta prueba evitando cambios importantes durante ella en el peso específico del suelo.

El dispositivo consiste en un puente metálico calibrado, de tal manera que es conocida para cada flecha del puente la presión que ejerce desde una placa circular de 101 cm de diámetro (40") apoyada sobre el espécimen, cuya presión se transmite al puente por medio de un vástago.

La presión de expansión se mide saturando el espécimen; el procedimiento de diseño en vigor en California E.U.A., constituye una condición tal que; el peso del pavimento ha de ser suficiente para neutralizar la presión de expansión medida.

2.8 PRUEBA DE EQUIVALENTE DE ARENA.

Esta prueba proporciona la separación de las partículas más finas de tipo arcilloso, de los granos gruesos (tamaños correspondientes a las arenas), y compara las proporciones relativas sobre las bases volumétricas arbitrarias; emplea un procedimiento sencillo que tiende a simplificar o expandir el volumen de arcilla en una forma proporcional a sus efectos perjudiciales.

La prueba consiste en agitar fuertemente una muestra de material que pase por la malla No. 4, en una probeta de vidrio transparente que contiene una solución de Cloruro de Calcio que actúa como floculante con el objeto de acelerar la sedimentación de la fracción activa, esta mezcla, debe contener glicerina y formaldehído para estabilizar la solución; a continuación se deja reposar el material un tiempo aproximado de 20 minutos, procediendo inmediatamente después a determinar las proporciones de las partes activas y no activas, esto se hace introduciendo un pistón de medidas especificadas que marca las fronteras entre dichas porciones una vez que se ha sedimentado. Esta prueba puede llevarse a cabo, tanto en el laboratorio como en el campo, y dependiendo del agitador que puede ser manual o mecánico; el equivalente de arena se calcula con la siguiente expresión:

$$EA (\%) = (LNSA/LNSa) \times 100$$

Donde:

LNSA, - Lectura del nivel superior de la arena.

LNSa, - Lectura del nivel superior de la arcilla.

Se recomienda un 40% como mínimo de EA en la utilización de material para capa de sub-base y para capa de base hidráulica un 50% como mínimo.

La finalidad de esta prueba, consiste en saber que cantidad de arcilla o de suelos finos contaminantes contiene un tipo de suelo (el ensayado), así como para poder determinar el tipo de tratamiento requerido para eliminarlo.

2.9 PRUEBAS DE COMPACTACION.

Se llama compactación al proceso de aumento rápido del peso volumétrico de un suelo, mediante la aplicación de cargas transitorias de corta duración. La compactación permite aumentar la resistencia y reducir la deformabilidad, permeabilidad y la susceptibilidad a la erosión de los suelos por el agua.

Se sabe que para una energía de compactación dada, el Maximo peso Volumétrico Seco del suelo compactado se obtiene para cierto contenido de agua llamado, contenido Optimo de Agua.

La función de las pruebas de compactación de laboratorio es permitir la especificación racional y el control de los trabajos de campo mediante el estudio de las propiedades mecánicas de los suelos compactados. Los procedimientos de laboratorio deben, por lo tanto, permitir reproducciones de campo, principalmente el mecanismo y la energía de compactación.

Existe la tendencia de referir todo trabajo de compactación a algunos patrones en el laboratorio independientemente de los requerimientos particulares de la obra. La compactación no debe considerarse como un fin en si misma, sino como un medio para lograr las propiedades mecánicas adecuadas.

Los patrones de compactación en el laboratorio que deben emplearse por lo general son de dos tipos:

Compactación por impactos y por amasado. Estos patrones se han fijado con objeto de reproducir las condiciones de compactación de campo obtenidas por me-

dio de rodillos pata de cabra o llantas neumáticas. Los procedimientos de compactación de mayor uso en la actualidad son: las pruebas por Impactos Proctor estándar y modificada, y la prueba por Amasado Harvard miniatura. Las primeras se usan esencialmente, para especificación y control de la compactación en campo y la última es útil para preparar especímenes para el estudio de las propiedades mecánicas de los suelos compactados.

A. PRUEBAS DINAMICAS.

Todas las pruebas dinámicas usadas actualmente tienen las siguientes características comunes:

- Se realizan solo en aquellos materiales que pasan la malla No. 4.
- El suelo se compacta por capas en el interior de un molde metálico cilíndrico, variando de una prueba a otra el tamaño del molde y los espesores de la capa a compactar.

En todos los casos de compactación, se aplica dentro del molde a cada capa un cierto número de golpes, con un pisón, cuyo peso, dimensiones y altura de caída cambian de una variante de prueba a otra. El número de golpes por pisón que se aplica por capa, también cambia para las diferentes pruebas.

- En todos los casos, la energía específica se puede calcular con bastante aproximación con el empleo de la siguiente ecuación:

$$E_e = N \cdot n \cdot W \cdot h / V$$

En donde:

- E_e.- Representa la energía específica de compactación.
 - N.- Número de golpes requeridos del pisón, por cada una de las capas de llenado del molde de compactación.
 - n.- Número de capas especificadas para llenar el molde de prueba.
 - W.- Peso del pisón compactador.
 - h.- Altura de caída del pisón al aplicar los impactos al suelo.
 - V.- Volumen total del molde de compactación que representa el volumen total de la muestra de suelo tratado.
- En todos los casos se especifica el tamaño máximo de las partículas que pueden tener el suelo, y se eliminan los tamaños mayores por cribado previo a la prueba.

A.1 PRUEBA PROCTOR ESTANDAR.

La prueba proctor es una prueba de compactación conocida también como - - AASHTO, y que tiene por finalidad determinar la relación entre el peso volumétrico y el contenido de agua de los suelos.

EQUIPO DE PRUEBA.

- Molde estándar de compactación de 15.24 cm (6") de diámetro y con un peso de 2.49 kg.
- Gufa metálica para el pisón.
- Regla metálica para enrazar.
- Una balanza de laboratorio con aproximación de un décimo de gramo -- (0.1).
- Una balanza de 15 kgs de capacidad y precisión mínima de 5 g.
- Horno secador.
- Mallas de 5.08 cm (2"), 1.9 cm (3/4") y No. 4.
- Accesorios.

PROCEDIMIENTO.

- 1.- Secar el material de la muestra, mediante su introducción al horno a temperatura de 60° C como máximo o al medio ambiente de laboratorio (20° C aproximadamente) durante 24 h.
- 2.- Cribar al suelo por la malla No. 4, eliminando el retenido.
- 3.- Seleccionar la muestra de aproximadamente 7 kg.

- 4.- Incorporar a la muestra la cantidad de agua suficiente para ponerlo 4 ó 6 puntos en porcentaje por debajo de la humedad óptima representativa.
- 5.- Dividir la muestra en 3 partes que serán las capas que formarán la muestra dentro del molde de 15,24 cm (6") de diámetro.

El molde tendrá instalada su extensión y deberá llegarse a un espesor total compactado de unos 13 cm (5").

Se compacta cada una de las capas con 56 golpes uniformemente distribuidos en la superficie y con una altura de caída de 30,48 cm (12"), posteriormente se remueve la extensión del molde y se enraza el suelo compactado utilizando la regla metálica, se pesa el conjunto, se resta el peso del molde y se obtiene el peso húmedo del material. Dividase entre el volumen del molde para obtener el Peso Volumétrico del material ensayado.

- 6.- Se retira el material del molde sin disgregarlo y se divide en dos porciones, según un plano vertical por el centro de la sección transversal. Se toma una muestra representativa de una de las caras del corte y se determina el contenido de agua del suelo.
- 7.- Se disgrega el material hasta que pase por la malla No. 4, se añade la suficiente agua para aumentar su humedad en 1 ó 2 puntos y se repite todo el procedimiento anterior. Se continúan estas determinaciones hasta que disminuya o cambie el Peso Volumétrico del suelo compactado.

B. PRUEBAS ESTATICAS,

La prueba de compactación estática es tan antigua como la dinámica pero no se ha difundido tanto como ésta, sin embargo, la prueba clásica ha estado ligada con la prueba de Valor Relativo de Soporte (VRS), muy usada en pavimentos.

La prueba estática no representa adecuadamente el proceso de compactación natural del suelo debido a que la aplicación de presión no considera ni la vibración ni alguno de los métodos modernos de compactación de estos suelos en el campo, además, se cree que la aplicación de una presión estática puede producir cambios granulométricos importantes durante la prueba.

Para fines de este trabajo se explicará brevemente la prueba estática de compactación, más representativa, que tiene por objeto determinar el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima de compactación, (Prueba Porter).

Este tema se aborda en el punto siguiente 2.10.

2.10 PRUEBA ESTANDAR DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE. (PRUEBA DE CALIFORNIA O PORTER).

Esta prueba es de penetración en donde un pistón estandarizado de área - - 19.4 cm^2 , es obligado a penetrar el suelo en un rango estándar de 0.127 cm/min , la carga unitaria es registrada a cada 0.250 cm ($1/10''$) de penetración hasta alcanzar la penetración de 1.27 cm ($1/2''$) y el VRS es computado como la razón de una unidad de carga arbitrariamente seleccionada a la estándar.

Los valores estándar fueron obtenidos probando roca triturada de relativa alta - calidad y son los siguientes:

0.250 cm	70.380	kg/cm ²
0.508 cm	105.463	kg/cm ²
0.762 cm	133.586	kg/cm ²
0.016 cm	161.700	kg/cm ²
1.270 cm	182.800	kg/cm ²

La unidad de carga generalmente tomada para proyecto es a cada 0.20 cm de penetración. Todos los ditintivos de la prueba han sido estandarizados.

El cilindro en el cual se prueba la muestra de suelo, tiene un diámetro aproximado de 5.00 cm (2"). La sobrecarga que es estimada a resultar en intensidad de presión, es igual a la del pavimento final en el suelo, esta es aplicada al espécimen durante el período de saturación y los períodos de prueba para simular el peso del pavimento y hacer la revisión de pesos no previstos en el pisón durante la prueba.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

1) Se aplica una sobre carga en todos los suelos, que sea suficiente para producir una intensidad de carga igual al peso del material del pavimento pero no menor de 4.54 kg (10 lb), colocar un disco con perforación circular de 2.27 kg (5 lb) de sobrecarga en la superficie del suelo antes de la colocación del pistón

y de la aplicación de los pesos restantes.

2) Se coloca el pistón de penetración con una carga de 4.54 kg y se ponen los medidores de deformación y esfuerzo en ceros.

3) Se aplica la carga sobre el pistón de penetración a razón de 0.127 cm/mín.

4) Se determina el contenido de agua de la capa superior en un espesor de -- 2.50 cm (1").

5) Se calcula la presión aplicada por el penetrométo y se dibuja la curva esfuerzo-penetración.

6) Se determinan los valores de presión corregidos para 0.25 y 0.51 cm de penetración a partir de los cuales se obtienen los valores de V.R.S., dividiendo estas presiones entre las estándar de 70 y 105 kg/cm² respectivamente. Se multiplica cada relación por 100 para obtener la relación en porcentaje.

A. PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE EN EL CAMPO.

Basicamente la prueba de campo es la misma que la de laboratorio solo que esta prueba se aplica unicamente al caso de suelos que se encuentren formando parte de las terracerías o del terreno natural, y cuya estructura no vaya a ser alterada por compactación, si se considera que al tiempo de hacer la prueba contienen ya la mayor humedad que son susceptibles de adquirir, de acuerdo con las condiciones locales de drenaje y precipitación pluvial.

B. NUMERO DE PRUEBAS DE V.R.S.

Se recomienda llevar a cabo tres ensayos V.R.S., en la base hidráulica, y tres como mínimo en la sub-rasante. Sin embargo, si los resultados de estos tres ensayos en cualquier grupo no presentaran un acuerdo razonable, debería efectuarse -- más ensayos en el mismo lugar. Un acuerdo razonable, con tres ensayos en los -- cuales el V.R.S., sea inferior a 10% permite una tolerancia de 3. Si el V.R.S. -- fuera de 10 a 30 una tolerancia de 5, y si el V.R.S. fuera de 30 a 60 una tolerancia de 10. Para los V.R.S., superiores a 60, las variaciones de las lecturas individuales no revisten una importancia particular. Por ejemplo, los resultados: 6,8 y 9 son razonables y pueden promediarse como 8. El V.R.S., en el lugar ayuda a -- evaluar y verificar la calidad de las capas del pavimento, y por lo tanto sirve para -- corregir procedimientos y poder proyectar.

2.11 PRUEBA MARSHALL.

Esta prueba está limitada al proyecto y control de la elaboración de mezclas -- asfálticas hechas en planta estacionaria, en caliente, utilizando cemento asfáltico. En esta prueba se determinarán los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente con un sistema determinado y probados a 60°C. El valor de la estabilidad se determinará midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen, aplicada en sentido normal a su eje. La deformación vertical producida en el espécimen por dicha carga será el valor del flujo.

Al mezclar los agregados y el cemento asfáltico para elaborar los especímenes, la temperatura de la mezcla debe ser de 175 y 120°C respectivamente, hasta obtener una distribución uniforme del asfalto la temperatura de la mezcla no deberá ser menor de 100°C al momento de elaborar los especímenes. En ningún caso la mezcla deberá ser recalentada.

Para compactar la mezcla se usa un pisón de superficie circular de 4.76 cm (1 7/8") de diámetro y 4.54 kg de peso y un molde (ambos deben calentarse en agua hirviendo), con el pisón se le dan 50 golpes a una altura de caída de 45.7 cm a cada cara del espécimen, esta compactación se aplica para mezclas asfálticas proyectadas para recibir presiones de contacto que no exceden de 7 kg/cm².

El número de golpes en cada cara del espécimen deberá aumentarse a 75 para presiones que varíen de 7 a 14 kg/cm²; posteriormente se removerá el collarín y la placa de base, y el molde con la muestra se sumergirá en agua fría por un tiempo mínimo de 2 minutos, luego se extrae el espécimen y se deja secar a temperatura ambiente durante un período de 12 ó 24 horas. Los especímenes compactados deberán tener una altura de 63,5 mm con una tolerancia $\pm 3,2$ mm, en caso contrario deberá repetirse el proceso.

La prueba de los especímenes comprende la determinación del Peso Volumétrico.

Los valores de estabilidad y de flujo, se obtienen ensayando los especímenes en el dispositivo Marshall como a continuación se indica.

Se sumergen los especímenes en un tanque de saturación con el agua a una

El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado.

Principalmente el valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. El valor de flujo representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen para producir su fractura. Este valor es una indicación de la tenacidad de la mezcla para alcanzar una condición plástica, y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

Siguiendo los pasos de la prueba referida para determinar el contenido de cemento se forma la granulometría de la mezcla que se proyecta elaborar, se forman 3 especímenes de 1200 grs. aproximadamente y a estos especímenes se les deberá agregar los siguientes porcentajes de cemento asfáltico expresado en relación al peso del material pétreo.

Contenido mínimo calculado - el 1.0 %.

Contenido mínimo calculado neto.

Contenido mínimo calculado + el 0.5 %.

Contenido mínimo calculado + el 1.0 %.

Contenido mínimo calculado + el 1.5 %.

Contenido mínimo calculado + el 2.0 %.

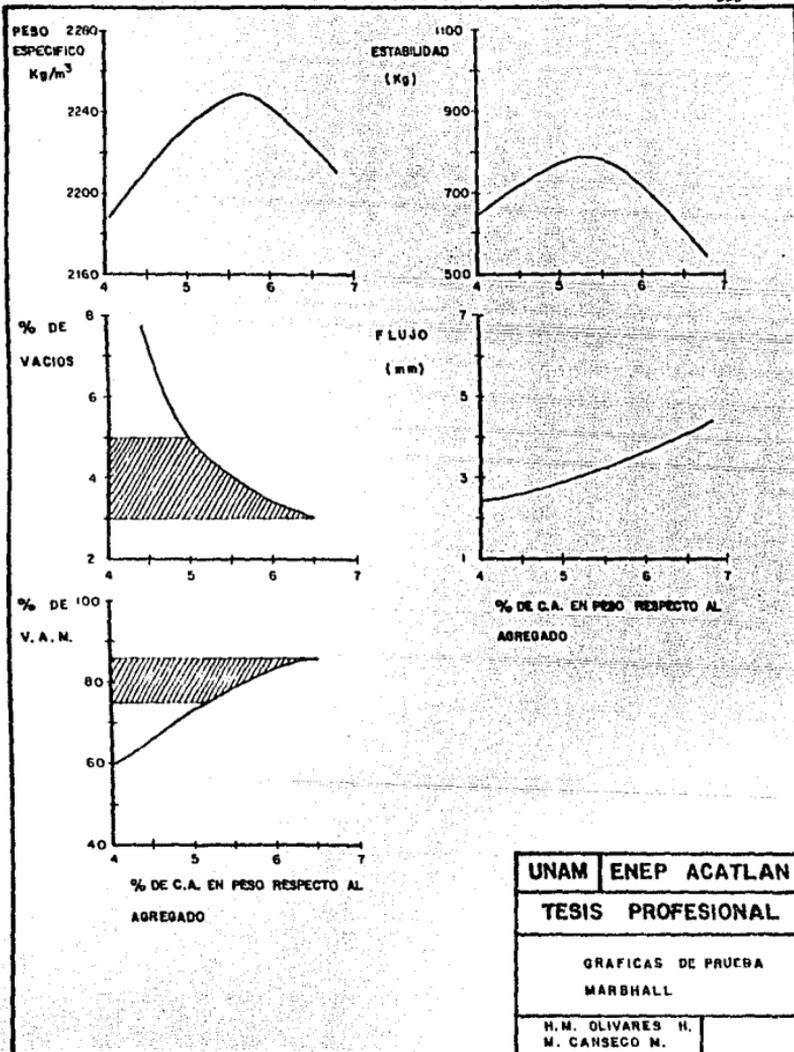
temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ durante un lapso de 20 a 30 minutos, luego se sacan los especímenes del tanque y se secan, posteriormente se coloca entre las dos secciones de la cabeza de prueba del aparato de Marshall y se aplica la carga a una velocidad constante de 50 mm por minuto hasta que la falla del espécimen ocurra.

La carga máxima de falla será el valor de la estabilidad Marshall, y la deformación que sufra el espécimen se registra como el valor de flujo; además se calculará la densidad teórica máxima de la mezcla, el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, la relación entre el volumen ocupado por el asfalto y el volumen total de huecos que existirá si el material pétreo no contuviera asfalto.

Una vez determinado el valor de la relación entre el volumen ocupado por el asfalto y el volumen total de huecos se dibujarán las gráficas siguientes:

Peso volumétrico	—	Contenido de asfalto
Estabilidad	—	Contenido de asfalto
flujo	—	Contenido de asfalto
% de vacíos	—	Contenido de asfalto
% de vacíos del agregado mineral	—	Contenido de asfalto

ver gráficas siguientes:



PRUEBA MARSHALL

CARACTERISTICAS	USO DE LA MEZCLA ASFALTICA ELABORADA CON CEMENTO -- ASFALTICO	PARA CARRETERAS		PARA AERO- PISTAS
		Tránsito diario en ambos sentidos		
		Hasta 2000 vehículos pesados (a)	Más de 2000 vehículos pesados (a)	
Número de golpes por cara		50	75	75
Estabilidad mínima, kilogramos Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo.		450	700	700
Flujo, en milímetros.	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo.	2-4.5	2-4	2-4
Por ciento de vacíos en la mezcla, respecto al volumen del espécimen. (b).	Para carpetas y mezclas de nivelación.	3-5	3-5	3-5
	Para bases asfálticas.	3-8	3-8	3-8
Por ciento de vacíos en el agregado mineral (VAM), respecto al volumen del espécimen de mezcla, de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo, mínimo. (b).	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo.	4.76 mm (Núm. 4) 6.35 mm (1/4" 9.51 mm (3/8" 12.7 mm (1/2" 19.0 mm (3/4" 25.4 mm (1"	18 17 16 15 14 13	18 17 16 15 14 13

(a) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.

(b) Los por cientos de vacíos de la mezcla y del material pétreo, respecto al volumen del espécimen, deberán determinarse de acuerdo con el procedimiento descrito en el Capítulo XII de la Parte Novena.

2.12 PRUEBA DE HVEEN PARA MEZCLAS ASFALTICAS.

Esta prueba consiste en probar especímenes cilíndricos a compresión axial, pero teniendo una presión lateral; así se obtiene el valor de "Estabilidad Hveen".

También incluye determinaciones de cohesión y expansión.

Características	Para Carreteras Tránsito diario en -- ambos sentidos En vehículos pesados (a)		Para Aeropistas Aviones con peso Total de toneladas	
	De 1 000 a 2 000	Más de 2 000	hasta 20	Más de 20
Valor del estabilómetro mínimo - - - - -	35	37	37	40
Expansión en mm. máximo	0.76	0.76	0.76	0.76
Por ciento de vacíos en - la mezcla, respecto al - volumen del espécimen, - mínimo - - - - -	4	4	4	4

(a) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.

ANEXO 3

PRUEBAS ESPECIFICAS A LOS
MATERIALES DE LA MEZCLA
ARENA - AZUFRE - ASFALTO.

ESPECIMENES ELABORADOS CON AZUFRE Y SOMETIDOS A PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE SIN CONFINAR.

CICLO No.	EDAD DE PRUEBA (HRS.)	TEMPERATURA, °C ELAB.	TEMPERATURA, °C PRUEBA	CARGA DE RUPTURA (KG)	RESISTENCIA (KG/CM ²)	PESO VOL. (kg/m ³).
1	24	144	28	6.550	81.8	1967
2	24	144	28	8.375	104.5	1939
3	24	144	28	7.925	99.0	1974

OBSERVACIONES:

- Ciclo No. 1: El azufre en estado natural se calentó para licuarlo.
- Ciclo No. 2: El azufre ya solidificado, y sobrante del ciclo No. 1, se calentó otra vez para licuarlo.
- Ciclo No. 3: El azufre ya solidificado, y sobrante del ciclo No. 2, se calentó una vez más para licuarlo.

Especímenes elaborados con azufre y sometidos a prueba de Compresión simple sin confinar.

CICLO No.	EDAD DE PRUEBA (Hrs).	TEMP. °C ELAB.	TEMP. °C PRUEBA	CARGA DE RUPTURA. KG.	RESISTENCIA (kg/cm ²)	PESO VOL. (kg/m ³).
1	24	141	28	8.800	109.9	1924
2	24	146	28	9.325	116.4	1928
3	24	144	28	6.725	84.0	1927

OBSERVACIONES:

Ciclo No. 1: El azufre en estado natural se calentó para licuarlo.

Ciclo No. 2: El azufre, ya solidificado y sobrante del Ciclo No. 1 se calentó otra vez para licuarlo.

Ciclo No. 3: El azufre, ya solidificado y sobrante del Ciclo No. 2 se calentó, una vez más para licuarlo.

INFORME DE PRUEBAS EN CEMENTOS ASFALTICOS

DEPOSITOS MUESTREADOS Almac. de Planta Estac. de la Cfa Guerra.
 CEMENTO PARA UTILIZARSE EN Estudio de mezcla Asf. con Azufre.

PRUEBAS	ENSAYES	ESPECIFICACIONES
PENETRACION EN GRADOS	No. 654	No. 6
A 0°C		
A 15°C		
A 25°C	93	80-100
A 35°C		
PUNTO DE INFLAMACION, °C	254	232 Mfn.
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO, °C	46	45-52
PRUEBA DE LA PELICULA DELGADA		
PENETRACION RETENIDA, %	73.1	50 Mfn.
PERDIDA POR CALENTAMIENTO, %	0.71	1.0 Mdx.

La muestra analizada presenta características de
 cemento asfáltico No. 6.

E S T U D I O SMATERIAL: Arena Bco. Samaría E-154 con 2.0% en peso de calhídraPRODUCTO ASFALTICO: Cemento Asfáltico No. 6, Ens. 654.TEMPERATURAS: PETREO: 170°C Cem. Asf. 120°C Azufre: _____°CCOMPACTACION: 110°CCARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA% DE CEMENTO ASFALTICO (Optimo) 5.8COMPRESION SIMPLE: (EDAD: 24 HRS)Resistencia, kgs/cm² 5.13PERDIDA DE ESTABILIDAD: (Edad: 120 HRS)% Pérdida de Estabilidad 19.2Resistencia, kgs/cm² 6.71PRUEBA DE EXTRUSION: (EDAD: 120 HRS)-Valor Extrusión a 25°C 1175Valor Extrusión a 60°C 294

E S T U D I O SMATERIAL: arena Bco. Samarita E-154PRODUCTO ASFALTICO: Cemento Asfáltico No. 6 E-654TEMPERATURAS; PETREO: 170°C Cem. Asfált. 120°C Azufre: °CCOMPACTACION: 110°CCARACTERISTICAS DE LA MEZCLA

% DE CEMENTO ASFALTICO (Optimo)	<u>5.8</u>
COMPRESION SIMPLE (EDAD: 24 HRS),	
Resistencia, Kgs/cm ²	<u>4.16</u>
PERDIDA DE ESTABILIDAD, (EDAD: 120 HRS),	
% Pérdida de Estabilidad	<u>5.15</u>
Resistencia, kgs/cm ²	<u>4.71</u>
PRUEBA DE EXTRUSION; (EDAD: 120 HRS),	
Valor extrusión a 25°C	<u>883</u>
Valor extrusión a 60°C	<u>251</u>

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

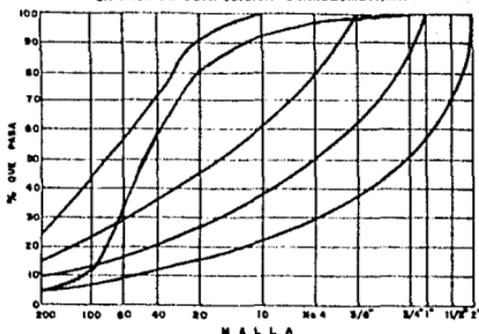
OBRA ESTUDIO ENSAYE No. 154
 LOCALIZACION _____

DATOS DEL MUESTREO

MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE BASE
 DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL Arena de río
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO Ninguno
 UBICACION DEL BANCO Bco. Sanrafa km 132+250 con 500m D/P Camino:
Coatzacoalcos - Villahermosa.

Y SEC O BUEL kg/m ³	1509		
Y SEC MAX kg/m ³	1842		
HUMEDAD OPTIMA %	11.7		

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% QUE PASA
1"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	100
3/8"	99
No. 4	97
10	92
20	81
40	59
80	34
100	12
200	5

V.R.B. (ESTANDAR) %	13.2
EXPANSION %	0.0
VALOR CEMENTANTE kg/cm ³	
EQUIVALENTE DE ARENA %	79.0

PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA 3/8"	
ABSORCION %	1.86
DENSIDAD	2.56

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TANIZADO POR LA MALLA No. 40			
LIMITE LIQUIDO %	22.0	CONTRACCION LINEAL %	0.0
LIMITE PLASTICO %	N.P.	CLASIFICACION BUCS	SP-SM
INDICE PLASTICO %	N.P.		

OBSERVACIONES

Para el ensaye de esta muestra se le elimino el contenido de grumos de arcilla, retenido en la malla No. 4 que fué de 3.071.

UNAM | ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES
 PARA SUB-BASE Y BASE

H. M. OLIVARES H.
 M. CANSECO M.

FIG.

GLOSARIO GENERAL

- AASHO -** American Association of State Highway Officials.
- ACIDO NEFTENICO -** Cualesquiera de los grupos de ácidos grasos de saturados superiores, obtenidos a partir de una fracción de gasoil de petróleo por extracción, con una solución de sosa cáustica y subsiguiente acidificación.
- ACREMAMIENTO -** Se dice que una emulsión está acremada cuando en lugar de tener una sedimentación, tiene una concentración de asfalto con solventes en la parte superior. El término se usa igual que en el caso de los recipientes de leche, que después de estar en reposo, se podía extraer un poco de crema de la parte superior. Esto viene como consecuencia de que el componente asfalto tiene menor densidad que el agua.
- ACIDO CLORHIDRICO O MURIATICO -** Cloruro de hidrógeno en solución acuosa.
- ADHERENCIA -** Es la propiedad que tienen los agregados pétreos y el asfalto para adherirse uno con el otro, sin temor a perderla en presencia de agua. La adhe-

rencia de un ligante con un material pétreo, nace de la afinidad intermolecular de los dos materiales.

ADHESION - Estado en el cual dos superficies se mantienen unidas por fuerzas físicas.

ADHERENCIA ACTIVA - Es la que se desarrolla de una forma inmediata entre el asfalto y el material pétreo; cuando entran en juego las fuerzas electrostáticas, entonces aparecen una mayor adhesividad, ésta es máxima cuando las fuerzas de liga química son del tipo covalente.

ADITIVO - Es todo aquel producto que se adiciona a un material asfáltico o emulsión, con el objeto de proporcionarle alguna otra propiedad que no tiene originalmente, cambiando de esta forma, su comportamiento durante su aplicación.

ADHESIVIDAD - En el medio caminero, se dice que es la propiedad de un ligante y un agregado de adherirse uno a otro, sin peligro de perder esta propiedad en presencia de humedad.

ADITIVO PARA ASFALTO - Producto empleado para mejorar la adherencia entre el asfalto y los agregados.

AFINIDAD - Es la tendencia a reaccionar o combinarse de un átomo o compuesto de distinta composición química. Esta afinidad se manifiesta por la tendencia del ligante asfáltico a fijarse sobre la superficie del material pétreo y realizar el mojado o cubrimiento.

AGREGADO - Material pétreo -árido-. Cualquier material mineral, duro e inerte empleado para mezclas asfálticas después de fraccionado. Estos incluyen arenas, gravas, material triturado y escoria.

Emulsiones de este tipo son aquéllas que contienen una gran cantidad de solventes (30 a 40 por ciento), es por esto que todo el material está en la superficie, al producirse un acremamiento.

ALCALI - Oxido metálico soluble que puede actuar como base.

ALCALINA - Que contiene álcali.

ALCALOIDE - Nombre de las bases solidificables orgánicas de propiedades alcalinas.

- ALQUITRAN** - Sustancia resinosa que se obtiene de los árboles de hulla y pino.
- ALUMINA -** Base principal de los feldspatos y las arcillas; óxido de aluminio.
- AMINAS -** Tipo de compuestos orgánicos de nitrógeno, que pueden considerarse como derivados del amoníaco, substituyendo uno o más átomos de hidrógeno por radicales orgánicos, tales como CH₃ o C₆H₅.
- AMINA GRASA -** Aminas alifáticas normales que se obtienen a partir de grasas y aceites. Pueden ser saturadas, primarias, secundarias o terciarias.
- ANIONICO -** Que debe sus características a la presencia o a la concentración, sea en la superficie o en la masa, de iones negativos o aniones.
- ARBA -** American Road Builders Association.
- ARENA -** Material granular de la desintegración, molienda o trituración de la roca, cuyas partículas tienen tamaños comprendidos entre 0.074 y 2 milímetros.
- ASFALTENO -** Componente del asfalto o betún del petróleo, productos del petróleo, malthas, cementos de asfalto

y betunes, nativos sólidos. Son solubles en disulfuro de carbono. Es la fracción resinosa y adherente del asfalto o bitumen que compone a éste en su cuarta o quinta parte y que se le puede separar de la parte aceitosa (maltenos) por floculación o por medio de un éster del petróleo.

ASFALTO -

Líquido viscoso o plástico construido esencialmente por hidrocarburos o sus derivados y casi totalmente soluble en sulfato de carbono. De color negro o castaño, es impermeable, adhesivo y no volátil; se reblandece progresivamente con el calor. Se obtiene por el refinamiento del petróleo o existe naturalmente, bien puro o asociado a materias minerales como componente del asfalto natural. Al referirse al cemento asfáltico o asfalto, se piensa que es puro, sin minerales.

BACHEO -

Indica la reparación de una falla en el pavimento.

BASE -

Capa o capas de agregados destinados a distribuir las cargas originadas por el peso de los vehículos sobre la sub-base o el lecho del camino y encima de las cuales, va la capa de carpeta o rodadura. Esta puede ser mejorada empleando las

emulsiones asfálticas.

BETUN - Asfalto, chapopote, etc. es lo mismo. Se dice que es una mezcla de hidrocarburos que se presentan en estado natural y como residuo de la destilación del petróleo.

BRIQUETA - Es un anglicismo con el cual se denomina el espécimen formado empleando un molde de acuerdo a la prueba que se vaya a realizar. También se emplea el término de probeta en algunos países.

CALAVEROO - Son pequeños hoyos que aparecen por el paso de los vehículos sobre la base impregnada.

CARPETA ASFALTICA - También llamada capa de desgaste es la última capa estructural de un pavimento.

CATIONICO - Que debe sus características a una concentración o a una absorción de iones positivos o cationes.

CEMENTO ASFALTICO - Es un asfalto refinado que reúne las especificaciones para pavimentación u otros usos industriales. Su penetración varía entre 40 y 300, usualmente se abrevia técnicamente C.A.

CHAROLA - Recipiente por lo regular de metal, que puede ser

redondo o rectangular, que sirve para mezclar, evaporar, etc.

COHESION -

Tipo de atracción entre dos sustancias o materiales.

CONCRETO ASFALTICO -

Mezcla asfáltica de alta calidad empleando materiales con calidad y propiedades óptimas, que cumplen con una granulometría especificada para este caso y como ligante cemento asfáltico.

CURADO -

De un mortero asfáltico o de una mezcla asfáltica con emulsión tienen para muchas personas el mismo sentido que fraguado. Se dice que es el estado físico de estas mezclas en el momento que están capaces de soportar cargas sin deformarse. Estos términos se han tomado de la técnica de los concretos hidráulicos u hormigones.

El curado o fraguado de una mezcla de material pétreo-emulsión es independiente del rompimiento de la emulsión, ésta puede haber ocurrido; pero sin embargo, no estar curada la mezcla, es decir: la capa del pavimento puede no haber adquirido su resistencia y compactación óptima. Este curado se va teniendo de acuerdo con la pérdida

- de líquidos y conforme vaya adquiriendo la compactidad de diseño óptima.
- DESFLUXADO -** Es un término que se emplea en la construcción, para referirse a la evaporación de solventes que contienen los rebajados durante el mezclado con los materiales pétreos.
- DISPERSION -** Este término se debe tomar literalmente cuando se aplique a trabajos con emulsión; sin embargo, cuando se refiere a la fabricación de éstos, la palabra dispersión nos indica que el asfalto está disperso en un medio acuoso especial. Esto se logra por medio de aparatos especiales, tales como molinos coloidales.
- DISCOS MAQUINAS DE -** Es un tractor con los aditamentos del tipo de discos para remover la tierra.
- EMULSIONANTE -** Emulsificante, emulgente, emulsivo, agente tenso-activo.
- EMULSIFICANTE ANIONICO -** Jabones diferentes, tenso-activos en soluciones. La solución acuosa emulsificante se estipula que debe tener una alcalinidad de pH 9 a 11. Se usan mucho los jabones de sodio y potasio preparados de los productos secundarios de resinas y de jabones.

bones ácidos orgánicos, de elevado peso molecular.

EMULSION -

Es una mezcla estable de dos líquidos inmiscibles, que se mantienen en suspensión gracias a pequeñas cantidades de sustancias llamadas emulsionantes. Dispersión fina de un líquido en otro no miscible entre sí, estabilizado por medio de un producto químico emulsionante.

EMULSION ANIONICA -

Es aquella cuyos glóbulos tienen carga negativa, por lo que en la prueba de carga eléctrica descargarán en el ánodo.

EMULSION ASFALTICA -

Dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, no miscibles entre sí: asfalto y agua.

EMULSIFICANTE

CATIONICO -

Existen varios aceites solventes y ceras; sin embargo, algunas sales de diaminas grasas, sales cuaternarias de amonio, son las que forman los grupos más eficaces para producir emulsiones cationicas y cuyo pH debe ser menor a 5.

EMULSION CATIONICA -

Es aquella cuyos glóbulos tienen carga positiva, por lo que en la prueba de carga eléctrica descargarán en el cátodo.

	gan en el cátodo.
EMULSION TIPO "HIGH FLOAT" -	Emulsión inversa aniónica empleada en E. U.
EMULSION TOTALMENTE ROTA -	Se puede decir que una emulsión está totalmente rota cuando no es posible reemulsificarla por ningún medio de agitación mecánica. Se identifica -- prácticamente cuando un poco de esta emulsión se adiciona a un recipiente con agua y no suelta ningún líquido café, que identifica a una emulsión - parcialmente rota.
HIDROFILO -	Que tiene una gran afinidad por unirse con el -- agua.
HIDROCARBONADA PARTE -	Ver hidrocarburo.
HIDROCARBURO _	Compuesto orgánico consistente exclusivamente en elementos de carbono e hidrógeno.
INDICE ACIDO -	Es el número de miligramos de hidróxido potásico, neutralizado por los ácidos libres presentes en un gramo de asfalto.
INTERFASE -	Es el área de contacto entre dos fases inmisci--

- bles o en dispersión.
- INTERCAMBIADOR DE CALOR -** Aditamento especial con una superficie de contacto muy grande, que cuando pasa algún líquido a través de él, esta superficie transmite el calor o el frío, según se desea.
- JABON CATIONICO -** Es una sal tenso-activa polar-apolar donde la parte tenso-activa es catiónica y la parte polar aniónica; el catión es un amonio cuaternario donde los hidrógenos son reemplazados por radicales orgánicos de cadena larga o ramificadas o forma elementos cíclicos de tal manera, que su catión adquiere un carácter lipófilo hipotensor y del agua adquiere las propiedades tenso-activas.
- JABON EMULSIFICANTE -** Emulsificante saponificado y diluido en agua.
- KEROSENE -** Hidrocarburo líquido que se obtiene de la destilación del petróleo, y se usa como combustible.
- LATEX -** Emulsión de caucho o hule natural o de materiales plásticos sintéticos.
- LORADO -** Este término se usa en la construcción de caminos para indicar que el asfalto ha emigrado a la superficie por exceso en la mezcla o en el tratamiento

- superficial.
- MALTENOS -** Fracción aceitosa estable del asfalto o bitumen que se separan de los asfaltenos por floculación o empleando un éster del petróleo. Es un compuesto del asfalto que consiste en una mezcla compleja de hidrocarburos careos.
- MICRON O MICRA -** Es una milésima de milímetro. Vale 1000 micrones o 10,000 anstrons, Unidad pequeña de longitud en el sistema métrico. Una millonésima de metro; 10^{-4} cm, 10^{-3} mm.
- MOJADO -** Este término se emplea cuando se refiere uno al agua; sin embargo, en el lenguaje caminero se refiere a la facilidad que presenta una superficie para permitir cubrirla con asfalto, presentando una superficie uniformemente distribuida.
- MOLINO COLOIDAL -** Aparato que ejerce un esfuerzo cortante a gran velocidad, provocando que el asfalto forme glóbulos al pasar por éste.
- MORTERO, LECHADA O "SLURRY SEAL" -** Es una mezcla emulsión asfáltica, agregados pétreos finos en polvo mineral y agua que unidos tienen la consistencia de lechada.

- MUESTRA INTEGRAL -** Se denomina de esta manera al conjunto de muestras realizadas de un material o emulsión, pero que se unen todas o todos para formar una sola. De ésta, se toma una muestra que es la que se analiza finalmente y se toma como la representativa de todo el resto.
- MOVIMIENTO BROWNIANO -** Movimiento desordenado de partículas dispersas en un líquido. En el caso de una emulsión, estas partículas se substituyen por los glóbulos de asfalto.
- MOTOCONFORMADORA -** Motoniveladora, niveladora. Grader en inglés, nivelouse en francés.
- NEUTRALIZAR UN TANQUE O ALMACEN -** Quiere decir eliminar la acción de los productos químicos en un tanque que contiene una cierta emulsión, para poder almacenar otra en ese mismo tanque.
- PAVIMENTO FLEXIBLE -** Es aquél construido empleando ligantes asfálticos dentro de la estructura de capas que forman un pavimento. En ningún caso interviene el concreto hidráulico (hormigón).
- PESO MOLECULAR -** La suma de los pesos atómicos de los átomos de una molécula.

- PRUEBA DE DESGASTE DE LOS ANGELES (ASHO T-96) -** Esta prueba nos permite valorar la dureza, friabilidad y resistencia al desgaste del material pétreo. El resultado de la prueba es la diferencia entre el peso original de la muestra y el peso de la misma muestra al final, expresada en por ciento del peso inicial.
- REBAJADOS ASFALTICOS DILUIDOS O CUT-BACKS -** Son productos asfálticos cuyo residuo es un cemento asfáltico y su viscosidad se acondiciona para hacerlo trabajable adicionándole solventes derivados del mismo petróleo. Estos solventes se evaporan después de empleado el rebajado. Cemento asfáltico fluidificado por la incorporación de cantidades variables de un solvente proveniente de la destilación del petróleo.
- REBAJADO ASFALTICO RAPIDO (FR) -** Es un producto cuyos solventes adicionados son bastante volátiles, del tipo aromático.
- REBAJADO ASFALTICO MEDIO (FM) -** Es un producto cuyos solventes adicionados no son muy volátiles y se les podría comparar con los que se emplean para las lámparas.
- REOLOGIA -** Estudio de las propiedades de flujo en todas sus formas de los ligantes asfálticos y sus componentes.

- RESIDUO DE UNA EMULSION -** Es un ligante asfáltico que resta después de haber evaporado el agua y solventes que formaban originalmente parte de éaquella.
- RIEGO MATA POLVO-** Es un riego de agua que se hace en pequeñas cantidades, para evitar la acción del polvo y la tensión superficial de la capa por tratar, con algún ligante asfáltico.
- RUPTURA -** Este término se aplica a una emulsión asfáltica y señala la separación irreversible parcial o total de sus fases que la constituyen (dispersa y continua).
- SAPONIFICACION -** Es el paso que se sigue con los productos químicos agregando sosas, potasa o ácido, de acuerdo con el tipo de emulsión que se vaya a fabricar, con el objeto de lograr un jabón emulsificante.
- Reacción o proceso químico en el cual se calienta un éster con un alcali acuoso tal como hidróxido sódico, formándose un alcohol y la sal sódica del ácido correspondiente al éster. El proceso se lleva a cabo con más frecuencia en grasas que son ésteres glicéricos de ácidos grasos. Las sales sódicas que se forman en estos casos, son jabones.

- SILICATO -** Sal de ácido silícico.
- SILICICO -** Relativo a la sílice.
- SILICE -** Compuesto resultante de la combinación del silicio con el oxígeno.
- TAMIZ -** Criba o coladera, con determinadas dimensiones - estándar.
- TANDEM -** Unidad de maquinaria que tiene dos ejes.
- TENSION SUPERFICIAL -** Es un caso particular de la tensión interfasial, en el que uno de los cuerpos no existe (superficie - en lugar de interfase); es la tensión por centímetro de un cuerpo en contacto con el vacío o con el aire.
- Este tipo de tensión dificulta el mojado de los llantes asfálticos sobre una superficie por tratar. Esta se vence regando un poco de agua antes de iniciar el tratamiento con asfalto, previo barrido, para evitar la mala adherencia por el polvo en la superficie.
- TENSION INTERFASIAL -** Es la tensión por unidad de longitud en el plano de separación de dos cuerpos (interfase), donde uno cuando menos, es líquido. Si hay una tensión

- interfasial, existe una curvatura en la interfase_ de separación. Esta tensión de superficie se debe a la diferencia de presiones capilares y la cavidad está dirigida del lado donde hay una mayor presión capilar.
- TIXOTROPIA -** Propiedad de ciertos geles coloidales de licuar - cuando se agitan y recuperando en reposo, la forma de jales.
- TRABAJABILIDAD -** Es la facilidad de manejo o manuableidad que tienen los productos asfálticos, mezclas, etc.
- VISCOSIDAD -** Puede definirse como trabajabilidad que tiene un producto a una temperatura establecida.
- VOMITARSE -** Este término es empleado como un lenguaje usual entre los laboratoristas, para expresar que durante el proceso de destilación se espumó la emulsión y no fue posible controlar que pasase al tubo enfriador, perdiendo de esta forma, la prueba que se efectúa.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

1. Inglés O. G. Metcalf " Soil Stabilization. Principles and --- Practice." Butterworths. Sidney 1972
2. T. G. Williamson y E. J. Yoder " An Investigation of Compaction Variability for Selected Highway Projets in Indiana USA" Highway Research Record. Washinton, D.C. 1968
3. Fernández Loaiza, C. " Mejoramiento y Estabilización de Suelos." 1a. Edición. México, 1982., Editorial LIMUSA.
4. " Muestreo y Pruebas de Materiales." Parte Novena. Libro primero, 1a. Edición. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México, 1981.
5. " Normas de Materiales." Parte Octava, 1a. Edición. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México, 1981.
6. Rico R. A., Castillo E. " Ingeniería de Suelos en las Vías - Terrestres." Vol. 2 , 4a. Reimpresión. México, 1982. Editorial LIMUSA.
7. Escario J. L., Escario V. " Caminos " Tomo 2 , Madrid, Tipografía Artística Alameda.
8. Acevedo L. Gustavo " Costos y Mantenimiento de Maquinaria." IMCYC, p.p. 21-26.

9. Rivera E. Gustavo " Emulsiones Asfálticas."
México, 1977. Editorial, Representaciones y Servicios de ---
Ingeniería.
10. Avitia R. " Suelo Cemento."
México, 1971., INCYC.
11. Varios Autores " Mejoramiento Masivo de Suelos."
México, 1982., Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. SMMS.
12. Clarkson H. Oglesby " Ingeniería de Carreteras " Estabiliza-
ción, 2a. Edición,
México, 1975., Editorial C.E.C.S.A.
13. Olivera Bustamante, A. " Vías Terrestres "
México, 1984.
14. E. J. Yoder y M. W. Witzak " Principles of Pavement Design."
2a. Edition,
E.U.A., 1975., Ed. John Wiley.
15. Instituto de Ingeniería de U.N.A.M en Vías Terrestres,
" Mezcla Arena-Azufre-Asfalto. Diseño ".