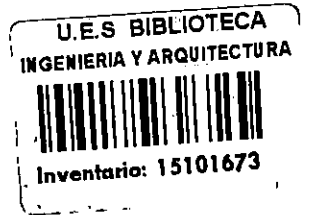


TUES
1501
A284e
1997
E.2



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ESTUDIO DE LOS METODOS DE REHABILITACION
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL AREA
METROPOLITANA DE SAN SALVADOR

PRESENTADO POR:

ROGELIO ANTONIO AGUIRRE JUAREZ

JORGE MARIO BAIREZ MARROQUIN

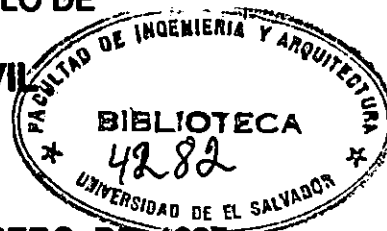
SANTIAGO IBAÑEZ SALAZAR

15101673

15101673

PARA OPTAR AL TITULO DE

INGENIERO CIVIL



CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 1997.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

DR. BENJAMIN LOPEZ GUILLEN

SECRETARIO GENERAL

LIC. ENNIO ARTURO LUNA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO

ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO

ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR

ING. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de
INGENIERO CIVIL

Título:

**ESTUDIO DE LOS METODOS DE REHABILITACION
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL AREA
METROPOLITANA DE SAN SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**ROGELIO ANTONIO AGUIRRE JUAREZ
JORGE MARIO BAIREZ MARROQUIN
SANTIAGO IBAÑEZ SALAZAR**

Trabajo de graduación aprobado por:

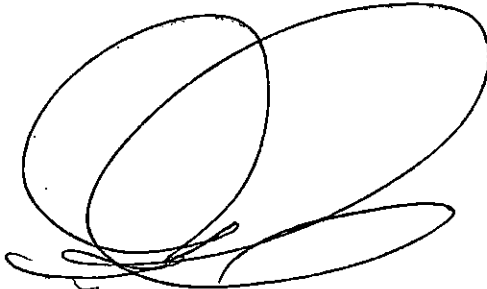
Coordinador:
ING. ROLANDO AMAYA DE LEON

Asesor:
ING. JOSE MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA

San Salvador, Febrero de 1997.

Trabajo de Graduación aprobado por:

COORDINADOR:

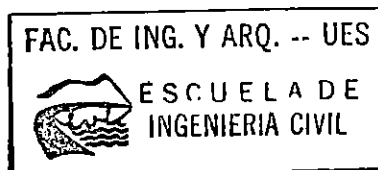


ING. ROLANDO AMAYA DE LEON

ASESOR :



ING. JOSE MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA



DEDICATORIA

- A Dios Todopoderoso: Por haberme dado la Sabiduría y el Entendimiento para lograr este triunfo.
- A mi esposa e hijas: Por haberme dado el apoyo y ánimos para alcanzar este logro.
- A mi suegra: Por brindarme su apoyo incondicional.
- A mi padre: Por Haberme brindado su ayuda hasta donde estuvo su alcance.
- A mi madre: (Que Dios la Tenga en Gloria) Por haberme ayudado a salir adelante durante su existencia.
- A mis hermanos y amigos: Gracias por haberme tendido su mano.

Rogelio

DEDICATORIA

- Gracias a nuestro Padre Celestial y Nuestro Señor Jesucristo por haberme ayudado a coronar mis estudios, y alcanzado esta meta.

- A mis padres con respeto y profundo agradecimiento por darme el apoyo necesario.

- A mi Esposa e Hijos con amor por su ayuda Idónea.

- A mi Hermano con cariño.

- Y a todas las personas que hicieron posible llevar a cabo este Trabajo de Graduación, a las Instituciones que nos brindaron todo lo necesario y las Empresas donde he laborado.

Jorge Mario

DEDICATORIA

Doy Gracias a Dios por haberme permitido lograr una de mis metas.

A toda mi familia, por que siempre obtuve de ellos su apoyo incondicional.

A todos mis amigos, que en alguna forma contribuyeron con mi triunfo.

Santiago

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la ayuda brindada tanto por el Ing. Rolando Amaya de León como por el Ing. José Miguel Landaverde Quijada, ya que siempre estuvieron dispuestos en todo momento a brindarnos su apoyo y orientación profesional a lo largo de todo este trabajo.

Expresamos nuestro agradecimiento a todo el personal de el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador por su colaboración brindada.

También agradecemos a todo el personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura por contribuir de alguna manera con nosotros en todo el desarrollo de nuestra carrera.

INDICE GENERAL

| <u>CONTENIDO</u> | <u>PAG.</u> |
|---|-------------|
| INTRODUCCION GENERAL | i |
| CAPITULO I | |
| "ANTECEDENTES" | |
| 1. ANTECEDENTES | 2 |
| 2. OBJETIVOS | 3 |
| 3. JUSTIFICACION | 4 |
| 4. ALCANCES Y LIMITACIONES | 6 |
| 5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 7 |
| 6. EVOLUCION HISTORICA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE | 8 |
| 7. MARCO HISTORICO DE LA RED VIAL EN EL SALVADOR | 12 |
| CAPITULO II | |
| "COMPONENTE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE" | |
| INTRODUCCION | 18 |
| 1. CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO SOPORTANTE Y SUS METODOS DE MEDICION | 19 |
| 1.1 Clasificación de Suelos por Tamaño de | |

| | |
|--|-----|
| Partículas | 19 |
| 1.2 Clasificación de Suelos según AASHTO | 20 |
| 1.3 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos | 29 |
| 1.4 Evaluación de la Subrasante | 33 |
| 2. COMPONENTE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE | 59 |
| 2.1 Subrasante | 59 |
| 2.2 Terreno de Cimentación | 62 |
| 2.3 Terracería | 62 |
| 2.4 Pavimento | 63 |
| 3. DEFINICION Y CLASIFICACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES | 70 |
| 3.1 Ventajas y Desventajas del Pavimento Flexible | 75 |
| 3.2 Factores en la Construcción | 76 |
| 3.3 Origen y Tipos de Fallas | 76 |
| 3.4 Mantenimiento del Pavimento Flexible | 88 |
| 4. ANALISIS DEL TRANSITO | 122 |
| 4.1 Definiciones | 122 |
| 4.2 Caminos Según su Función | 124 |
| 4.3 Determinación de la Carga Máxima por Eje | 128 |
| 4.4 Determinación de los Espesores de Diseño del Pavimento | 134 |
| 5. ESTABILIZACION DE SUELOS | 137 |
| 5.1 Estabilización Granular | 139 |
| 5.2 Estabilización con Material Bituminoso | 145 |
| 5.3 Estabilización con Suelo-Cemento | 150 |
| 5.4 Estabilización con Cal | 159 |
| 5.5 Estabilización con Sal | 161 |

CAPITULO III

"METODOS DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"

| | |
|---|-----|
| INTRODUCCION | 163 |
| 1. REHABILITACION DE PAVIMENTOS | 165 |
| 2. CONFORMACION DE PAVIMENTOS (FRESADO) | 165 |
| 2.1 Teoría del Fresado | 167 |
| 2.2 Ventajas | 168 |
| 2.3 Aplicaciones | 170 |
| 3. RECICLADO | 170 |
| 3.1 Reciclaje de Mezcla en Caliente | 172 |
| 3.2 Reciclaje de Pavimento Flexible en Frío | 179 |
| 4. RECARPETEO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS | 197 |
| 5. NOVACHIP | 200 |
| 5.1 Usos Principales | 201 |
| 5.2 Ventajas y Limitaciones | 202 |
| 5.3 Desempeño Bajo Tránsito | 203 |
| 5.4 Materiales | 208 |
| 5.5 Equipo | 210 |
| 5.6 Conclusiones | 212 |
| 6. LECHADAS ASFALTICAS | 214 |
| 6.1 Definición y Descripción | 214 |
| 6.2 Tipos de Lechada | 217 |
| 6.3 Campos de Aplicación | 218 |
| 6.4 Materiales | 222 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 6.5 Defectos y Soluciones | 233 |
| 6.6 Ventajas | 235 |
| 6.7 Lechada Asfáltica Slurry Seal | 236 |
| 6.8 Micro-Surfacing | 249 |

CAPITULO IV

"TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO"

| | |
|--|-----|
| INTRODUCCION | 255 |
| 1. TRABAJO DE CAMPO | 256 |
| 2. TRABAJO DE LABORATORIO Y GABINETE | 259 |
| 2.1 Análisis de las Muestras de la Subrasante | 259 |
| 2.2 Ensayos para Determinar las Propiedades del Cemento Asfáltico | 260 |
| 2.3 Resumen de los Resultados Realizados a la Carpeta Asfáltica | 269 |
| 3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS Y ALTERNATIVAS DE REHABILITACION | 270 |
| 3.1 Análisis del CBR de la Subrasante | 270 |
| 3.2 Análisis de la Carpeta Asfáltica | 270 |

CAPITULO V

"CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"

| | |
|-----------------|-----|
| CONCLUSIONES | 274 |
| RECOMENDACIONES | 277 |
| BIBLIOGRAFIA | 279 |
| ANEXOS | 282 |

INTRODUCCION GENERAL

Debido AL MAL ESTADO QUE PRESENTAN LAS CALLES, EN DIFERENTES^{de}

Cuando las diferentes actividades de mantenimiento no COLONIAS, EN LA CIUDAD DE STA. TECLA, ~~LO~~ ES CONVENIENTE, son suficientes para conservar en buen estado una carretera, REALIZAR UN ESTUDIO, PARA ASI REALIZAR, PARA EVALUAR LOS DAÑOS, es por que ésta ya necesita una rehabilitación. O LAS FALLAS, QUE SEAN DE MAYOR IMPORTANCIA, Y ASI ASIGNAR UNA REALIZAR UNA EVALUACION DEL ESTADO DEL PAVIMENTO.

Pero rehabilitar una carretera no significa reparar la carpeta asfáltica solamente, sino volver la carretera a las condiciones adecuadas de serviciabilidad para el usuario.

En este trabajo "Estudio de los Métodos de Rehabilitación de Pavimentos flexibles en el Area Metropolitana de San Salvador" se abordan temas de mucha importancia que son indispensables conocer para llevar a cabo una Rehabilitación efectiva de un pavimento flexible.

Este estudio se divide en cinco capítulos, cada uno de los cuales aborda temas muy diferentes, pero que todos en conjunto son indispensables de conocer para llevar a cabo una rehabilitación efectiva.

Estudios de Mecánica de los Suelos, análisis de las fallas existentes, así como de todos los elementos que componen un pavimento flexible son temas que se abordan a lo largo de este estudio.

Los diferentes métodos de reciclado, fresado, tratamientos superficiales etc, que son los que nos sirven para rehabilitar un pavimento flexible no pueden ser ignorados en una rehabilitación por lo que su incorporación en este documento fue indispensable.

Una verdadera rehabilitación no puede llevarse a cabo si no se analiza con pruebas de laboratorio, los elementos que constituyen el pavimento flexible, por lo que se efectuaron diferentes pruebas en un tramo específico de carretera en el área urbana de San Salvador, específicamente el tramo de El Boulevard del Ejército comprendido entre el Paso a dos niveles en la entrada a Soyapango y la entrada principal de la colonia Santa Lucía.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1. ANTECEDENTES.

La red vial de El Salvador se encuentra seriamente afectada por un mantenimiento deficiente, incremento vehicular, malos drenajes, la edad, etc.

En general la red vial de San Salvador ya cumplió con su vida útil, y en algunas vías, ésta fue reducida por haber sido sometidas a un flujo vehicular mayor que el de diseño, por lo que es necesario una rehabilitación inmediata. POR LO QUE ES NECESARIO REALIZAR UN INVENTARIO DE TODOS LOS DAÑOS O FALLAS QUE SE HAN VENIDO OBSERVADO, DURANTE TODO ESTE TIEMPO, DESDE QUE SE CONSTRUYO LA ESTRUCTURA,

El Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Urbanismo y Arquitectura, en su afán de corregir las diferentes fallas que presenta la red vial en el Area Metropolitana de San Salvador, lleva a cabo un mantenimiento correctivo, pero éste lo realizan solamente en la carpeta asfáltica, quitando el daño superficialmente, pero en la mayoría de los casos la falla proviene desde la base, subbase o subrasante por lo que lo más recomendable es hacer un estudio de la zona donde se encuentra la falla, y así poder proponer en base a los resultados obtenidos, el mejor método para su reparación.

En nuestro país, los métodos de rehabilitación que se

utilizan son: El bacheo superficial, el recarpeteo (o colocación de concreto asfáltico sobre el existente) y en algunas zonas muy limitadas el reciclado, éstos no solucionan el problema existente, por lo que se hace necesario conocer nueva tecnología para contribuir al mejoramiento de la red vial.

2. OBJETIVOS.

GENERALES.

- Diagnosticar y evaluar técnicamente las fallas existentes en el pavimento flexible del A.M.S.S.
- Dar a conocer los métodos de rehabilitación de los pavimentos flexibles.

ESPECIFICOS.

- Dar una descripción bibliográfica sobre la estructura de los pavimentos y de los diferentes métodos de rehabilitación.
- Describir los tipos de fallas que presentan los pavimentos flexibles.
- Determinar el tipo de falla más persistente que

presenta la red vial y efectuar una investigación de las causas que le dieron origen.

- Analizar los diferentes métodos de rehabilitación de los pavimentos flexibles.
- Señalar las ventajas y desventajas de cada método de rehabilitación.

3. JUSTIFICACION.

Como todo país en desarrollo, en El Salvador el mantenimiento en la red vial es rutinario por lo que la mayoría de la infraestructura vial esta deteriorada, haciéndose necesario una conservación de toda la vía pavimentada, mediante la rehabilitación de pavimentos, con los diferentes métodos y de acuerdo a la falla que presenta.

En todo país la comunicación terrestre es de suma importancia para mejorar la economía, el comercio, el turismo y el transporte en general, por lo que es necesario tener en buen estado físico la red vial.

De acuerdo al crecimiento vehicular que se ha generado

en los últimos años en nuestro país, se ha sobrecargado la infraestructura vial por lo que es necesario dar una solución inmediata a la renovación y rehabilitación de la superficie de rodadura.

Por ser éste un país de pocos recursos, la rehabilitación de las carreteras es una alternativa viable para su conservación.

Con este estudio se pretende dar los fundamentos básicos y necesarios para que el país se beneficie al implementar el uso de los métodos de rehabilitación.

Con los resultados que se obtengan, se estará aportando valiosa información para enriquecer el conocimiento de los diferentes métodos de rehabilitación, así como los fundamentos básicos para saber elegir el método apropiado para cada caso específico.

4. ALCANCES Y LIMITACIONES.

ALCANCES.

→ UNA NOTA
EVALUAR É IDENTIFICAR LOS TIPOS DE FALLAS QUE PRESENTAN

Se realizará una investigación de los diferentes métodos de rehabilitación de pavimentos flexibles que puedan ser utilizados en la red vial del A.M.S.S. Y A PARTIR DE ESTO RECOMENDAR, LO MAS ADECUADO, PARA LAS ESTRUCTURA, SEGUIR LA UTILIZANDO.

Llevar a cabo una investigación de las fallas que ocurren con mayor frecuencia, así como el proceso a utilizar para su reparación y obtener diferentes alternativas de solución a los problemas actuales que se presentan.

LIMITACIONES.

- Existe poca información sobre los métodos de rehabilitación, y su aplicación de acuerdo a nuestras necesidades.
- No es posible realizar la toma de muestras en toda la red vial por lo que se escogerá un tramo representativo.
- La Universidad de El Salvador, dispone de equipo de Laboratorio en el área de suelos y no cuenta con equipo para efectuar pruebas de pavimentos asfálticos, ya que éste se encuentra incompleto y en mal estado.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El problema fundamental es el estado actual en que se encuentra la red vial en el Area Metropolitana de San Salvador (AMSS), y el estudio a realizar consistirá en efectuar un diagnóstico y una evaluación técnica.

Con lo anterior se pretende plantear posibles alternativas de utilización de los métodos de rehabilitación de los pavimentos flexibles.

La evaluación técnica, así como el diagnóstico se llevará a cabo en la forma siguiente:

Investigación Bibliográfica.

Tal investigación pretende recopilar información sobre la evolución del pavimento y la historia de las carreteras en El Salvador, así como los métodos utilizados para la rehabilitación de los pavimentos flexibles, que nos servirán para un diagnóstico posterior y un análisis de las diferentes fallas que presenta actualmente la red vial, además dar a conocer en un solo texto los diferentes métodos de rehabilitación.

Estudio de Campo y de Laboratorio.

Este incluirá una recopilación de información de los diferentes tipos de fallas que presentan en la actualidad las principales vías de circulación vehicular (grietas, ondulaciones, desgaste, hundimiento, etc.) esto irá acompañado de fotografías, así como un comentario general sobre las posibles causas que dieron origen a la falla.

6. EVOLUCION HISTORICA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.

A medida que el hombre fue mejorando su nivel de vida, tuvo la necesidad de desplazarse de un lugar a otro y para ello ha buscado la forma más conveniente de hacerlo, por lo que se vio en la necesidad de contar con una vía rápida, cómoda y segura.

Los Pavimentos Surgieron al mejorar los caminos por donde originalmente circulaban los hombres y los animales y han evolucionado desde el mejoramiento del suelo natural, por compactación y consolidación hasta el estado actual de refinamiento técnico.

Tradicionalmente se piensa en Los Romanos como los

primeros constructores de vías; pero mucho antes que el hombre mismo, los animales establecieron circuitos entre los sitios de descanso, zonas de alimentación, los abrevaderos, etc.

Este tránsito por los caminos sirvió para compactar el terreno y esto se constituyó en el primer paso en la evolución de los pavimentos. Estos fueron mejorados con capas diferenciadas que son una obra del hombre y surgieron cuando era necesario estabilizar zonas de terreno blando para poder aumentar la capacidad de soporte de éste.

Con el transcurso del tiempo y la aparición de la rueda, tuvo que crearse una capa de rodadura más resistente, por lo que se formaban hileras de piedra en forma de rieles, permitiendo así la circulación de vehículos de tracción animal en cualquier época del año, aún en condiciones adversas.

Se considera que las técnicas de pavimentación tuvieron gran desarrollo durante el Imperio Romano, cuando se construyeron pavimentos consistentes en la colocación de grandes lajas de piedra sobre bases de piedra triturada y mortero de cemento natural; esta técnica se consideraba adecuada para mantener en buen estado la red vial, pero por

el alto costo que ésta representaba cayó en desuso durante la edad media y fuè sustituida por los pavimentos de adoquines de piedra tallada.

Pero como el auge automotriz demandaba cantidades considerables de adoquines para pavimentar; al no dar abasto, se vio la necesidad de buscar nuevas técnicas para sustituirlas con lo que se llegó a dar forma al pavimento actual, el cual no se logra sin la utilización de materiales ligantes como el asfalto o cemento portland.

El empleo masivo de estos productos ligantes tuvo su origen en Europa en el siglo XIX, pero su primera aplicación como material de construcción se remonta al año 1500 cuando los Incas utilizaron asfalto para estabilizar sus caminos con un sistema similar al Macadam de penetración que se conoce actualmente.

En Francia el Ingeniero Trésaguet, utilizó en los caminos una base de piedra triturada cubierta con piedra más pequeña.

En Inglaterra a la par de la era Napoleónica, dos ingenieros, Thomas Telford y Jhon L. Mac Adam, desarrollaron parecidos tipos de construcción de caminos.

Telford utilizaba los mismos principios de Trésaguet. Jhon L. Mac Adam (1756 - 1836) formuló las primeras consideraciones sobre la importancia del drenaje y la combinación de agregados de diferente tamaño para mejorar la capacidad de transmisión de las cargas en las bases granulares.

Mac Adam utilizaba como base para los caminos, una piedra más pequeña que la utilizada por Telford, constituyéndose luego, en el principio fundamental de los pavimentos y bases de Macadam.

En París (1835) y en Londres (1836) se empleó el material proveniente de los depósitos de asfalto natural de Seyssel (Francia) en la construcción de calles de uso peatonal. La primera aplicación de asfalto en la construcción de vías para tránsito de vehículos se remonta a 1852, con la ejecución de la carretera que une a París con Perpignan, siendo dos años después cuando se utilizó el primer sistema para la compactación del concreto asfáltico, convirtiéndose así en el prototipo del pavimento moderno.

En el continente americano, la primera vez que se utilizó asfalto en pavimentación fue en Newark (Estados Unidos) en 1870. Al año siguiente se construyó en la ciudad

de Washington un pavimento compuesto de roca triturada, arena, alquitrán y aceite de creosota.

El desarrollo de los pavimentos de concreto de cemento portland comenzó en 1865 en Inverness (Escocia), 41 años después de que Joseph Aspdin obtuviera la patente para producir cemento portland. Las experiencias que le siguieron fueron las pavimentaciones hechas en Edimburgo (Escocia) en 1866 y 1872.

En América, la primera experiencia se remonta a 1891 cuando, en Bellfountaine (Ohio, Estados Unidos), se construyó una franja de 80 m de largo y 2.4 m de ancho que aún hoy subsiste. El primer pavimento con el ancho de una vía se construyó en el mismo lugar, dos años después, siendo la primera muestra de un pavimento contemporáneo de concreto de cemento Portland en el continente americano.

7. MARCO HISTORICO DE LA RED VIAL EN EL SALVADOR.

A inicios del siglo XX, en El Salvador, la construcción y mantenimiento de la red vial estaba a cargo del Ministerio de Fomento dirigido por la Dirección General de Obras Públicas, a través de la Sección de Caminos, puentes y

calzadas.

El saneamiento y pavimentación de la red vial de San Salvador dio inicio en 1912, contratando para ello a la firma Inglesa S. Pearson & Sons, pero fue interrumpido por la guerra y la falta de fondos.

A finales de agosto de 1916, deja de existir, la Sección de Caminos, puentes y calzadas, sustituyéndose por la Dirección General de Carreteras, en este año se construye la que se considera la primera carretera en nuestro país, y es la que de San Salvador conduce al puerto de la Libertad, debido a las transacciones comerciales que se daban en esa época, posteriormente a ésta se construye la carretera panamericana.

En 1921 se contrata a R. W. Hebard & Co. Inc. y René Keilhauer por un costo de más de 4.5 millones de dólares con lo cual se saneó y pavimentó 8.1 Km y 370 ha. de superficie, esta porción reparada comenzaba en la antigua penitenciería terminando en la 18a. Avenida, de Oriente a Poniente, y de Norte a Sur del Campo Marte hasta la 12a. calle Poniente, o sea el Cementerio de San Salvador, cubriendo una longitud pavimentada de 44 Kms, paralelamente se promulgan decretos legislativos tendientes a preservar los derechos de vía de

la ciudad y que se encuentran vigentes actualmente como son los de la Avenida España, Calle Rubén Darío, 11a. Avenida Norte-Sur, 1a. Calle Oriente - Poniente, 25 Avenida Norte y otras.

El saneamiento y pavimentación de San Salvador entre los años 1921 y 1928 es el más importante avance en materia urbanística que da nuestra ciudad cambiando radicalmente la fisonomía y ejerció gran influencia en el modo de vivir y pensar de los habitantes.

Por el año de 1930 se construye la Carretera Troncal del Norte que parte de San Salvador y conduce hacia la frontera con Honduras y luego nueve años después (1939) se construye la Ruta Militar que une San Miguel y Santa Rosa de Lima pasando por el Divisadero y uniendo la carretera Panamericana. Entre la Década de los cuarenta e inicios de los cincuenta se construye la Carretera El Litoral.

El primer esfuerzo f6rmal para elaborar un "Plan Regulador para San Salvador" dio inicio en 1954, bajo la coordinaci6n de la Direcci6n General de Urbanismo y Arquitectura y la Asesoría de dos arquitectos urbanistas de las Naciones Unidas. Dicho plan recomendaba: Alineamiento de calles, Zonificaci6n, Anteproyecto de Plan Vial, propuesta

para un centro cívico y otros proyectos de diseño urbano relativos a conjuntos de instituciones.

Como resultado de lo anterior en 1956, se preparó un plan vial, detallando alineamientos para calles nuevas y existentes de San Salvador y alrededores, que sirvió de guía al Ministerio de Obras Públicas para su ejecución y en cierta forma para ordenar el crecimiento de la ciudad.

En este plan vial se diseñaron calles aun existentes como son: 3a. - 5a. Avenida Norte, 3a. - 7a. Calle Poniente, Boulevard de los Héroes, Autopista Sur, Autopista Norte y Boulevard Tutunichapa.

En el año de 1961 se comenzó un nuevo esfuerzo planificador, que se había mantenido estático, intento que no tuvo los éxitos que se deseaban, luego en 1964 se elaboró el "Estudio Preliminar del Plan Vial de Zonificación para el Area Metropolitana de San Salvador".

En 1963, se crea la Red Centroamericana Conocida como "Programa Regional de Carreteras Centroamericanas", pero fue hasta 1969 que da inicio la construcción de la Red de Carreteras hacia las diferentes fronteras con los países vecinos del Area Centroamericana, como resultado de este

programa se tiene la carretera que llega a Anguiatú pasando por Metapán.

Por otra parte, tanto la Red Vial de San Salvador como las diferentes carreteras de Nuestro País tenían como período de diseño, 20 años, y casi todas ellas tenían una superficie de tierra o empedrada, luego se incorpora el Macadam, que es el que aún conservan muchas de ellas.

Actualmente el Macadam ha sido reemplazado por el concreto asfáltico y mezclas en frío ya que estas resultan más económicas y su proceso de construcción es más rápido.

Es importante hacer mención que en el área urbana, el mantenimiento, construcción y reconstrucción de la red Vial es ejecutada por la Dirección General de Urbanismo y Arquitectura y en lo Rural e Interdepartamental por la Dirección General de Caminos a través del vice Ministerio de Obras Públicas, contribuyendo con éstas instituciones al ordenamiento vehicular, el Vice Ministerio de Transporte; todas dependencias del Ministerio de Obras Públicas.

CAPITULO II
COMPONENTE
ESTRUCTURAL
DEL PAVIMENTO
FLEXIBLE

INTRODUCCION

En este capítulo abordaremos tópicos de mucha importancia de mecánica de suelos que es indispensable conocer cuando se está en el área ya sea de construcción o rehabilitación de carreteras.

Se presenta la forma como está estructurado un pavimento flexible, analizando elementos como son la subrasante, base granular, carpeta asfáltica, etc.

El tránsito que circula por una determinada zona es muy importante tomarlo en cuenta por lo que su estudio e incorporación en este capítulo fue indispensable.

También se presenta lo que son los diferentes tipos de fallas existentes en los pavimentos flexibles, así como las posibles causas de su origen y el proceso a seguir para su reparación.

Un elemento que a veces es de mucha importancia para reducir los costos en un proyecto, es la estabilización de un determinado tipo de suelo por diferentes medios, por lo cual consideramos importante incluirlo en este capítulo.

El análisis de todos estos temas es muy extenso, que incluir todo en un solo texto es imposible por lo que se abordan los principales elementos de cada uno de ellos.

1. CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO SOPORTANTE Y SUS METODOS DE MEDICION

Definición de suelo:

Suelo para un Ingeniero Civil, es todo material no consolidado que está sobre la corteza terrestre.

El suelo es un conjunto de partículas minerales débilmente unidas. La roca es un conjunto de partículas minerales fuertemente unidas. Pero, es la naturaleza que, usando medios mecánicos y químicos, rompe la unión de las partículas minerales de las rocas y produce los suelos.

En la Ingeniería Civil es de mucha importancia la clasificación de los suelos dividiendo primero los suelos de acuerdo a su granulometría o tamaño de sus partículas en varias categorías.

1.1 CLASIFICACION DE SUELOS POR TAMAÑO DE PARTICULAS (SAHOP)

| <u>Suelo</u> | <u>Escala Dimensional</u> |
|----------------|----------------------------------|
| Boleo | Más de 80 mm (3") |
| Grava | De 80 mm a 5 mm (malla # 4) |
| Arena | De 5 mm a 0.074 mm (malla # 200) |
| Limo y Arcilla | Menos de 0.074 mm |

1.2 CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN AASHTO

Esta importante asociación norteamericana dedicada a las carreteras y transportes, revisó y adoptó la antigua clasificación de suelos de la Public Roads Administration (USA), desde entonces es muy utilizada y adoptada para carreteras en todo el mundo. Ver tabla I y II.

El análisis de suelos a llevarse a cabo pueden ser: químicos, físicos o mecánicos; los exámenes químicos nos permiten conocer la composición del suelo, los físicos su contenido de humedad, granulometría, permeabilidad y capilaridad y los ensayos mecánicos el comportamiento de un suelo bajo la acción de fuerzas externas.

Los ensayos que se llevan a cabo para analizar un suelo se encuentran en la mayoría de textos de mecánica de suelos con su respectivo proceso y equipo a utilizar.

Con dichos ensayos se puede determinar en el laboratorio las condiciones reales que se dispondrán en campo; como son el contenido de humedad, peso específico, granulometría, límites de consistencia, permeabilidad, capilaridad, humedad óptima, resistencia a la compresión simple, resistencia a los esfuerzos cortantes, etc.

TABLA I Clasificación de materiales para terracerías de carreteras

| Clasificación general | Materiales granulares (35% o menos que pasan la malla N ^o 200) | | | Materiales arcillo-limosos (más del 35% pasa la malla N ^o 200) | | | |
|---|---|------------------|---------|--|---------|---------|---------|
| | A-1 | A-3 ^a | A-2 | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| Análisis de cribas, porcentaje que pasa | | | | | | | |
| N ^o 10 (2.00 mm) | | | | | | | |
| N ^o 40 (0.425 mm) | 50 máx. | 51 mín. | | | | | |
| N ^o 200 (0.075 mm) | 25 máx. | 10 máx. | 35 máx. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. |
| Características de la fracción que pasa la malla N ^o 40. | | | | | | | |
| Límite líquido | | | | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. |
| Índice de plasticidad | 6 máx. | NP | | 10 máx. | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín. |
| Clasificación general como terracería | Excelente a buena | | | Regular a mala | | | |

^a En el "proceso de eliminación de izquierda a derecha", es necesario colocar A-3 antes que A-2, sin que esto indique superioridad de A-3 sobre A-2.

Fuente: Ingeniería de Carreteras 5^a edición WRIGHT y Paquette

TAELA II Clasificación de materiales para terracerías de carreteras (con subgrupos sugeridos) ^a

| Clasificación General | Materiales Granulares (35% o menos que pasan la malla Nº 200) | | | | | | | Materiales arcillo-limosos (más del 35% pasa la malla Nº 200) | | | |
|---|--|--------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|--------------------|--------------------|---------------------------------|
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | A-7-5, A-7-6 |
| Análisis de cribas, porcentaje que pasa Nº 10 (2.00 mm) Nº 40 (0.425 mm) Nº 200 (0.075 mm) | 50 máx. 30 máx. 15 máx. | 50 máx. 25 máx. | 51 mín. 10 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. |
| Características de la fracción que pasa la malla Nº 40. Límite líquido Índice de plasticidad | 6 máx. | | NP | 40 máx. 10 máx. | 41 mín. 10 máx. | 40 máx. 11 mín. | 41 mín. 11 mín. | 40 máx. 10 máx. | 41 mín. 10 máx. | 40 máx. 11 mín. | 41 mín. 11 mín. ^b |
| Tipos usuales de materiales constituyentes que son importantes | Fragmentos de piedra, grava fina y arena | | Arena fina | Grava y arena arcillosa o limosas | | | | Suelos limosos | | Suelos arcillosos | |
| Clasificación general como terracería | Excelente a buena | | | | | | | Regular a mala | | | |

^a Procedimiento de clasificación: con los datos que han sido necesarios para las pruebas y que están disponibles, procédase de izquierda a derecha en la tabla y se encontrará el grupo correcto por el proceso de eliminación. El primer grupo a partir de la izquierda al cual se ajusten los datos de prueba corresponde a la clasificación correcta.

^b El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL menos 30. El índice de plasticidad de un subgrupo A-7-6 es mayor que el LL menos 30 (véase la figura A).

^c Para el método de cálculo, véanse las fórmulas del índice de grupo y la figura A. El índice de grupo se debe indicar en el paréntesis después del símbolo de grupo como: A-2-6(3), A-4(5), A-6(12), A-7-5(17) y así sucesivamente.

Fuente: Ingeniería de Carreteras 5ª edición WRIGHT y Paquette

DESCRIPCION DE LOS GRUPOS DE CLASIFICACION.

Materiales granulares.— Contiene 35 por ciento o menos de material que pasa la malla de 0.075 mm. (Nº 200).

Grupo A-1. El material representativo de este grupo es una mezcla bien graduada de fragmentos de piedra o grava, arena gruesa, arena fina, y un cementante no plástico o cohesivo y ligeramente plástico. Este grupo incluye también fragmentos de piedra, grava, arena gruesa, cenizas volcánicas, etc., sin cementantes.

Subgrupo A-1-a. Comprende aquellos materiales formados de manera predominante por fragmentos de piedra o grava, con o sin material de cohesión (cementante) bien graduado, fino.

Subgrupo A-1-b. Incluye aquellos materiales formados de manera predominante por arena gruesa, con o sin cementante bien graduado.

Grupo A-3. El material típico de este grupo es arena fina de playa o arena fina del desierto arrastrada por el viento sin finos limosos o arcillosos o con una cantidad muy pequeña de limo no plástico.

Grupo A-2. Este grupo abarca una amplia variedad de materiales "granulares" que están en la línea divisoria entre el material que pertenece a los grupos A-1 y A-3 y los materiales arcillo-limosos de los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Comprende todos los suelos que tienen 35 por ciento o menos de material que pasa la malla de 0.075 mm y no se puede clasificar como A-1 ó A-3, debido al exceso en el contenido de finos o a la plasticidad o a ambos, respecto a los límites en esos grupos.

Subgrupos A-2-4 y A-2-5. Están formados por diferentes materiales granulares que contienen 35 por ciento o menos que pasan por la malla de 0.075 mm y con una parte de menos de 0.425 mm que tienen las características de los grupos A-4 y A-5.

Subgrupos A-2-6 y A-2-7. Comprenden materiales similares a los descritos en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, con la diferencia de que la parte fina contiene arcilla plástica que tiene las características de los grupos A-6 y A-7.

Materiales arcillo-limosos.- Contienen más del 35 por ciento de material que pasa la malla de 0.075 mm. (Nº 200).

Grupo A-4. El material típico de este grupo es un suelo limoso o plástico o moderadamente plástico que tiene un 75 por ciento o más de material que pasa la malla de 0.075 mm.

Grupo A-5. El material típico de este grupo es similar al descrito para el grupo anterior, con la diferencia de que es usualmente de material con características de diatomeas o de las micas; es de una elevada elasticidad, según lo indica su alto límite líquido.

Grupo A-6. El material típico de este grupo es un suelo de arcilla plástica que por lo regular tiene un 75 por ciento o más de material que pasa por la malla de 0.075 mm. El grupo también abarca mezclas de suelos arcillosos finos y de hasta un 64 por ciento de arena y grava retenida en la malla de 0.075 mm. Por lo regular, los materiales de este grupo tienen un notable cambio de volumen entre los estados húmedo y seco.

Grupo A-7. El material típico de este grupo es similar al descrito para el grupo A-6, con la diferencia de que este tiene altos límites líquidos característicos del grupo A-5 y puede ser elástico así como también estar sujeto a grandes cambios en el volumen.

Subgrupo A-7-5. Comprende materiales que tienen índices de plasticidad moderados con relación con el límite líquido y pueden ser sumamente elásticos así como estar sujetos a considerables cambios en el volumen.

Subgrupo A-7-6. Incluye los materiales que tienen índices de plasticidad altos en relación al límite líquido y están sujetos a cambios extremadamente elevados en el volumen.

El sistema de clasificación de la AASHTO describe un procedimiento para la clasificación de suelos en siete grupos con base en la distribución del tamaño de las partículas, el límite líquido y el índice de plasticidad determinados en el laboratorio. La evaluación de los suelos dentro de cada grupo se hace por medio de un "índice de grupo", el cual es calculado a partir de una fórmula empírica:

$$IG = (F-35)[0.2+0.005(LL-40)]+0.01(F-15)(IP-10), \quad \text{donde:}$$

IG= Índice de Grupo.

F= Porcentaje que pasa por una malla de 0.075 mm (Nº 200), expresado como un número entero. Este porcentaje se basa únicamente en el material que atraviesa la malla

de 75 mm (3 pulg).

LL= Límite líquido.

IP= Índice de Plasticidad.

Cuando el índice de grupo calculado es negativo, se reportará como cero.

Cuando se calcule el índice de grupo de los subgrupos A-2-6 y A-2-7 se usará sólo la parte IP de la fórmula.

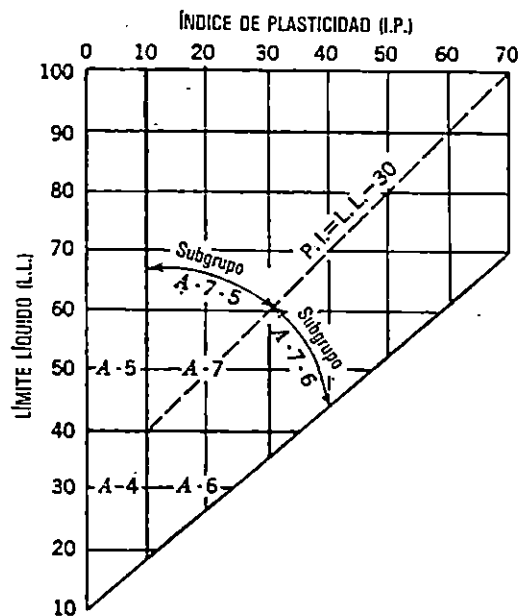


FIGURA A. Valores de los límites líquidos y de los índices de plasticidad para los grupos de subrasante A-4, A-5, A-6 y A-7.

FUENTE: Ingeniería de Carreteras. 5ª Edición. WRIGHT y Paquette.

La fórmula empírica del índice de grupo desarrollada para la evaluación aproximada del grupo comprendido entre los "materiales granulares arcillosos" y los "materiales arcillo-limosos", tiene como base los supuestos siguientes:

1. Los materiales que se encuentran dentro de los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 son satisfactorios para utilizarse en terracerías cuando se drenan y se compactan en forma apropiada, con espesores moderados de pavimento (base o carpeta o ambas) de un tipo adecuado para el tránsito que ha de pasar, o pueden dar resultados satisfactorios adicionando pequeñas cantidades de agentes cohesivos naturales o artificiales.
2. Los materiales que se encuentran dentro de la clasificación "granular-arcilloso" de los grupos A-2-6 y A-2-7 y las "arcillas limosas" de los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, varían en calidad como material para terracerías desde el equivalente aproximado a bueno como los grupos A-2-4 y A-2-5 hasta las terracerías regulares y de mala calidad que requieren una capa adicional de material de subbase o un incremento en el espesor de la base respecto al requerido por otras clases de suelo,

con objeto de proporcionar un apoyo adecuado a las cargas de tránsito.

3. El porcentaje crítico y mínimo que se supone pasa la malla de 0.075 mm es de 35, si no se considera la plasticidad y 15 cuando resulta afectado por un índice de plasticidad mayor de 10.
4. Se supone que los límites líquidos de 40 y superiores son críticos.
5. Se supone que los índices de plasticidad de 10 y superiores son críticos.
6. Para los suelos que no son plásticos y cuando no puede determinarse el límite líquido, se considera que el índice de grupo es cero (0).

No se tiene un límite superior del valor del índice de grupo que se obtenga con la fórmula. Los valores críticos del porcentaje que pasa la malla de 0.075 mm, el límite líquido, el índice de plasticidad se basan en una evaluación de la subrasante, la subbase y la capa de base que han adoptado.

1.3 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS.

El sistema unificado de clasificación de suelos, se basa en el sistema de clasificación de campos aéreos creado

por el profesor A. Casagrande de la Universidad de Harvard, durante la II Guerra Mundial. El sistema fue modificado ligeramente y se convirtió en el Sistema uniforme de clasificación de suelos del ejército. A su vez, este sistema también fue ligeramente modificado y adoptado por el *Corps of Engineers* y el *Bureau of Reclamation* en enero de 1952.

El sistema unificado se basa, en primer lugar, en las características que determinan el comportamiento de un determinado suelo, cuando se utilice como material de construcción. La tabla III en la carta maestra para el sistema unificado; contiene los procedimientos que se siguen para la identificación y clasificación de suelos bajo este sistema.

En el sistema unificado, los suelos se clasifican y colocan en uno de los quince grandes grupos de suelos, mediante los procedimientos de laboratorio y los de identificación de campo. La clasificación de los suelos se hace con base en 1) porcentaje de grava, arena y finos (fracción que pasa la malla Nº 200); 2) forma de la curva de granulometría y 3) características de compresibilidad y plasticidad.

Para juzgar la forma de la curva granulométrica de un suelo granular grueso, se utilizan los coeficientes de uniformidad (C_u) y de graduación (C_g). El término " D_{10} " que aparece en la tabla, se refiere al tamaño del grano (diámetro) que corresponde al 10 por ciento en una curva granulométrica teniendo igual significado lo referente a D_{30} y D_{60} .

En la gráfica de plasticidad de la tabla III se refleja la influencia y las relaciones existentes entre el límite líquido y el índice de plasticidad.

En términos generales, la gráfica de las arcillas (C) se localiza encima de la línea "A" de la carta de plasticidad y la de los limos (M) por abajo de ésta. Los grupos de limos (M) y arcillas (C) se dividen con base en el límite líquido bajo (L) o alto (H); un límite líquido alto se asocia a una elevada compresibilidad.

TABLA III. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS INCLUYENDO IDENTIFICACION Y DESCRIPCION

| PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO (Excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados) | | | | SÍMBOLOS DEL GRUPO (a) | NOMBRES TÍPICOS | INFORMACION Y DESCRIPCION | |
|---|---|---|---|--|---|---|---|
| SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla N° 200 (Q) (Excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados) | GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenido en la malla N° 4 (Para clasificación visual puede usarse 1/2 cm como equivalente a la abertura de la malla N° 4) | GRAVAS LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas) | Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios | GW | Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos | Dése el nombre, centajes aproximados, tamaño máximo, angulosidad, superficie y dureza. nombre local y gradación descriptiva entre paréntesis. Para los suelos información sobre gradación, cementación, características de... EJEMPLO Arena limosa de grava de partículas 15 cm de tamaño, de partículas redondeadas, resistencia en estado húmedo en el lugar | |
| | | | Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios | GP | Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos | | |
| | | Fracción fina poco o nada plástica (Para identificación véase grupo ML abajo) | GM | Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo | | | |
| | | Fracción fina plástica (Para identificación véase grupo CL abajo) | GC | Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla | | | |
| | ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N° 4 (Para clasificación visual puede usarse 1/2 cm como equivalente a la abertura de la malla N° 4) | ARENAS LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas) | Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios | SW | Areñas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos | | |
| | | | Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios | SP | Areñas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos | | |
| | | ARENAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas) | Fracción fina poco o nada plástica (Para identificación véase grupo ML abajo) | SM | Areñas limosas, mezclas de arena y limo | | |
| | | | Fracción fina plástica (Para identificación véase grupo CL abajo) | SC | Areñas arcillosas, mezclas de arena y arcilla | | |
| SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa la malla N° 200 (Los partículas de 0.074 mm de diámetro (malla N° 200)) | PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N° 40 | | | | | | |
| | LIMOS Y ARCILLAS Limite liquido menor de 50 | RESISTENCIA EN ESTADO SECO (Características al rompimiento) | DILATANCIA (Reacción al agitado) | TENACIDAD (Consistencia cerca del limite plástico) | | | Dése el nombre y carácter de tamaño máximo, color del suelo natural, cualquier otro pertinente y el símbolo. Para los suelos información sobre consistencia (tanto remoldeado, como no remoldeado) |
| | | Nula a ligero | Rápida a lenta | Nula | ML | Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos | |
| | | Medio a alta | Nula a muy lenta | Medio | CL | Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres | |
| | LIMOS Y ARCILLAS. Limite liquido mayor de 50 | Ligero a medio | Lento | Ligero | OL | Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad | |
| | | Ligero a medio | Lento a nula | Ligero a medio | MH | Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos | |
| | | Alta a muy alta | Nula | Alta | CH | Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas | |
| | | Medio a alta | Nula a muy lenta | Ligero a medio | OH | Arcillas orgánicas de medio o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad | |
| | SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS | | Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa | | Pt | Turba y otros suelos altamente orgánicos | EJEMPLO Limo arcilloso, porcentaje reducido de agujeros verticales en el lugar, laes... |

(a) Clasificaciones de frontera - Los suelos que posean las características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. Por ejemplo GW-GC, mezcla de grava y arcilla.
(Q) Todos los tamaños de los mallas en esta carta son los U.S. Standard

FUENTE: MECANICA DE SUELOS
TOMO I. 1970.
EULALIO JUAREZ BADILLO.

1.4 EVALUACION DE LA SUBRASANTE

De su capacidad de soporte depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Así si el terreno de fundación tiene un alto contenido de materia orgánica deberá desecharse y sustituirlo por otro de mejor calidad.

Si el terreno de fundación es malo y se halla formado por un suelo fino, limoso y arcilloso, susceptible de saturación, habrá de colocarse una subbase granular de material seleccionado, antes de poner la base y capa de rodamiento.

Si el terreno de fundación es regular o bueno y está formado por un suelo bien graduado que no ofrece peligro de saturación o por un material de granulometría gruesa, posiblemente no se requiera la capa subbase.

Si el suelo es excelente, es decir, que tiene un valor de soporte alto y que no exista la posibilidad de que se sature, bastaría colocar sobre él la capa de rodamiento,

Entre los diferentes métodos para poder evaluar la subrasante se encuentran:

1. Ensayos de carga "in situ".

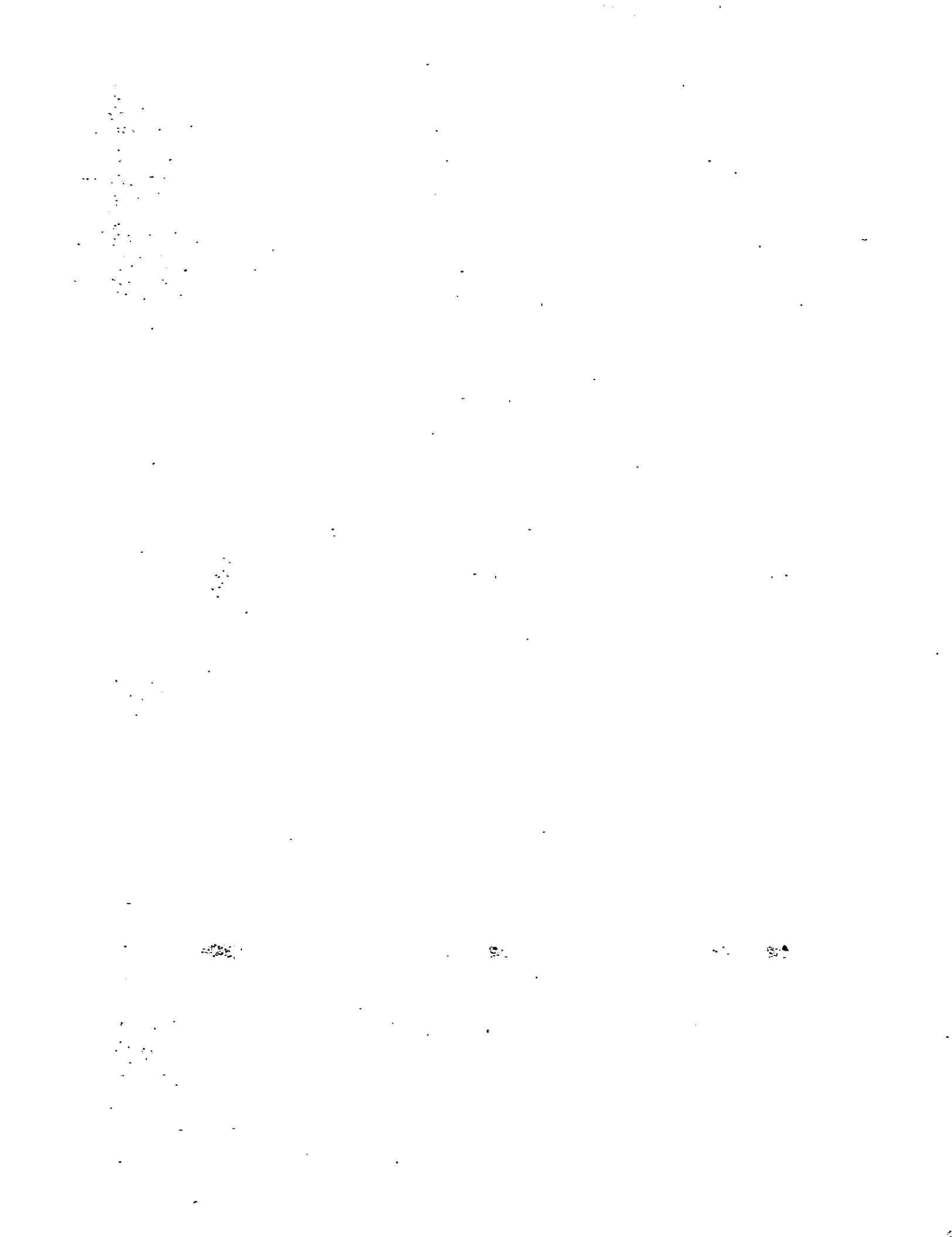
- Ensayo del Valor Relativo de Soporte California(CBR).
- Ensayo de placas de carga.
- Ensayo de la Viga Benkelman. (Deflexiones en el pavimento).

2. Ensayos de Carga en el Laboratorio, utilizando muestras significativas del suelo de la subrasante; algunos comúnmente utilizados son:

- Ensayo del Valor Relativo de Soporte California (CBR).
- Ensayo con el Estabilómetro de HVEEM.
- Ensayo del Módulo de Resiliencia (Mr).

3. Evaluaciones basadas en la clasificación de los suelos mediante la identificación y ensayo de las partículas constituyentes.

En esta investigación se describen brevemente los



métodos que se desarrollan en el campo para el análisis de la capacidad del suelo soportante y una pequeña explicación del Ensayo del Módulo de Resilencia (Mr) a partir del CBR; dejando a inquietud del lector las pruebas que se realizan en el laboratorio.

1.4.1 METODO RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR)

Fue propuesto en 1929 por los Ingenieros T.E. Stanton y O.J. Porter del Departamento de Carreteras del Estado de California. Desde esa fecha, tanto en Europa como en América, el Método CBR (California Bearing Ratio = Relación de soporte California) se ha generalizado y es, hoy en día, uno de los más empleados para el cálculo de pavimentos flexibles.

Se establece en él una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad de soporte como base de sustentación en los pavimentos, si bien este método es empírico, se basa en un sin número de trabajos de investigación llevados a cabo tanto en los laboratorios de ensayo de materiales, como en el terreno, lo que permite considerarlo como uno de los mejores procedimientos prácticos sugeridos hasta hoy.

Dado que el comportamiento de los suelos varía de acuerdo con su grado de alteración, con su granulometría y sus características físicas, el método a seguir para determinar el CBR, será diferente en cada caso, así tendremos:

Determinación del CBR de:

1. Gravos y arenas.
2. Suelos no cohesivos, poco plásticos y poco o nada expansivos.
3. Suelos cohesivos y expansivos.
4. Determinación del CBR de suelos inalterados.
5. Determinación del CBR in situ.

Suelos gravosos y Arenosos.

Estos suelos en la clasificación unificada, corresponden a los siguientes grupos de gravas y arenas:

- GW: Gravos bien graduadas y mezclas de grava y arena con poco o nada de material fino.
- GP: Gravos mal graduadas y mezclas de grava y arena con poco o nada de material fino.
- SW: Arenas bien graduadas y arenas gravosas con poco o

nada de material fino.

SP: Arenas mal graduadas y arenas gravosas con poco o nada de material fino.

Estos suelos gravosos y arenosos, sin cohesión, generalmente tienen índices plásticos inferiores a 2, y pueden ser compactados rápidamente en el campo. En general, su capacidad de soporte no se altera apreciablemente con los cambios de humedad, de ahí que su CBR se pueda determinar directamente después de compactarlos sin sumergirlos previamente en agua. El CBR que se adopte para los cálculos de diseño de pavimentos flexibles, puede ser el correspondiente a su densidad máxima, o si se sigue un criterio más conservador, el menor de los CBR obtenidos.

El CBR de estos suelos granulares es, generalmente mayor de 20%.

Suelos no cohesivos, poco plásticos y poco o nada expansivos.

Estos suelos son los más comunes y pertenecen a los siguientes grupos, dentro de la clasificación unificada:

GM: Gravas limosas y mezclas limo-areno-gravosas.

- GC: Gravas arcillosas y mezclas arcillo-areno-
gravosas.
- SM: Arenas limosas y mezclas limo-arenosas.
- SC: Arenas arcillosas y arcillas arenosas.
- CL: Arcillas orgánicas de baja a mediana plasticidad;
arcillas limosas, arenosas y gravosas.
- ML: Limos inorgánicos y arenas muy finas; arenas
finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos de
baja plasticidad.
- OL: Limos y arcillas limosas inorgánicas de baja
plasticidad.

Para determinar el CBR de estos suelos se recomienda seguir uno de los procedimientos siguientes:

El primero se aplica a condiciones climáticas normales y a aquellos suelos cuya capacidad de soporte no varía apreciablemente cuando se altera ligeramente su contenido de humedad o sea que no requieren un control muy estricto cuando son compactados en el campo.

El segundo es un procedimiento más elaborado y se aplica a condiciones climáticas desfavorables y a aquellos suelos que son muy "sensibles" a pequeños cambios de humedad, requiriendo un mayor control en el campo.

Suelos cohesivos, plásticos y expansivos.

Estos suelos pertenecen, en la clasificación unificada a los siguientes grupos:

MH: Limos orgánicos, suelos limosos y arenosos de granulometría fina.

CH: Arcillas inorgánicas muy plásticas.

OH: Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada.

El método que se sigue para determinar el CBR de estos suelos es semejante al procedimiento usado para suelos no cohesivos, pero deberán seleccionarse cuidadosamente las humedades y densidades, pues en estos suelos expansivos, no siempre la humedad óptima y densidad máxima son las más adecuadas. Muchas veces el hinchamiento de ellos es menor cuando se les compacta a densidades y con humedades distintas a la máxima y óptima respectivamente obtenidas en el laboratorio.

Por lo tanto, el CBR que se seleccione para el diseño de un pavimento flexible a construirse sobre un suelo expansivo, será el correspondiente a la humedad y densidad bajo las cuales el suelo presenta menor hinchamiento.

Para facilitar la selección del CBR de diseño, es recomendable representar gráficamente los porcentajes de hinchamiento versus los contenidos de humedad en los diferentes estados de compactación. La comparación de las curvas que relacionan los hinchamientos, CBR y densidades, con las humedades de compactación, permitirá establecer los límites de humedad y densidad apropiados, facilitando así la selección del CBR de diseño.

Suelos Inalterados.

Como las muestras gravosas o arenosas tienen prácticamente los mismos CBR bajo distintas condiciones de humedad, y no experimentan apreciables cambios de volumen no se les satura en agua; para determinar el CBR de estos suelos granulares, bastará remover la parafina solidificada y hacer directamente la prueba de penetración.

El CBR de estos suelos se determina en los siguientes casos:

- a) Cuando se proyecta construir un pavimento sobre el terreno de fundación existente, sin efectuar trabajos previos de compactación.

- b) Cuando se desea correlacionar las pruebas de penetración realizadas "in situ" con la humedad de diseño. En estos casos deberá determinarse tanto el CBR, correspondiente a la humedad natural, o sea, la existente "in situ", como el CBR correspondiente a la humedad que se ha seleccionado para el diseño. Ambas determinaciones se harán después de saturar las muestras en agua durante 4 días.

Las diferencias obtenidas entre estas determinaciones y el CBR obtenido "in situ" permitirá hacer las correcciones apropiadas a los resultados logrados directamente en el terreno.

ENSAYO CBR "IN SITU"

Es bajo ciertas condiciones una prueba satisfactoria para determinar la capacidad de soporte de un material en el lugar, puede usarse en cualquiera de las condiciones siguientes:

- a) Cuando el peso volumétrico en el lugar y el

contenido de humedad son tales que el grado de saturación es de 80% o mayor.

- b) Cuando el material es de partículas gruesas y sin cohesión, de manera que no se vea afectado por los cambios del contenido de humedad.
- c) Cuando el material ha estado colocado en el lugar por varios años; en estos casos el contenido de agua puede fluctuar dentro de un intervalo reducido, considerándose que la prueba de campo arroja un índice satisfactorio de la capacidad de soporte.

El equipo modificado para el ensayo sobre suelos "in situ" puede ser improvisado fácilmente; el equipo necesario es: Gato hidráulico, pistón, plancha o pletina, cuadrante medidor de deformaciones, cronómetro, pesas de sobrecarga y otros.

Al iniciar la prueba se elige un lugar en el que no aparezcan piedras mayores de 3/4 de pulgada y cuidadosamente se nivela y alisa una zona circular de unos 30 cms de diámetro sobre el terreno.

Se colocan las pesas de sobrecarga que sean necesarias en el centro del círculo y el aparato para realizar el ensayo y el peso de estos asentará el pistón firmemente.

Se aplica carga suavemente por medio de un gato hidráulico de manera que la velocidad de penetración del pistón sea aproximadamente 0.05 pulgadas por minuto. La velocidad en la aplicación de la carga se puede controlar por tiempo con un cronómetro. Se registran las lecturas de la presión a 0.025, 0.050, 0.075, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 pulgadas de penetración.

Generalmente se efectúa el ensayo a tres diferentes niveles y se toma como CBR de diseño el valor promedio.

Cálculo del CBR.

Las "Lecturas" tomadas, tanto de las penetraciones como de las cargas (reducidas a cargas unitarias), se representan gráficamente, en un sistema de coordenadas en la forma indicada en la figura B.

Si la curva esfuerzo-penetración que se obtiene es semejante a la del ensayo N^o 1 de la figura B, los valores anotados serán los que se toman en cuenta para el cálculo

del CBR.

En cambio si las curvas son semejantes a las correspondientes a los ensayos Nos. 2 y 3, deberán ser "corregidas" trazando tangentes en la forma que se indica en la figura B. Los puntos A y B, donde dichas tangentes cortan al eje de las abscisas, serán los "nuevos" ceros de las curvas. Las cargas unitarias y penetraciones se determinarán a partir de estos ceros.

Para determinar el CBR se toma como material de comparación la piedra triturada. La resistencia a la penetración que presenta ésta a la hincada del pistón, son las siguientes:

Para 0.1 pulg de penetración 1,000 lb/pulg² (70 kg/cm²)

Para 0.2 pulg de penetración 1,500 lb/pulg² (105 kg/cm²)

Para 0.3 pulg de penetración 1,900 lb/pulg² (133 kg/cm²)

Para 0.4 pulg de penetración 2,300 lb/pulg² (161 kg/cm²)

Para 0.5 pulg de penetración 2,600 lb/pulg² (182 kg/cm²)

Por lo tanto, la resistencia a la penetración de la roca triturada es 100% (CBR = 100%).

Un CBR de 2% ó 3%, indicará que el material tiene una capacidad de soporte muy baja, o sea el CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1 pulg ó 0.2 pulg de penetración, expresada en % de su respectivo "valor standard".

Si los CBR para 0.1 pulg y 0.2 pulg son semejantes, se recomienda usar en los cálculos el CBR correspondiente a 0.2 pulg.

Si el CBR correspondiente a 0.2 pulg es muy superior al CBR correspondiente a 0.1 pulg deberá repetirse el ensayo.

En la figura C se indican algunos CBR para diferentes clases de suelos, así como su "valoración" como subrasantes, subbases y bases.

Para diferentes valores de CBR y cargas por rueda, o por eje, se han determinado los respectivos espesores de pavimentos, en base a datos experimentales. Los diferentes organismos viales y técnicos, han elaborado curvas para facilitar este cálculo y en la actualidad se conoce un sinnúmero de gráficos para la determinación de espesores de pavimentos flexibles, en función del CBR.

En la construcción de un pavimento flexible, se recomienda que el material para subbase tenga un CBR mayor de 15%. El material para base debe tener un CBR mayor de 40%, cuando las cargas por rueda son menores de 10,000 lbs. como es el caso de las carreteras en general. Un CBR no menor del 80% se recomienda cuando las cargas por rueda son mayores de 10,000 lbs, como sucede en la mayor parte de pistas de aterrizaje.

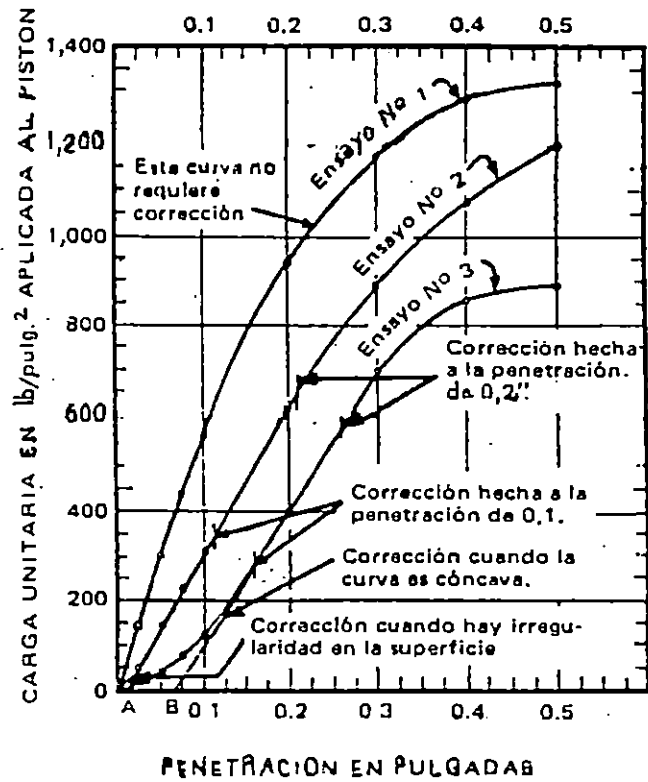


Figura B . - Curvas esfuerzo-penetración.

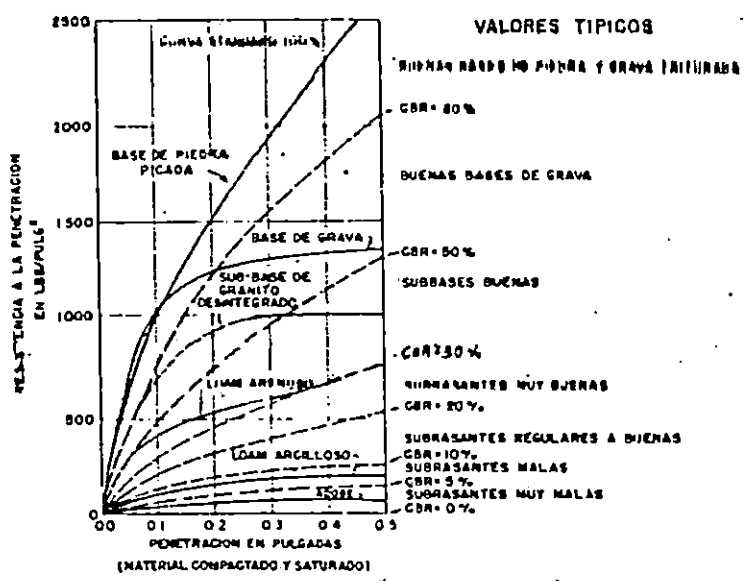


Figura C . Valores típicos del CBR.

FUENTE: Carreteras, Calles y Aeropistas. Sexta Edición; Raúl Valle Rodas.

1.4.2 ENSAYO DE PLACA DE CARGAS.

Es un ensayo de campo utilizado por la mecánica de suelos para evaluar la capacidad de soporte de la subrasante del pavimento en términos del módulo de reacción (K). Se define como la presión (P) transmitida a la placa para producir en el suelo una deformación prefijada.

Estos ensayos se utilizan para el diseño y evaluación de estructuras de pavimentos asfálticos, acá se presenta el ensayo de carga de placa estática repetida de suelos y componentes de pavimentos flexibles (ASTM 1195).

Este ensayo es representativo de la resistencia de la subrasante sólo si se realiza con el suelo en las mismas condiciones después de haber considerado las influencias de la humedad, densidad, drenaje y tránsito.

Para encontrar la resistencia de la subrasante en un pavimento nuevo de carreteras, se debe usar alguno de los métodos siguientes:

- a) Realizar el ensayo bajo un pavimento asfáltico existente que tenga el mismo suelo de subrasante y un tiempo de colocación suficiente como para que

la subrasante haya alcanzado un equilibrio en su contorno.

- b) Realizar el ensayo en un tramo experimental de suelo construido como modelo hasta una profundidad adecuada y preparada en las condiciones que se esperan luego de cierto tiempo en el pavimento a construir.

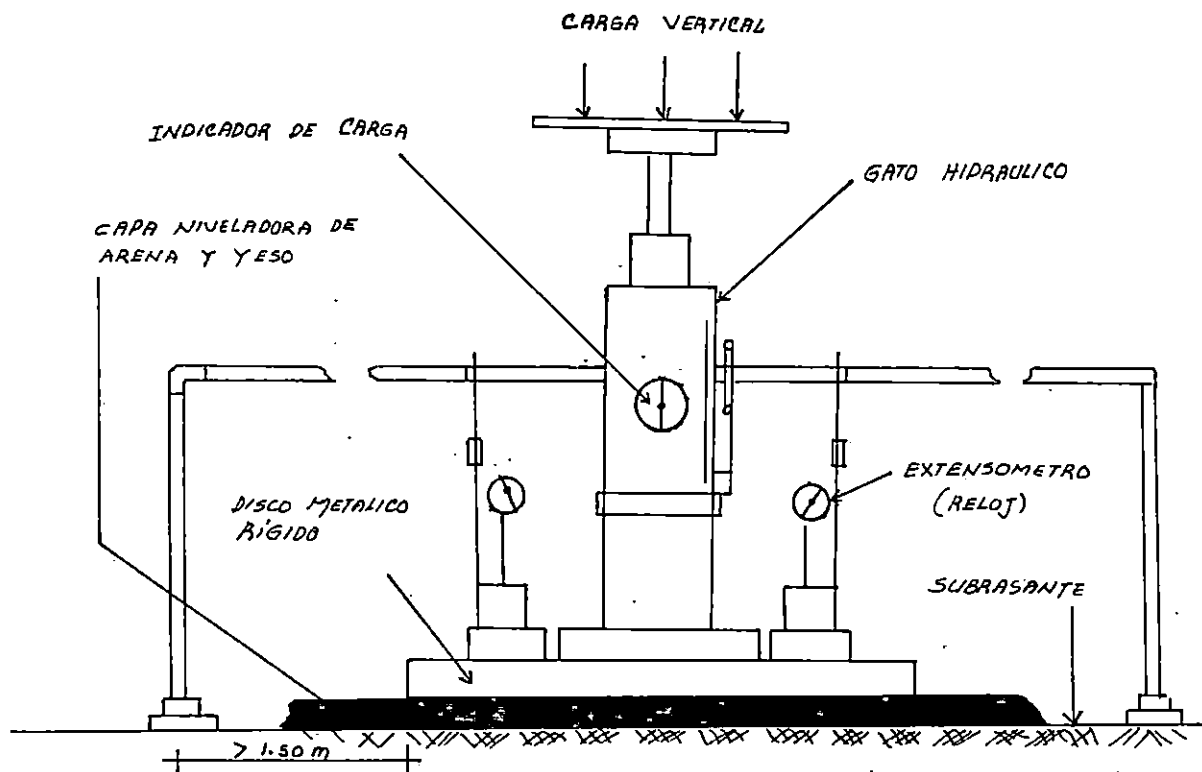


Figura D: Colocación del gato hidráulico, disco rígido y extensómetros, para la ejecución de la prueba de placas de carga sobre el terreno.

Según las especificaciones ASTM D 1196-64 (ensayo estático), se hace cargar el suelo hasta alcanzar las 12 ton. por medio de una serie de placas (2 placas en pruebas de carreteras) registrando los distintos incrementos de carga contra las deformaciones prefijadas: 0.1", 0.2", 0.3", y 0.4". Aplicando seguidamente la teoría de las dos capas de Burmister, según la cual, los esfuerzos y las deformaciones están en función de la resistencia de las capas.

Las exigencias para el diseño de espesores para aeropuertos y carreteras se basan en:

| | Carreteras | Pista de aeropuerto |
|--|------------|---------------------|
| Diámetro de la placa de carga, m (pulg.) | 0.30 (12) | 0.76 (30) |
| Deflexión, mm (pulg.) | 5 (0.2) | 13 (0.5) |
| Repeticiones de carga | 10 | 10 |

- 1- Se seleccionan los sitios de las autopistas, carreteras, vías urbanas, o pistas de aterrizaje, sobre las cuales se van a realizar las pruebas. Generalmente, se escogen estos sitios a una distancia aproximada de 200 metros uno de otro.

- 2- En cada sitio escogido, se coloca una góndola, camión o trailer cargado y acondicionado debidamente con vigas metálicas, para que contra ellas actúe un gato hidráulico al aplicarse la carga. (ver figura D).
- 3- Con una aplicación rápida de carga suficiente para producir una deflexión de 0.25 a 0.5 mm (0.01 a 0.02 pulg) y se le quita. Se le aplica luego la mitad de la carga de asiento y se colocan en cero los diales de medida de deflexión.
- 4- Se aplica una carga que produzca una deflexión de aproximadamente 1 mm (0.04 pulg) y se le mantiene hasta que el incremento de la flecha sea de 0.3 mm (0.01 pulg) por minuto o menos, durante 3 minutos consecutivos. Se quita la carga y se observa la recuperación hasta que la variación de ésta sea 0.3 mm (0.01 pulg) por minuto o menos. Este procedimiento de aplicación y retiro de la misma carga se repite hasta completar diez aplicaciones.
- 5- Al terminar esta serie se incrementa la carga hasta que la deflexión sea de aproximadamente 5 mm (0.2 pulg), se repite el mismo procedimiento con

carga incrementada. La carga es aumentada en una cantidad que produzca una deflexión de aproximadamente 10 mm (0.4 pulg) empleando el mismo proceso con la nueva carga.

Cálculos de Resultados.

Para cada repetición de carga se determina la deflexión final en la cual la variación sea de 0.3 mm (0.01 pulg) por minuto. Se realizan las correcciones necesarias en los valores de deflexión y de carga. Se grafican las deflexiones en función de las repeticiones de carga, para mostrar la influencia de éstas en la deflexión; y carga total vrs. deflexión promedio, para diez repeticiones de aplicaciones de carga. Se unen los puntos con una curva y se determina el valor de la placa de carga.

Es frecuente que los resultados de las pruebas de placas de carga se expresan en términos de un módulo de reacción de la subrasante, que se determina por la siguiente ecuación:

$$K = P/\beta$$

donde:

K = Módulo de reacción de la subrasante (lb/pulg³)

P = Presión de placa (lb/pulg²)

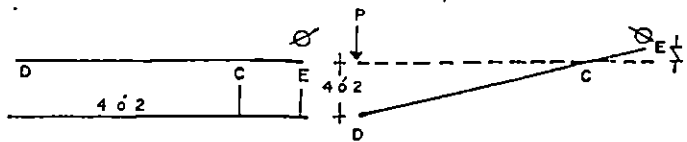
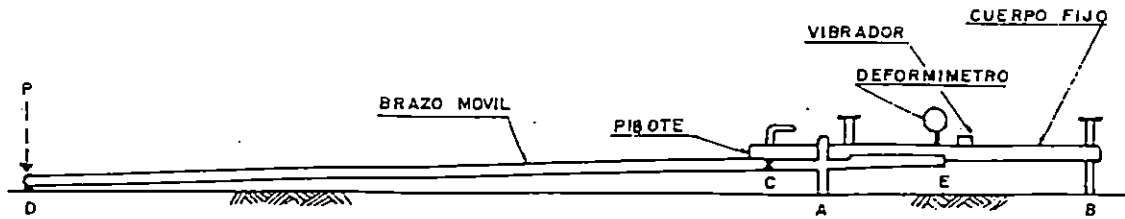
β = Deflexión de la placa (pulgadas)

Debido a lo laborioso que resulta esta prueba, tiene poca aplicación en nuestro medio como método de evaluación de la subrasante, a pesar que los resultados por ser directos son muy confiables.

1.4.3 METODO DE LA VIGA BENKELMAN

La Viga Benkelman es un equipo útil para medir indirectamente las deformaciones (deflexiones) de la superficie del pavimento por la acción de una carga de 8.2 ton. Funciona según el principio de la palanca; los dos brazos de la viga rotan alrededor de un eje horizontal de manera que cualquier movimiento del extremo de la viga en contacto con el pavimento provoca un movimiento proporcional en el extremo opuesto, el cual es registrado por un deformímetro.

Generalmente se utiliza una viga con relación de brazo de palanca de 2:1 ó 4:1.



POSICIONES DE LA VIGA
BENKELMAN Y LOS FACTORES
GEOMETRICOS QUE AFECTAN
LA MEDICION

POSICION DESCARGADA

POSICION CARGADA

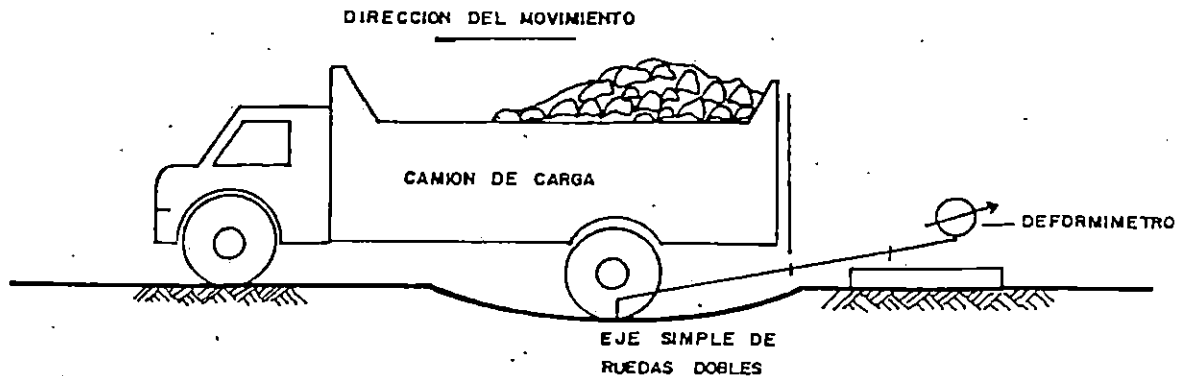
A, B : APOYOS FIJOS

D : PUNTO DE CARGA

C : EJE HORIZONTAL E : DEFORMIMETRO

Descripción y posiciones de la Viga Benkelman y los factores geométricos que la afectan.

La carga P de 8.2 ton., se hace aplicar con el eje trasero de un camión cargado, de ruedas dobles con presión de inflado de 70 PSI a 80 PSI y con una separación entre ellas de 5 a 10 cms.



Aplicación de la carga según la posición del camión mostrado.

La separación entre los puntos donde se tomarán las mediciones de deflexión no deben exceder de 500 m a lo largo del carril seleccionado para la prueba.

Los puntos de ensayo se ubicarán en cualquier parte de la longitud del carril, pero no en zonas destruidas, aisladas o zonas reparadas aisladas, tampoco sobre alcantarillas, tableros de puentes, pozos de visita u otros. La toma de las deflexiones en estos puntos, se hará por lo menos a 10 m. de distancia de cualquier estructura en mención.

En el lugar donde se realiza el ensayo, se coloca la rueda de carga sobre el punto de medición tal que éste coincida con el centro de gravedad de carga. Estacionada la rueda doble de ensayo, se inserta entre las llantas el extremo del brazo móvil de la viga, colocándolo en la forma más aproximada sobre el punto de ensayo seleccionado.

Sobre la viga se colocan dos marcas sucesivas, a partir de la primera, a distancias a las cuales se desea medir las deflexiones adicionales.

Para el análisis de los resultados se requiere al menos de tres lecturas; la primera a una distancia de 35 cms de la

marca inicial, la segunda lectura se toma al doble de la distancia de la primera (± 70 cms) y la tercera a 105 cms.

Los datos que se obtienen son tabulados para luego calcular las deflexiones para cada punto. También en cada punto de ensayo se deberá anotar: El kilometraje, el tipo de fisura y ahuellamiento u otra manifestación de deterioro representativa, descripción de la sección transversal, condiciones de drenaje, temperatura del pavimento.

Los métodos de interpretación basados en las deflexiones del pavimento son varios, entre ellos se encuentran:

- a) Método basado en los modelos de Hogg y Burmister.

Estos consisten en representar el sistema pavimento-subrasante, al idealizar el comportamiento de este sistema mediante curvas de deflexiones teóricas que representarán las propiedades de las capas del terraplén cuando se imponen cargas de tráfico. La finalidad de estos modelos es comparar las deflexiones teóricas con las deflexiones de campo tomadas usando la viga Benkelman.

¹ Tomado de: Adry Vivina Flores Alvarado. "Evaluación de Pavimentos de Concreto Asfáltico en Carreteras Aplicando la Viga Benkelman y Propuesta Metodológica para la Rehabilitación y Mantenimiento". Tesis, UES 1995.

- b) Método del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos (MIA).

Es un método útil para interpretar los valores de las deflexiones obtenidas en el ensayo con la Viga Benkelman, para calcular el espesor de la sobrecapa de los pavimentos.

Consiste en un análisis estadístico de las deflexiones y toma en cuenta para evaluar la capacidad estructural del pavimento los parámetros tales como: El tránsito, temperatura, estación del año; aplicados como factores de ajuste a las medidas de las deflexiones tomadas sobre el pavimento en el momento de realizar la prueba.

1.4.4 ESTIMACION DEL MODULO DE RESILENCIA O MODULO ELASTICO DEL SUELO.

El Módulo de Resilencia puede lograrse por medio de una prueba de placa o por medio de una prueba triaxial, de la curva Esfuerzo-Deformación, para una presión de confinamiento dado que represente las condiciones de campo.

Una manera de estimarlo a partir del CBR es:

M_r (psi) = 1500 CBR, esta fórmula es válida para suelos del tipo CH, CL, ML, SC, SM y SP. Para bases granulares no es aplicable.

El procedimiento para determinar el Módulo de Resiliencia M_r , es el siguiente:

1. Seleccionar el EAL de diseño.
2. Efectuar de 6 a 8 ensayos de CBR en muestras de la subrasante y estimar los valores del Módulo de Resiliencia.
3. Arreglar todos los valores del Módulo de Resiliencia en forma descendente del mayor al menor.
4. Para cada cambio del valor, comenzando con el valor menor del M_r , calcular los porcentajes con relación al número total de valores: del valor igual o mayor que ese valor.
5. Graficar estos valores de M_r (psi), contra los porcentajes.
6. Trazar una gráfica suave sin picos.
7. De la gráfica se determina el M_r para los diferentes EAL de diseño.

2 COMPONENTE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Cuando se diseña un pavimento puede dividirse en dos categorías, el diseño de mezclas y el diseño estructural. A continuación se hablará sobre el aspecto estructural de un pavimento, dejando para otra investigación lo referente al diseño de las mezclas.

COMPONENTES ESTRUCTURALES:

Se refiere a las características relativas de cada una de las capas que constituyen la estructura de la vía tales como: espesor, resistencia y deformabilidad en las condiciones esperadas de servicio. Estas características se pueden agrupar de la siguiente manera:

| | | | |
|--------------------------------|---|-----------|---|
| Estructura del pavimento | <ul style="list-style-type: none"> - Subrasante - Terracería - Terrazo de - Cimentación | PAVIMENTO | <ul style="list-style-type: none"> - Carpeta: Característica de Resistencia - Base: Espesor de las capas de pavimento - Subbase: Resistencia en conjunto |
| | | | |

2.1 SUBRASANTE:

Los últimos 30 cms. de una terracería de corte o terraplén se conoce como subrasante.

Esta capa es muy importante para los pavimentos y constituye su cimiento. Generalmente está formada por el

mismo suelo de la terracería. Es muy importante que el nivel de aguas freáticas esté cuando menos a 1.50 m., abajo de ésta, esto se consigue drenando el subsuelo o elevando la subrasante.

Para diseñar adecuadamente un pavimento principalmente los de tipo flexible, se deben hacer extensos estudios del suelo de la subrasante, tanto en el campo como en el laboratorio. Comprende estudios de topografía, geología del ambiente y sobre todo de mecánica de suelos.

Existen métodos y pruebas para determinar su calidad, incluyendo granulometría, plasticidad, comprensibilidad, resistencia y relaciones humedad-densidad.

Esta se divide en tres categorías: buenas, regulares y pobres.

Para saber si una subrasante dada o si el suelo que está en la parte superior de una terracería corresponde a una de estas categorías se debe conocer, cuando menos su granulometría simplificada, su plasticidad y principalmente su "valor relativo de soporte" (VRS) o CBR, como se le conoce mundialmente.

Si un suelo tiene un valor relativo de soporte cercano al 40%, ya tiene calidad de subbase regular, si tiene 50% o más es una subbase buena. La tabla siguiente presenta las tres categorías de la subrasante en función de su resistencia (VRS), su clasificación AASHTO, o la descripción

del suelo típico.

| CATEGORIA | VALOR RELATIVO DE SOPORTE | SUELO TÍPICO Y SU CLASIFICACION |
|-----------|---------------------------|---|
| Buena | 13 a 35 | Gravas, Grava-Arena Arenas: A-1, A-2, A-3 de "GW a SM" |
| Regular | 6 a 12 | Limos y Arcillas poco plásticas A-4, A-5, A-6, de "ML a CH" |
| Pobre | 3 a 5 | Arcilla muy plásticas A-7, CH y Pt. |

Fuente: Manual de Pavimentos (1980), 1ª Edición.
Jesús Moncayo V.
Universidad de Guadalajara, México D.F.,
México.

Quando una subrasante es "pobre" conviene estudiar la posibilidad económica de quitarla o colocar sobre ella otra subrasante de mejor calidad.

Al investigar las propiedades de la subrasante y la inalterabilidad de las mismas, es necesario considerar que las pruebas de diseño empleadas en la determinación del tipo y espesor del pavimento, se basan principalmente en pruebas de resistencia efectuadas previamente en el laboratorio, o bien en ensayos efectuados directamente en el campo. En el primero de los casos el análisis deberá estar encaminado a garantizar el exacto cumplimiento de las normas de diseño. Puesto que las características de la subrasante son

determinantes en el comportamiento del pavimento, es necesario que en lo posible se haga un estudio completo de los suelos donde se apoyará dicha capa, con el fin de tener conocimiento de las condiciones reales en que ésta quedará funcionando. Para el logro de lo anterior es necesario apoyarse en sondeos, extracción de muestras, inspección visual y aplicaciones de control y diseño, afines con el método de proyecto adoptado.

2.2 TERRENO DE CIMENTACION:

Aunque no constituye parte del pavimento, es muy importante tener un conocimiento lo más completo posible de los suelos que constituyen el terreno de cimentación de la estructura de la vía, con el objeto de conocer las condiciones de estabilidad del mismo y así evitar problemas de deslizamiento, asentamientos, desplazamientos y otros.

2.3 TERRACERIA:

Estas al igual que las cimentaciones no forman parte de un pavimento, pero son de mucha importancia en el diseño del mismo.

En general es necesario conocer las características

tanto del terreno de cimentación como de las terracerías, realizando un estudio de campo y de laboratorio lo más completo posible, obteniéndose muestras representativas tanto de los materiales que forman la subrasante por donde pasará la vía, así también de los materiales que forman las diferentes capas de la estructura del pavimento.

2.4 PAVIMENTO:

El pavimento está compuesto de varias capas: carpeta, base y subbase. Estando éste apoyado sobre la capa subrasante.

SUBBASE:

En los pavimentos flexibles, tiene como principal función abaratar el costo del pavimento. Si el espesor de la base es más de 20 cm. conviene sustituir parte de ese espesor con un material de menor calidad, que abunde localmente. Los requisitos de calidad para este material se dan en la tabla siguiente, tomados de las especificaciones generales de construcción SOP.

| INTENSIDAD DE TRANSITO EN AMBOS SENTIDOS | VALOR RELATIVO SOPORTE | EQUIVALENTE DE ARENA (TENTATIVO) | INDICE DE DURABILIDAD (TENTATIVO) | % DE COMPACTACION |
|--|------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Hasta 1000 Vehículos Pesados al Día | 80 min. | 30 min. | 35 min. | 95 min. |
| Más de 1000 Vehículos Pesados al Día | 100 min. | 50 min. | 40 min. | 95 min. |

Fuente: Manual de Pavimentos (1980), 1ª Edición.
 Jesús Moncayo V.
 Universidad de Guadalajara, México D.F., México.

Principales Funciones de la Subbase:

- Transmitir los esfuerzos a la capa subrasante en forma adecuada.
- Constituir una transmisión entre los materiales de la base y de la subrasante, de tal modo que se evite la contaminación y la interpenetración de dichos materiales.
- Disminuir efectos perjudiciales en el pavimento, ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno de cimentación.

- Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que por estar bajo la base, queda sujeta a menores esfuerzos y requiere de especificaciones menos rígidas, las cuales pueden satisfacerse con materiales de un menor costo que el utilizado en la base.

BASE:

Esta debe tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie arriba de ella y transmitirla a un nivel de esfuerzo adecuado a la capa siguiente, que puede ser una subbase o una subrasante.

Actualmente puede considerarse dos tipos:

Base Granular: De grava triturada y mezcla natural de agregado y suelo.

Base estabilizada: Suelos con cemento portland, cal o materiales bituminosos.

En las bases granulares la estabilidad del material depende de la fricción interna y de su cohesión.

Una base granular es un conjunto de agregados mezclados con agua, una alta fricción interna se consigue con agregados bien graduados, de forma irregular y con una pequeña cantidad de finos limos arenosos.

↳ Una base granular de buena calidad requiere unos materiales fracturados con granulometría continua, el conjunto de la capa debe estar correctamente compactado, drenado e impermeabilizado.

La capa base como su nombre lo indica sirve de asiento a la capa de rodadura y tiene por finalidad absorber los esfuerzos que transmiten las cargas de los vehículos, como también repartir uniformemente estos esfuerzos a las capas inferiores de fundación.

Cuando el material que se emplea en la base es agregado triturado, este debe cumplir con los requisitos que se detallan a continuación:

- a) El agregado grueso retenido en el tamiz Nº 10 consistirá de partículas o fragmentos duros y resistentes de piedra o grava. No deben emplearse materiales que se fragmenten cuando son sometidos a ciclos alternos de humedad y secado.

- b) El agregado deberá tener un desgaste, según la prueba de los ángeles, del 50% como máximo. Un porcentaje mayor o menor de desgaste puede ser especificado por el ingeniero, dependiendo de los materiales que puedan encontrarse cerca del proyecto.
- c) El agregado fino que pase el tamiz N^o 10, ha de componerse de arena natural, obtenida por trituración y partículas minerales finas que pasen el tamiz N^o 200.
- d) La fracción que pasa el tamiz N^o 40 tendrá un límite líquido no mayor del 25% y el índice de plasticidad no deberá ser mayor de 6.
- e) Cuando se utilice la grava triturada, no menos del 50% en peso, de las partículas retenidas en el tamiz N^o 4 (4.75 mm), deberán contar por lo menos con una cara fracturada.
- f) Las graduaciones para cada tamaño asignado de agregados deberán ser obtenidos mediante los procesos de trituración, cribado y mezclado que se pueden necesitar y deberán de estar de acuerdo con

los porcentajes mostrados en la tabla siguiente.

REQUISITOS DE GRADUACION PARA AGREGADO DE CAPAS DE BASE O DE SUPERFICIE

| TAMIZ EN PULGADAS | PORCENTAJE DE MATERIAL QUE PASA POR PESO | | | | | |
|-------------------|--|-------|-------|--------|--------|--------|
| | GRANULOMETRIA | | | | | |
| | A | B | C | D | E | F |
| 2 | 100 | 100 | - | - | - | - |
| 1 | - | 75-95 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 3/8 | 30-65 | 40-75 | 50-85 | 60-100 | - | - |
| Nº 4 | 25-55 | 30-60 | 30-65 | 50-85 | 55-100 | 70-100 |
| Nº 10 | 15-40 | 20-45 | 25-50 | 40-70 | 40-100 | 55-100 |
| Nº 40 | 8-20 | 15-30 | 15-30 | 25-45 | 20-50 | 30-70 |
| Nº 200 | 2-8 | 5-20 | 5-15 | 5-20 | 6-20 | 8-25 |

Fuente: Memorias del Seminario Ingenieria de Carreteras: ASIA, ACODES, FEPADE.
San Salvador, El Salvador, Mayo de 1994.

Se consideran funciones principales de la base las siguientes:

- Soportar adecuadamente las cargas transmitidas por los vehículos a través de la carpeta y transmitir los esfuerzos a la subrasante, por medio de la subbase, de tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en el pavimento.
- Drenar el agua que se introduce por medio de

grietas en la carpeta o por los hombros evitando también la ascensión capilar.

CARPETA:

Consiste en una capa o conjunto de capas que se colocan sobre la base, está constituida por material pétreo mezclado con algún producto asfáltico (Cemento Asfáltico, Asfalto Líquido, Emulsión Asfáltica) se puede decir que la función principal de la carpeta, consiste en proporcionar al tránsito una superficie estable, prácticamente impermeable, uniforme y de textura apropiada.

Cuando la carpeta se construya con espesores mayores o iguales a 5 centímetros (2"), se considera que contribuye al resto de capas a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos, aunque estructuralmente la carpeta no es ésta su función.

3 DEFINICION Y CLASIFICACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

El diseño de pavimentos involucra un estudio de Suelos y Materiales para la Pavimentación de Carreteras, Calles y Aeropistas; el conocimiento de su comportamiento bajo cargas y el dimensionamiento de una estructura que sea capaz de resistir bajo diferentes condiciones climáticas.

De acuerdo a lo anterior se puede definir el pavimento como: La estructura generalmente integrada por la Subbase, Base y Carpeta de Rodadura, construyéndose sobre una terracería debidamente compactada, para poder soportar las cargas de tránsito de acuerdo al diseño, impidiendo la acumulación o penetración de humedad, disponiendo de una superficie tersa, resistente al deslizamiento y al deterioro en general.

Una definición de uso común es: "Un pavimento flexible es una estructura que mantiene un contacto íntimo con las cargas y las distribuye a la subrasante; su estabilidad depende del entrelazamiento de los agregados, de la fricción de las partículas y de la cohesión".

De este modo el pavimento flexible comprende en primer lugar a aquellos pavimentos que están compuestos por una

serie de capas granulares finalizando con una capa de rodamiento asfáltica de alta calidad relativamente delgada.

Con frecuencia, la superficie de rodamiento y la base constan de dos o más capas que son diferentes en su composición y que se tienden en operaciones de construcción separadas.

En muchos pavimentos de alta resistencia, es frecuente que se coloque una subbase de material seleccionado entre la base y la terracería.

La superficie de rodamiento puede variar en un espesor desde menos de 1 pulgada en el caso del tratamiento superficial usado por su bajo costo en caminos de tránsito ligero, hasta 6 pulgadas o más de concreto asfáltico usado para caminos de tránsito pesado. La superficie de rodamiento debe tener capacidad para resistir el desgaste y los efectos abrasivos de los vehículos en movimiento y poseer suficiente estabilidad para evitar daños por el impulso y las rodadas bajo la carga de tránsito. Además, sirve para impedir la entrada de cantidades excesivas del agua superficial a la base y a las terracerías directamente desde arriba.

La carpeta asfáltica puede ser constituida de acuerdo a

los siguientes tipos:

- A) Mezcla asfáltica en caliente.
- B) Mezcla asfáltica en frío.
- C) Tratamiento superficiales simple o múltiple.
- D) Macadam Asfáltico.

Mezcla Asfáltica en Caliente.

Es una mezcla completa de agregados gruesos, finos y un ligante bituminoso. Estos materiales son combinados en una planta de mezclado, donde son calentados, proporcionados y mezclados para producir una mezcla homogénea.

Para una clasificación general de composición de mezclas el Instituto del Asfalto, recomienda considerar las normas de mezcla y el tamaño máximo nominal del agregado como lo establece la norma standard ASTM D 3515 para mezclas bituminosas mezclada y colocada en caliente.

Mezcla Asfáltica en Frío.

Es la combinación de agregados y un ligante bituminoso que pueden mezclarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente. En alguna ocasión el agregado puede llegar a

calentarse ligeramente.

Estas mezclas emplean en su fabricación ligantes bituminosos con menor viscosidad que las mezclas en caliente, betunes fluidificados, alquitranes fluidos o emulsiones asfálticas. El mezclado se puede efectuar "In Situ" o en plantas mezcladoras fijas.

Los tipos de mezcla en frío que pueden distinguirse son:

- Mezclas Abiertas.
- Mezclas Densas.
- Grava-Emulsión.
- Suelo-Emulsión.
- Micro aglomerados en frío.

Tratamientos Superficiales.

Es un término que cubre, en general todas las aplicaciones de asfalto, con o sin agregados a cualquier tipo de camino o superficie de pavimentos, pero cuyo espesor final es por lo general inferior a 25 mm (1 pulgada).

Los tratamientos superficiales varían desde una simple

y ligera aplicación de cemento asfáltico o emulsión bituminosa a múltiples aplicaciones de materiales asfálticos, sobre los cuales se distribuyen agregados pétreos. Todos los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de los caminos, teniendo cada tipo uno o más propósitos especiales.

De acuerdo a la aplicación o preparación, la siguiente es una ampliación de los tratamientos superficiales:

- Tratamiento superficial simple y múltiple.
- Tratamiento superficial con aplicación única de asfalto.
- Riego de Imprimación.
- Riego Antipolvo.
- Lechadas Asfálticas.

Macadam Asfáltico.

Es el tipo más antiguo de los pavimentos para carreteras actualmente en uso. El Macadam Asfáltico, por penetración consiste en una base o una superficie de rodamiento de piedra triturada o escoria de un solo tamaño en la que los fragmentos están ligados con asfalto. Se emplea como capa superficial para caminos de tránsito medio

a pesado, pero para caminos de tránsito pesado ha sido sustituido por el concreto asfáltico. Para su construcción puede ser utilizado cemento asfáltico y asfalto emulsionado o uno de los grados más pesados de los alquitranes para caminos.

3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Ventajas

- a) Fácil financiamiento por su bajo costo inicial.
- b) La construcción como las operaciones de mantenimiento se realizan en un tiempo más corto.
- c) La marcha de los vehículos automotores es más suave por no tener juntas de unión.
- d) Pueden utilizarse nuevamente como base los pavimentos existentes cuando se coloque una nueva capa de rodaje.

Desventajas

- a) Ocasionan mayores gastos en el mantenimiento.
- b) En época de invierno los daños son considerables y más costosas las operaciones de mantenimiento.

3.2 FACTORES EN LA CONSTRUCCION

Para la construcción de un pavimento flexible se depende de los siguientes factores:

- a) Clasificación de la carretera, calle o camino.
- b) Condiciones climáticas.
- c) El material granular a utilizar.
- d) Volumen de tránsito.
- e) Tipo de vehículo que circulará.
- f) Condiciones de la subbase.
- g) Equipo disponible para la construcción.

3.3 ORIGEN Y TIPOS DE FALLAS

3.3.1 VIDA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

El deterioro continuo y permanente de una vía comienza en el momento en que finaliza su construcción. Al examinar el comportamiento de los pavimentos flexibles, se puede dividir su vida en tres fases:

Fase de Consolidación.

Es la fase inicial en la vida de un pavimento flexible, donde sus diversas capas sufren cierta consolidación, debido a las cargas transmitidas por las ruedas de los vehículos. Es una fase relativamente corta que tiende a estabilizarse rápidamente. Depende de la compactación que reciben las diversas capas durante la construcción y no debe ocurrir si ésta ha sido suficiente.

Fase Elástica.

Inicia inmediatamente después de la fase anterior y corresponde a la vida útil del pavimento. Si ocurre la fase de consolidación, cada carga provoca una deformación de tipo permanente que luego tiende a transformarse en deformación transitoria de recuperación instantánea de tipo elástico, provocando cada rueda un movimiento vertical hacia abajo (deflexión), que se recupera después de pasar el vehículo (rebote).

Durante la fase elástica no se presentan fallas generalizadas en el pavimento, salvo deformaciones o fallas locales por defectos de materiales, exceso de humedad, etc.

En esta fase, las deformaciones elásticas causadas por las cargas, producen esfuerzos de tensión en las capas asfálticas y de compresión en las capas granulares.

La vida de un pavimento depende de esta fase, de su duración, lo cual está íntimamente ligado a las deflexiones que pueda sufrir el pavimento. Los estudios de los pavimentos en servicio han demostrado que aquellos que presentan deflexiones reducidas, tienen generalmente una vida larga, aconteciendo lo inverso cuando estas son elevadas.

Fase de Fatiga.

Es la fase final en la vida de la estructura. Las deflexiones causadas por el constante paso de las ruedas de los vehículos provocan tensiones de tracción en los revestimientos asfálticos, que vienen acumulándose desde la fase elástica hasta que la capa se rompe por fatiga después de cierto número de pasadas, momento a partir del cual comienza un colapso gradual en toda la vía requiriéndose prácticamente una reconstrucción de la misma. La rotura por fatiga se inicia con la aparición de grietas longitudinales las cuales con el paso repetido del tránsito y la penetración de las aguas superficiales al interior del

pavimento provocan el colapso de la estructura llegando el pavimento al final de su vida útil.

3.3.2 MECANISMOS DE DEFORMACION

Toda carga vehicular sobre un pavimento produce una deformación, la cual puede ser transitoria o permanente.

Transitoria.

Es aquella que desaparece cuando se retira la carga. Si la recuperación es instantánea se dice que la deformación es elástica.

Si por el contrario, transcurre cierto tiempo desde que se retira la carga hasta recuperar la condición inicial se dice que ésta es viscoelástica.

Permanente.

Es aquella que se mantiene aún después de haber retirado la carga. Dentro de este tipo se encuentran las deformaciones: por consolidación, plásticas y por expansión.

Por Consolidación.

Consiste en la reducción en el espesor de alguna de las capas del pavimento, con un cambio correspondiente de volumen. Generalmente esta deformación se debe a una compactación insuficiente de la capa que falla y se caracteriza por no presentar grietas, pero produce incomodidad al tránsito.

Plástica.

Consiste en una falla por esfuerzo de corte debido a que las cargas aplicadas exceden la capacidad de soporte de la estructura del pavimento. Se caracteriza por una alteración en la superficie del pavimento sin que ocurra cambio en su volumen.

Por Expansión.

Consiste en un cambio de volumen del pavimento debido a variaciones en el contenido de humedad del suelo de fundación. Se produce por el empleo de materiales inadecuados trabajados incorrectamente durante la construcción.

3.3.3 ORIGEN DE LAS FALLAS

Uno de los aspectos más importantes de los pavimentos es la falla existente en ellos, se debe acordar o definir lo que realmente la constituye, reconociendo dos tipos:

Fallas Funcionales.

Son relativamente leves, cuando un pavimento ha perdido su función inicial; generalmente se localiza en la capa superficial. ya sea carpeta asfáltica, losa de concreto, adoquinado o empedrado, si una carpeta asfáltica se coloca en un pavimento para que proporcione un tránsito cómodo y seguro, resultando que esa carpeta después de un tiempo de uso, está resbaladiza, entonces tiene falla funcional. Estas pueden ser progresivas o no, además no afectan los pavimentos para usarse, simplemente perdieron su "cómoda textura", que es muy importante, sobre todo en calles o carreteras de mucho tránsito.

Fallas Estructurales.

Estas pueden originarse por el rompimiento de una o varias capas en la estructura del pavimento.

También puede fallar el cuerpo de un terraplén o el suelo que lo soporta. Cuando éstas se encuentran muy avanzadas pueden obstaculizar el paso vehicular por la carretera.

3.3.4 FALLAS EN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Fallas en la Carpeta Asfáltica.

Siendo la carpeta la capa que está en contacto directo con las cargas y los efectos ambientales la falla se observa en ella con facilidad. éstas pueden ser causadas por diversos aspectos tales como: Espesor insuficiente, exceso o falta de asfalto, riego de imprimación excesivo, mezcla asfáltica quemada, exceso de humedad en la mezcla, dosificación incorrecta de los agregados, compactación deficiente, etc.

Estos factores pueden provocar ondulaciones, grietas aisladas, desintegración de la carpeta, mezcla asfáltica inestable y otras.

Fallas en la Base.

Esta capa es muy importante en los pavimentos asfálticos, sus fallas son de tipo estructural. Pueden deberse a exceso de arcilla, que al saturarse se expanden y pierden su resistencia, provocando una deformación junto con la carpeta.

El espesor de la base puede ser menor que el correspondiente a su factor de carga, produciéndose la falla por esfuerzo cortante y puede fallar por consolidación debido a una deficiente compactación provocando también deformación en la carpeta de rodadura.

Fallas en la Subbase.

Por lo general, los problemas que ésta presenta son similares a los que se dan en la base.

Si la falla es en la subbase o subrasante, el movimiento en la base y la carpeta es exagerado y se manifiesta por unas huellas profundas o baches.

En general, el agua ejerce una acción destructora sobre los pavimentos flexibles, tanto la que se infiltra

directamente como la que sube por capilaridad, por lo que es necesario impermeabilizar y estabilizar adecuadamente las capas de base, subbase o subrasante.

3.3.5 TIPOS DE FALLAS

Existen básicamente cuatro tipos de fallas de acuerdo a la forma de manifestarse:

I. AGRIETAMIENTOS.

Son una serie de fisuras longitudinales, transversales, etc., que por diversas causas aparecen sobre los pavimentos flexibles.

Los agrietamientos son causados por deficiencias en las carpetas asfálticas, base, subbase o subrasante; manifestándose de la forma siguiente: grietas en forma de piel de cocodrilo, longitudinales, de reflexión, de encogimiento, de desplazamiento y de ampliación.

II. DEFORMACION Y DISTORSION.

Se define como cualquier cambio en la forma original de la superficie de un pavimento flexible, puede ser causada por deficiencia, bien de las carpetas asfálticas o de las capas inferiores. En el primer caso se hace inestable, causado por exceso de asfalto, exceso de agua o la utilización de agregado liso y redondeado. En el segundo caso puede ser por la deformación plástica de la capa o por espesor insuficiente de la base. Se manifiestan con ahuellamientos, ondulaciones, hundimientos, hinchamientos, etc.

III. DESINTEGRACION.

Es la rotura del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos o también la disgregación de las partículas del agregado integrante de la muestra.

Normalmente es causado por deficiencia de asfalto, por oxidación, acción del agua o por la mala operación de los equipos de construcción. Se manifiestan como baches, desmoronamientos, pérdida del agregado de cubierta.

IV. RESBALAMIENTO.

Generalmente es el resultado de la existencia de una película de asfalto, derrames de aceites sobre la superficie o de agregado pulido en la carpeta de rodamiento.

Este tipo de falla siempre es causado por la deficiencia de la carpeta asfáltica, como resultado de exceso de asfalto, el uso de agregados pulidos o desgastados, derrames de aceites u otras sustancias.

| PUESTA EN OBRA DE MEZCLAS ASFALTICAS, PROBLEMAS Y SUS CAUSAS | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|----------------------------------|--|--|--|--|---------------|-------------------------|---|------------------------------|---|-------------------------------|
| PROBLEMAS | CAUSAS | | | | | | | | | | | | |
| | Relación espesor capa- tamaño máximo inadecuado | Descarga incorrecta de la mezcla en la extendedora | Capa subyacente inadecuada | Operaciones de compactación incorrectas | Velocidad inadecuada de los compactadores | Detención de los compactadores sobre la mezcla caliente | Proyecto incorrecto de la mezcla | Segregaciones | Humedad en la mezcla | Variaciones de temperatura de la mezcla | Mezcla a baja temperatura | Fluctuaciones importantes de materia en tolva exte. | Puesta en obra inadecuada. |
| Rizado superficial (ondas cortas) | | | * | * | | | * | * | | * | | * | * |
| Ondulación superficial (ondas largas) | | * | * | | * | * | | * | | * | | * | * |
| Textura no uniforme | * | | * | | | | * | * | | * | * | * | * |
| Desgarramientos, peladuras | | | | | | | * | * | * | * | * | | |
| Huellas transversales de la extendedora | | * | | | | | | | | | | | |
| Precompactación escasa | * | | * | | | | | | | * | | | * |
| Junta longitudinal | | | | * | | | | | | * | * | | * |
| Juntas transversales | | | | * | | | | | | * | | | * |
| Grietas transversales | | | * | * | | | * | | * | * | | | |
| Desplazamiento longitudinal | | | * | * | * | | * | | * | * | | | |
| Exudaciones y manchas | | | | | | | * | | * | * | | | |
| Huellas de los compactadores | | | * | * | * | * | | | * | | | | |
| Compactación pobre | | | * | * | * | * | * | | * | * | * | | |

Fuente: Jornadas Nacionales de Firmes Flexibles.

Asociación Técnica de Carreteras, España.

Oviedo, 5 al 7 noviembre de 1986.

3.4 MANTENIMIENTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

Quando se ha terminado un proyecto de construcción de una vía, el constructor ha entregado la obra y se ha realizado el pago final de la misma, teniendo una nueva instalación disponible para el usuario, creándose una nueva responsabilidad, la de preservar la inversión y la de servir y proteger los intereses del público que se transporta sobre la carretera. Esta es la realidad, no solo en lo que compete a la vía construida recientemente, sino también, todas aquellas que forman la red.

El mantenimiento de pavimentos se define: Como la función de preservar, reparar y restaurar una carretera (vía) y conservarla en condiciones de uso seguro, conveniente y económico.

Los programas de mantenimiento están diseñados para compensar los efectos del clima, crecimientos orgánicos, desgaste y daños provocados por el tránsito, así como el deterioro debido a los efectos del envejecimiento, fallas de los materiales, construcción y diseño. A pesar de la vigilancia y de los esfuerzos que se realizan para mantener en servicio la red vial se llega a un momento en el cual se requiere una rehabilitación, no bastando el mantenimiento

físico como el bacheo, reparación de juntas, etc.

Se considera un mantenimiento a la reparación que se realiza con un espesor menor de 3/4 pulg. (\pm 2.0 cms), o el reemplazo del pavimento en una longitud menor de 150 m. Si la colocación de una nueva carpeta es mayor de 3/4 pulg. (\pm 2.0 cms) o una longitud continua de 150 m. o más, es considerado como rehabilitación.

3.4.1 IMPORTANCIA DE UN MANTENIMIENTO

Encuentra su justificación de manera principal en la necesidad de proteger la inversión que se realiza al construir una vía. El público que viaja está consciente de las condiciones de la red vial y se inclina a dar su desaprobación acerca de los baches, señales ilegibles y estructuras de drenaje que no cumplen en forma apropiada con su función y otras fallas que se presentan a lo largo de toda la vía.

El personal de mantenimiento enfrenta un enorme problema al querer conservar la vía en buen estado, para reparar todo el sistema adecuadamente. Es conocido que la gravedad del problema se centra en la magnitud de los presupuestos para el organismo encargado de preservar la red

vial en buen estado.

3.4.2 TECNICAS EMPLEADAS PARA EL MANTENIMIENTO

Las técnicas aplicadas para el mantenimiento de los pavimentos de concreto asfáltico, dependen del tipo de falla en la superficie de rodamiento y/o sus capas inferiores. Estas se deben tomar en cuenta y estar basadas en las causas que generan las fallas para que sea efectiva la aplicación y lograr un mantenimiento adecuado.

Los procedimientos actuales que realiza la DGC y DUA se basan en las recomendaciones del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos, que considera las características de los materiales y las condiciones climatológicas variables (invierno y verano).

En nuestro país debido a muchos factores (Ej.: La falta de financiamiento para inversión en mantenimiento vial, así como la falta de planes y programas de evaluación y tratamiento del estado de las carreteras, etc.), el mantenimiento aplicado ha sido correctivo generalmente atendiendo a la crítica del usuario, pero no preventivo, razón por la cual muchas técnicas orientadas a detectar y corregir defectos menores en las vías, no han podido ser

utilizadas.

En la actualidad se aplican métodos que van desde sellado de fisuras, hasta la aplicación de mezclas asfálticas (en frío o en caliente).

3.4.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO APLICADOS EN EL SALVADOR

- Tratamiento Superficial: Simple, Doble y Múltiple.

Cuando ha fallado la carpeta asfáltica, pero no las capas adyacentes y subyacentes (base y subbase), se requiere mantener las características originales del camino. Procediendo con:

Tratamiento Simple: Riego de asfalto líquido, cubierto con una capa de material pétreo compactado.

Tratamiento Doble: Aplicación de dos veces el tratamiento superficial simple.

Tratamiento Múltiple: Aplicación de 3 ó 4 veces el tratamiento superficial simple, variando la granulometría del agregado pétreo.

- **Riego de Sello.**

Aplicado en pavimentos de superficie abierta, muy lisa o muy desgastada; además, cuando existen fisuras menores de 3 mm. Consiste en colocar sobre el pavimento una película de asfalto cubierta con una capa de material pétreo fino.

- **Recarpeteo con Mezcla Asfáltica en Caliente.**

Es la aplicación sobre el pavimento de una mezcla de concreto asfáltico elaborada en caliente, se recomienda en casos de deterioro estructural generalizado.

- **Bacheo Superficial.**

Corrige daños o defectos superficiales, tales como: desintegraciones, corrimientos, peladuras, etc., que afecten únicamente la carpeta asfáltica. Se ejecuta cuando la profundidad del bache es mayor de 2 cms. o cuando exista fisuramiento piel de cocodrilo.

- **Bacheo Profundo.**

Consiste en remover y eliminar la carpeta deteriorada, base y subbase; se recomienda cuando los daños no excedan de

20 m² en total o no cubran más del 30% de la sección a reparar; para extensiones mayores se recomienda la rehabilitación.

- **Bacheo del Hombro.**

Aplicado con el objetivo de sustituir una parte de la superficie del hombro cuando se presentan desintegraciones, peladuras, etc., y evitar mayores deterioros que perjudiquen el confinamiento de la calzada.

- **Chapeo y Limpieza en Zona Lateral.**

Consiste en despejar la maleza, hierba, zacate, residuo de siembras, troncos, árboles y arbustos existentes en el derecho de vía, con el propósito de mejorar la visibilidad y seguridad del usuario.

- **Conformación del Hombro.**

Cuando se ha deformado por intemperismo, tráfico o cualquier otra causa, consiste en alisar y conformar la superficie del hombro sin añadir material adicional.

- **Revestimiento de Hombro.**

Es la colocación de una capa de material selecto con espesor de hasta 15 cms., cuando se ha erosionado por intemperismo, tráfico o cualquier otra causa.

- **Reposición del Hombro.**

Reconstruir el hombro cada vez que sufra daños en un espesor de 15 cms.

- **Limpieza y Conformación Manual de Cunetas y Canales de Desagüe.**

Para mantener el flujo hidráulico libre. Consiste en excavar y remover los materiales inertes y vegetales que se han acumulado en el período que no se ha practicado el mantenimiento.

3.4.4 METODOS DE MANTENIMIENTO

Los procedimientos de mantenimiento para corrección de fallas en pavimentos asfálticos incluyen bacheo, sellado de grietas o superficies y recubrimiento de la superficie.

El sellado de fisuras se efectúa usando asfaltos diluidos o emulsionados: lechadas emulsionadas, compuestos especiales de asfalto o mediante el sellado del área superficial.

Mezclas Asfálticas y Materiales.

El concreto asfáltico y otras mezclas de planta en caliente producen bacheos de larga vida que desarrollan estabilidad rápidamente. Deben usarse siempre que sea práctico y económico. Otros materiales de mantenimiento son mezclas asfálticas de plantas en frío y mezclas "In Situ", empleando asfaltos de curado medio o emulsificados para uso inmediato o con un corto tiempo de almacenamiento. El asfalto de curado lento o emulsión que contenga solvente se usa para mezclas de bacheo almacenadas. Un tipo de mezcla en frío hecha en planta consiste en cemento asfáltico mezclado con un diluyente como kerosene. Esta mezcla para bacheo puede ser almacenada o bien usada inmediatamente.

Para rellenar fisuras pequeñas se usan grados livianos de asfalto diluidos de curado rápido y medio, como también emulsiones asfálticas y lechadas de asfalto emulsionado. Para fisuras mayores, los mismos asfaltos pueden ser combinados con agregado fino o arena y barridos en el lugar.

Estas fisuras de gran tamaño pueden sellarse con asfalto y espolvorearse con agregado fino o polvo mineral para prevenir el ahuellamiento.

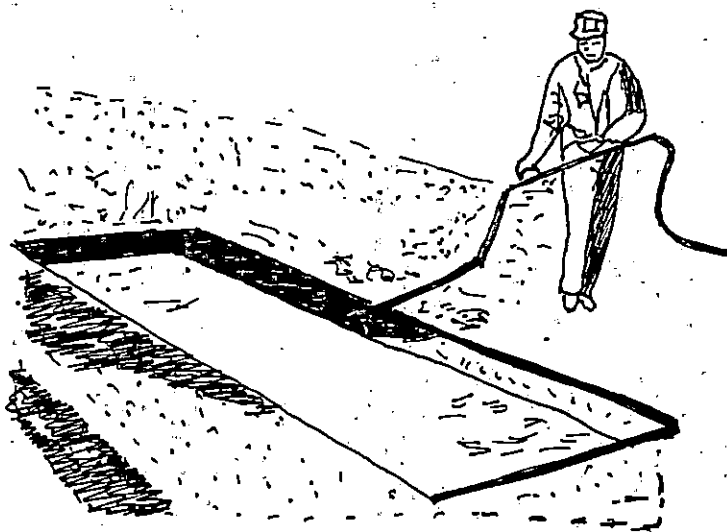
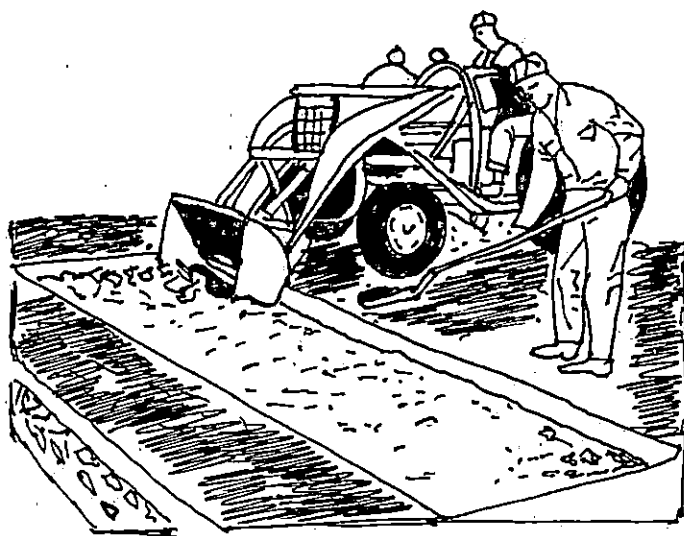
El bacheo es probablemente el método más difundido de reparación en el mantenimiento de carreteras y calles. Todos los pavimentos requieren bacheo alguna vez. Si los baches no ocurren por causas naturales, los producen los cortes y zanjas que origina el tránsito. Los defectos varían desde áreas agrietadas y abrasiones superficiales hasta baches profundos.

El bacheo requiere una supervisión experimentada y firme. Una reparación oportuna de las pequeñas fracturas ayudará a mantener bajos los gastos porque una vez que el área se ha roto y entra el agua se produce una falla muy grande.

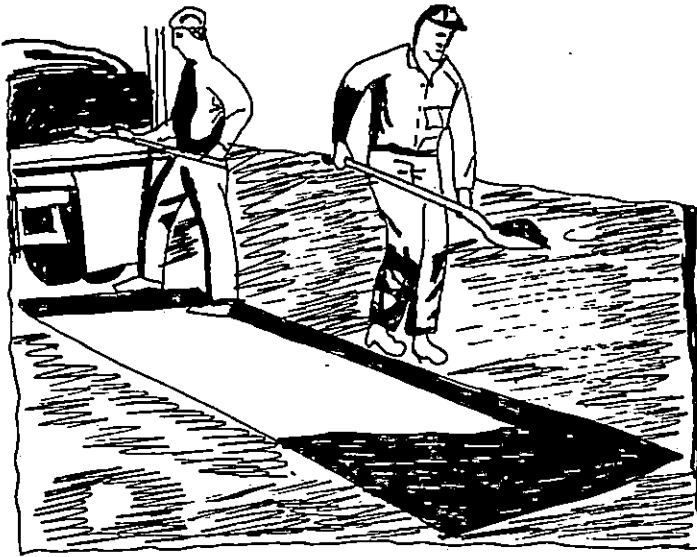
En su ejecución el bache se debe cortar con sus caras verticales y sus esquinas a escuadra y en forma rectangular. Para obtener mejores resultados, el bache debe ser rellenado primeramente con una mezcla asfáltica densa, de planta en caliente y distribuida cuidadosamente para prevenir segregación. Si no se dispone de mezcla asfáltica, se rellena el piso del bache con un buen material granular de

base. La parte de la superficie y la porción superior de la base que fue excavada pueden disgregarse en pedazos pequeños, mezclarse cuidadosamente y colocarse en el piso del bache. Si la profundidad del bache es mayor de 15 cms., el relleno debe ser colocado en capas y cada capa debe ser compactada cuidadosamente.

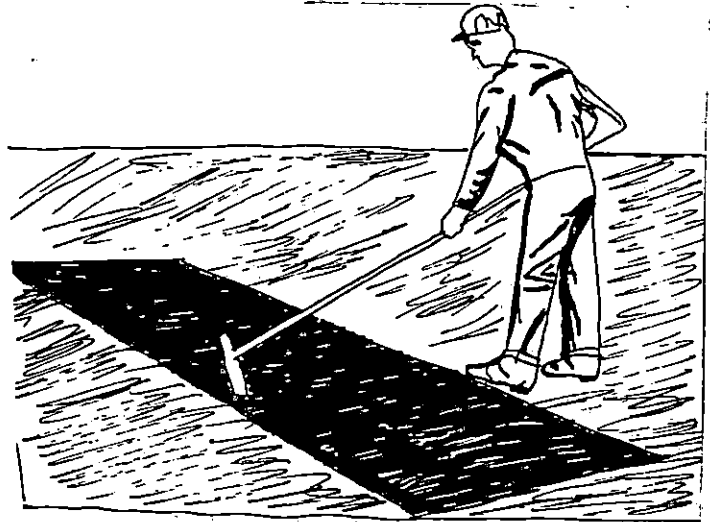
Remoción de la
Superficie y de
la Base



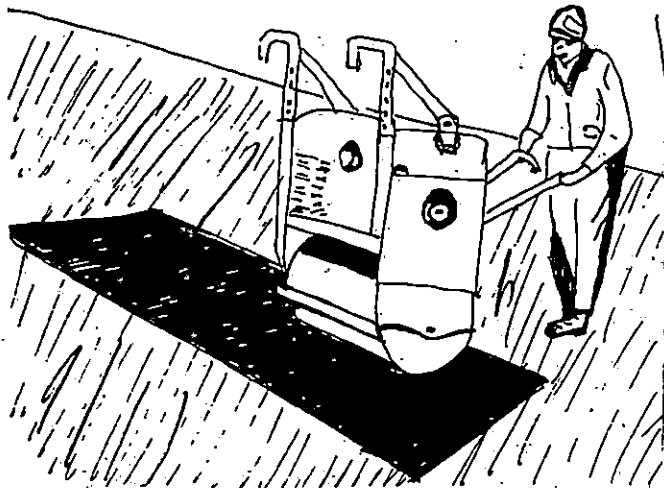
Aplicación de un
Riego de Liga
a las Caras
Verticales



Rellenado del Bache
con Mezcla de Planta



Distribución de
la Mezcla



Compactación de
la Mezcla

3.4.5 MANTENIMIENTO SEGUN LA FALLA

GRIETAS O FISURAS.

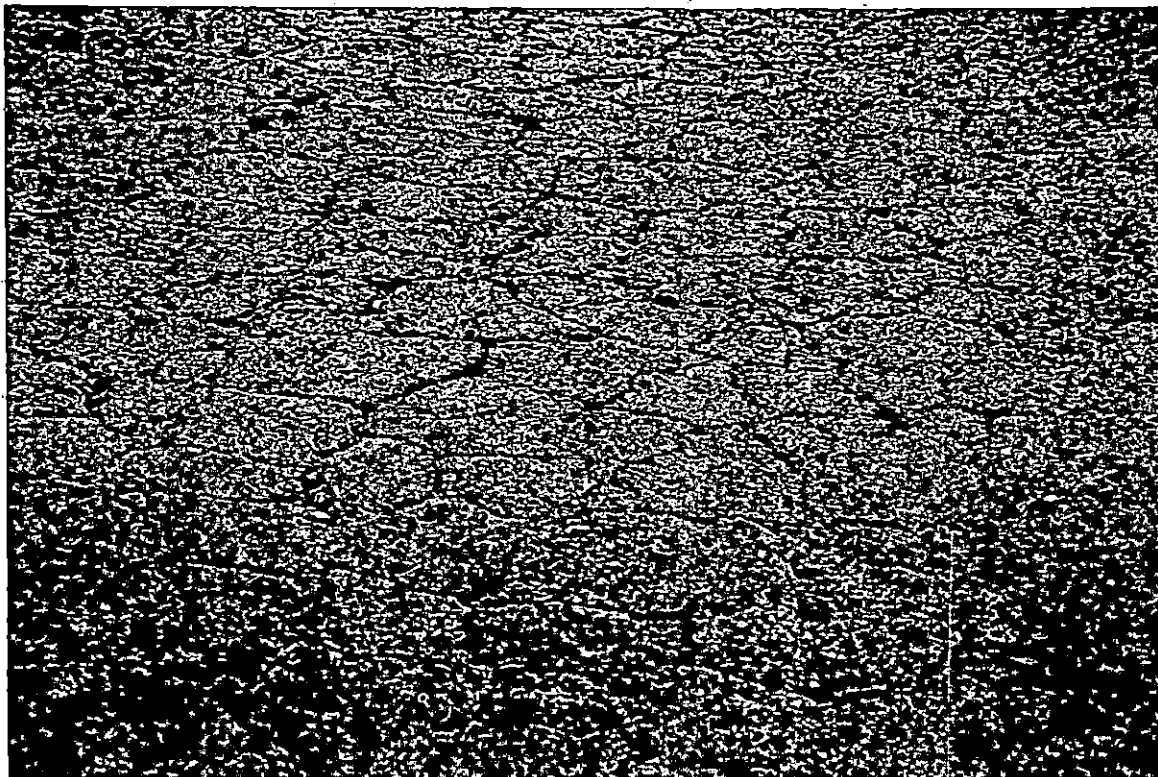
Las fisuras aparecen de muchas formas. En algunos casos el tratamiento correcto puede ser el llenado de las fisuras simples, en otros puede ser necesario la remoción completa del área afectada y ejecución del drenaje, antes de efectuar las reparaciones efectivas. Para efectuar las mejoras adecuadas, se deben determinar primero las causas del agrietamiento.

El modelo de agrietamiento es frecuentemente el mismo para varias causas y para varios estados de falla. Los tipos de grietas que los equipos de mantenimiento encuentran más comúnmente son:

- Grietas Piel de Cocodrilo.
- Grietas de Borde.
- Grietas de Juntas.
- Grietas de Reflexión.
- Grietas de Contracción.
- Grietas de Desplazamiento.

Las causas, así como el proceso a seguir para su reparación se presenta a continuación acompañado de fotografía de la falla.

Grietas Piel de Cocodrilo.



Las grietas piel de cocodrilo son fisuras interconectadas formando una serie de pequeños bloques semejando la piel de cocodrilo. Generalmente están asociadas a una base granular no tratada que ha fallado o una subrasante elástica.

Como la fisuración piel de cocodrilo generalmente es causada por una base o subrasante saturada la corrección

debe incluir la remoción del material húmedo y la ejecución de drenajes. Una mezcla asfáltica provee un parche resistente. Si no se dispone de mezcla asfáltica, puede usarse un material granular nuevo, compactado en capas imprimadas y con superficie tratada.

Para reparaciones temporarias pueden usarse parches superficiales. De cualquier forma las reparaciones deben realizarse rápidamente para que no ocurra un daño mayor al pavimento.

Grietas de Borde.



FOTO I

Las fisuras de borde (Foto I y Foto II) son grietas no lejos del borde del pavimento, con o sin, grietas transversales bifurcadas hacia las cunetas. Comúnmente las fisuras de borde son causadas por la falta de soporte lateral o de cunetas del pavimento asfáltico. También pueden ser causadas por un asentamiento o deformación del material de base subyacente al área fisurada. Esto puede ser el resultado de un drenaje pobre, o contracción debido al resecado de la tierra circundante.

Para reparación, las fisuras de borde deben ser rellenadas con lechada de emulsión asfáltica o asfalto diluido mezclado con arena. Si el borde del pavimento ha cedido, la superficie debe ser llevada a nivel con un material de bacheo constituido por mezcla caliente hecha en planta.



FOTO II

Grietas de Juntas.

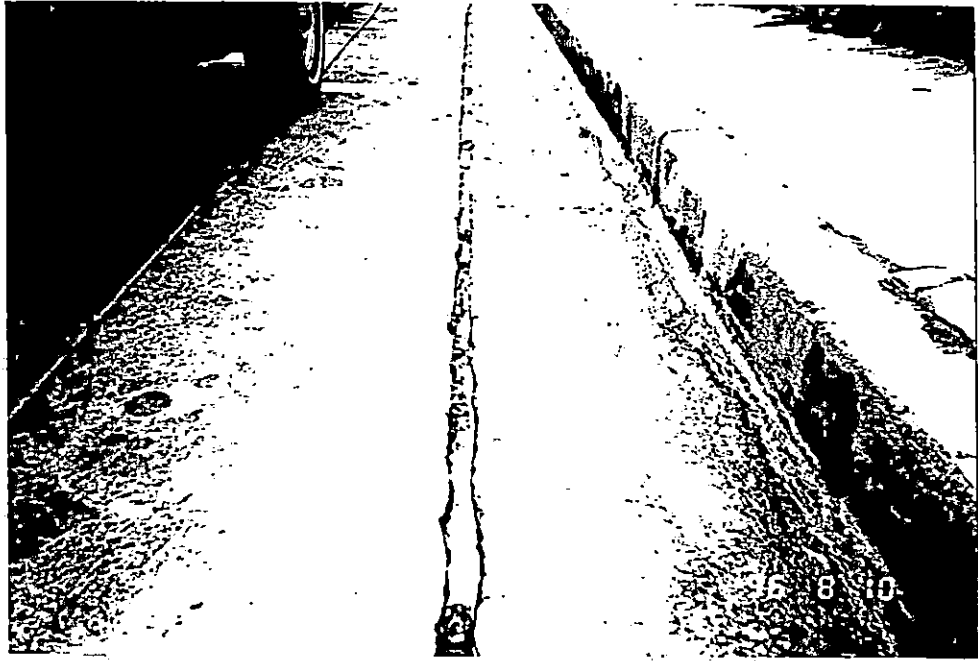


FOTO A

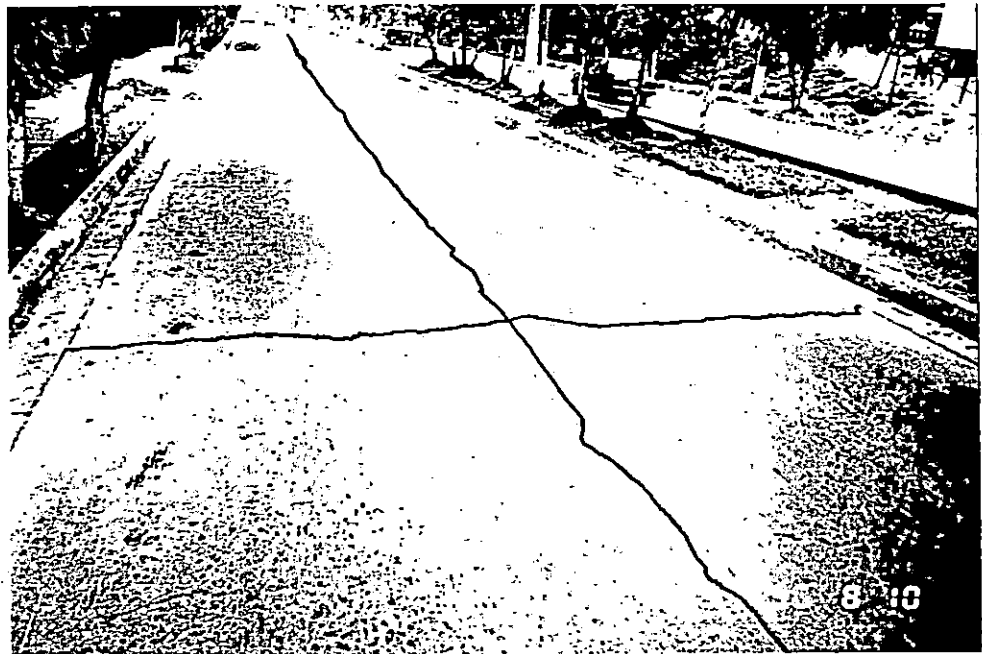


FOTO B

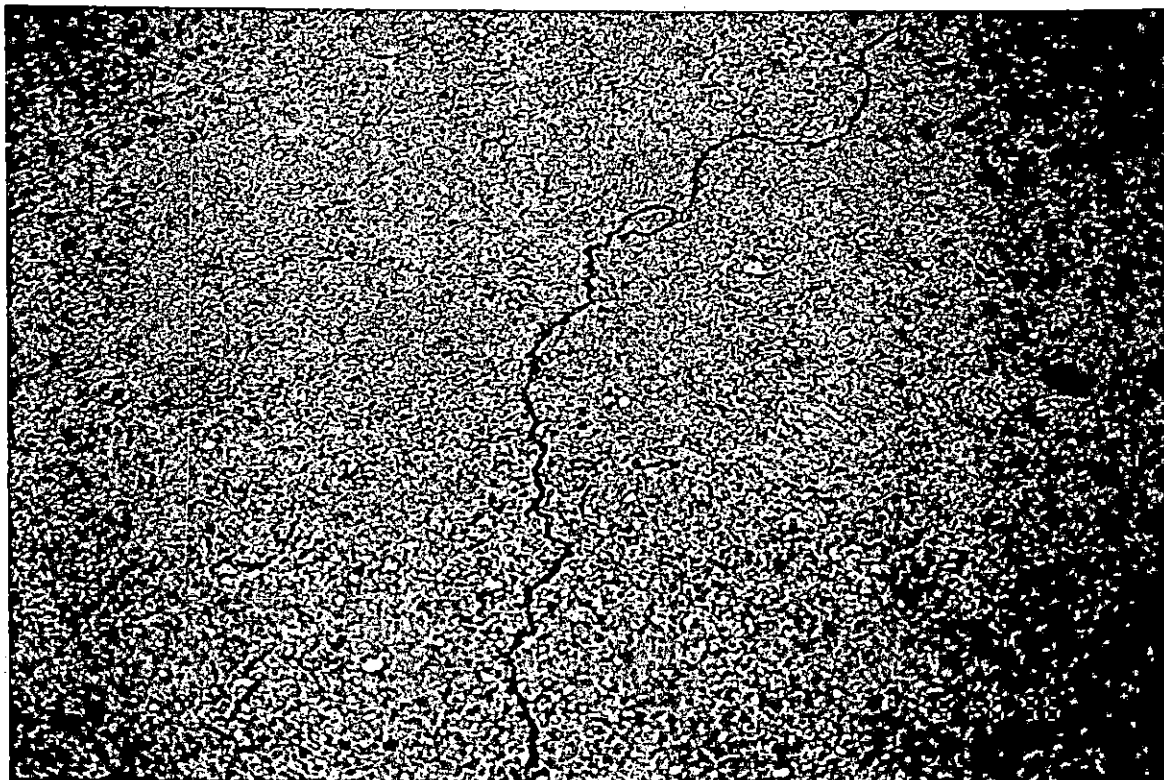
Existen dos tipos de fisuras o grietas de juntas. Una es la fisura en la junta de borde, que ocurre entre el pavimento y el cordón cuneta (foto A). La otra es en la junta entre carriles, que ocurre entre dos carriles adyacentes (foto B).

Una causa común de la fisuración en la junta de borde es el humedecimiento y secado alternativos por debajo de la superficie del cordón cuneta. Generalmente se produce por un drenaje pobre donde el agua es atrapada o encharcada sobre la junta entre el pavimento y el cordón cuneta.

Las fisuras en las juntas entre carriles, por otro lado, son generalmente causadas por una débil unión o ligazón entre las capas contiguas del pavimento.

Cuando el agua es un factor contribuyente a la fisuración, lo primero que debe ser corregido es el drenaje. Las fisuras son rellenadas con lechada de emulsión asfáltica. Para rellenar fisuras grandes pueden usarse compuestos especiales de asfalto o asfaltos más densos.

Fisuras de Reflexión.



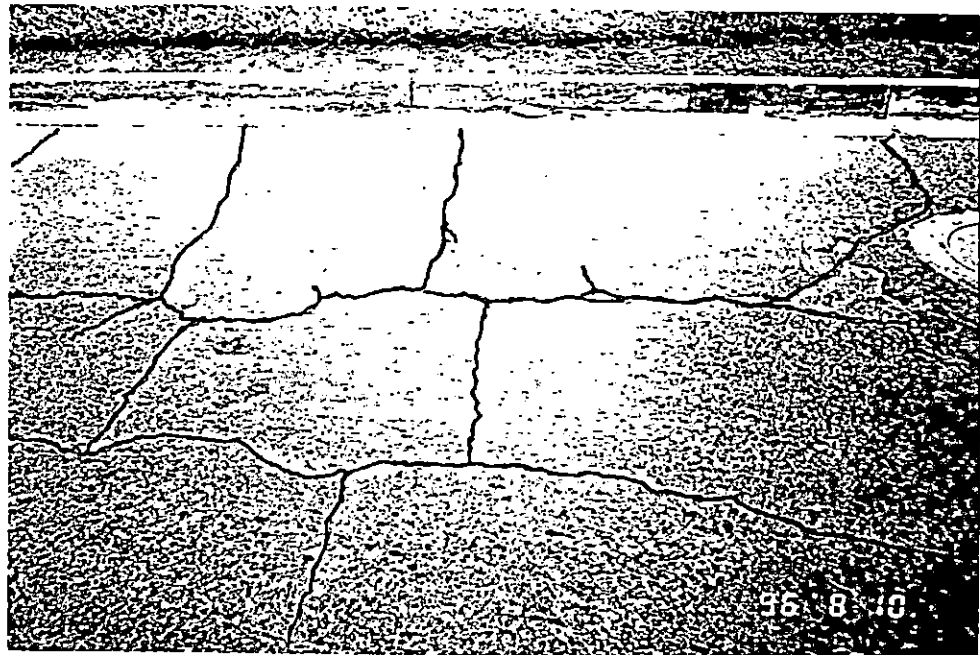
Las fisuras de reflexión ocurren en las capas sobrepuestas de asfalto. Estas reflejan el tipo de fisura de la estructura inferior del pavimento. Se encuentran frecuentemente en capas superficiales de asfalto sobre bases de concreto con cemento portland y bases tratadas con cementos.

Las fisuras de reflexión están causadas por movimientos

verticales u horizontales del pavimento por debajo de las capas sobrepuestas, debido a las cargas del tránsito; temperatura y movimientos del terreno.

Si las fisuras de reflexión son menores de 3 mm (1/8 pulg.) de ancho pueden ser ignoradas a menos que el agua pueda entrar y causar un daño mayor. En este caso, se deben rellenar con una técnica especial, usando asfalto emulsificado o diluido cubierto con arena. Las grietas más anchas que 3 mm (1/8 pulg.) se rellenan con una lechada de emulsión asfáltica o con un asfalto diluido liviano y arena fina.

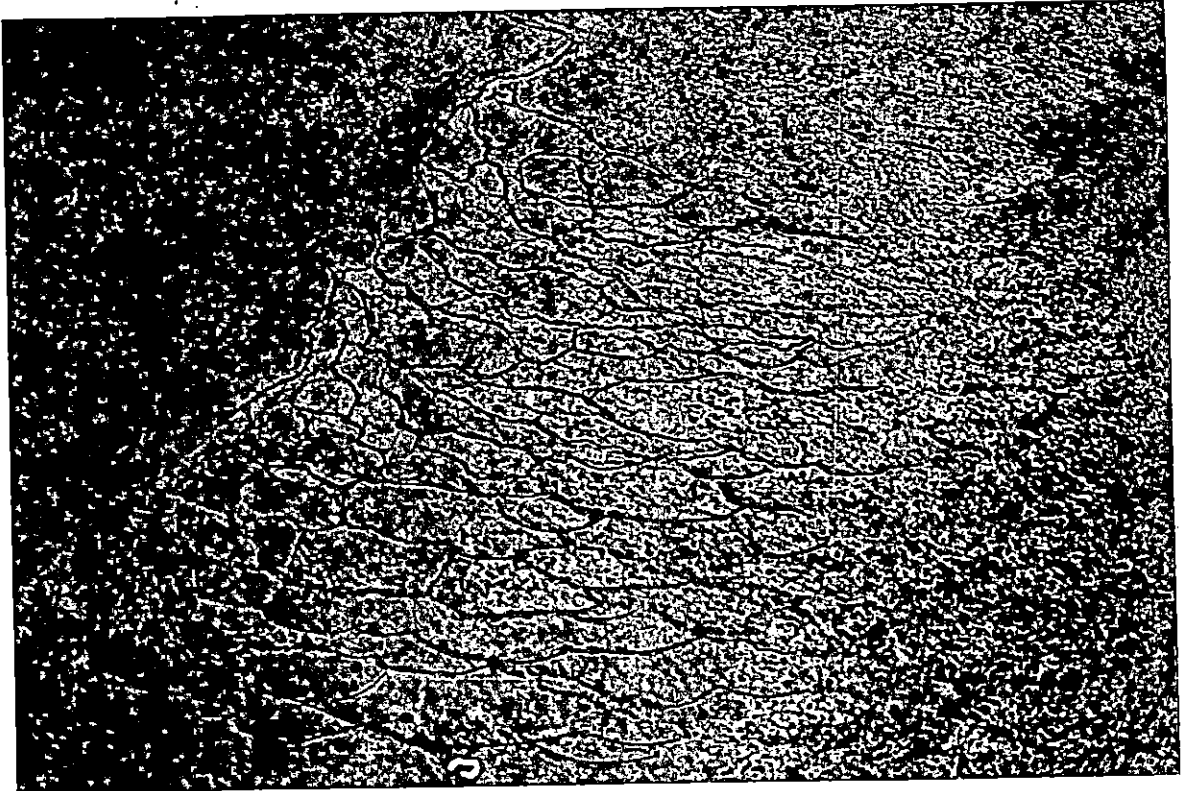
Fisuras de Contracción.



Las fisuras de contracción son grietas interconectadas formando una serie de bloques grandes usualmente con esquinas o ángulos agudos. Generalmente es difícil determinar si las fisuras de contracción son causadas por un cambio de volumen en la mezcla asfáltica, en la base o en la subrasante. Frecuentemente son causadas por un cambio volumétrico de las mezclas de agregado fino y asfalto que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración. La ausencia de tráfico acelera las grietas de contracción en estos pavimentos.

Las fisuras de contracción deben ser rellenadas con lechada de emulsión asfáltica seguida por un tratamiento superficial o una lechada de sellado sobre toda la superficie.

Fisuras de Deslizamiento.



Las fisuras de deslizamiento son grietas, resultado de fuerzas horizontales producidas por el tráfico. Son debidas a una falta de liga entre la capa superficial y la capa inferior. Esta falta de liga puede ser debida a polvo, suciedad, aceite o ausencia de un riego de liga.

El único medio efectivo para repararlas es la remoción de la capa superficial desde los alrededores de la grieta hasta el punto donde existe una buena liga entre capas.

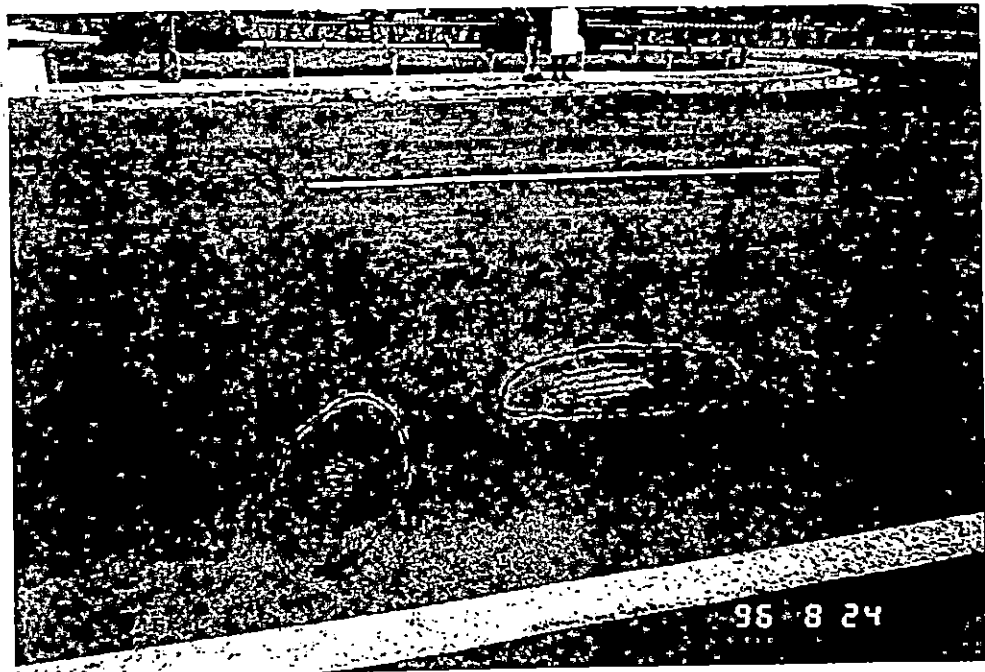
DEFORMACIONES.

La deformación del pavimento es el resultado de la debilidad o del movimiento del suelo de la subrasante donde ha tenido lugar la compactación o donde se ha compactado la base. Puede o no estar acompañada de grietas, pero en cualquier circunstancia, produce un riesgo para el tráfico, permite la acumulación del agua, y eventualmente empeora las cosas. La deformación se puede presentar bajo distintas formas:

- Ahuellamiento.
- Corrugación.
- Desplazamiento.
- Levantamiento.

Como cualquier otro defecto, el tipo de deformación tiene una causa y debe ser determinada antes de aplicar la solución. Las técnicas de reparación varían desde la nivelación de la superficie rellenando con nuevo material hasta la remoción completa del área afectada y reemplazo con nuevo material.

Las causas, así como el proceso a seguir para su reparación se presenta a continuación acompañado de fotografía de la falla.

Ahuellamiento.

El ahuellamiento, formación de estrias o surcos, son depresiones canalizadas que se desarrollan en las huellas de las ruedas en los pavimentos asfálticos. El ahuellamiento puede resultar de la consolidación o movimiento lateral bajo el tránsito en una o más de las capas subyacentes, o por el desplazamiento de la misma capa superficial. Se puede desarrollar bajo tráfico en pavimentos nuevos que tuvieron muy poca compactación durante la construcción, o pueden

producirse por movimientos plásticos en una mezcla que no tiene la estabilidad suficiente para soportar el tránsito.

La acción correctiva es la nivelación del pavimento o el relleno de los canales con mezcla asfáltica en caliente. Una capa delgada de asfalto en mezcla caliente se aplica luego sobre toda la superficie.

Corrugaciones y Desplazamientos.

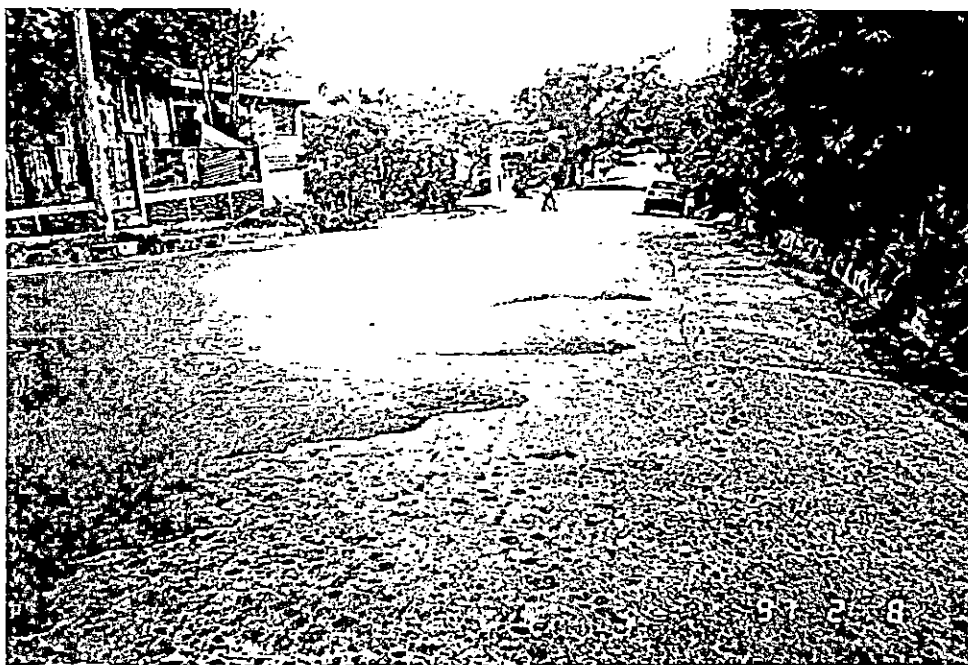


FOTO A



FOTO B

Las corrugaciones, u ondulaciones, son una forma de movimiento plástico tipificado por ondas a través de la superficie del pavimento asfáltico (foto A). El desplazamiento (foto B) es un movimiento plástico del que resultan combas localizadas en la superficie del pavimento. Ambas, contracciones y desplazamientos, ocurren generalmente en puntos donde el tráfico comienza y termina, o en lomadas donde los vehículos frenan en cuesta abajo.

Las corrugaciones y los desplazamientos ocurren además en mezclas de pavimentos asfálticos que carecen de estabilidad. Esto puede ser el resultado de exceso de asfalto, exceso de agregado fino, agregado redondeado o de textura superficial lisa. En el caso de mezclas con asfalto emulsificado o diluido, puede ser debido a una falta de aereación.

Si el pavimento corrugado tiene una base de agregados con un tratamiento superficial fino, se debe escarificar la superficie, mezclarla con la base y recompactarla antes de la terminación. Si el espesor de la superficie es mayor que 50 mm (2 pulg.), las corrugaciones superficiales pueden ser removidas con una máquina fresadora en frío. Se coloca luego un riego de sellado sobre el área o una capa de mezcla producida en planta.

Para una reparación efectiva de áreas con desplazamientos, éstas deben ser removidas y bacheadas.

Levantamiento.

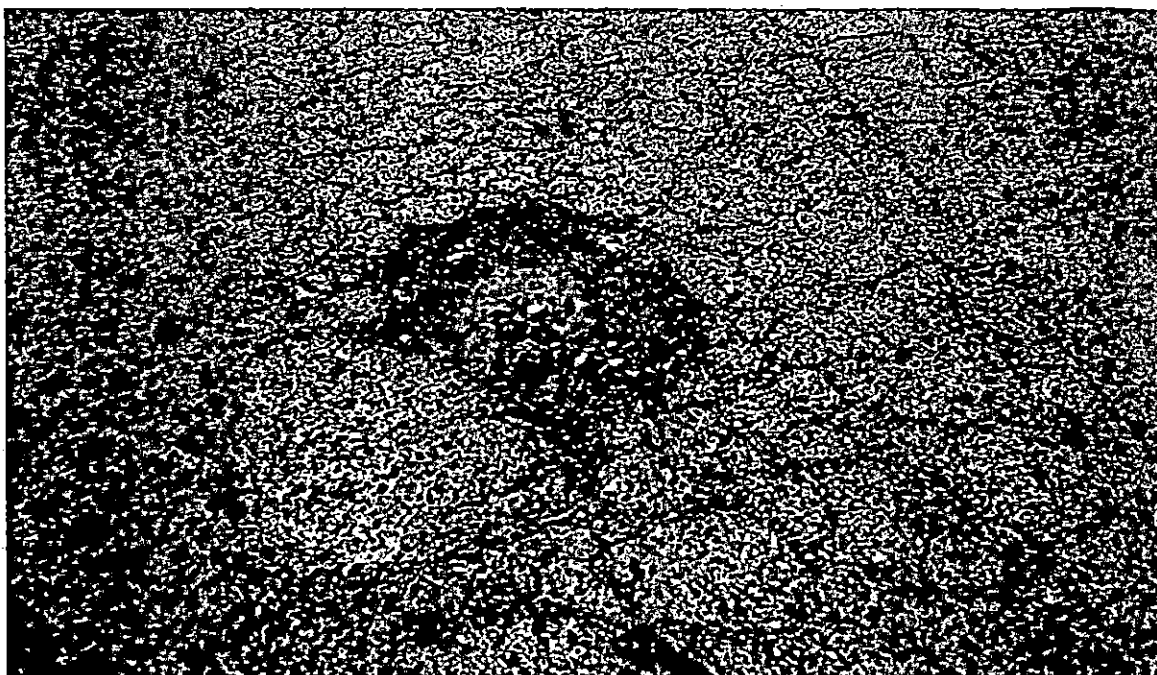


El levantamiento es un desplazamiento del pavimento localizado hacia arriba, debido a un hinchamiento de la subrasante o de alguna porción de la estructura del pavimento. La causa más común es la expansión en capas granulares por debajo del pavimento o en la subrasante. El levantamiento puede ser causado además por efecto del hinchamiento provocado por la humedad en los suelos expansivos.

DESINTEGRACION.

La desintegración es la rotura del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos. Esto incluye el desprendimiento de las partículas del agregado. Si no se detiene en los primeros estados, la desintegración puede progresar hasta que el pavimento requiera una completa reconstrucción. Los baches y desprendimientos son dos de los tipos más comunes de los primeros estados de desintegración. La reparación varía desde un simple sellado a profundos bacheos.

Baches.



Los baches en el pavimento tienen una forma variable de diferentes tamaños resultantes de la desintegración localizada bajo la acción del tráfico. Generalmente están provocados por una debilidad en el pavimento, resultante de muy poco asfalto, una película de asfalto muy fina, falta de finos o drenaje insuficiente.

Los baches frecuentemente aparecen cuando es difícil hacer una reparación permanente y se deben tomar medidas de emergencia. Los arreglos incluyen la limpieza del bache y el relleno con material de bacheo asfáltico premezclado. La reparación permanente se realiza ejecutando un bacheo profundo.

Desprendimiento.

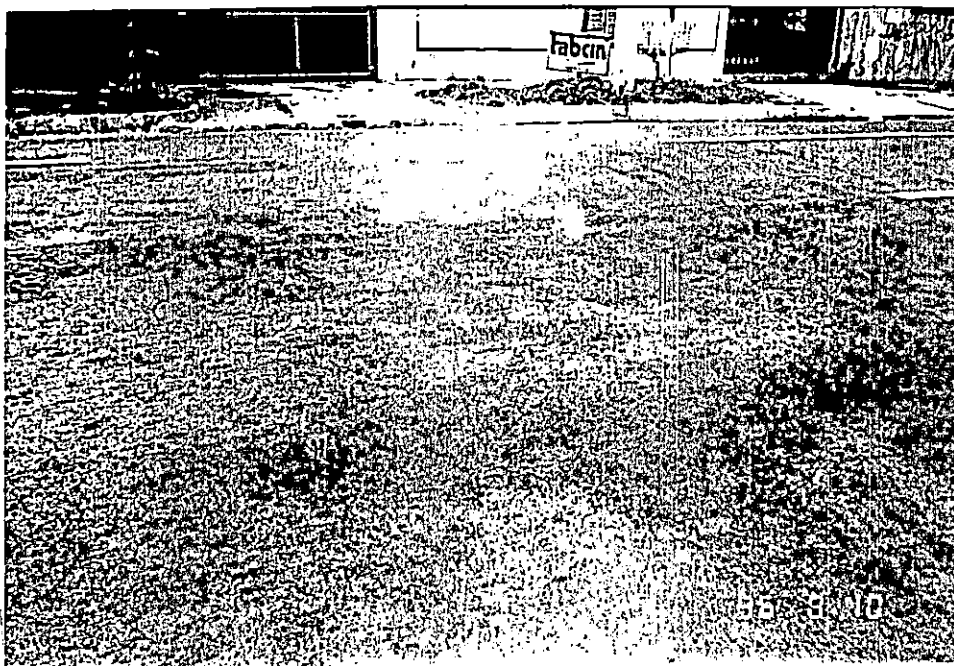


El desprendimiento es la pérdida sucesiva de material superficial por la abrasión del clima y/o del tráfico. Usualmente el agregado fino se desprende primero dejando marcas de pequeñas picaduras en la superficie del pavimento. A medida que continúa la erosión, las partículas mayores eventualmente se desprenden y el pavimento pronto tiene una apariencia áspera y mellada típica de la erosión superficial. El desprendimiento es causado por métodos de construcción pobre, agregados de baja calidad, o diseño pobre de la mezcla. Una aplicación a tiempo de un riego de sello ante el primer indicio de desprendimiento, detendrá generalmente el deterioro.

Las superficies secas y afectadas por el clima normalmente requieren un tratamiento superficial. Las medidas de emergencia incluyen un sellado aplicado sobre la superficie del camino. Los tratamientos superficiales incluyen lechada asfáltica, riego de asfalto y arena, riego de asfalto y agregados, o un tratamiento superficial de mezcla en planta, dependiendo de la condición de la superficie y del tráfico.

SUPERFICIES RESBALADIZAS.

Exceso de Asfalto.



El afloramiento o exudación es la presencia de exceso de asfalto o de una película de asfalto en la superficie del pavimento. Las capas de pavimento con mezclas ricas de asfalto, riegos de sello inadecuadamente construidos, o un riego de imprimación abundante, pueden provocar exudación. El tráfico con sobrepeso puede forzar o hacer salir al asfalto a la superficie del pavimento en tiempo cálido.

En muchos casos, la exudación puede corregirse mediante repetidas aplicaciones de arena o piedras residuales del tamizado para absorber el asfalto en exceso. Si la exudación es ligera, el único tratamiento necesario puede ser una capa friccional de mezcla en planta o un riego de sello con agregados absorbentes.

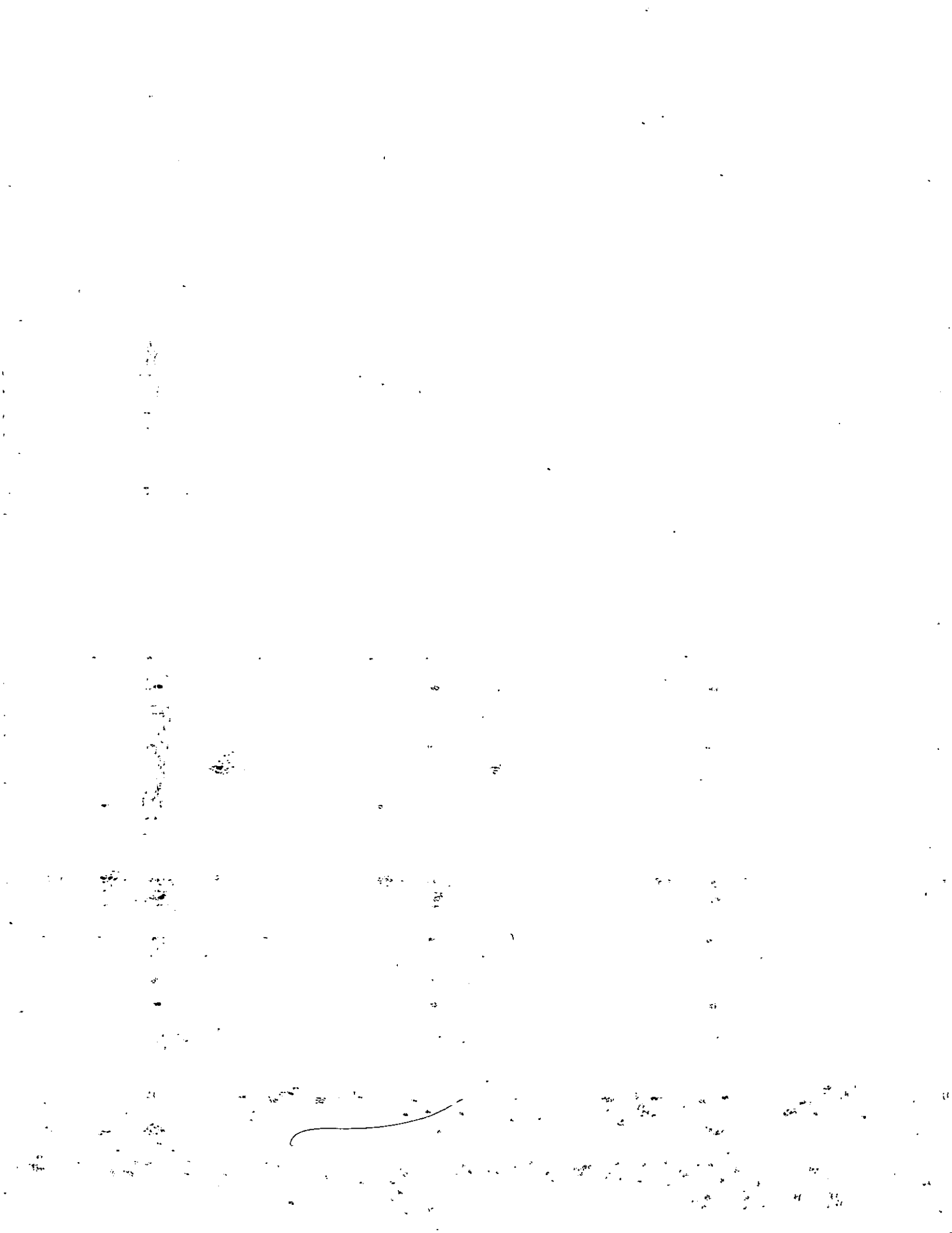
Puede usarse una máquina desbastadora de pavimento ya sea en frío o en caliente, para remover el asfalto en exceso y para sacar toda la capa.

Agregados Pulidos.



Las partículas de agregado en la superficie del pavimento pueden gastarse bajo la acción abrasiva del tráfico. Esto incluye a las gravas sin triturar naturalmente lisas y piedra partida, que se deterioran rápidamente bajo el tránsito tales como algunos tipos de gravas. Son naturalmente lisas, y si se usan en la superficie del pavimento sin trituración se convierten en factores de riesgo. Los agregados pulidos son completamente resbaladizos cuando están húmedos.

El único medio efectivo para reparar un pavimento con agregados pulidos es cubrir la superficie con un tratamiento resistente al deslizamiento. Debe aplicarse una delgada capa friccional de mezcla en caliente, un riego de arena o un riego de agregados. El agregado debe ser resistente y anguloso, como escoria, arena silicea, u otros materiales probadamente no pulimentables.



4 ANALISIS DEL TRANSITO

El tránsito es, probablemente, la variable más importante en el diseño de una vía; así su diseño geométrico está condicionado por el volumen y dimensiones de los vehículos y la estructura del pavimento por el número y el peso de los ejes.

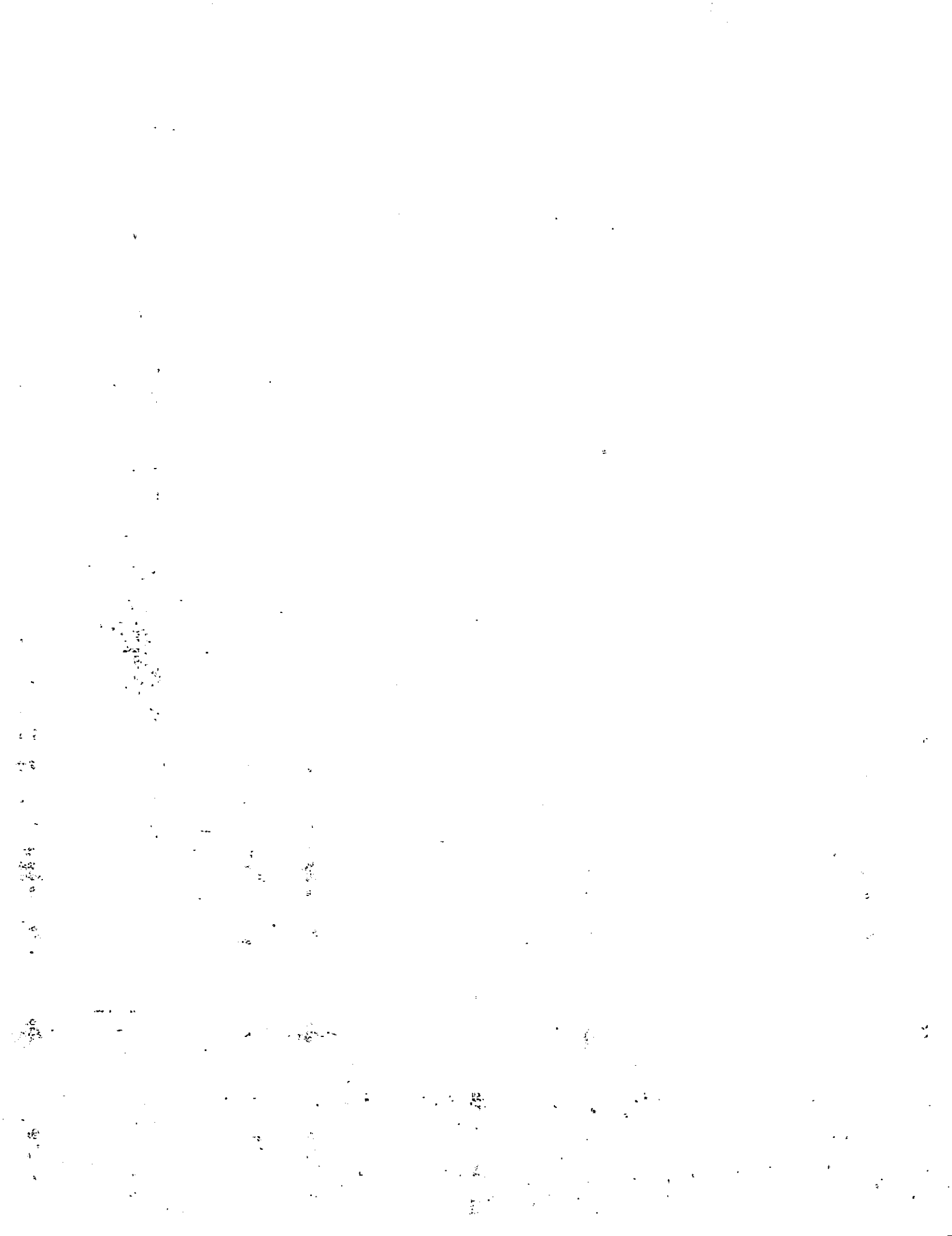
4.1 DEFINICIONES.

Volumen de Tránsito.

Es el número de vehículos que pasan por un tramo de la carretera en un intervalo de tiempo dado; los intervalos más usuales son la hora y el día, obteniéndose el tránsito horario TH y el tránsito diario TD.

Densidad de Tránsito.

Es el número de vehículos que se encuentran en una cierta longitud de camino en un instante dado.



Tránsito Promedio Diario.

Es el promedio de los volúmenes diarios registrados en un determinado periodo. Los más usuales son el tránsito promedio diario semanal (TPDS) y tránsito promedio diario anual (TPDA).

Tránsito Máximo Horario.

Es el máximo número de vehículos que pasan en un tramo del camino durante una hora, para un lapso establecido de observación, normalmente un año.

Volumen Horario de Proyecto.

Volumen horario de tránsito que servirá para determinar las características geométricas del camino, se representa como VHP.

Tránsito Generado.

Es el volumen de tránsito que se origina por la construcción o mejoramiento de la carretera y/o por el desarrollo de la zona por donde cruza.

Tránsito Desviado o Inducido.

Es la parte del volumen de tránsito que circulaba antes por otra carretera y que cambia su itinerario para pasar por la que se construye o se mejora.

4.2 CAMINOS SEGUN SU FUNCION.

a) Control Total de Accesos: significa que se le da preferencia al tránsito de paso, y que sólo existen conexiones con otros caminos en puntos seleccionados de una autopista, prohibiéndose además, las intersecciones a nivel y los accesos directos a propiedades privadas.

b) Control Parcial de Accesos: Significa que se le da preferencia al tránsito de paso y pueden existir algunas intersecciones a nivel y accesos directos a propiedades privadas.

c) Caminos Divididos: Con circulación en dos sentidos, en el cual el tránsito que circula en un sentido es separado del tránsito que circula en sentido opuesto, por medio de una faja separadora central. Tales caminos pueden estar constituidos por dos o más carriles en cada sentido.

d) **Arteria Urbana:** camino principal en zona urbana, para el tránsito de paso, generalmente sobre una ruta continua.

e) **Caminos de Dos Carriles:** Camino no dividido, con circulación en ambos sentidos, que tiene un carril destinado a cada sentido de circulación.

f) **Camino de Tres Carriles:** Camino no dividido, con circulación en ambos sentidos, que tiene un carril central destinado para maniobras de rebase, en el cual se puede circular en los dos sentidos y los otros dos carriles están destinados cada uno, para el uso exclusivo del tránsito que circula en sentidos opuestos.

g) **Camino de Carriles Múltiples:** Camino no dividido, con circulación en ambos sentidos, que tiene cuatro o más carriles para el tránsito.

h) **Vía Rápida:** Camino dividido destinado al tránsito de paso, con un control total o parcial de accesos y generalmente con pasos a desnivel en intersecciones importantes.

i) Autopista: vía rápida con un control total de accesos.

Existen situaciones en que el tránsito tiene variaciones notables durante el año, coincidiendo con periodos de cosechas, turismo, de producción que es conveniente tomar en cuenta. Así mismo, puede ocurrir que el tránsito pesado se canalice por un carril determinado o bien que transiten vehículos cargados en un sentido y descargados en el otro. Así mismo es conveniente tomar en cuenta el tránsito de construcción que en ocasiones llega a ser el más importante en la vida de un pavimento.

Al proyectar una carretera, la selección del tipo de camino, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente de la demanda, es decir, del volumen de tránsito que circulará en un intervalo de tiempo dado, su variación, tasa de crecimiento y su composición. Un error en la determinación de estos datos podría ocasionar volúmenes de tránsito muy inferiores para lo que se diseñó o pueden presentarse problemas de congestionamiento.

Los datos necesarios para cuantificar el tránsito existente se deben recolectar con base en los procedimientos de la Ingeniería de tránsito.

La información necesaria será:

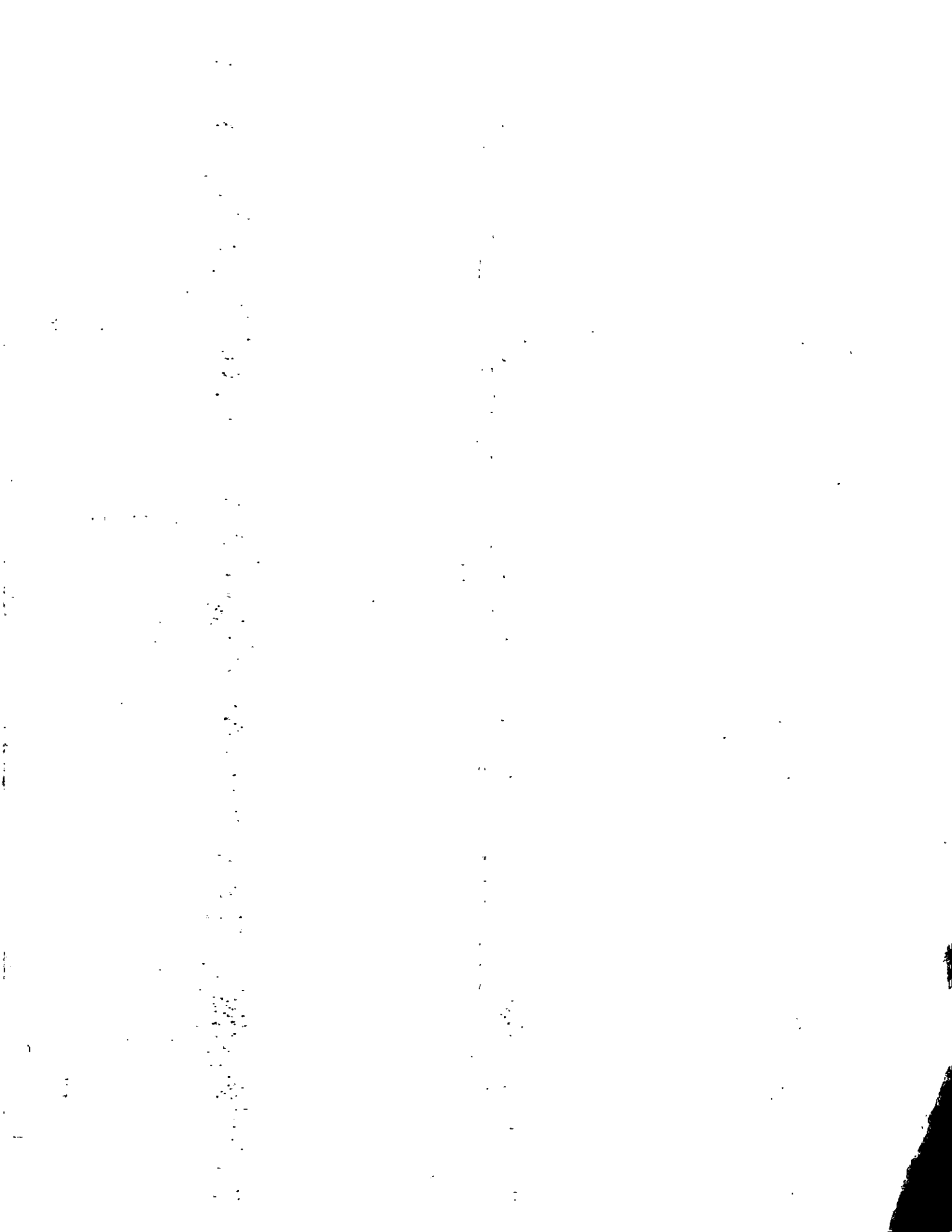
- El tránsito promedio diario anual (TPDA) o semanal.
- Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

El censo se hace utilizando un grupo de personas o mediante contadores automáticos de manguera, los cuales sólo registran el número total de ejes.

Los aforadores deberán determinar además la cantidad de vehículos livianos y pesados.

La determinación del peso, tipo y número de los vehículos pesados se puede hacer por medida directa o por las características de los vehículos. Sin embargo, no es fácil calcular las cargas sobre el pavimento durante su vida de servicio, ya que en el tránsito futuro intervienen factores muy complejos tales como cambios en la economía regional en la población, en el uso de la tierra, etc.

El aumento de tránsito se cuantifica por medio del "Factor de Proyección de Tránsito" (F) que se determina para un periodo de diseño dado mediante tablas elaboradas para



tal fin.

Los estudios sobre tránsito que se hagan dentro de los límites de la ciudad y fuera de ella, proporcionan información necesaria para el diseño del pavimento.

4.3 DETERMINACION DE LA CARGA MAXIMA POR EJE

Este es un factor de mucha importancia en el diseño de la sobrecapa de los pavimentos existentes, así como la frecuencia con que pasan en el carril de diseño y las cargas de sometimiento actuales y futuras sobre el pavimento, con el fin de convertirlas en un número equivalente de cargas por eje sencillo standard, de 8.2 toneladas para el período de diseño, (EAL).

El Departamento de Tránsito de la DGC ha adoptado de la AASHTO para el análisis del tránsito del cuadro N^o (1), (3); el cual detalla el tipo de vehículo que involucra la carga máxima por eje así como los factores de camión considerando la carga que lleva a su interior, variando desde vacío a sobrecargado; no toman en cuenta los vehículos livianos como automóviles y pick-up ya que éstos ejercen poca influencia sobre el comportamiento estructural de un pavimento en máximas consideraciones de trabajo.

Para calcular el número de pasadas de carga equivalentes de eje sencillo de 8.2 toneladas de diseño se procede como sigue:

- i) Para cada tipo de vehículo, determinar el número total de repeticiones que pasa en el carril de diseño al principio del período de diseño.
- ii) El porcentaje de carga equivalentes de eje sencillo de 8.2 toneladas de diseño que deberá afectarse según el número de carriles se calcula según el cuadro N^o (2) estimados en un sentido de tránsito.
- iii) Seleccionar el factor de camión de cada tipo de vehículo según el cuadro N^o (1) o por las ecuaciones de Liddle como sigue:

Para eje sencillo o simple:

$$Fe = \left(\frac{L}{8,200} \right)^{4.5}$$

Para eje doble o Tandem:

$$Fe = \left(\frac{L}{15,300} \right)^{4.5}$$

Siendo:

Fe: Factor de equivalencia de una carga standard de 8.2 ton.

L : La carga actual en Kg. por eje para un tipo de vehículo.

iv) Determinar el factor de sentido del tránsito.

Es un factor de distribución direccional de tránsito expresada como una relación entre las distribuciones de carga por eje sencillo equivalente de 8.2 ton. en ambos sentidos de circulación. Este factor varía entre 0.3 a 0.7 dependiendo en que dirección de tránsito, esté o no cargada. Normalmente este factor se adopta de 0.5, aunque si hay una gran diferencia en las cargas en el tránsito en diferentes sentidos, debería adoptarse un mayor valor.

v) Seleccionar el factor de crecimiento de tránsito.

Con el período de diseño (n) y la tasa de crecimiento de tránsito anual (r), obtenida de una serie histórica y continua de TPDA registrados en la DGC se obtiene del cuadro N° (3). Si no se tiene un valor entero de la tasa de crecimiento

del tránsito anual, su valor se obtendrá interpolando o utilizando la fórmula siguiente:

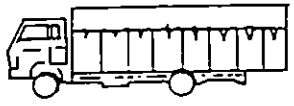
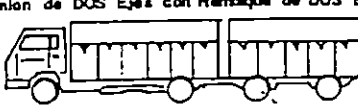
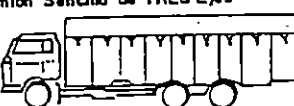
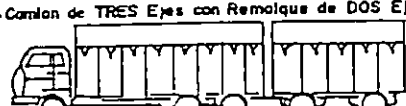
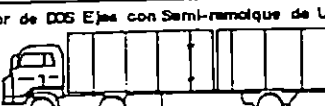
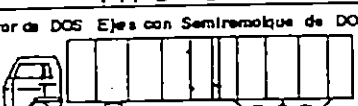
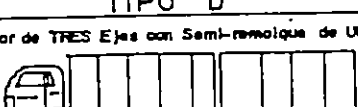

$$\text{Factor de crecimiento del tránsito} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

vi) Para obtener el número de pasadas de carga equivalente de eje sencillo de 8.2 ton. de diseño, se multiplicará el número de vehículos de cada tipo por cada uno de los siguientes factores: por el factor de carril, por el factor de camión, por el factor de sentido del tránsito, por el factor de crecimiento, posteriormente sumar todos los valores por cada tipo de vehículo y el total es el número de pasadas de carga equivalente de eje sencillo de 8.2 ton. acumulado.

O sea

$$EAL_{\text{DISEÑO}} = \left[\begin{array}{l} N^{\circ} \text{ de Vehículos} * \text{Factor de Camión} \\ * \% \text{ de Camiones por Carril de Diseño} \\ * \text{Factor de Crecimiento del tránsito} \\ * \text{Factor de Ajuste de Presión de inflado} \end{array} \right]$$

CUADRO Nº 1
FACTOR DE CAMION PARA CAMIONES TIPO.

| CLASE DE VEHICULO | DIMENSIONES MAXIMAS | | | CARGA MAXIMA POR EJE EN Kg. | CARGAS MAXIMAS POR EJES EN MILES DE KILOGRAMOS | | | | | FACTOR DE CAMION |
|---|---------------------|-----------------|----------------|-----------------------------|--|-------|-------|-------|-------|------------------|
| | LARGO EN METROS | ANCHO EN METROS | ALTO EN METROS | | EJE 1 | EJE 2 | EJE 3 | EJE 4 | EJE 5 | |
| I - Camion sencillo de DOS Ejes.  TIPO A | 10 | 2.50 | 3.80 | 12,000 | 4 | 8 | - | - | - | 0.963 |
| II - Camion de DOS Ejes con Remolque de DOS Ejes.  TIPO A CON REMOLQUE | 18.3 | 2.50 | 3.80 | 28,000 | 4 | 8 | b | - | - | 2.725 |
| III - Camion Sencillo de TRES Ejes  TIPO B | 11 | 2.50 | 3.80 | 18,900 | 4 | 14.9 | | - | - | 0.928 |
| IV - Camion de TRES Ejes con Remolque de DOS Ejes.  TIPO B CON REMOLQUE | 18.3 | 2.50 | 3.80 | 33,800 | 4 | 14.9 | | b | | 2.718 |
| V - Tractor de DOS Ejes con Semi-remolque de UN Eje.  TIPO C | 14 | 2.50 | 3.80 | 20,000 | 4 | 8 | 8 | - | - | 1.830 |
| VI - Tractor de DOS Ejes con Semi-remolque de DOS Ejes  TIPO D | 14 | 2.50 | 3.80 | 26,900 | 4 | 8 | 14.9 | | - | 1.823 |
| VII - Tractor de TRES Ejes con Semi-remolque de UN Eje  TIPO E | 14 | 2.50 | 3.80 | 26,900 | 4 | 14.9 | | 8 | - | 1.823 |
| VIII - Tractor de TRES Ejes con Semi-remolque de DOS Ejes.  TIPO F | 14 | 2.50 | 3.80 | 33,800 | 4 | 14.9 | | 14.9 | | 1.816 |

NOTAS: a) En los Vehiculos IV y VII cualquier eje podra ser cargado con el peso maximo Autorizada, para la suma de los pesos en todos los ejes no debera exceder el total de 13,800 kgs.
b) Los cargas por ejes en remolque no podra excederse, para eje aislado y llantas sencillas de 4000 kgs. y para eje aislado y llantas doble de 8000 kgs.

Fuente: Adry Vivina Flores Alvarado. "Evaluación de Pavimentos de Concreto Asfáltico en Carreteras Aplicando la Viga Benkelman y Propuesta Metodológica para la Rehabilitación y Mantenimiento". Tesis. UES. 1995.

Cuadro Nº 2

Porcentaje de Vehículos Pesados en el Carril de Diseño

| Nº de carriles en un sentido del tráfico | Porcentaje EAL en el carril de diseño |
|--|---------------------------------------|
| 1 | 100 |
| 2 | 80 - 100 |
| 3 | 60 - 80 |
| 4 | 50 - 75 |

Fuente: Adry Vivina Flores Alvarado. "Evaluación de Pavimentos de Concreto Asfáltico en Carreteras Aplicando la Viga Benkelman y Propuesta Metodológica para la Rehabilitación y Mantenimiento". Tesis. UES. 1995.

Cuadro Nº 3

Factor de Crecimiento del Tránsito

| Crecimiento Anual (r) | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Años (n) | 0 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 |
| 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2 | 2.00 | 2.02 | 2.04 | 2.05 | 2.06 | 2.07 | 2.08 | 2.10 |
| 3 | 3.00 | 3.06 | 3.12 | 3.15 | 3.18 | 3.21 | 3.25 | 3.31 |
| 4 | 4.00 | 4.12 | 4.25 | 4.31 | 4.37 | 4.44 | 4.51 | 4.64 |
| 5 | 5.00 | 5.20 | 5.42 | 5.53 | 5.64 | 5.75 | 5.87 | 6.11 |
| 6 | 6.00 | 6.31 | 6.63 | 6.80 | 6.98 | 7.15 | 7.34 | 7.72 |
| 7 | 7.00 | 7.43 | 7.90 | 8.14 | 8.39 | 8.65 | 8.92 | 9.49 |
| 8 | 8.00 | 8.58 | 9.21 | 9.55 | 9.90 | 10.26 | 10.64 | 11.44 |
| 9 | 9.00 | 9.75 | 10.58 | 11.03 | 11.49 | 11.98 | 12.49 | 13.58 |
| 10 | 10.00 | 10.95 | 12.01 | 12.58 | 13.18 | 13.82 | 14.49 | 15.94 |
| 11 | 11.00 | 12.17 | 13.49 | 14.21 | 14.97 | 15.78 | 16.65 | 18.53 |
| 12 | 12.00 | 13.41 | 15.03 | 15.92 | 16.87 | 17.89 | 18.98 | 21.38 |
| 13 | 13.00 | 14.68 | 16.63 | 17.71 | 18.88 | 20.14 | 21.50 | 24.52 |
| 14 | 14.00 | 15.97 | 18.29 | 19.16 | 20.01 | 22.55 | 24.51 | 27.97 |
| 15 | 15.00 | 17.29 | 20.02 | 21.58 | 23.28 | 25.13 | 27.15 | 31.77 |
| 16 | 16.00 | 18.64 | 21.82 | 23.66 | 25.67 | 27.89 | 30.32 | 35.95 |
| 17 | 17.00 | 20.01 | 23.70 | 25.84 | 28.21 | 30.84 | 33.75 | 40.55 |
| 18 | 18.00 | 21.41 | 25.65 | 28.13 | 30.91 | 34.00 | 37.45 | 45.60 |
| 19 | 19.00 | 22.84 | 27.67 | 30.54 | 33.76 | 37.38 | 41.45 | 51.16 |
| 20 | 20.00 | 24.30 | 29.78 | 33.06 | 36.79 | 41.00 | 45.78 | 57.28 |
| 25 | 25.00 | 32.03 | 41.65 | 47.73 | 54.86 | 63.25 | 73.11 | 98.35 |
| 30 | 30.00 | 40.57 | 58.08 | 66.44 | 79.06 | 94.46 | 113.28 | 164.49 |
| 35 | 35.00 | 49.99 | 73.65 | 90.32 | 111.43 | 138.24 | 172.32 | 271.02 |

Siendo:

r: Tasa de crecimiento del tránsito anual obtenida de los valores de TPDAs históricos.

n: Período de Diseño.

Fuente: Manual (MS-1), Revisión 1991. 9ª Edición. The Asphalt Institute.

4.4 DETERMINACION DE LOS ESPESORES DE DISEÑO DEL PAVIMENTO

El nuevo método del Instituto del asfalto propone usar para las carpetas de Concreto Asfáltico, Mezclas de Emulsiones Asfálticas y para la base y subbase Emulsiones Asfálticas tipo I, tipo II y tipo III y base de agregados no tratados granulares.

Clasificando las emulsiones asfálticas en tres tipos:

Tipo I: Mezcla de emulsión asfáltica con agregados procesados de graduación densa o cerrada.

Tipo II: Mezcla de emulsión asfáltica con agregados semi-procesados, triturados o material selecto de banco de materiales.

Tipo III: Mezcla de emulsiones asfálticas con arena y arenas limosas.

Existen además algunas limitaciones de espesores máximos de carpeta sobre emulsiones asfálticas o sobre bases

granulares no tratadas. Las tablas siguientes muestran estos límites en función de la carga equivalente por eje (EAL):

**ESPEORES MINIMOS DE CONCRETO ASFALTICO SOBRE BASES DE
EMULSIONES ASFALTICAS**

| Nivel de Tráfico EAL | Tipo II y III mm | Pulgadas |
|-------------------------|---------------------|----------|
| 10 ⁴ | 50 | 2" |
| 10 ⁵ | 50 | 2" |
| 10 ⁶ | 75 | 3" |
| 10 ⁷ | 100 | 4" |
| > 10 ⁷ | 130 | 5" |

Fuente: Manual (MS-1). Revisión 1991 - 9a. Edición.
Asphalt Institute.

**ESPEORES MINIMOS DE CONCRETO ASFALTICO SOBRE BASES
GRANULARES NO TRATADAS**

| Tipo EAL | Condiciones de Tráfico | Mínimo Espesor de Concreto Asfáltico |
|-----------------------------------|--|---|
| 10 ⁴ ó más | Tráfico ligero. Lote de parqueo. Vías rápidas y altos | 75 mm (3") |
| 10 ⁴ a 10 ⁶ | Tráfico medio de camiones | 100 mm (4") |
| 10 ⁶ ó más | Tráfico alto de camiones | 125 mm (5") |

Fuente: Manual (MS-1). Revisión 1991 - 9a. Edición.
Asphalt Institute.

Otra forma de calcular el diseño de espesores es la utilización de gráficas, en función del EAL de diseño, del Mr de diseño (calculado en el subtema Capacidad de Carga del Suelo Soportante de este capítulo) y las condiciones ambientales medidas por el MAAT (Temperatura Media Anual del Aire), las cuales se presentan a continuación:

Condiciones de Temperatura.

Frío. Temperatura Media Anual del Aire $< 7^{\circ}\text{C}$
(45°F).

Tibio. Temperatura Media Anual del Aire 7°C a 24°C
(45°F a 75°F).

Caliente. Temperatura Media Anual del Aire $> 24^{\circ}\text{C}$
(75°F).

El Manual (MS-1). Revisión 1991, 9ª Edición The Asphalt Institute presenta las gráficas para el Diseño de Espesores de Pavimento de Concreto Asfáltico.

5, ESTABILIZACION DE SUELOS.

En un sentido amplio se puede definir la estabilización de suelos como la combinación y manipulación de suelos, con o sin mezclas, para producir una masa firme, capaz de soportar el tránsito en todas las condiciones climatológicas.

Si un suelo estabilizado es verdaderamente "inalterable" debe tener suficiente resistencia al cortante para soportar los esfuerzos que le sean impuestos por las cargas de tránsito en toda clase de climas sin que sufra una deformación excesiva. además, si la mezcla del suelo estabilizado se va a utilizar como una superficie de rodamiento, deberá tener capacidad para soportar los efectos abrasivos del tránsito.

En esta parte del diseño y construcción de carreteras se hace énfasis en la utilización eficaz de los materiales locales, con el objeto de reducir los costos de construcción. En algunas áreas, los suelos naturales no tienen características favorables y requieren de modificaciones, las cuales se logran con el uso de elementos

minerales adecuados, tales como la grava o piedra triturada o un aglutinante de arcilla. Todavía en otras regiones, se utilizan mezclas con materiales bituminosos, cemento portland, sal o cal para obtener una estabilización eficaz. El tipo y grado de estabilización requerido en cualquier caso dado es principalmente, una función de la disponibilidad y costo de los materiales necesarios, así como del uso que se vaya a dar a la mezcla de suelo estabilizado.

En la actualidad, el uso principal de las mezclas de suelo estabilizado es en la construcción de la base y subbase. Una base o subbase construida con suelo estabilizado puede proporcionar el apoyo para una superficie de rodamiento relativamente delgada que estará sujeta a cantidades de tránsito ligeras o moderadas, o puede funcionar como una base para un pavimento de alta calidad que estará sujeto a volúmenes de tránsito muy pesados. Ciertas mezclas de suelos estabilizados, que incluyen mezclas estabilizadas de suelos granulares, sirven como superficies de rodamiento en caminos de tránsito ligero.

Las mezclas de suelos estabilizados son muy útiles para utilizarlas en el proceso de "construcción por etapas", el cual comprende el mejoramiento gradual de las unidades

individuales de un sistema de carreteras, conforme se incrementa la demanda del tránsito. Así pues, una mezcla de suelo estabilizado diseñada en forma adecuada, puede funcionar por breve tiempo como una superficie de rodamiento, recibir un ligero tratamiento superficial con un material bituminoso conforme aumenta el tráfico y finalmente servir como un soporte para pavimento bituminoso de alta calidad. Ciertos suelos que existen en forma natural pueden necesitar sólo de compactación y drenaje para su estabilización. Otros suelos requieren de diferentes tratamientos y materiales para que se comporten de acuerdo a la función para la que se les requiere. En seguida se describen con brevedad cuatro clases generales de estabilización: 1) estabilización granular, 2) estabilización bituminosa, 3) suelo-cemento y 4) estabilización por la adición de sal, cal y otros diversos materiales químicos.

5.1 ESTABILIZACION GRANULAR

Los caminos revestidos están constituidos por una capa firme de una mezcla adecuadamente proporcionada de suelos y agregados que se compactan para formar un camino con capacidad para soportar el tránsito en todas las condiciones climatológicas. La definición de la AASHTO de un

revestimiento (agregado de graduación densa) es: "mezclas naturales o preparadas que están constituidas en forma predominante por piedra, grava o arena y arcilla-limosa". Además de servir como capa de rodamiento, generalmente para tránsito ligero, las mezclas de revestimiento se emplean en forma amplia como base y subbases.

En este análisis, el término "agregado" se refiere a la parte de una mezcla granular o suelo natural que no pasa la malla N^o 200, incluyendo, de acuerdo a la definición de la AASHTO, "piedras", "grava" y "arena". La función del agregado en una mezcla de revestimiento es principalmente contribuir a la fricción interna. En términos generales, los agregados más adecuados son aquellos que están bien graduados de gruesos a finos. Una aproximación al problema de la graduación se logra al establecer límites para los diferentes tamaños de partículas que den por resultado una combinación con máxima densidad; a su vez, la densidad alta está asociada con la estabilidad alta. Además, no es sensato exigir demasiado sobre la graduación, porque se han empleado muchos que no están bien graduados en el sentido usual. Por lo regular, las especificaciones concernientes a la granulometría para este propósito son muy tolerantes con la idea, por otra parte, de hacer el mejor uso posible de los materiales locales disponibles.

En algunos casos, los suelos naturales pueden tener propiedades satisfactorias y, en consecuencia, sólo requieren de compactación y drenaje para su estabilización. No obstante, es mucho más frecuente la presencia de suelos que hayan perdido alguno de los elementos importantes que lo forman. Así pues, un suelo granular o "agregado" puede requerir material fino como elemento de liga, o bien, un suelo de grano fino que puede necesitar algún agregado para lograr estabilidad y prevenir un cambio de volumen excesivo.

En ciertos casos, el suelo que existe en el lecho del camino necesita solo una pequeña cantidad de material que se introduzca, distribuya a lo largo de la carretera en cantidades apropiadas y mezcle con el suelo existente para producir una mezcla satisfactoria de revestimiento. En otros casos, se puede combinar la mezcla deseada de revestimiento en las proporciones adecuadas en una planta mezcladora central y, después, colocarla sobre el suelo del camino.

En cualquier caso, y por lo general, las propiedades de la mezcla final se someten a pruebas y se controlan por el análisis mecánico, el límite líquido y el índice de plasticidad. Además, como por lo regular es necesario que la mezcla se compacte a un alto grado de densidad, se deben determinar las relaciones humedad-densidad de la misma, para

un esfuerzo de compactación dado, a fin de que el proceso de compactación se pueda controlar en forma adecuada.

Procedimiento de Construcción

En la construcción se utilizan tres procedimientos básicos con suelo-agregado. Dichos métodos, los cuales se aplican tanto en la construcción de bases y superficies de rodamiento como en subbases y mejoramiento de subrasantes, aunque estos últimos con menos frecuencia, son los siguientes:

1. Elaboración de la mezcla *in situ*.
2. Elaboración de la mezcla en una planta móvil.
3. Elaboración de la mezcla en una planta central.

Mezclado *In Situ*.

En el proceso básico de mezclado *in situ*, las cantidades adecuadas de los elementos de suelo que van a formar la base o la superficie de rodamiento se mezclan directamente sobre la superficie de la subrasante o de la subbase. Esto puede llevarse a cabo volteando el material alternadamente de un lado de la carretera al otro. También, se pueden utilizar máquinas giratorias para mezclar a alta

velocidad y obtener así una mezcla más uniforme.

Después de que se ha hecho una mezcla adecuada con los elementos, se debe tender ésta en una capa uniforme para su compactación. Si la humedad de la mezcla es menor de la óptima, deberá agregarse agua y mezclarse con el suelo para formar una masa uniforme. Luego de haber agregado el agua, se tiende el suelo formando una capa uniforme y se compacta.

El espesor de la capa es muy variable. Si se usan compactadores vibratorios o de rodillos, el material puede colocarse en capas más gruesas, hasta un espesor de más o menos 8 pulgadas. La compactación inicial de una sola capa puede efectuarse utilizando rodillos pata de cabra, aunque es más común el uso de rodillos con ruedas neumáticas. En la mayoría de las mezclas granulares de suelo-agregado son muy eficaces los compactadores vibratorios. Después de la compactación inicial, por lo regular, se conforma la superficie de acuerdo a la sección transversal establecida mediante una niveladora de cuchilla y un apisonado final realizado con rodillos de ruedas neumáticas o de superficie lisa.

Elaboración de la Mezcla en una Planta Móvil.

Cuando se utiliza una planta móvil en este tipo de construcción, el proceso no es muy diferente al anterior. Las operaciones de mezclado de los diferentes elementos de suelo, cloruro de calcio y agua, se realizan en la planta móvil, por lo regular, en una sola operación de la máquina.

Método de la Planta Central.

Muchas compañías que construyen grandes kilometrajes de caminos estabilizados de suelos granulares, han encontrado conveniente el uso de plantas centrales de mezclado para la producción de mezclas de suelos estabilizados. Usualmente, las mezclas producidas de esta manera tienen un costo un poco mayor que las que se producen con los métodos de mezclado *in situ*, pero hay ciertas ventajas a partir del uso de este esquema. Las ventajas que tiene el método de la planta central comprenden mayor uniformidad de la mezcla, mayor facilidad para el control de las proporciones, mayor facilidad en el suministro del agua a la mezcla, y menos retrasos debidos al mal tiempo.

La conformación en la planta varia con el tipo de agregados y mezcla y con el equipo disponible. En la mayoría

de las plantas, los agregados que provienen de un banco o de una trituradora o que están formados por una combinación de gruesos y finos, se manejan sobre una banda transportadora hasta una o más tolvas de almacenamiento. A partir de este lugar, el material se transporta a un molino mezclador o a otro equipo similar. En los lugares en los que se agrega arcilla a los agregados más gruesos, es necesario el uso de una estructura separada para pulverizar y alimentar con este material la mezcladora.

5.2 ESTABILIZACION CON MATERIAL BITUMINOSO

Los materiales bituminosos se utilizan en combinación con suelos (y mezclas de suelo agregado) para dos propósitos generales. Por un lado, el material bituminoso puede suministrar cohesión a la mezcla de suelo estabilizada como en el caso de la estabilización de arenas o de suelos muy arenosos. Y por otro, puede incorporarse a una mezcla de suelo natural o artificial con el propósito de "impermeabilizarlo". Es decir, se agrega suficiente material bituminoso para reducir los efectos dañinos del agua que puede entrar al suelo durante su vida de servicio. En algunos casos, el material bituminoso puede realizar la función doble de suministrar cohesión e impermeabilización necesarias. El uso más frecuente de las mezclas bituminosas

estabilizadas de suelos es para la construcción de bases.

Con materiales bituminosos se puede estabilizar una amplia variedad de suelos, abarcando los suelos de buena graduación, las arenas y aún las arcillas. No obstante, hablando en términos generales, entre mayor sea la cantidad de material fino que se agregue a la mezcla, mayor será la cantidad de bitumen requerida para lograr una impermeabilización satisfactoria. En general, los suelos plásticos muy finos no se pueden estabilizar en forma económica con materiales bituminosos debido a las dificultades inherentes a la pulverización y mezcla.

Los suelos que se estabilizan con un material bituminoso pueden contener un porcentaje relativamente grande de finos, con 25% o más que pase la malla N^o 200. Los finos pueden poseer alguna plasticidad, pero para mejores resultados se recomienda que el índice de plasticidad no sea mayor que 10 para la subrasante ni mayor que 6 para la base.

Además del suelo, los componentes de una mezcla suelo-bitumen son agua y el material bituminoso. El agua se utiliza para facilitar la compactación de la mezcla y para ayudar a la dispersión uniforme del material bituminoso en toda la mezcla. La cantidad de material bituminoso utilizado

en suelos que se estabilizan con bitumen varían típicamente del 4 al 7 por ciento. La suma de los porcentajes de agua y material bituminoso utilizados no debe exceder de la cantidad que llene los vacíos de la mezcla compactada. En este tipo de estabilización, se han utilizado muchos tipos diferentes de materiales bituminosos, incluyendo los asfaltos líquidos de fraguado rápido, medio y lento. En años recientes, se ha incrementado el uso de emulsiones asfálticas de rompimiento lento y medio.

La selección de un material bituminoso para usarlo en un proyecto dado depende principalmente de la experiencia local y de los costos relativos.

Con respecto a los rebajados, se recomienda el uso de los de fraguado rápido para los suelos en extremo arenosos o en aquellos que contienen un mínimo de partículas de limo y arcilla. Cuando aumenta el porcentaje de limo y arcilla, se recomienda utilizar un rebajado de fraguado medio, ya que se combina mejor y da una mezcla más homogénea. Los asfaltos líquidos de fraguado lento han sido utilizados con éxito en suelos que contienen de 30 a 40 por ciento de limos y arcillas, en particular en las regiones áridas. Respecto al grado de los asfaltos rebajados, la regla general es "utilizar los asfaltos más pesados que puedan incorporarse

al suelo". La emulsión asfáltica debe ser factible de mezclarse.

Procedimiento de Construcción.

Los métodos para hacer la mezcla con materiales suelo-bitumen, son los mismos descritos con anterioridad para mezclas estabilizadas de suelos granulares. Por supuesto que un paso adicional involucra el material bituminoso necesario y su distribución uniforme en el cuerpo de la mezcla. En el caso de hacer la mezcla *in situ*, el material bituminoso, que se ha calentado algunas veces en forma moderada hasta alcanzar la temperatura de aplicación especificada, se aplica en cantidades medidas con un distribuidor a presión, con el agua aplicada por separado y se realiza la mezcla, se combina en su totalidad con motoconformadoras, rastras de disco, mezcladoras giratorias, etc. Si se usa una planta móvil o una planta central de mezclado, la cantidad medida de material bituminoso se incorpora en la planta.

Cuando termina la aereación, se extiende el material en una capa de espesor uniforme y queda preparada para su compactación. El espesor de la capa puede variar de 2 a 6 pulgadas, dependiendo de las condiciones de trabajo. Por lo regular, la compactación se realiza con un rodillo de pata

de cabra o con aplanadoras de llantas neumáticas. El proceso de compactación continúa hasta que se alcanza una cierta densidad especificada (que se expresa en términos de la densidad de laboratorio). Después de terminada la compactación, es necesario que transcurra un cierto tiempo de "curado" antes de colocar la siguiente capa, de suerte que se pueda mantener el contenido de agua después de la construcción en la cantidad deseada. También deberá tomarse nota en esta etapa, que se puede compactar la mezcla sin agregar agua, en especial, cuando se usan emulsiones asfálticas. El apisonado de la capa final puede llevarse a cabo utilizando aplanadoras de ruedas de acero o de llantas neumáticas, y deberá darse el acabado a la sección final de acuerdo con los planos.

Debe hacerse énfasis en que este tipo de mezcla estabilizada de suelo sólo es satisfactorio para la construcción de bases. La colocación de la superficie de rodamiento debe seguir en forma inmediata a la terminación de la base, antes de que se permita el uso del camino a una cantidad considerable de tránsito.

5.3 ESTABILIZACION CON SUELO-CEMENTO.

El tipo de estabilización de suelo que en los últimos años se ha utilizado con mayor frecuencia, comprende la incorporación de cemento portland, en cantidades que varían por lo general del 7 al 14 por ciento en volumen de la mezcla compactada, a suelos naturales o artificiales, o bien, en mezclas de suelo-agregado. Por lo general, este tipo de construcción se utiliza para la formación de las capas de base, usualmente, con espesores que varían de 4 a 6 pulgadas. Una mezcla de suelo-cemento puede servir como una base para una superficie de rodamiento de poco espesor que estará sometida a tránsito ligero o mediano, o como un apoyo para un pavimento rígido o flexible de alta calidad.

Las bases de este tipo se han utilizado con éxito en la construcción de calles en ciudades y, también, es aconsejable el uso del suelo-cemento en las autopistas, acotamientos, áreas de estacionamiento, algunas pistas de aterrizaje de los aeropuertos, etc. En algunas regiones, en particular en el estado de California, este tipo general de construcción se denomina "base tratada con cemento".

El empleo moderno de los suelos-cemento comenzó en 1933 en Carolina del Sur, con la construcción de tramos

experimentales, y a partir de esa fecha, el uso del suelo-cemento en la construcción de carreteras se ha ido incrementando en forma continua.

Casi todos los suelos subrasantes se pueden estabilizar empleando el cemento portland, con excepción de aquellos que contienen altos porcentajes de material orgánico. En general, los suelos que contienen grandes cantidades de material fino, tal como el limo o la arcilla, requieren de altos porcentajes de cemento para lograr una estabilización eficiente. Las especificaciones de granulometría para los suelos que intervienen en las mezclas de suelo-cemento son casi inexistentes, ya que en la práctica se puede usar cualquier suelo. Las características más favorables las tienen los suelos arenosos o con grava que contienen del 10 al 35 por ciento de limo y arcilla combinados.

Las arenas y gravas glaciales y de depósitos acuáticos, la piedra caliza triturada, el *caliche*, rocas calizas y casi todos los materiales granulares, son buenos si contienen 55 por ciento o más de material granular que pase la malla N^o 4. Excepcionalmente, los materiales bien graduados pueden contener hasta 65 por ciento del material retenido en una malla del N^o 4, y todavía tener suficiente material fino para lograr una cohesión adecuada. El tamaño máximo de los

agregados en mezclas de suelo-cemento no deberá exceder de tres pulgadas. los materiales de los caminos como bases de grava o piedra triturada son excelentes para los suelos-cemento.

Un factor importante para determinar la adaptabilidad de un suelo dado para la construcción con suelo-cemento, es la facilidad con que se puede pulverizar el suelo. Los suelos que contienen grandes cantidades de arcilla son más difíciles de pulverizar, requieren más cemento y demandan un control más cuidadoso durante el proceso de construcción.

En general, el cemento que se utiliza es el cemento portland estándar de los tipos 1 y 1A. El tercer ingrediente, en las mezclas de suelo-cemento, es el agua, la cual es necesaria para ayudar a la compactación de la mezcla suelta y para la hidratación del cemento en la mezcla. A este respecto, las mezclas de suelo-cemento son similares al concreto en que el agua es un ingrediente necesario, y si se quiere que el endurecimiento de la mezcla sea adecuado, debe evitarse la pérdida de cantidades excesivas de agua durante el tiempo de curado.

En la práctica, se puede utilizar cualquier tipo de agua, aunque deberá estar limpia y sin cantidades excesivas

de materia orgánica, ácidos o álcalis. Desde luego que se utiliza normalmente agua dulce, aún cuando en algunas ocasiones se ha llegado a usar el agua de mar. Las cantidades apropiadas de cemento y agua que se utilizarán en un proyecto dado se determinan por una serie de pruebas de laboratorio. La información que se obtiene en el laboratorio se emplea también en el control de la construcción, en particular, en el control de la compactación de la mezcla.

Métodos de Construcción.

Los pasos básicos en la construcción de una base de suelo-cemento, suponiendo que la subrasante bajo la base no requiere de tratamiento especial o que se ha logrado previamente la condición deseada, pueden enlistarse como sigue:

1. Pulverización del suelo que se utilizará.
2. Distribución de la cantidad de cemento requerida e incorporación al suelo.
3. Adición de la cantidad de agua requerida a la mezcla suelo-cemento.
4. Compactación minuciosa, incluyendo el apisonado final y el acabado.
5. Curado de la base suelo-cemento una vez terminada.

Las mezclas de suelo-cemento, pueden "procesarse" con equipo de mezclado *in situ*, por plantas móviles o por plantas centrales de mezclado. En la gran mayoría de los casos, se utilizan las plantas móviles, incluyendo aquellas de tipo plano, de caballete, y los mezcladores giratorios de velocidad.

Pulverización.

Cuando se trabaja con suelos difíciles de procesar, el suelo debe pulverizarse en forma total antes de agregarle el cemento. Si se llega a utilizar el suelo existente, debe escarificarse algunas veces a la profundidad deseada, usando una máquina rompedora o un escarificador unido a una motoconformadora. Si se usa material de otro sitio, debe transportarse hasta el lugar en el que se va a utilizar y esparcirlo sobre el suelo existente con el requerido.

Entonces, puede pulverizarse el suelo utilizando escarificadores de discos, arados de reja múltiple o mezcladores giratorios de velocidad. En general, con excepción de los suelos de grava o piedra, es necesario pulverizar el suelo hasta que en el momento de la compactación, el 100 por ciento de la mezcla suelo-cemento pase por la malla N^o 1 y cuando menos el 80 por ciento pase

por la malla N^o 4. Es especialmente importante que la humedad de los suelos de grano fino se encuentre dentro de límites un poco estrechos durante la pulverización.

En algunos suelos, el contenido correcto de agua para la pulverización es el óptimo o cercano a él. Puede resultar necesario proceder a la aereación de un suelo húmedo o a la adición de agua a un suelo seco y, en algunos casos, se pueden dar los pasos necesarios para proteger el suelo pulverizado de los cambios de humedad antes de iniciar el paso siguiente en el proceso de construcción.

Distribución de Cemento.

La cantidad apropiada de cemento se distribuye sobre la superficie del suelo tanto en forma manual como por medios mecánicos. En trabajos pequeños, las bolsas de cemento se distribuyen a mano, a lo largo de la superficie en filas, y a espacios predeterminados. Después, se abren las bolsas y se vacía el cemento en filas transversales uniformes, también a mano. El proceso de esparcir el cemento se termina empleando una escarificadora dentada. En la mayoría de los proyectos se usa cemento a granel y se emplea un espaciador mecánico. Cuando se termina este proceso en forma apropiada, es fácil iniciar la mezcla en seco.

Mezcla.

Para realizar la mezcla *in situ*, el suelo y el cemento se combinan utilizando herramientas tales como el arado de rejas múltiples, escarificadores de discos y cultivadoras de resorte y herramienta rotativa de labranza, pero por lo regular se hace con una planta móvil. Cuando se utiliza una planta de éstas, la mezcla, por supuesto, se realiza dentro de la planta; la exactitud del procedimiento del proceso variará con el tipo de equipo utilizado. Con una planta central, la mezcla se efectúa en la planta y se transporta en camiones al lugar de trabajo; dicho procedimiento se usa en proyectos donde se trabaja con suelos de préstamo.

Al efectuar la mezcla *in situ*, se requiere un cuidadoso control con objeto de que la mezcla sea totalmente uniforme. En general, el equipo disponible para este propósito se opera en serie, agregándole unidades adicionales conforme avanza la construcción, para suministrar agua y terminar la operación de mezclar en húmedo. En muchas ocasiones, las operaciones de mezclar en seco y en húmedo no están esencialmente separadas, sino que más bien se llevan a cabo al mismo tiempo en una serie integrada de operaciones.

Se agrega la cantidad adecuada de agua, y el suelo;

cemento y agua se mezclan en forma concienzuda para formar una mezcla uniforme, lista para la compactación. Por lo regular, la cantidad de agua que se agrega es suficiente para incrementar el contenido de agua 1 a 2 por ciento arriba de la cantidad óptima deseada para la compactación. Esto se hace debido a la pérdida de agua que se puede presentar cuando se hace la mezcla *in situ* en comparación con la que se realiza en el laboratorio. En otras palabras, si se agrega un poco más de agua a la mezcla se puede esperar de manera general que el contenido de humedad del suelo se encuentre muy cerca del óptimo en el momento en que se esté listo para iniciar la compactación.

Compactación y Acabado.

En general, la compactación inicial de una base de suelo-cemento se efectúa con rodillos de pata de cabra. Después de que se compacta la base 2 ó 3 pulgadas, con una motoconformadora se da forma a la capa. Por lo regular, se continúa después con el apisonamiento hasta asegurar una densidad satisfactoria con 1 pulgada de espesor.

Por supuesto que en los suelos muy arenosos no es posible realizar la compactación con rodillos de pata de cabra, por lo que la densificación puede entonces llevarse a

efecto empleando rodillos con ruedas neumáticas. En los suelos granulares se han empleado rodillos con ruedas de acero y se ha incrementado el uso de los equipos de compactación de modelos recientes, incluyendo los compactadores vibratorios, las rejillas y los rodillos segmentados. Después de que se ha hecho la compactación de la mezcla suelo-cemento, conforme se ha descrito, se retiran los rodillos y se da forma final a la superficie. Lo anterior se efectúa mediante una gran variedad de formas, entre las que se incluyen los pasos para eliminar los planos de compactación que los rodillos dejaron en la superficie. La compactación final se asegura por apisonamiento con aplanadoras de ruedas neumáticas, sola o en combinación con rodillos de acero con un peso de 3 a 12 toneladas, dependiendo del tipo de suelo. Se continúa con el apisonamiento hasta que se logra una superficie compacta. Durante todas las operaciones de apisonamiento descritas, es esencial mantener el contenido de humedad óptimo, por lo tanto, es necesario hacer frecuentes comprobaciones de la densidad y contenido de humedad.

Curado.

El agua contenida en la mezcla suelo-cemento es necesaria para el endurecimiento del cemento, y se deben establecer ciertas medidas para evitar que se pierda evaporación la que existe en la base terminada. Por lo común, el curado se realiza aplicando una ligera capa de material bituminoso; la proporción en que se aplican varía desde 0.15 hasta 0.30 galones por metro cuadrado. Tan pronto como se termina la base de suelo-cemento, se coloca una superficie de rodamiento bituminosa.

5.4 ESTABILIZACION CON CAL

Se ha probado que la incorporación de pequeñas cantidades de cal hidratada es eficaz para el mejoramiento de ciertos suelos plásticos arcillosos. La cal se ha utilizado, principalmente en los estados de EE.UU., a lo largo de las costas del Golfo, para reducir la plasticidad, contracción y expansión de los suelos arcillosos, al mismo tiempo que para incrementar un poco su capacidad de carga. En esencia, su uso permite el mejoramiento de ciertos suelos que no cumplían los requisitos para utilizarlos como bases y subbases.

El uso de la cal tiene también ciertas ventajas desde el punto de vista del proceso de construcción para hacer los suelos plásticos más manejables (haciéndolos más fáciles de pulverizar). Tiende a impermeabilizar el suelo hasta cierto punto, lo cual permite que se seque más rápidamente cuando se satura, permitiendo que la construcción sea más rápida.

Por lo regular, la cantidad de cal que se emplea en el tratamiento de subrasantes varía entre 3 y 6 por ciento. Se han llegado a utilizar cantidades tan bajas como 1 por ciento, si bien las cantidades arriba del 6 por ciento no resultan económicas. En general el espesor del tratamiento es de 6 pulgadas. El suelo de la subrasante se escarifica y pulveriza, en seguida se esparce la cal, usualmente con un rociador mecánico o un transportador de bultos. Se agrega agua en cantidad suficiente para hacer que la humedad alcance 5 por ciento o más sobre la óptima, distribuyéndola con un mezclador giratorio de velocidad. La mezcla suelo-cal se deja curar durante períodos de 1 a 7 días. Después se continúa mezclando y pulverizando hasta que todos los materiales pasan por la malla de 1 pulgada, y cuando menos el 60 por ciento pasa por una del N^o 4. La compactación se efectúa con rodillos neumáticos o con compactadores vibratorios, y se deja que la capa compactada se cure durante otros 3 a 7 días antes de colocar la siguiente capa.

En algunos proyectos se agrega cal al suelo en forma de lechada.

El procedimiento de construcción es muy similar al que se utiliza para el suelo-cemento.

5.5 Estabilización con Sal.

La sal de roca se ha empleado con éxito en la estabilización de suelos para bases y superficies de rodamiento sobre las cuales circula un tránsito muy ligero. El procedimiento es muy similar al descrito para las mezclas en que se utiliza el cloruro de calcio. En general, la cantidad de sal recomendada es de 1 a 2 libras por metro cuadrado por pulgada de espesor de suelo suelto.

CAPITULO III
METODOS DE
REHABILITACION
DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES

INTRODUCCION

En este capítulo se presentan los diferentes métodos para rehabilitar los pavimentos flexibles, desde un reciclado hasta lo que son los diferentes tipos de sellos para superficies de pavimentos que no presentan daños estructurales.

El fresado de pavimentos flexibles es un método muy ágil para remover superficies deformadas de los pavimentos por lo que consideramos conveniente incluirlo en este capítulo.

También presentamos los diferentes tipos de reciclado (frío y caliente) aunque por lo extenso de cada uno de ellos, solo presentamos los elementos mas importantes que éstos poseen.

El recarpeteo es otro método para rehabilitar pavimentos flexibles y su aplicación ya es conocida en nuestro medio por lo que es necesario presentar su aplicación.

Los diferentes tipos de lechadas asfálticas ya están siendo aplicados en varios lugares de nuestro país, pero se

desconoce mucho su aplicación así como sus requisitos, ventajas y desventajas, ya que éstos no contribuyen a la capacidad estructural de los pavimentos, se incluye en este capítulo los lineamientos básicos para que éstos puedan ser aplicados con efectividad.

1. REHABILITACION DE PAVIMENTOS

Para prolongar la utilidad de un pavimento se hace por medio de un mantenimiento oportuno y apropiado pero con el tiempo hasta el pavimento con un buen mantenimiento comienza a fallar y es necesario rehabilitarlo.

Por lo general una rehabilitación ha sido una reconstrucción con todos los materiales nuevos y levantar el material en las partes deterioradas cubriéndolo con una nueva carpeta. Los crecientes costos que esto implica, han estimulado a los ingenieros de carreteras a buscar nuevos métodos de rehabilitar la carpeta de la vía, entre estos métodos se pueden mencionar: la conformación (Fresado), Reciclado, Sellos, Recarpeteo, etc.; la aplicación de alguno de ellos, dependerá del grado de deterioro que presente el pavimento.

2. CONFORMACION DE PAVIMENTOS (FRESADO)

El fresado (llamado también alisado en frío) ofrece muchas ventajas para el ingeniero de carreteras. Hace 20 años las carreteras eran diseñadas para un menor tráfico y menor peso vehicular de acuerdo a las condiciones actuales. Muchas carreteras están siendo distorsionadas debido a no

considerar estos parámetros.

El fresado puede restablecer la pendiente e inclinación apropiada de la carretera, eliminando las altas perforaciones y surcos, consiguiendo una mayor nivelación. En una vía típicamente con surcos, al aplicar sobre estas fallas una sobrecapa, el pavimento toma su forma original cuando es puesta al tráfico nuevamente. Esto no ocurriría si el área donde se han producido los surcos es fresada hasta alcanzar una superficie plana y sobre ésta se coloca un pavimento nuevo, teniendo éste una densidad uniforme.

Por ser ésta una técnica nueva sus beneficios no son ampliamente conocidos, pero el ahorro desde la recuperación y reuso del material, más el retraso reducido para los automovilistas, son unas de las muchas ventajas que presenta.

El fresado es probablemente más beneficioso en ciudades que cualquier otro lugar. La mayoría de ciudades han revestido sus calles tantas veces que el drenaje se vuelve inadecuado y con frecuencia arriba del nivel del cordón-cuneta. El fresado regresa el nivel del perfil original bajando la elevación hasta su superficie inicial, restableciendo un drenaje apropiado e incrementa la

seguridad de manejo, recuperando las cunetas su capacidad para soportar el volúmen de agua para el cual fueron originalmente diseñadas.

Cuando el revestimiento de una calle en la ciudad no es caro, el costo de levantamiento de las tapaderas de los pozos, excede el costo total de la pavimentación. Por fresado de $1\frac{1}{2}$ pulgada y colocando el mismo espesor, la carretera es corregida y mejorada sin cambiar la elevación de los utilitarios, esto ofrece ahorros significativos, además de la utilización del material que es usado en la nueva mezcla para la pavimentación por medio del reciclado de acuerdo a las especificaciones de diseño.

2.1 TEORIA DEL FRESADO

El fresado de pavimentos es necesario por diferentes causas de acuerdo a lo que se expresa a continuación:

- 1) Nos sirve para remover el material desgastado y poder reemplazarlo con uno nuevo.
- 2) Porque es necesario una superficie recta para lograr una óptima pavimentación, manteniendo lo estipulado en las especificaciones.
- 3) Al mejorar el rendimiento se ahorra dinero.

- 4) Se asegura al conductor a tratar de mantener el mismo nivel que un mantenimiento superficial.
- 5) Las alturas de las obras de paso como puentes, túneles y otras se mantienen con estos mismos niveles manteniendo la altura de la estructura constante.
- 6) Lograr una mejor cohesión entre el material nuevo y la superficie que deja el fresado.
- 7) El material escarificado es inmediatamente cargado frontalmente para ser utilizado en otros usos.
- 8) Es la manera más moderna y eficiente de remover un pavimento.

2.2 VENTAJAS

- 1) Económico, por utilizar en otros usos el material removido.
- 2) Mantiene los niveles de corte y profundidad.
- 3) Carga el material fresado directamente sobre una banda transportadora.
- 4) Requiere menos mano de obra y maquinaria.
- 5) Contribuye al medio ambiente por ser la forma más limpia y rápida de remover el material.
- 6) Mínima obstrucción del tráfico.
- 7) Garantiza una superficie más durable.

- 8) Nos evitamos ruidosos martillos rompedores.
- 9) Removemos material con diferentes profundidades desde 0.1 cm a 30 cm manteniendo un nivel constante.
- 10) Permite diversidad de aplicaciones.



FRESADO DE PAVIMENTO EXISTENTE EN FRIO

2.3 APLICACIONES

- 1) Anchos de trabajo de 300 mm a 4500 mm.
- 2) Pavimentos de puentes, túneles y otros.
- 3) Trabaja en concreto asfáltico.
- 4) Mantenimiento de juntas, intersecciones.
- 5) Fresado alrededor de alcantarillas, aceras, pisos de bodegas industriales, parqueos, etc.

3. RECICLADO

En lo concerniente a la industria de la construcción de pavimentos y las dependencias que financian éstos, está la conservación de materiales, protección del medio ambiente y economía en los procesos de construcción; el reciclaje de pavimento asfáltico es un procedimiento que relativamente satisface esto, especialmente en lo relativo a la economía de la Energía, materiales y dinero.

En el reciclaje de pavimento asfáltico, los materiales recuperados del pavimento son procesados con nuevos materiales, para producir mezclas asfálticas que satisfagan los requerimientos estipulados en las especificaciones. Las mezclas recicladas pueden ser utilizadas en los mismos lugares de la carretera de las cuales fueron extraídas; pero

pueden ser usadas en cualquier otro lugar donde sean requeridas.

Este proceso no es nuevo; su historia se remonta a varias décadas atrás, sin embargo, las necesidades crecientes de economía y medio ambiente han agregado énfasis y muchos refinamientos técnicos a los procesos de reciclaje.

El reciclado varía ampliamente en sus contenidos de materiales restaurados, agregados nuevos, asfalto y agentes reciclantes. El Pavimento Asfáltico Recuperado (RAP), puede variar desde una pequeña cantidad del 10% hasta tanto el 100% de la mezcla final, por lo que genera en los proyectos; la variación del material que se incorpora anda entre el 20% y 70% del pavimento restaurado en la mezcla final.

El reciclaje de mezclas asfálticas es uno de varios métodos alternativos en la rehabilitación de pavimentos asfálticos dañados, teniendo en estos el:

- a) Reciclaje de mezcla en caliente.
- b) Reciclaje de mezcla en frío.
- c) Reconstrucción total de la estructura del pavimento.

3.1 RECICLAJE DE MEZCLA EN CALIENTE.

El reciclaje de mezcla en caliente es uno de los métodos en la rehabilitación de pavimentos asfálticos que se encuentran en condiciones extremadamente deplorables pero que haya sido colocada mezcla asfáltica en caliente.

Para poder tomar el reciclado en caliente como una alternativa de solución, el primer paso es establecer las causas que dieron origen al daño del pavimento existente. Para lograr este fin son revisados el diseño original y los registros de construcción, incluyendo pruebas de campo como deflexiones, inspecciones visuales y pruebas de laboratorio del pavimento. Analizando los resultados con el propósito de decidir el método de rehabilitación más conveniente.

3.1.1 RAZONES PARA EL RECICLADO EN CALIENTE.

El reciclado de mezclas en caliente es un proceso que podría ser usado para mejorar los pavimentos desgastados. En adición un beneficio mayor es realizado agregando asfalto al material granular recuperado en la carpeta asfáltica deformada colocando el material con el mismo espesor.

El incremento en el espesor varía dependiendo de las

deformaciones existentes ayudando al incremento de la capacidad de carga de la estructura en general, convirtiéndose de esta forma las secciones existentes en una estructura de alta calidad.

Al hablar del costo-eficiencia el reciclado en caliente del pavimento existente debe ser considerado en una forma mayor en la planificación de rehabilitación de carreteras.

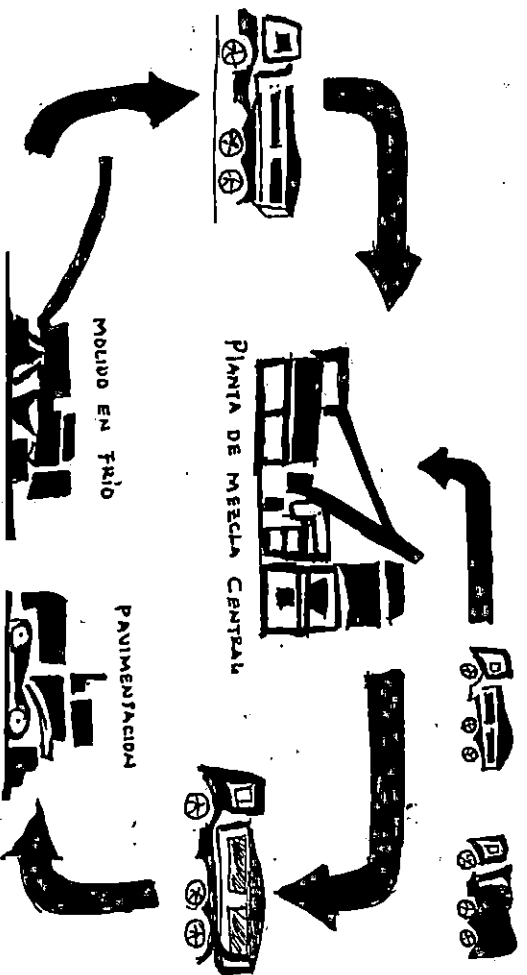
Otra razón muy importante para el uso de este método es la necesidad de conservar los recursos naturales, economía, ecología y conservación de Energía.

3.1.2 METODOS DE RECICLAJE

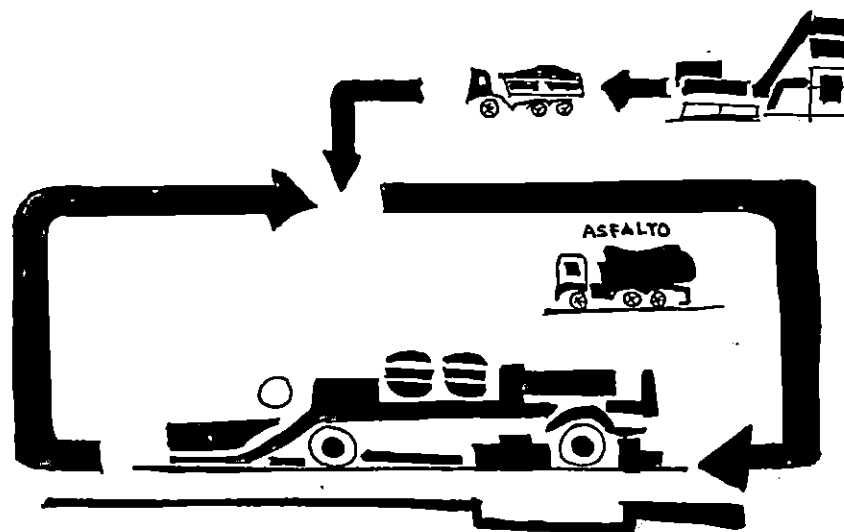
El reciclaje en caliente se puede realizar en una planta central o en el lugar. Los pavimentos asfálticos por este método son restaurados por medio de transferencia de calor.

Cuando se realiza en una planta central las mezclas recicladas pueden y han sido producidas exitosamente en plantas de tambores mezcladores, producidas en una sola tanda, mezclando agregado nuevo y restaurado de acuerdo al diseño estipulado, esta mezcla se lleva en recipiente o

camiones de transporte para ser colocada en la carretera usando equipo de pavimentación y compactación convencionales. Este método se desarrolla de acuerdo al siguiente esquema que nos muestra todo el proceso a desarrollar.



Cuando hablamos de reciclado en caliente en el lugar, este se desarrolla directamente en la carretera que va hacer restaurada cumpliendo las especificaciones de diseño como son el porcentaje de asfalto virgen a inyectar, porcentaje de la cantidad de mezcla proveniente de una planta central (Nuevo) a agregar y corte que se realizará de acuerdo al estudio realizado con anterioridad, los pasos a seguir se muestra en el siguiente esquema.



RECIKLADO EN EL LUGAR.

3.1.3 EVALUACION DE MATERIALES

La mezcla reciclada en caliente es una combinación de material nuevo y restaurado formulada para alcanzar una pavimentación con propiedades físicas especificadas. Todos los materiales deben ser ensayados y evaluados para alcanzar la mezcla óptima que satisfaga los requerimientos de mezcla tanto para los nuevos como los restaurados.

Varios métodos han sido desarrollados para obtener muestras representativas de los materiales como la ASTM (Asfalto D140, agregados D75 y mezclas Asfálticas D979). Uno de los métodos de obtención de muestras deducidas hasta el momento es el muestreo aleatorio, con él la localización del muestreo es seleccionado como un modo que todas las

localizaciones tengan la misma posibilidad de ser elegidas para la muestra, siendo una elección imparcial porque es hecha aleatoriamente (ASTM D3665, muestreo aleatorio).

3.1.4 PAVIMENTO RESTAURADO

El diseño de mezclas para pavimentación asfáltica conteniendo más de un 20% de pavimento asfáltico restaurado requiere ciertos ensayos en el laboratorio en adición a los procedimientos Marshall, como son:

- La granulometría del agregado
- Contenido del Asfalto
- Viscosidad del Asfalto a 60°C (140°F)

Estos tres parámetros son necesarios para definir la cantidad de cemento asfáltico nuevo que es necesario, así también la graduación y cantidad de agregado adicional que se necesitará para que la mezcla final cumpla con las especificaciones.

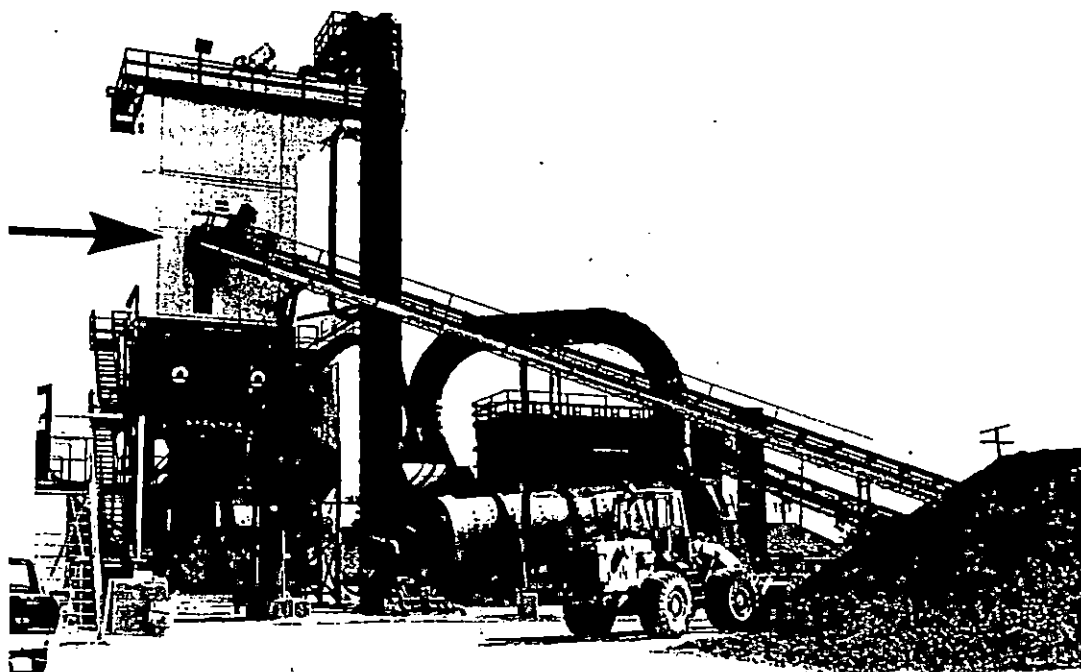
El agregado y el asfalto en el RAP tienen propiedades que deben ser evaluadas por ser un pavimento envejecido con una muestra representativa, de acuerdo a los parámetros mencionados anteriormente.

3.1.5 PASOS PARA ESTABLECER UN RECICLAJE EN CALIENTE

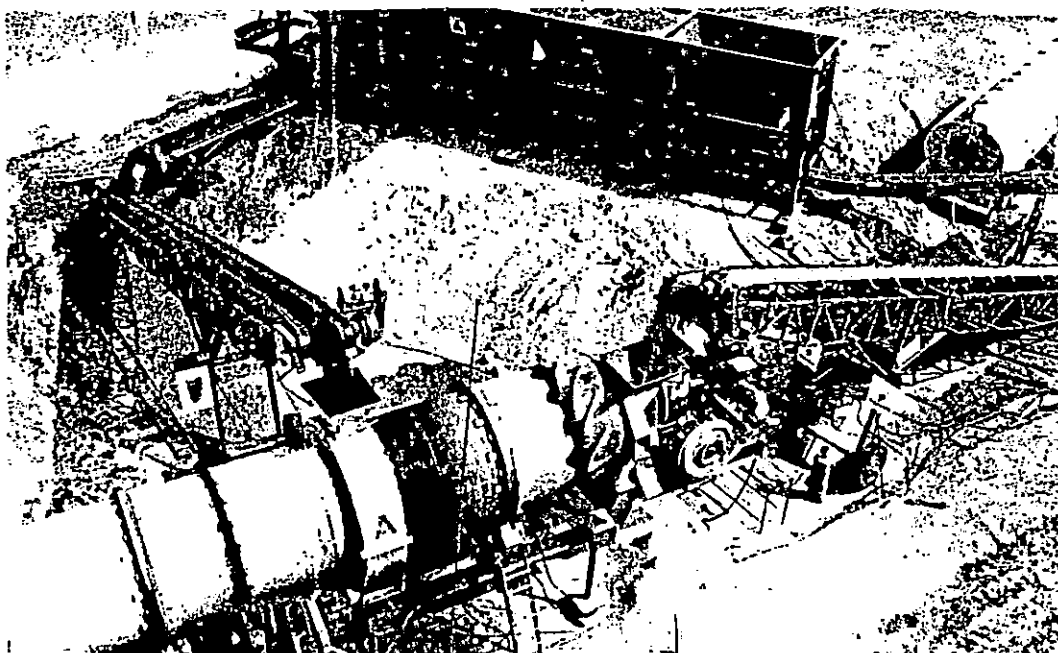
- a) Análisis visual de la carretera que va a ser reciclada.
- b) Establecer la cantidad de muestras.
- c) Establecer la forma del pavimento.
- d) Análisis de las muestras.
- e) Diseño de la mezcla adicional si es el caso.

3.1.6 VENTAJAS:

- a) 100% del pavimento existente es utilizado.
- b) La mezcla puede ser modificada.
- c) Altos rendimientos
- d) La carretera puede ser abierta al tráfico inmediatamente después de terminado el trabajo.
- e) Evita las juntas frías producidas por un sistema convencional de pavimentación.
- f) Ahorro del 30 y 40 por ciento.
- g) Contribuye a la conservación del medio ambiente.



RECICLAJE EN PLANTA DE UNA SOLA TANDA



PLANTA DE TAMBOR, CARGA PARTIDA

3.2 RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN FRIO

3.2.1 Características Importantes:

- El reciclaje puede corregir muchos tipos de pavimentos esforzados que involucra la base y la superficie, ya que se reusa el asfalto y agregados proveniente de pavimentos deteriorados, la necesidad por utilizar nuevos materiales es apreciablemente reducida y el costo total del pavimento mejorado será menor, así como los costos de transporte son reducidos si se lleva a cabo en el lugar.

- La Adición de asfalto a Materiales granulares de base existentes durante el reciclaje incrementa la fuerza estructural sin aumentar el espesor del pavimento, y se logra conservar la geometría de la carretera, y ayuda a impermeabilizar la base y la deja menos susceptible a la acción de congelamiento y daños por humedad.

- Se evita los problemas de drenaje (profundidad de la cuneta reducida, cubiertas de asfalto, necesidad de elevar los hombros).

Reciclaje en Frío.

Este trabajo consiste en la pulverización de la superficie bituminosa y base selecta existente hasta la profundidad que se muestran en el diseño, mezclando un aglutinante y agua, si es requerida, con la superficie bituminosa pulverizada, entonces la mezcla es colocada y compactada.

Este tipo de reciclaje se puede llevar a cabo de la siguiente forma:

- a) En el lugar "in situ"
- b) Mezcladores Rotativos
- c) Plantas viajeras
- d) Planta central de reciclaje

Los parámetros a tomar en cuenta para este tipo de reciclaje son los siguientes:

- a) Evaluación de los Materiales
- b) Análisis de Tráfico
- c) Suelo de la subbase

3.2.2 EVALUACION DE LOS MATERIALES

Para muestras de campo se utiliza la Norma ASTM D979 Sampling Bituminous Paving Mixtures.

En la extracción de las muestras se debe tomar en cuenta que se deben analizar por separado el agregado del asfalto envejecido de acuerdo a la norma ASTM D2172 Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving Mixtures.

Con esto se llega a determinar las siguientes propiedades:

- a) Graduación del agregado.
 - b) Contenido de Asfalto.
-
- a) De lo anterior se toman en cuenta el reuso de los agregados (agregados restaurados). La graduación se determina con la norma ASTM C136.

Para ello los agregados existentes en el lugar cumplirán uno de los siguientes criterios.

- 1) Que el producto del índice de plasticidad (Ip) ASTM D424 y el

porcentaje que pasa la malla Nº 200 (0.075 mm) debe ser menor de 72.

- 2) La prueba equivalente de arena ASTM D2419, es utilizada para detectar cantidades excesivas de arcilla, finos plásticos y polvo.

Generalmente los materiales con un equivalente de arena superiores de 30 pueden ser reciclados exitosamente, en cambio la posibilidad de éxito de materiales que tienen un equivalente de arena de 20 a 30 depende de la habilidad del asfalto para proteger contra el agua las partículas, para suelos con equivalente de arena menores de 20 no son recomendables.

b) Cemento Asfáltico

Deben ser muestreados como se detalla en Sampling Asphalt Products for Specifications (MS-18) del Asphalt Institute.

En cuanto a la selección del asfalto toma como base tres propiedades o consideraciones

ingenieriles:

- Propiedades del Asfalto
- Consistencia
- Velocidad de curado

Una regla de campo de largo uso es: usar asfalto más pesado que pueda ser trabajable. Aplicando esta regla implica que el tipo de equipo para mezclado, agregado y subbases firmes, debe ser considerado en la selección del grado de asfalto.

La viscosidad del asfalto se incrementa cuando disminuye la temperatura. Por lo tanto el asfalto usado en mezclas frías debe ser trabajable con facilidad a las temperaturas encastradas en la construcción, la viscosidad de varios materiales asfálticos y temperaturas deben ser consideradas.

Emulsiones Asfálticas.

No toda el agua es compatible con el asfalto emulsificado por lo tanto una muestra permisible debe ser mezclada con una muestra de emulsificación en la misma proporción para ser usada en la carretera.

En el reciclaje puede requerir humedad en el agregado para facilitar la colocación y compactación.

La selección del tipo de material y el grado es usualmente hecho antes que la graduación de los agregados ha sido determinada. Las siguientes emulsiones pueden ser usadas para seleccionar el producto de asfalto emulsificado.

Emulsiones de Curado Medio.

Son diseñadas para el mezclado con agregados gruesos, porque estos agregados no se quiebran y son trabajables por un corto tiempo.

Las emulsiones con alta flotación de asfalto de curado medio pueden dar mejor colocación de agregados y retención de asfalto bajo condiciones extremas de temperatura. Ellos pueden ser usados con agregados gruesos.

Emulsiones de Curado Lento.

Son diseñadas para la máxima estabilidad de mezclado. Ellas son usadas con alto contenido de finos, agregados de grado-denso y tienen bajas viscosidades que pueden ser reducidas más allá, por medio de la adición de agua.

Para propósitos de pavimentación, las emulsiones de asfalto dependen de la evaporación de agua para desarrollar sus características de curado y adhesión. Algunos tipos de emulsiones contienen pequeños montos de solventes de petróleo para ayudar en los procesos de mezclado y colocación. Mientras que los solventes no entran directamente en los Mecanismos de expulsión del agua, debe tomarse provisiones para la evaporación del solvente para que la mezcla sea curada apropiadamente. Por lo tanto la superficie tratada no debe ser compactado hasta que el agua haya sido removida de la base (de la carretera).

3.2.3 ANALISIS DE TRAFICO.

Cuando es posible el análisis del tráfico y los procedimientos de diseño dados en el Manual del ASPHALT INSTITUTE, THIEKNESS DESIGN ASPHALT PAVEMENTS FOR HIGHWAYS AND STREETS (MS-1) deben ser usados, sin embargo en muchos casos es necesario estimar el tráfico utilizando información limitada. En tales casos la siguiente tabla puede ser usada.

TABLA IV. CLASIFICACION DE TRAFICO.

| CLASES DE TRAFICO | EAL | TIPO DE CALLE O CARRETERA | RANGO APROXIMADO- NUMERO DE CAMIONES PESADOS ESPERADOS DURANTE EL PERIODO DE DISEÑO |
|-------------------|-----------------|--|---|
| I | 5×10^3 | * Parques y calles privadas * Calles residenciales de tráfico ligero * Calles agrícolas de tráfico ligero | ≤ 7000 |
| II | 10^4 | * Calles residenciales * Calles residenciales y agrícolas rurales | 7000 - 15000 |
| III | 10^5 | * Calles colectores Urbanas menores * Calles colectores rurales menores | 70,000 - 150,000 |
| IV | 10^6 | * Arteria urbana menor y calles industriales ligeras * Colector rural mayor y carretera arterial menor | 700,000 - 1,500,000 |
| V | 3×10^6 | * Autopistas y rutas expresas urbanas y otras arteriales principales en carreteras. * Carreteras rurales interestatales y otras arterias principales. | 2,000,000-4,500,000 |
| VI | 10^7 | * Carreteras interestatales urbanas * Algunas calles industriales | 7,000,000-15,000,000 |

Fuente: ASPHALT COLD-MIX RECYCLING. (MS-21) THE
ASPHALT INSTITUTE.

3.2.4 RECICLAJE EN EL LUGAR "IN SITU"

Este tipo de reciclaje implica los siguientes pasos:

- a) Drenaje
- b) Quebrar y aflojar la superficie
- c) Reducción del tamaño
- d) Mezclado
- e) Colocación
- f) Compactación

El equipo para el reciclaje en el lugar es esencialmente el mismo como el fabricado para construcción convencional. No es factible incluir todas las variaciones de equipo disponible, aquí solo se incluyen los equipos utilizados en el proceso de reciclaje.

Drenaje.

En el diseño original de la carretera, el drenaje tiene la más importante consideración, es igualmente importante en los trabajos de rehabilitación.

Grandes áreas pavimentadas o un estado de desarrollo real cerca de la carretera puede sobrecargar los drenajes de

ésta. El resultado es una saturación de la subrasante que puede causar la falla del pavimento.

El diseño y construcción del drenaje de la subrasante es discutida en DRAINAGE OF ASPHALT PAVEMENT STRUCTURES (MS-15) del ASPHALT INSTITUTE.

Quebrar y Aflojar la Superficie.

El primer paso en el reciclaje en el lugar es quebrar la superficie de la carretera y/o la base hasta la profundidad indicada por el diseño estructural, se emplean dos métodos distintos:

1. Quebrado, aflojado o rasgado seguido por reducción de tamaño.
2. Molido en frío.

El quebrado, aflojando o rasgado, puede ser realizado por:

- a) En superficies delgadas de asfalto menores de 50 mm (2 plg), Equipos GRADERS con quebradoras-aflojadoras montados en frente.

- b) En superficies de 50 - 100 mm (2 - 4 plg) en espesor, Equipos GRADERS de 125-250 Hp equipadas con quebradoras-aflojadoras Montados en la parte trasera. La eficiencia del rasgado (arriba de 150 mm (6 plg)) puede ser mejorado con ruedas tipo radiales y lastradas.

- c) En superficies espesas, en exceso de 100 mm (4 plg) usualmente requeridas por TRACK-TYPE TRACTORS con rasgadores integrales o tipo jalados.

Reducción de Tamaño.

Métodos alternativos pueden ser usados como sigue:

- a) El más simple es usar un GUTTER-CRUSHER-COMPACTOR atado a la parte trasera de un Equipo GRADER rasgador-quebrador, aflojador combinando la operación de quebrar-aflojar y de reducción de tamaño. Este accesorio no solamente tritura pavimentos delgados, sino que también revuelve y ayuda en el mezclado del material residual con la base existente.

- b) Con quebradores-aflojadores montados adelante del

Equipo GRADER, es necesario almacenar el material; la reducción de tamaño es logrado con un Rotary Mixer o pulverizer remolcado o autopropulsado (molido de martillo viajero, también llamado triturador de impacto).

- c) Otro tipo de Rotary Mixer que ha sido usado para quebrar pavimento asfáltico es un auto-propulsado MULTI-SHAFT, SINGLE-PASS STABILIZER. Este tipo de máquina ha sido empleada como una herramienta integral para la remoción, trituración y mezclado. La superficie de asfalto debe ser lo suficientemente delgada para permitir la trituración y mezcla en una sola pasada.

Molido en Frío.

Como una alternativa al equipo de rasgado y trituración las máquinas de molido en frío pueden ser usadas directamente para reducir el pavimento asfáltico hasta el tamaño de partícula deseada (no excediendo un máximo de 95% pasando la malla 50mm (2 plg). La profundidad del corte, velocidad de la máquina, calidad del material, condición de la superficie del pavimento, temperatura ambiente y contenido de asfalto, determina el tamaño de la partícula

producida. Ha sido utilizado para cortar hasta una profundidad de 175 mm (7 plg) en una sola pasada.

Mezclado.

Cuando comienzan las operaciones de reciclaje, el aglutinante será aplicado al Material bituminoso pulverizado en la proporción inicial de diseño determinada por el laboratorio basado en las muestras obtenidas previo a la construcción, la exacta aplicación del aglutinante será determinado y puede ser variado como requerido por las condiciones del pavimento existente. Una tolerancia permisible de $\pm 0.2\%$ de la proporción del diseño inicial.

Se puede agregar agua al material pulverizado para facilitar una mezcla uniforme con el aglutinante. El agua puede ser agregada previo o junto con el aglutinante, previendo que el agua no cause efectos adversos.

Colocación y Compactación.

Después que se tiene la mezcla aireada, será colocada y conformada, la colocación será ejecutada para proveer una capa uniforme de material suelto, el cual cuando sea compactado no excederá el espesor determinado y en una

manera que la segregación sea mínima o nula.

Si la humedad de la mezcla puede ser controlada precisamente a niveles que no requieren aireación, o si condiciones climáticas y graduación de los agregados permite la evaporación de la humedad sin la manipulación, una pavimentadora convencional de asfalto autopropulsada puede ser usada para colocar la mezcla reciclada, colocándola uniformemente sobre la carretera.

El colocador debe ser remolcado a una velocidad uniforme para cualquier arreglo dado de la barra niveladora o el mecanismo de corte. Variaciones en la velocidad de remolque variaría el espesor colocado, así como frecuentes paradas e inicios pueden causar asentamiento de la barra niveladora que da como resultado abultamientos en la superficie pavimentada.

Compactación.

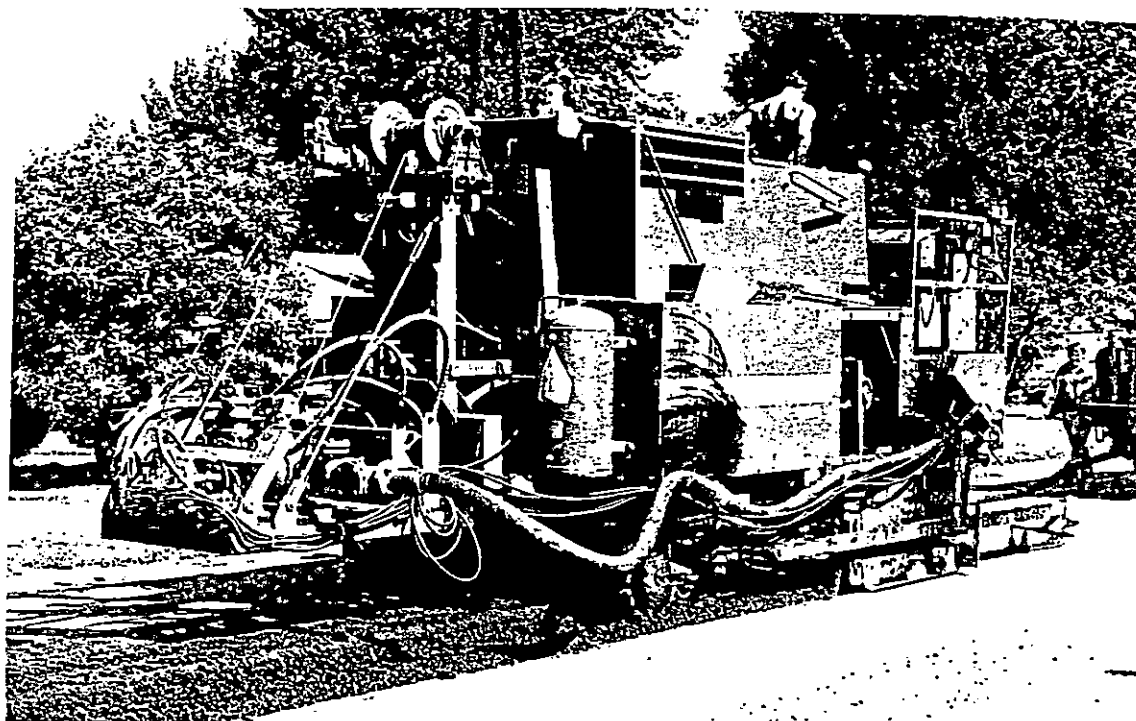
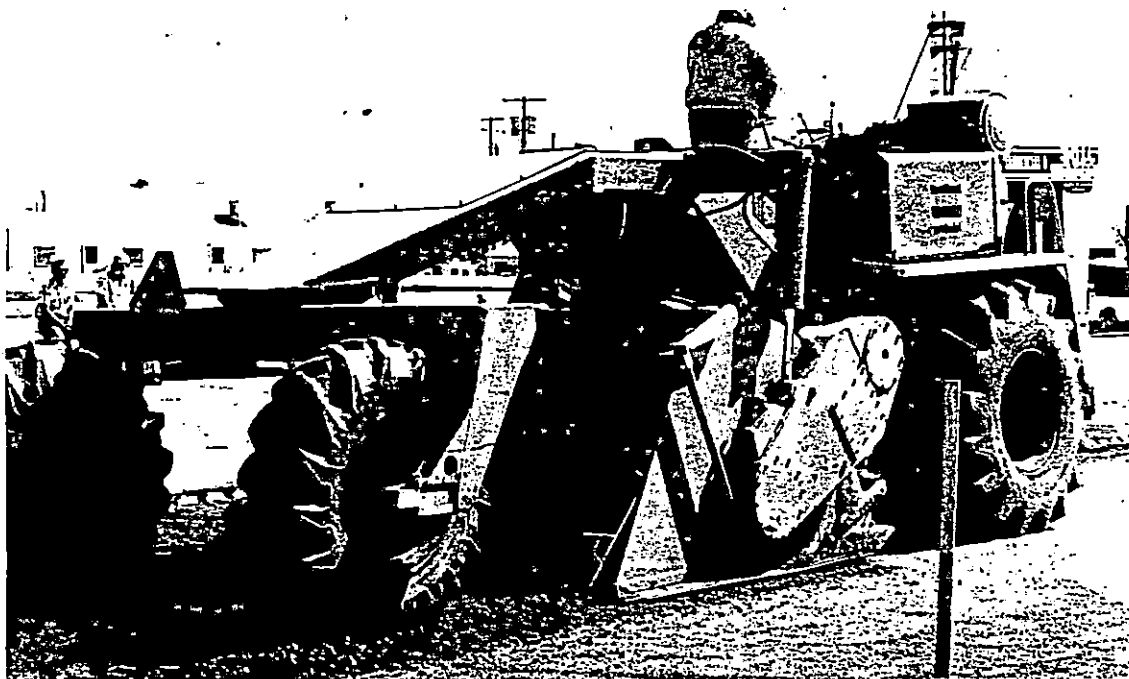
La mezcla será compactada cuando soporte el paso de los compactadores sin desplazamientos indebidos, grietas o "empujones". La compactación será ejecutada en dirección longitudinal, iniciándose en los bordes y moviéndose hacia el centro, superponiendo al menos la mitad del ancho del

rodillo en pasadas sucesivas.

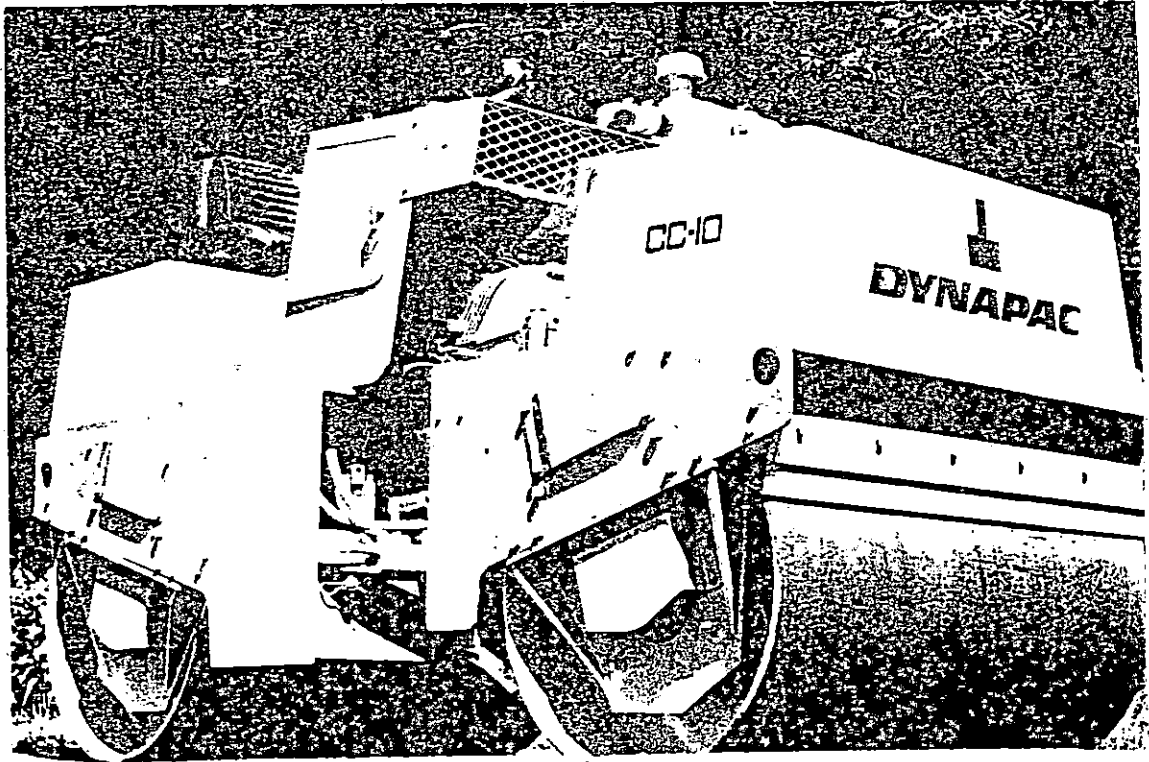
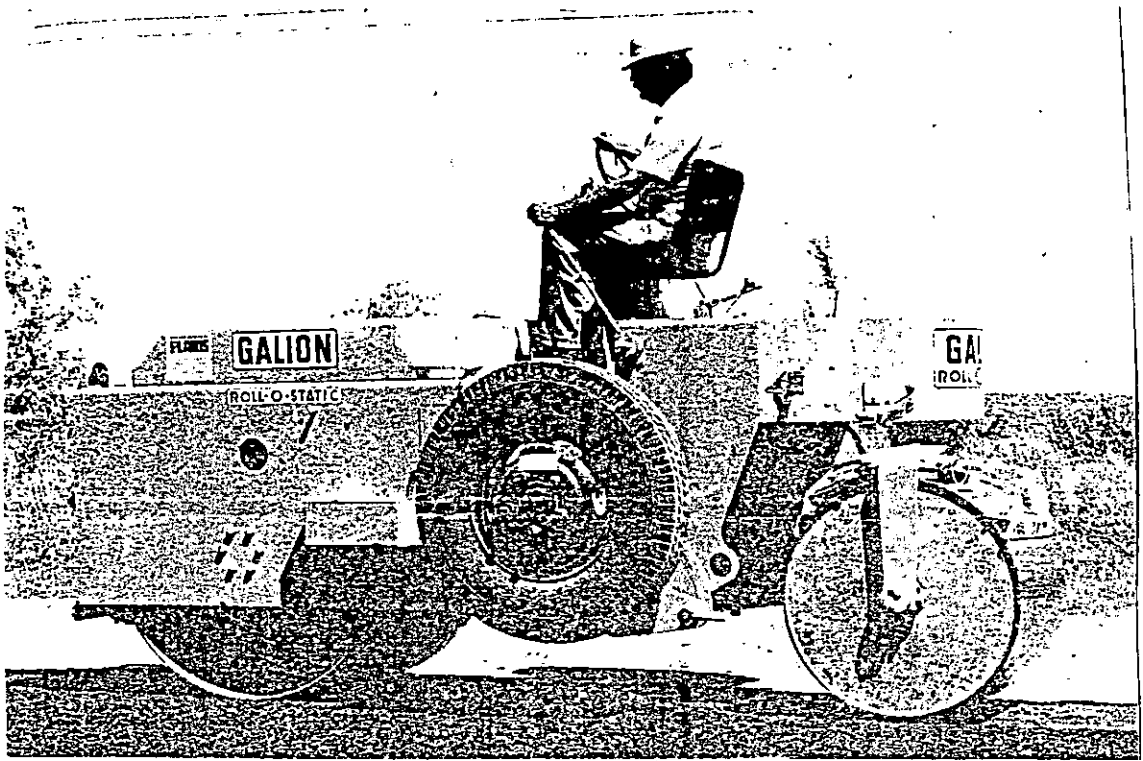
La densidad a ser alcanzada es un valor mínimo de 95% de un espécimen de laboratorio preparado de acuerdo con AASHTO T-245 (50 golpes).

Un retraso en la compactación inicial puede ser necesaria para reciclaje mezclado en frío, especialmente con mezclas clasificadas densas, la compactación sella el pavimento lo que reduce los vacíos en la mezcla. Si se realiza prematuramente puede retardar la evaporación del agua y alargar el tiempo requerido para que sea alcanzada la densidad requerida.

Si la mezcla muestra surcos indebidos o producidos en cualquier instante de la compactación, ésta debe ser detenida y no se debe continuar hasta que haya una reducción en el contenido de humedad, ya sea por medio de aireación natural o mecánica.



MAQUINAS PARA RECICLAJE EN FRIO, "IN SITU"



EQUIPOS PARA COMPACTACION

TABLA V. TIPOS DE COMPACTADORES DISPONIBLES PARA LA COMPACTACION DE BASES ASFALTICAS MEZCLADAS EN FRIO.

| TIPO DE BASE | PLATAFORMA DE COMPACTACION | | |
|----------------------------|--|--|--------------------|
| | COMPACTACION INICIAL | COMPACTACION INTERMEDIA | COMPACTACION FINAL |
| ASFALTICA MEZCLADA EN FRIO | | | |
| CLASIFICADA DENSA | Ruedas Metálicas Ruedas Neumáticas Vibración | Ruedas Metálicas Ruedas Neumáticas Vibración | Ruedas Metálicas |
| CLASIFICADA ABIERTA | Ruedas Metálicas | Ruedas Metálicas Vibración Ruedas Neumáticas | Ruedas Metálicas |

Fuente: ASPHALT COLD-MIX RECYCLING, THE ASPHALT INSTITUTE (MS-21).

Acabado Final.

El material reciclado será conformado cuando la superficie compactada del pavimento reciclado no tenga desviaciones en exceso de $\frac{1}{4}$ plg en 10 pies (6 mm en 3 m) cuando sea chequeado con una regla (escantillon) de 10 pies (3 m).



Curado.

Después que el material del pavimento reciclado ha sido compactado, ningún tráfico será permitido sobre el pavimento por lo menos en dos horas, luego se permitirá el curado por medio de una reducción en el contenido de humedad.

4. RECARPETEO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS:

Cuando las operaciones de mantenimiento se vuelven excesivamente caras y ya es difícil conservar la carpeta con la tersura adecuada porque tiene que ensancharse el pavimento o por otras razones, al pavimento viejo debe ponérsele una nueva carpeta. Antes de emprender un proyecto para recubrir la superficie de algún camino, se hará un estudio cuidadoso de su justificación económica. Una regla empírica y general consiste en que la carpeta sea económica cuando el 2 ó 3 por ciento del área total que está pavimentada requiere operaciones de bacheo cada año. Tanto la disponibilidad de dinero como la prioridad del proyecto influyen en la decisión.

Es conveniente hacer un estudio completo de las condiciones de la carpeta existente y de los factores relacionados antes de iniciar un proyecto de recarpeteo,

teniendo entre los factores más importantes, los siguientes:

- a) Datos del pavimento.
- b) Condiciones físicas existentes.
- c) Características del tránsito actual.
- d) Relación del diseño con la seguridad y la operación eficiente del tránsito esperado.

Puede ser que las medidas correctivas que le sugieran en la preparación para el recarpeteo de una vieja superficie sean de alcance considerable o un poco menor, dependiendo del tipo y condición de la carpeta actual y de su capacidad para cumplir con su nueva función como capa base.

La vieja carpeta, sin tomar en consideración su tipo, puede ser desigual, con ondas o protuberancias que sean considerables en magnitud como para que no se puedan compensar con una más o menos delgada. Estas se pueden quitar escarificando y recompactando ciertos tipos de carpetas. Cuando las carpetas asfálticas ya son viejas tienen defectos de protuberancias y se puede hacer que estas desaparezcan cortando en una forma continua la vieja carpeta, suavizándola con un calentador (quemadores).

En ocasiones puede ser más conveniente corregir las

irregularidades existentes en la carpeta mediante la construcción de una capa niveladora especial, la cual puede estar formada por la misma mezcla bituminosa utilizada en la construcción original o puede ser una mezcla nueva. La capa deberá tener un espesor variable y será construida a la sección y nivel deseados, teniendo un contenido más bajo que el de la carpeta.

Además, antes del recarpeteo deberá también corregirse baches y depresiones que se encuentran en la carpeta, utilizando una mezcla igual a la que se utilizó en la construcción original o una mezcla igual para bacheo.

En muchos casos la preparación de la superficie puede consistir simplemente en levantar el material suelto que se encuentra sobre la superficie, utilizando barredoras giratorias, compresores (aire comprimido). Si después de este tratamiento todavía se tiene áreas no consolidadas en exceso, a éstas deberá dársele un tratamiento antes que la construcción pueda seguir su curso.

Por lo general la nueva carpeta se construye con tratamientos superficiales múltiples y mezclas asfálticas tendidas en caliente (concreto asfáltico).

5. NOVACHIP.

Descripción General.

El primer camino de fricción ultradelgado, llamado NOVACHIP, apareció en Francia en 1988, consiste en una capa de áridos envueltos previamente en betún asfáltico en caliente, extendidos y alisados en una sola pasada, inmediatamente después de la aplicación de una película gruesa de ligante modificado. El rango de espesor varía de 10 a 20 mm. dependiendo del tamaño máximo del agregado.

La capa de sello generalmente consiste en una emulsión bituminosa de polímero modificado, aplicado en una proporción que depende de la condición de la superficie existente. Las proporciones de la capa en aspersion son usualmente entre 0.7 a 1.1 lts/m².

El asfalto mezclado en caliente está con intervalos de graduación e incluye a una gran cantidad de agregado triturado de un sólo tamaño unido con un material fino (filler, agregado utilizado para rellenar) y un aglutinante bituminoso. El tamaño máximo es usualmente 10 mm. pero en algunos casos puede ser utilizado 7 mm. ó 14 mm. El contenido de aglutinante varía de 4.7 a 5.3 %, dependiendo

del tamaño de la mezcla, el tráfico, clima y las condiciones en que se encuentre la superficie que sea tratada.

NOVACHIP es colocado por una máquina de construcción equipada con una barra esparcidora que distribuye la capa de sello y el asfalto sobre el camino en una sola pasada y a una alta velocidad.

La aplicación de una sola pasada asegura una fuerte y completa adherencia entre la mezcla colocada y la capa de base y ayuda a la impermeabilización.

5.1 Usos Principales.

Es usado principalmente para el mantenimiento preventivo, para la rehabilitación de superficies de rodadura con el principal objetivo de restablecer la superficie de impermeabilidad, resistencia al patinaje y en un menor alcance mejora la calidad de conducción y reducción del ruido de rodadura.

Debido a su reducido espesor no posee poder estructural por lo tanto debe ser aplicado sobre pavimentos en buenas condiciones estructurales.

5.2 Ventajas y Limitaciones.

Ventajas:

- a) No hay agregado libre. El uso de un aglutinante modificado y agregado cubierto que virtualmente elimina el agregado libre.
- b) Los niveles de ruido son bajos.
- c) Corrección, Alisamiento de la forma, elimina la necesidad de nivelado por surcos arriba de 10 mm. para tráfico pesado y arriba de 25 mm. para tráfico ligero.
- d) Protección contra el agua de la superficie del camino existente.
- e) Buena resistencia al patinaje.
- f) Buena profundidad de textura (reducida aspersion).
- g) Mínima perturbación al tráfico:
 - Proceso de un sólo paso.
 - Puede ser abierto al tráfico, casi inmediatamente después de la colocación.
- h) Producto resistente.
- i) Conveniente para una variedad de volúmenes de tráfico.
- j) Conveniente para sobreponerlo en pavimento asfáltico y/o concreto hidráulico.

Limitaciones.

- a) No tiene ningún valor estructural.
- b) El pavimento existente debe estar estructuralmente sano.
- c) Pendiente longitudinal no mayor del 7 al 8%.
- d) Tamaño de trabajo mayor que 10,000 m².
- e) Debido a su reducido espesor, no puede prevenir el ascenso de las juntas o fisuras.
- f) Equipo:
 - Costos de establecimiento.
 - Manejabilidad.
 - Trabajo manual mínimo.
- g) Proximidad a la planta asfáltica.

5.3 DESEMPEÑO BAJO TRANSITO.**Apertura al Tránsito.**

NOVACHIP puede ser abierto al tránsito tan pronto como la colocación es completada (en la práctica cerca de 100 m. atrás del último colocado).

Comportamiento Temprano.

La textura de la superficie es bastante abierta. A temprana edad, el aspecto visual es rico y brillante. Algunas veces puede parecer un poco irregular (especialmente cuando son usadas graduaciones granulares) y algunas juntas de construcción pueden ser evidentes, pero después de unos pocos meses de servicio, tales irregularidades, incluyendo las juntas podrían desaparecer y la superficie gradualmente se torna homogénea. Sin embargo incluso en las primeras horas, los agregados están firmemente sostenidos en el lugar y vehículos a alta velocidad no causan ningún desprendimiento.

Igualdad - Calidad de Conducción.

Ha sido establecido que pequeñas deformaciones de la superficie existente, esencialmente esas de longitud de onda corta, pueden ser niveladas.

Claramente el mejoramiento en igualdad con una superficie de rodamiento de 12-16 mm. es una función directa de la condición de la superficie existente.

Los siguientes niveles de deformación en la superficie

existente pueden ser tolerados, sin necesidad de una nivelación previa:

- Surcos generalizados: 10 mm.
- Depresiones y combas localizadas:
 - 12 mm. para tráfico pesado.
 - 20 mm. para tráfico medio.
 - 25 mm. para tráfico ligero.

En general las ganancias en la calidad de conducción alcanzadas por NOVACHIP, si bien relativamente limitadas, aparecen ser estables bajo tráfico. El grado de igualdad obtenido es debido al tipo de superficie de rodamiento utilizada y a la alta velocidad (20 m/minuto) y la regularidad de la aplicación.

Drenabilidad.

Es menos propenso a la contaminación que el asfalto de grado abierto, como es solamente el espesor de la piedra, no acumula tierra y si lo hace el tránsito se encarga de limpiarlo.

La capacidad del agua para correr puede ser caracterizada por el mecanismo "drainoroute" que

continuamente mide el sobreflujo de agua bajo una almohadilla de metal deslizante sobre la superficie del pavimento. El coeficiente de drenaje es definido como la proporción medida del sobreflujo pasando a través de la almohadilla libre, expresado como un porcentaje.

La escala de calibración de Drainoroute es:

| Coeficiente (%) | 0.20 | 20-50 | 50-80 | 80-100 |
|---------------------|-------------|-----------------------|-------------------|--------------|
| Superficie drenable | no drenable | pobrememente drenable | bastante drenable | buen drenaje |

Impermeabilidad - Comportamiento en Pavimentos Agrietados.

Es la aplicación pesada de una emulsión bituminosa de una capa de sello que conduce a la impermeabilidad.

Las mediciones de la permeabilidad "in situ" son difíciles de ejecutar. Esta es medida en el Laboratorio sobre núcleos de muestra usando un contador de permeabilidad de cabeza constante.

Observando el trabajo de NOVACHIP sobre pavimentos agrietados, hay dos diferentes situaciones:

- a) Grietas originadas desde la superficie del pavimento (esfuerzos térmicos, envejecimiento, etapa temprana de fatiga).

Debido a la pesada cubierta generalmente proporciona un alto nivel de impermeabilidad, demostrándose que un buen nivel puede ser mantenido en pavimentos exhibiendo este tipo de grietas.

- b) Las Grietas por Acoplamiento.

Este tipo de agrietamiento es mucho más perjudicial que las anteriores, como las grietas anchas y puntos de movimiento son generalmente mucho más largos, tales grietas se reflejan rápidamente y ninguna impermeabilidad satisfactoria puede esperarse.

Vida Util Esperada.

Un adecuado nivel de macrotextura de la superficie, resistencia al patinaje e impermeabilidad será mantenida por:

- 7 - 8 años bajo tráfico pesado.

- Aproximadamente 10 años para tráfico medio.
- Por lo menos 12 años bajo tráfico ligero.

5.4 MATERIALES.

Agregados.

Los agregados deben ser de alta calidad, triturados y cuidadosamente graduados. deben poseer propiedades importantes como dureza, forma y resistencia al desgaste.

La graduación depende de las especificaciones de diseño de la mezcla. Materiales porosos, absorbentes no deben ser usados.

Aglutinante.

- a) La cubierta de emulsión es usualmente una emulsión bituminosa de polímero modificado que asegura una fuerte unión al pavimento existente y para prevenir exudación, particularmente para tráfico pesado y medio.
- b) Para el asfalto mezclado en caliente, es utilizado en la mayoría de los casos, dependiendo del

tráfico o del clima puede usarse AC10 ó AC20 (85-100 ó 60-70 betún de penetración).

Si los esfuerzos aplicados a la ruta revestida son particularmente severos (tráfico muy pesado, clima frío, etc.) puede ser necesaria la modificación del aglutinante con la incorporación de polímeros.

Diseño de la Mezcla.

No se ha establecido un método de laboratorio para el diseño de la mezcla. Como ninguna de las pruebas de laboratorio existente prueba adecuadamente el comportamiento in situ de estas ultradelgadas capas. Las pruebas que son usadas incluyen un chequeo de la humedad y sensibilidad de la mezcla.

La práctica corriente es chequear la compatibilidad del agregado propuesto y betún por una prueba de adhesividad.

La cohesividad de la mezcla puede ser evaluada por una prueba de inmersión/compresión (comparando antes y después de empapar la mezcla). La adhesividad puede ser mejorada mediante el uso de un agente de adhesión o una menor sensibilidad al agua del agregado puede ser usado. La

cohesividad puede ser mejorada mediante el uso de un polímero para incrementar el contenido de aglutinante y cubierta pastosa.

5.5 EQUIPO.

La máquina consiste en un chasis autopropulsado especialmente diseñado para cargar los siguientes componentes principales:

- Un receptor para mezcla de asfalto en caliente.
- Un transportador tipo tornillo.
- Una cámara para almacenaje de asfalto mezclado en caliente.
- Tanques de almacenamiento de aglutinantes.
- Barra rociadora.
- Unidad niveladora (de concreto fresco).

Esta máquina ha sido diseñada para proveer:

- Una alta velocidad (20-25 m/minuto).
- La aplicación simultánea de dos procesos: La posición hacia adelante de la barra rociadora, adelante de la unidad niveladora previene cualquier paso de las ruedas sobre la capa

colocada.

- Tanque largo para aglutinante reduciendo el número de paradas para reabastecimiento.
- Un "buffer" de asfalto mezclado en caliente, para permitir el suministro de camiones sin detenerse.

El diseño también permite un estricto control de la proporción de la aplicación de la cubierta por medio de un medidor de flujo electromagnético para la emulsión, un indicador de velocidad para el surtidor de entrega y un tanque con un sistema de pesado capacitado para chequear la cantidad usada, para un área dada.

También la barra rociadora es ajustada con boquillas neumáticas por lo que la proporción de emulsión permanece constante sin observar el ancho y velocidad de aplicación.

La máquina es manejada por tres ejes conductores los cuales capacitan la máquina para seguir curvas de radio corto (múltiples juntas, rodeos) y ejecutar giros en espacios reducidos, es autopropulsada en el sitio de trabajo, pero para el transporte en carreteras es adherido a un remolque y se convierte en un trailer lo que significa que puede ser transportada sin ningún problema.

Luego de la colocación de la mezcla, ésta se compacta y está lista para su uso.

5.6 Conclusiones.

NOVACHIP produce una superficie de rodamiento que:

- a) Es muy delgada (12-16 mm.) y está capacitada para restablecer las características de pavimentos que no están muy deformados.
- b) Tiene las siguientes propiedades:
 - Proporciona muy buena adhesión con la superficie subyacente.
 - Asegura buena superficie de drenaje.
 - Impermeabiliza la superficie existente.
 - Reduce el ruido de rodadura.
 - Tiene una apariencia atractiva y uniforme en la superficie.
- c) Puede ser aplicado muy rápidamente en una proporción de más o menos 20 m/minuto por lo que minimiza las incomodidades para el usuario.
- d) Puede ser aplicado con una máquina simple, distribuyendo simultáneamente con:
La distribución de una película de aglutinante sobre la superficie del camino para lo cual el

asfalto puede adherirse y asegura que la superficie es a prueba de agua.

- e) Es de particular importancia en las presentes y difíciles circunstancias económicas.

6. LECHADAS ASFALTICAS

6.1 Definición y Descripción.

Se define la lechada asfáltica como la mezcla de emulsión asfáltica, agregado fino bien graduado granulométricamente, filler mineral y agua.

Cuando estos materiales se mezclan en proporciones adecuadas se obtiene un producto fluido, homogéneo y cremoso, que extendido como un tratamiento superficial, rellena grietas y fisuras, después de la evaporación del agua, se adhiere firmemente a la superficie de la carretera y proporciona un sellado impermeable y antideslizante.

Los agregados y el llenante constituyen una estructura mineral que da el espesor al tratamiento, mientras que el asfalto le confiere la cohesión necesaria.

A los componentes citados en principio cabe añadir uno más, -que por su carácter opcional, aunque no menos importante, se ha excluido de la definición-, los aditivos, que incorporados al agregado, al ligante o al agua de preenvuelta, tienen por misión regular el tiempo de rotura de la emulsión, aumentándolo o disminuyéndolo, así como

facilitar la adhesividad con los agregados.

Con la utilización de las lechadas bituminosas se persiguen diversos objetivos de acuerdo con la granulometría de los agregados, el llenante mineral y los aditivos:

Sellado superficial e impermeabilización de pavimentos.

Es el caso típico de impermeabilización y protección de la capa superficial de un pavimento que empieza a presentar cierta fisuración.

Las lechadas bituminosas podrían clasificarse con arreglo a estos objetivos u otras características; sin embargo, la más utilizada hace referencia a la clase de emulsión empleada según la cual cabría clasificarlas en aniónicas y catiónicas, existiendo entre ambas una clara diferencia por su forma de rotura.

La cantidad de emulsión asfáltica a mezclar con los agregados será aquella determinada por el diseño del laboratorio, sujeta a un ajuste final en el campo.

Se añadirá una mínima cantidad de agua para obtener una mezcla homogénea y fluida. Será suficientemente estable

durante el período de mezcla y extensión, antes de que rompa la emulsión. No habrá segregación de los finos en el agregado, ni porción líquida de la mezcla flotando sobre la superficie.

Las cantidades de lechada asfáltica en una capa y por metro cuadrado en obra de carretera pueden oscilar entre 4 y 15 kg/m², estando condicionado el espesor de capa al tamaño máximo del agregado, al tipo y características de la superficie sobre la que se aplica, y a las características del equipo de extensión.

El tipo, composición, cantidad y número de aplicaciones de la lechada asfáltica, normalmente debe ajustarse al siguiente cuadro:

CUADRO Nº 4.

| CARACTERISTICAS | TIPO DE GRANULOMETRIA | | |
|-----------------------------------|-----------------------|------------|---------|
| | III | II | I |
| TIPO AGREGADO | | | |
| LIGANTE RESIDUAL % s/agregados | 6.5 - 12 | 7.5 - 13.5 | 10 - 16 |
| AGUA DE MEZCLADO % s/agregados | 10 - 15 | 10 - 15 | 10 - 20 |
| AGUA TOTAL % s/agregados | 10 - 20 | 10 - 20 | 10 - 30 |

| CARACTERISTICAS | TIPO DE GRANULOMETRIA | | |
|---|-----------------------|------------|-----------------------|
| | III | II | I |
| TIPO AGREGADO | | | |
| CANTIDAD MEDIA DE LECHADA kg/m ² | 10 - 15 | 7 - 12 | 2 - 6 |
| PRINCIPAL APLICACION | 1a. CAPA O CAPA UNICA | CAPA UNICA | CAPA UNICA O 2a. CAPA |
| ESPESOR MINIMO | 6 mm | 4 mm | 3 mm |
| TEXTURA DEL PAVIMENTO A RECUBRIR | GRUESA O DESCARNADA | MEDIA | FINA O AGRIETADA |

Fuente: Lechadas Asfálticas. International Slurry Seal Association.

6.2 Tipos de Lechada.

Se mezclan emulsiones de distinta composición y tiempos de rotura con cualquiera de las tres graduaciones, de áridos para preparar mezclas de lechada asfáltica para trabajos específicos.

Los tipos de áridos son I (finos), II (general) y III (grueso). Las mezclas de áridos finos se emplean para una máxima penetración de las grietas y sellado en zonas con tráfico de poca densidad y bajo desgaste del pavimento. Los áridos del tipo II son los que se emplean más común y ampliamente, donde el tráfico es de moderado a pesado. Estos áridos del tipo II sellan, corrigen desmoronamientos moderados y graves, oxidación del ligante y pérdida de finos

y mejoran la resistencia al deslizamiento. El tipo III corrige los desperfectos graves del pavimento, proporciona propiedades anti-deslizantes bajo condiciones de tráfico muy pesadas.

6.3 Campos de Aplicación.

Las lechadas asfálticas son una técnica versátil con amplias posibilidades de aplicación. Antes de profundizar en este tema, es necesario hacer dos consideraciones de interés:

- 1) Antes de realizar un tratamiento se debe fijar con exactitud el objetivo del mismo, a fin de que queden definidas perfectamente, de entre aquellas variables que influyen en su comportamiento, las que nos permitan alcanzarlo.
- 2) Debido a su pequeño espesor, las lechadas son tratamientos que no aportan mejoras estructurales a los pavimentos y, por tanto, su empleo habrá de estar dirigido hacia carreteras con buena capacidad de soporte.

Los campos de aplicación de las lechadas dependen de

sus principales características, a saber: su fluidez y por tanto su capacidad de rellenar huecos, y su textura rugosa.

Atendiendo a estas características, dos son los principales campos de utilización: tratamientos de sellado y tratamientos antideslizantes.

Tratamientos de sellado.

Objetivo inicialmente buscado por esta técnica, basándose en la fluidez característica de las lechadas.

En efecto, al extender una capa de lechada sobre un pavimento abierto, penetra por gravedad en los intersticios que presenta su superficie y, al evaporarse el agua, el mortero residual los rellena impermeabilizando el pavimento. En consecuencia, al haberse aumentado de este modo la densidad y compacidad del pavimento, se ha conseguido una eficiente mejora del mismo.

Debido a esta propiedad, las lechadas asfálticas son adecuadas cuando se trata de:

- Impermeabilizar superficies agrietadas y fisuradas, impidiendo la acción del agua

superficial sobre el pavimento e incluso, el material subyacente.

Para este tipo de tratamiento, las lechadas más adecuadas son las correspondientes al tipo I con dosificación que oscila alrededor de 4 kg/m².

- Como tratamiento rejuvenecedor de pavimentos envejecidos o descarnados, para evitar su progresivo deterioro, y conferirles, a la par, un aspecto homogéneo.

Son aconsejables las lechadas tipo II y III incluso en dos capas, según el estado en que se encuentre el soporte.

Tratamientos antideslizantes.

El otro campo fundamental de las lechadas lo constituye su empleo en la corrección de superficies deslizantes. En efecto, actualmente resulta alarmante comprobar como muchas capas de rodadura de concreto asfáltico han alcanzado valores peligrosamente bajos de su coeficiente de resistencia al deslizamiento, con una tendencia simultánea al aumento de accidentes.

En aquellos pavimentos en donde el coeficiente de deslizamiento ha alcanzado valores peligrosos, entre las posibles soluciones aplicables, como son: nueva capa de mezcla asfáltica, tratamiento-superficial, etc. La lechada ha demostrado su eficacia, siempre y cuando el problema sea consecuencia de una pulimentación excesiva de los agregados, y no de un exceso de ligante en la superficie.

El tratamiento con lechadas bituminosas de estos tramos, trae como consecuencia una disminución notable de accidentes.

La duración y mantenimiento de un alto valor del coeficiente de resistencia al deslizamiento dependerá, además de una adecuada puesta en obra, de una serie de factores entre los que se encuentran:

- Naturaleza y características del agregado empleado.
- Espesor suficiente de la lechada.
- Tipo e intensidad de tránsito a soportar.
- Velocidad del tránsito.

Otras Aplicaciones.

Además de las aplicaciones antes citadas, las lechadas asfálticas se emplean con éxito en revestimiento de vías urbanas, tratamiento ideal por su microtextura rugosa y baja sonoridad; revestimiento antipolvo sobre pavimentos de hormigón, en almacenes, aparcamientos y patios deportivos.

En cualquier caso y dado que las lechadas asfálticas no aportan capacidad de soporte estructural, su empleo debe dirigirse hacia carreteras con adecuada capacidad de soporte.

6.4 Materiales.

Emulsiones.

Se trata de una mezcla íntima y homogénea de partículas muy pequeñas de asfalto (del orden de 1-5 micras) suspendido en la fase acuosa merced a la ayuda de un agente emulsionante.

Esta mezcla deberá permanecer homogénea y estable durante su transporte, almacenamiento, mezclado y extensión.

Las características más importantes, desde el punto de vista del empleo de las emulsiones en las lechadas asfálticas son:

- La naturaleza (catiónica o aniónica). Dependerá del tipo de emulsificante empleado en su fabricación y resulta de fácil comprobación mediante el ensayo de carga de partículas.

- La velocidad de rotura, la cual depende no solo del tipo y cantidad de emulsificante, sino también de la superficie específica del agregado hacia el que se enfrente.

Agregados.

Los agregados deberán poseer un conjunto de características determinantes de su utilización en las lechadas asfálticas, tales como:

- Limpieza.

Desprovistos de materia orgánica y de cualquier otra sustancia que pueda ser perjudicial, por ejemplo arcillas, ya que la presencia de finos

activos da lugar a verdaderas dificultades en la envuelta consumiendo mucho aditivo y además, por la acción del agua y del tránsito, puede provocar un posible reemulsionamiento del asfalto y por tanto su destrucción.

El ensayo de Equivalente de Arena exige para la mezcla del agregado y llenante mineral un valor superior a 45.

- Dureza.

Las características de dureza y rugosidad se encuentran íntimamente relacionadas con la resistencia de la abrasión, debiéndose exigir mayores grados de dureza cuanto mayor sea el tamaño de sus agregados, así como en tratamientos en zonas de elevada intensidad de tránsito o en tratamientos correctores de deslizamiento, donde están destinadas a proporcionar una capa de rodadura con una microtextura importante.

El ensayo de Desgaste por la máquina de Los Angeles exige un porcentaje inferior a 30.

Además, el coeficiente de pulimento acelerado debe ser superior a 0.40.

- Absorción.

La porosidad tiene doble interés, tanto por la influencia en la absorción de agua, (para el establecimiento de la fórmula de trabajo) y su contribución a la rotura de la emulsión, como por su posible efecto sobre la resistencia a las heladas.

- Uniformidad.

De acuerdo con las especificaciones, el agregado grueso (retenido en el Tamiz N° 4 procederá de trituración de piedra de cantera o de grava natural, y deberá contener como mínimo un 75% en peso de elementos triturados que presentan dos o más caras fracturadas. El coeficiente de aplanamiento debe ser inferior a 35.

Conviene tener en cuenta que en muchos casos el empleo exclusivo de agregado de trituración puede dificultar la trabajabilidad, y producir

segregaciones y capas con peor compacidad después de la extensión con la banda de caucho.

Si se necesitara mejorar la granulometría con la adición de arenas naturales, o por otra circunstancia, éstas no podrán incorporarse en cantidad superior al 15% para evitar una disminución importante del rozamiento y por consiguiente una disminución de la estabilidad de la lechada.

- Naturaleza mineral.

Tiene importancia tanto desde el punto de vista de la adhesividad (y por tanto del tipo de emulsión a emplear), como de su relación con el coeficiente de desgaste y su comportamiento en el tiempo. Esta circunstancia es más importante con guijarros de grava natural que generalmente presentan una clara heterogeneidad mineralógica.

El índice de adhesividad, debe ser inferior a 4.

Los agregados de comportamiento poco conocido deben someterse al ensayo de solidez frente a la

acción de sulfato de sodio y magnesio.

Las condiciones de buena calidad del agregado fino que se exigen en las mezclas bituminosas deben extremarse en las lechadas, especialmente para aquellas destinadas a proporcionar una capa de rodadura con una microtextura importante -como ya se ha mencionado- y si se desea proporcionar a la superficie de rodadura una textura áspera y duradera, no se puede prescindir de agregados que contengan una proporción importante de sílice.

Filler Mineral.

El llenante mineral debe tener una clara afinidad con la emulsión de que se trate; sin embargo, la clásica regla de llenante silíceo con emulsión catiónica, debido a la utilización de distintos aditivos y la complejidad de la naturaleza de las emulsiones, hace que no baste muchas veces esta clasificación empírica.

Su naturaleza y contenido es el de mayor importancia, por su influencia en la adhesividad, velocidad de rotura de la emulsión y características finales de la lechada.

El llenante de aporte solamente debe usarse para mejorar la trabajabilidad, regular la velocidad de rotura de la emulsión y mejorar la curva granulométrica de forma que su contenido se mantenga dentro de unos límites muy estrictos.

Un exceso de llenante en el mortero hace que se necesite un contenido elevado de ligante o, de lo contrario, el mortero tendrá tendencia al agrietamiento, siendo frágil y quebradizo.

Una deficiencia de llenante unida a un agregado con equivalente de arena alto, originará mezclas segregables, con menor poder cohesivo, por lo tanto, menos durables a la acción del tránsito. La arena tenderá a sedimentar, el asfalto subirá a la superficie y la lechada no tendrá buena cohesión.

Como llenantes de aporte pueden emplearse entre otros, cenizas volantes, amianto, cal hidratada, o cemento Portland (el más utilizado). Se emplean proporciones comprendidas entre 0.5 y 3.0%.

La densidad aparente del llenante se establece en el intervalo de 0.15 a 0.8 gr/cm³.

Se exige un coeficiente de emulsibilidad inferior a 0.6.

Mezcla de agregado y filler mineral.

La mezcla de agregado y llenante se ajustará a una de las franjas granulométricas siguientes:

CUADRO N° 5.

| TAMICES ASTM | PORCENTAJE QUE PASA | | |
|-----------------|---------------------|--------|--------|
| | III | II | I |
| 3/8" | 100 | 100 | |
| 4 | 70-90 | 85-100 | 100 |
| 8 | 45-70 | 65-90 | 95-100 |
| 16 | 28-50 | 45-70 | 65-90 |
| 30 | 19-34 | 30-50 | 40-60 |
| 50 | 12-25 | 18-30 | 24-42 |
| 100 | 7-18 | 10-20 | 15-30 |
| 200 | 5-15 | 5-15 | 10-20 |

Fuente: Lechadas Asfálticas. International Slurry Seal Association.

El material deberá presentar un equivalente de arena superior a 45.

Agua de preenvuelta.

Importante componente de las lechadas, de la que depende su trabajabilidad.

En las lechadas asfálticas, el agua tiene tres procedencias:

- Humedad propia de los agregados.
- Agua de la emulsión.
- Agua de adición como prehumectación de los agregados.

Inicialmente moja los agregados, ejerciendo el papel de lubricante entre éstos y la emulsión, lo que permite una correcta dispersión y fácil mezclado, a la vez que la consistencia necesaria para una puesta en obra de la lechada sin rotura prematura ni segregaciones.

Aditivos.

En el caso de que la emulsión no cumpla el ensayo de mezcla con cemento, podría producirse una rotura prematura lo que haría inaceptable la mezcla. Para evitar esto se hace uso del componente denominado aditivo.

Este componente, cuya naturaleza química es bastante compleja, tiene por misión facilitar la envuelta de la emulsión y regular la velocidad de rotura de la misma, siendo para ello condición indispensable que los agregados se pongan en contacto con el aditivo antes que con la emulsión; de lo contrario se produciría la rotura de ésta en el cajón mezclador.

El aditivo actúa de la siguiente manera:

- 1) Disminuye la tensión superficial agregado-emulsión, permitiendo un mojado perfecto y homogéneo de la arena, a la vez que una mejora de la adhesividad agregado-ligante.
- 2) Crea una película sobre la superficie del agregado que actúa de barrera protectora, regulando la rotura de la emulsión y actuando, a la vez, sobre la viscosidad de la lechada.

La dosificación del aditivo exigirá normalmente la realización en laboratorio de un cierto número de ensayos para definir la cantidad más apropiada del mismo, que permita una fácil puesta en obra y una rápida apertura al tránsito. Dicha proporción es función de numerosas

variables, entre las que se pueden citar:

- a) La naturaleza del agregado.
- b) Temperatura ambiente.
- c) Temperatura de la emulsión.
- d) Contenido de finos.
- e) Influencia del cemento.

¿ Cómo se fabrica una lechada ?

La lechada se hace con un equipo especialmente diseñado, bien montado en un camión o autopropulsado. Este equipo transporta una cantidad de materiales por separado que se introducen en una mezcladora de flujo continuo. El empleo de esta maquinaria de tecnología avanzada garantiza una mezcla consistentemente uniforme y fluida.

La lechada se hace "in situ" de forma rápida y precisa. El mezclado y extendido se realizan mediante una operación continua y el pavimento puede ser utilizado de nuevo en corto plazo.

La lechada se aplica a una superficie pavimentada existente por medio de un cajón extendedor que va unido a la unidad de mezclado de lechada. La lechada se introduce en el

cajón extendedor, que a continuación aplica la capa de lechada según avanza el mezclador extendedor. El cajón puede extender la lechada asfáltica a lo ancho de la calzada en una sola pasada y está construido de forma que se mantenga en estrecho contacto con la superficie existente, esto garantiza una aplicación uniforme de la nueva capa.

Operarios adiestrados vigilan continuamente el procedimiento de mezclado automático. Otras personas limpian la superficie antes de las aplicaciones de la lechada, inspeccionan la operación en cuanto a uniformidad, limpian las tapaderas de los pozos de registro, alcantarillas, etc., después de la aplicación y completan el extendido de la lechada asfáltica en cualquier zona inaccesible para el cajón extendedor.

6.5 Defectos y Soluciones.

La técnica de las lechadas bituminosas es bastante compleja y exige una verdadera especialización de hombres y máquinas.

Tanto durante la fabricación como una vez puestas en obra, las lechadas pueden presentar una serie de problemas o defectos que pueden tener diversos orígenes.

Problemas de diseño mal realizado.

- Dificultad de reproducir en laboratorio las condiciones de obra.
- Granulometrías inadecuadas para las soluciones exigidas.
- Mala elección del tipo y porcentaje de emulsión en la mezcla.
- T.P.D. (Tránsito Promedio Diario) de la carretera sub-estimado.
- Dosificaciones previstas insuficientes, etc.

Problemas debidos a mal uso o mal estado de la maquinaria.

- Interrupción del flujo de agregado, por formación de conos vacíos en máquinas con tolvas en V sin dispositivo vibratorio.
- Mezcla no homogénea en el mezclador, debido a alteraciones en la velocidad de la cinta de agregados, bomba de emulsión, excesivo desgaste de las paletas o de los tacos del sinfin mezclador.
- Mal reparto transversal por problemas de bombeo en rastra, bandas excesivamente usadas, heterogénea consistencia de la lechada.

Problemas de ejecución.

- Mal estado de conservación y limpieza de la máquina y herramientas.
- Falta de preparación y experiencia del equipo humano.
- Falta de limpieza de la superficie del pavimento.

Problemas de calidad en los materiales.

- Agregados sucios o con elevado contenido en arcilla.
- Incorrecta velocidad de rotura de la emulsión.
- Insuficiente o excesivo contenido de llenante mineral.
- Sedimentación anormal en la emulsión.

6.6 Ventajas.

- Mayor facilidad y rapidez de colocación.
- Mínimo tiempo de apertura al tránsito.
- Utilización de materiales económicos.
- Impermeabilización total de la superficie.
- Posibilidad de utilización durante todo el año.
- Aprovechamiento total del material empleado.

- Máximo automatismo de fabricación y colocación.
- Ningún peligro de desprendimiento de gravilla.

6.7 LECHADA ASFALTICA SLURRY SEAL

Este tipo de tratamiento es empleado como una capa de desgaste o de sello, no se le puede considerar como una parte estructural del pavimento.

La lechada asfáltica tiene ya muchos años empleandose como tratamiento superficial, pero fue hasta 1960 que se aplicó en gran escala, especialmente para mantenimiento de las calles en las ciudades.

Hay que reconocer que el pionero de la aplicación de este tipo de tratamiento fue Raymond Young, sus máquinas con su nombre y ahora Scan Road, son mundialmente conocidas y copiadas. Ha habido otras máquinas tales como la Rex, Highway y las últimas la Macropaver y Pietsch.

También el diseño, especificaciones y tipos de emulsión han progresado enormemente y como consecuencia han aparecido los diferentes tipos de emulsiones de curado rápido controlado que permite abrir al tránsito en un tiempo no mayor de 15 a 30 minutos.

Diseño.

Por lo que se refiere al método de diseño, como en todos los proyectos de mezclas en general, lo primero que se tiene que realizar es identificar el material pétreo, con el objeto de conocer todas sus características físicas mediante las pruebas correspondientes:

- Identificación Petrográfica.
- Granulometría.
- Peso Volumétrico.
- Equivalente de arena.
- Resistencia al desgaste (Los Angeles).

Cada país según su experiencia y resultados obtenidos ha establecido sus granulometrías tipo; esto hace que los resultados que se van a obtener en cada caso, sólo sean buenos para el aplicador.

En el caso que varíen los materiales para cada trabajo, tendrá que hacerse para cada caso un diseño de la mezcla.

La granulometría y el equivalente de arena, son valores que influyen en los resultados del diseño. Si el mismo material tiene una variación ligera en su equivalente, su

comportamiento es diferente. Cuando se emplean emulsiones catiónicas, este valor puede hacer variar el tipo de emulsión que se va a emplear.

Un material con 10% de finos que pasan la malla N° 200 y un equivalente de arena de 80%, es totalmente diferente si contiene el mismo porcentaje de finos, pero su equivalente de arena es de 50%, (coeficiente de actividad del Filler).

En algunos países aceptan hasta el 45% de equivalente de arena, pero es recomendable tener un material limpio con valores de 60 a 70%, para evitar un desgaste prematuro. Esto también es deseable con el objeto de tener una alta calidad del tratamiento superficial que no retenga humedad durante la construcción, ni altere sus propiedades por su presencia.

El cemento o cal hidráulica que vayan a constituir el Filler, deben de escogerse entre las marcas conocidas que garanticen su calidad; sobre todo el cemento debe ser de fraguado normal, ya que los de fraguado rápido no son compatibles con las lechadas asfálticas.

Estos finos tienen dos funciones principales: El rompimiento de la emulsión y el curado del mortero se pueden acelerar o retardar según el tipo de emulsión que se emplee.

En el caso de las aniónicas, el curado se acelera ligeramente ganando de esta manera tiempo para poner en servicio el tratamiento aplicado; en algunos casos este mismo cemento si se agrega en las mezclas con emulsión catiónica esta puede sufrir un retraso en su rompimiento, lo que provocará que el curado sea más lento.

Otra función que tienen estos finos es de formar un gel que mantiene la emulsión en un estado de suspensión perfectamente bien repartida en la mezcla del mortero. Cuando se carece de una pequeña cantidad de cemento o de cal, la emulsión en la mezcla tiende a bajar y escurrirse, en este caso la superficie del tratamiento, queda sin cohesión.

Un exceso de finos puede tener resultados negativos en la resistencia de abrasión. Esta es independiente del ligante asfáltico, pero la acción del cemento puede ser de negativa. La cantidad crítica en un mortero es cercana al 2.5 % para este tipo de Filler.

En cuanto al tipo de emulsión asfáltica para los morteros, deberá de ir de acuerdo con las exigencias del mismo trabajo. Las emulsiones que se emplean en los morteros asfálticos están divididas en dos grandes grupos:

| | | | | |
|------------------------------|---|-------------------|---|---|
| <i>EMULSIONES ASFALTICAS</i> | } | <i>ANIONICAS</i> | { | <i>Curado Lento</i> |
| | | | | <i>Curado Superestable</i> |
| | | <i>CATIONICAS</i> | { | <i>Curado Rápido o Rompimiento Controlado</i> |
| | | | | <i>Curado Medio</i> |
| | | | | <i>Superestabilizadas</i> |

Diseño de una Mezcla para Mortero Asfáltico.

Las propiedades físicas de los materiales pétreos se determinarán por medio las siguientes pruebas:

TABLA VI.

| TIPO DE PRUEBA | A.S.T.M. | S.C.T. |
|-----------------------------|----------|--------|
| Identificación Petrográfica | | |
| Granulometría | C-136 | 108-08 |
| Peso volumétrico | C-29 | 109-12 |
| Equivalente de arena | C-2419 | 109-09 |
| Desgaste de los Angeles | C-131 | 110-13 |

Obtenidos los resultados anteriores se seguirán los siguientes pasos:

- Cálculo teórico del ligante asfáltico.
- Determinación práctica del porcentaje de agua

óptimo de mezclado.

- Determinación del tipo de emulsión más adecuada para trabajarse con los materiales pétreos por emplear y los aditivos modificadores, si fuesen necesarios.

Una vez determinada la emulsión más conveniente, se procederá a determinar prácticamente los componentes del mortero, según las pruebas de diseño:

% Optimo de ligante asfáltico.

% Optimo de humedad de mezclado.

% Optimo de Filler y tipo.

% De aditivo.

Todo lo anterior se determinará, por medio de varios métodos de prueba que a su vez emplean diferente tipo de aparatos que dan ciertos valores que cualquiera que estos sean, son empíricos y ya en la práctica tienen cierta relación que garantiza la calidad del tratamiento con mortero asfáltico.

**Problemas que se Pueden Tener Durante la Construcción
al Emplear la Emulsión Lenta de Curado Rápido.**

1.- El operador al iniciar el riego del mortero, no puede tener una dosificación correcta especialmente del agua y de la emulsión. Los primeros 10 metros pueden presentar características diferentes de rompimiento y curado.

El tener un exceso de líquidos el tiempo de curado siempre será mayor que la del resto del tramo tirado, esto hay que tomarlo en cuenta en cada cambio de máquina y tratar de corregir lo más posible este error de dosificación.

Hay ocasiones que dadas las características que presentan estos tramos, hay que levantarlos o tirar sobre una superficie de cartón asfáltico en cada inicio de máquina.

2.- Cuando la emulsión rompe y se inicia el curado o fraguado, existe un exceso de agua libre. El agua de mezclado varía de 8% a 15% y el agua que aporta la emulsión varía entre 4 y 6% lo que nos da como resultado que el agua del sistema puede variar de 12 a 21%.

Esto quiere decir que hay que eliminar de 5 al 14%

según sea el caso de que se trate, ya que para obtener la cohesión necesaria la humedad debe de estar más o menos en el 7%.

Cuando hay sol y calor en el pavimento, se podría abrir al tránsito cuando se tenga el curado final y el resto del agua lo sacaría el paso de vehículos. Sin embargo, cuando existe una cierta cantidad de agua en la mezcla, existirá un pequeño desprendimiento de partículas de arena.

Lo anterior no tiene mayor problema en el día para una calle o camino, pero sí es gran problema en los aeropuertos, lo que obliga forzosamente a compactar con neumático antes de abrir nuevamente una pista.

Esta operación es obligatoria en todos los casos para trabajos de noche o días nublados y fríos. El agua atrapada puede causar desprendimientos indeseables y hasta falla total del tratamiento.

3.- El trabajo de noche requiere que las máquinas tengan bombas dosificadoras para la emulsión, agua y aditivo. Antes de iniciar un trabajo de mortero, se deben de calibrar perfectamente las bombas y la alimentación del material pétreo. Las bombas deben de contar con un sistema

de ajuste que permita cambiar las dosificaciones fácilmente.

El control del contenido de asfalto en la mezcla puede verificarse empleando el aparato de Rotarex o el más moderno como el Troxler L3241-B o CPN-AC-2.

4.- La compactación debe de iniciarse en la etapa del curado inicial, es decir, cuando el valor de cohesión haya alcanzado el valor de 12 a 13 kg-cm. Lo anterior es importante ya que existe algo de emulsión sin romper y permitirá un mejor acomodo de los materiales. No se debe de continuar la compactación sino después de que la mezcla este curada totalmente.

Nunca se debe de compactar en la noche cuando la emulsión este totalmente rota, ya que entonces existirá solamente el cemento asfáltico sin ninguna plasticidad ni cohesión. Las partículas de arena van a bailar entre ellas y provocará un desprendimiento mayor de partículas gruesas.

Para un aeropuerto esta condición es una situación no deseable por los posibles daños de las turbinas de los aviones.

Máquinas Aplicadoras del Mortero Asfáltico.

Las máquinas aplicadoras tienen los almacenes necesarios para los componentes de la mezcla del mortero: Agregados pétreos, Filler, emulsión agua y aditivos si fueran necesarios.

Las partes componentes que alimentan al cajón de mezclado son las bombas volumétricas de emulsión, agua y aditivos, banda transportadora que alimenta de los materiales pétreos y un aditamento para dosificar el Filler.

El esparcidor es una rastra con bandas de hule neopreno para dar el acabado que se requiere.

Actualmente existen varias marcas de estas máquinas en el mercado: Scan Road (Young), Pietsch y Macropaver que son las principales en el mercado.

La máquina más conocida es la marca Scan Road (Young), que es muy sencilla de compresión para los operadores.

Fallas Más Comunes que se Pueden Tener Durante la Aplicación de Tratamiento con Mortero Asfáltico.

Se hizo una recopilación muy interesante al respecto, que se presentará íntegramente por el valor informativo que representa. Además de ampliarlo con los ejemplos de otras fallas que también ocurren frecuentemente.

De la crítica seria y objetiva debe de salir siempre una experiencia beneficiosa para todos, por lo que se enumerarán en una forma de resumen, las dificultades y problemas que la práctica de varios años nos han demostrado en la aplicación de morteros asfálticos.

Se ha resumido en un cuadro las fallas y problemas más comunes que normalmente se encuentran partiendo de tres principales orígenes: Defectos de aplicación imputables a la maquinaria, errores comunes en los trabajos y los defectos específicos de los morteros con emulsiones aniónicas o catiónicas.

En el cuadro se presentan los defectos, pero debe de tenerse en cuenta que en algunas ocasiones los mismos pueden tener una influencia variable e incluso presentarse conjuntamente, de tal forma que algunos síntomas y típicos

queden ocultos. En la exposición ampliada veremos algunos de estos casos que pueden inducir fácilmente a confusión.

El problema más común en el tendido del mortero, es la irregularidad del mezclado, por un desgaste anormal y excesivo de los tacones rascadores de la espiral o de las paletas, según sea el método que emplee la máquina.

Este desgaste en algunos casos puede ser total y aumenta la capa del mortero duro en las paredes del cajón lo que en algunos casos llega a frenar totalmente la máquina; para las máquinas del tipo Young SB-804, que emplea una transmisión por bandas trapezoidales, este frenado pasa desapercibido al operador que simplemente observará un mezclado irregular con aparición de terrones.

Algunas veces y especialmente con las emulsiones catiónicas, el operador puede confundirse con la presencia de segregaciones.

TABLA VII. RESUMEN DE LAS FALLAS.

| CAUSAS | FALLAS |
|--------------|---|
| TENDIDO | MAQUINA RASTRA OPERACION |
| PAVIMENTO | GRAVILLAS SUELTAS BACHES Y HUELLAS DE LLANTA PAVIMENTOS ABIERTOS VEGETACION PAVIMENTOS SUCIOS |
| AGREGADOS | FALTA DE FINOS EXCESO DE FINOS CUARZO O SILICE PULIDOS MATERIAL PETREO SUAVE CONTAMINACION DE ARCILLA CONTAMINACION DE GRAVILLAS |
| DOSIFICACION | EXCESO O DEFECTO DE LA EMULSION EXCESO O FALTA DE AGUA FALLA DE LAS BOMBAS |
| EMULSION | SEDIMENTACION EXCESIVA ESTABILIDAD CRITICA TAMANOS DE GLOBULOS MAYORES |
| CLIMA | FRIO CALOR LLUVIA |
| ADITIVO | EXCESO DE ADITIVO NO ADECUADO MAL DOSIFICADO |

Otro problema que se presenta eventualmente, es el desgaste anormal de las propelas de neopreno de la bomba de presión constante que inyecta el aditivo, lo que ocasiona irregularidades en la salida del mismo.

Con la técnica actual de fabricación de emulsiones catiónicas, se trata de evitar en lo posible el empleo de aditivos para controlar el rompimiento de las emulsiones.

Estos son básicamente los problemas que pueden presentarse, originados por defectos o fallas de la máquina, no consideramos las averías propiamente dichas, ya que no pueden ser consideradas como defectos en los morteros, puesto que solamente impiden la realización del trabajo.

6.8 MICRO-SURFACING.

Micro-Surfacing es una herramienta muy versátil en el arsenal de mantenimiento de carreteras, es un sistema de pavimentación de mezclas en frío de un polímero modificado que puede remediar un amplio rango de problemas en calles, carreteras y pistas de aterrizaje.

La base del producto es la lechada asfáltica (Slurry-Seal), inicia como una mezcla de agregado denso, emulsión asfáltica, agua y rellenanates minerales.

El Micro-Surfacing, es hecho y aplicado a pavimentos existentes por medio de una máquina que realiza la mezcla en el sitio.

Inicialmente es de color café oscuro, convirtiéndose en una superficie negra cuando el agua es expulsada.

Usando mezclas de diseño, técnicas y equipos, El Micro-Surfacing es usado exitosamente en las siguientes situaciones:

Tráfico Rápido, esta técnica es empleada en este tipo de carretera con un espesor de 3/8 (9.5 mm), incrementado la resistencia al patinaje.

Pista Aterrizaje, una mezcla de graduación densa de Micro-Surfacing produce una superficie resistente al patinaje, sin gravas sueltas que puedan dañar los aviones.

El Micro-Surfacing, es aplicado en secciones de carreteras que tienen problemas de fricción (acumulación de agua en la superficie) que ocurren durante períodos de lluvia.

Además de las filtraciones antes expuestas donde es usado el Micro-Surfacing, crea una nueva superficie estable que sea resistente al surcamiento, alargamiento y agrietamiento.

El proceso de Micro-Surfacing, inicia con la selección de materiales de alta calidad como el asfalto, agregados, emulsificadores, agua y aditivos, los cuales deberán de pasar ensayos especiales de laboratorio en una forma individual.

De acuerdo a la International Slurry Surfacing Association (ISSA), el diseño de mezclas tienen un amplio rango de ensayos especializados para garantizar que las carpetas deben ser distribuidas en espesores variables de secciones transversales (surcos, alargamientos) los cuales después de una consolidación inicial de tráfico no debe haber una sobrecompactación durante todo el diseño y teniendo un mantenimiento bueno de la microtextura en el espesor variable complementa la vida útil del Micro-Surfacing.

Para tener un trabajo exitoso en la ampliación del sello Micro-Surfacing se debe tomar tres etapas claves:

- a) **Materiales:** Deberán trabajar como un sistema.
- b) **Personal:** Entrenamiento del grupo extremadamente importante.
- c) **Equipo:** Deberá tener un buen mantenimiento y monitoreo cuidadosamente.

Las graduaciones básicas del Micro-Surfacing se dividen en tres tipos de acuerdo al uso que se le dará a la vía.

Tipo I. Es utilizado en calles urbanas, calles residenciales y pistas de aterrizaje. El tamaño máximo del agregado es de $1/8$ de pulgada con porcentaje residual de cemento asfáltico del 8% al 11%.

Este tipo de mezcla se considera de graduación fina y que puede soportar de 10-15 libras por yarda cuadrada.

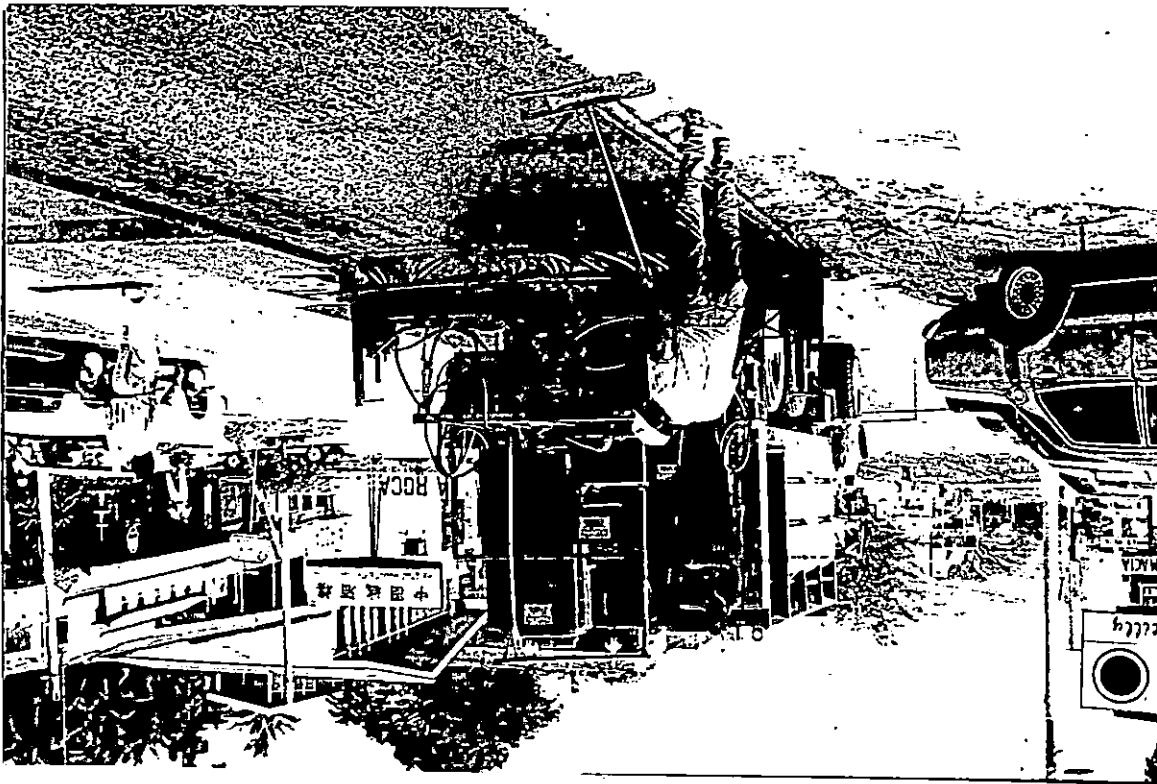
Tipo II. Se considera la mezcla de uso general por ser utilizado en calles urbanas y residenciales, superficie de carreteras, entrada a los edificios, aeropuertos, etc. Su tamaño máximo en el agregado es de $1/4$ de pulgada teniendo un rango en el porcentaje de cemento asfáltico del 7% al 9%, con una resistencia del rango de 18 a 25 libras por yarda cuadrada.

Tipo III. Este tipo de mezcla es considerada gruesa por ser el tamaño máximo del agregado de $3/8$ de pulgada, es utilizado en rutas primarias e interestatales, teniendo un rango en el porcentaje de asfalto del 6% al 8% del residual.

GRUPO DEL MICRO-SURRACING



APLICACION DEL MICRO-SURRACING



CAPITULO IV

TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO

INTRODUCCION

Para llevar a cabo una rehabilitación efectiva de un pavimento flexible, es necesario efectuar una serie de estudios de Ingeniería para que ésta se ejecute cumpliendo con las exigencias del proyecto.

En este capítulo se enfoca el trabajo de campo y laboratorio, así con el trabajo de gabinete efectuado en un tramo específico del Area Urbana de San Salvador para así poder recomendar aquel método de rehabilitación que a nuestro juicio es el más efectivo.

Se presentan los resultados de los ensayos efectuados tanto al material de subrasante como al material de la carpeta asfáltica para poder recomendar en base a ellos y a la inspección visual realizada una o varias alternativas de rehabilitación.

1. TRABAJO DE CAMPO

DESCRIPCION

Definido el tramo de estudio, el cual se encuentra en el Boulevard del Ejército, entre el paso a dos niveles en la entrada de Soyapango y la entrada principal a la Colonia Santa Lucía, al Oriente de San Salvador; se procedió a efectuar una inspección visual de la zona para verificar el estado actual en que se encuentra.

En dicho recorrido se pudo constatar que la mayor parte de la carpeta asfáltica se encuentra en mal estado, presentando fallas de diferente tipo, pero que predomina la falla "piel de cocodrilo", además, los drenajes en la mayor parte de la zona se encuentran deteriorados, drenando el agua superficialmente, entre ellos se puede mencionar cunetas azolvadas, cordones destruidos, tragantes obstruidos por basura, accesos inadecuados, pozos a nivel inferior de la superficie del pavimento, también por lo general todo el tramo presenta mínima señalización.

Pudo observarse además que el mantenimiento que se ha efectuado es puramente correctivo, por razón de que se efectúa cuando se tienen daños severos, por lo general lo único que ha

realizado es un bacheo superficial o profundo, recarpeteo de la superficie de rodadura , restitución de tramos en la estructura del pavimento y por lo general toda actividad orientada a tratar de mantener la vía en condiciones normales de servicio para el usuario.

Luego de la inspección visual se procedió a extraer las muestras de campo, tanto del material de subrasante como de la carpeta asfáltica.

Las muestras en la subrasante se tomaron en los siguientes puntos: La muestra No 1 se extrajo frente al complejo Deportivo de "La Constancia S.A.", la muestra No 2 frente a Fábrica "Cajas y Bolsas" y la muestra No 3, cerca de la entrada principal de la colonia Santa Lucía; debido a las dificultades que se nos presentaron para efectuar los sondeos directamente bajo la estructura del pavimento se procedió a tomar muestras en el arriate central, posterior a su extracción las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, para su análisis respectivo.

Para el análisis del concreto asfáltico existente se extrajeron cuatro muestras distribuidas así:

- Muestra No 1 , frente al Instituto Salvadoreño del Seguro Social de Ilopango.
- Muestra No 2, frente a Fábrica Rotoflex.
- Muestra No 3, frente a Fábrica Maydenform.
- Muestra No 4, frente a Prado S.A. de C.V.

Debido a que el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, no dispone de equipo en buen estado para el análisis de muestras de concreto asfáltico, estas fueron realizadas por el Instituto Tecnológico Centroamericano.

2. TRABAJO DE LABORATORIO Y GABINETE

2.1 Análisis de las muestras de la subrasante.

Entre las pruebas efectuadas al material de la subrasante se encuentran:

- Granulometría
- límites de Atterberg
- Prueba proctor
- Prueba CBR

Los resultados obtenidos en el laboratorio para cada una de las muestras de subrasante se presentan a continuación:

2.1.1 RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS A LA SUBRASANTE

| GRANULOMETRIA | | | |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|
| % QUE PASA LA MALLA No | MUESTRA No 1 | MUESTRA No 2 | MUESTRA No 3 |
| 4 | 96.34 | 97.03 | 93.16 |
| 8 | 90.38 | 91.10 | 84.14 |
| 16 | 81.74 | 80.97 | 72.62 |
| 30 | 70.72 | 68.62 | 60.18 |
| 40 | 64.46 | 60.60 | 53.56 |
| 50 | 59.52 | 52.67 | 47.54 |
| 100 | 42.66 | 38.47 | 32.06 |
| 200 | 25.78 | 25.96 | 13.96 |
| | 0 | 0 | 0 |

| LIMITES DE ATTERBERG | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|
| LIMITE LIQUIDO | 28.20 | 28.76 | 31.20 |
| LIM. PLASTICO | - | 28.59 | 29.65 |
| INDICE PLAST. | N.P. | 0.17 | 1.55 |
| CLASIFICACION | S.M. | S.M. | S.M. |

| PRUEBA PROCTOR MODIFICADA (T180D) | | | |
|------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | MUESTRA No 1 | MUESTRA No 2 | MUESTRA No 3 |
| PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO | 1566 kg/m ³ | 1576 kg/m ³ | 1634 kg/m ³ |
| % DE HUMEDAD OPTIMO | 17.2% | 16.3% | 16.6% |

RESULTADOS DE PRUEBA BCR.

| IDENTIF DE MUESTRAS | PENETRA- CION PULG. | NUMERO DE GOLPES | | | | | | CBR | PROCTOR T-180D | | |
|---------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|----------|---------------------------------------|----------|---------------------------------------|-------|----------------|---|--------------------------|
| | | 56 | | 25 | | 12 | | DISCO | W % Opt. | $\bar{\sigma}_d$ MÁX. kg/m ³ | 0.95 $\bar{\sigma}_d$ |
| | | CBR % | $\bar{\sigma}_d$ kg/m ³ | CBR % | $\bar{\sigma}_d$ kg/m ³ | CBR % | $\bar{\sigma}_d$ kg/m ³ | % | | | |
| Muestra No1 | 0.2 | 35 | 1499 | 22.7 | 1409 | 7 | 1322 | 33.5 | 17.2 | 1566 | 1488 |
| Muestra No2 | 0.2 | 29.3 | 1507 | 18.3 | 1419 | 10.3 | 1381 | 28.5 | 16.3 | 1576 | 1497 |
| Muestra No3 | 0.2 | 26.7 | 1586 | 19.3 | 1487 | 9.7 | 1396 | 24.5 | 16.6 | 1634 | 1552 |

2.2 ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFALTICO.

Las pruebas necesarias para determinar las propiedades del cemento asfáltico son seis, comprendiendo los ensayos de viscosidad, penetración, punto de inflamación, endurecimiento y envejecimiento, ductilidad, solubilidad, y peso específico, las cuales son desarrolladas a continuación, junto con las normas que la rigen a cada una de ellas de acuerdo a la Norma ASTM y la AASHTO.

2.2.1 ENSAYO DE VISCOSIDAD.

Las especificaciones de los cementos asfálticos, clasificados por su viscosidad, se basa generalmente en ciertos valores que se dan a una temperatura de 60°C (140°F) y 135°C (275°F). El propósito de dar valores de consistencia a estas dos temperaturas es por considerar que la primer temperatura es la que alcanza el pavimento cuando se encuentra en servicio y el segundo valor es la temperatura a la cual se considera el mezclado y distribución de la mezcla en caliente para una pavimentación, siendo normalizado por la ASTM D2170 y la AASHTO T201, además con los requisitos presentados en la norma AASHTO M226, representados en las tablas VIII y IX.

**TABLA VIII. REQUISITOS PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO
POR VISCOSIDAD A 60°C
(Clasificación basada en asfalto original)**

| PRUEBA | GRADO DE VISCOSIDAD | | | | | |
|---|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | AC-2.5 | AC5 | AC10 | AC20 | AC30 | AC40 |
| VISCOSIDAD, 60°C, POISES | 250±50 | 500±100 | 1000±200 | 2000±400 | 3000±600 | 4000±800 |
| VISCOSIDAD, 135°C C Ca- minimo | 125 | 175 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| PENETRACION, 25°C, 100 gr 5 seg_min | 220 | 140 | 80 | 60 | 50 | 40 |
| PUNTO INFLA- MADOR CLEVE- LAND 9C(9F) MINIMO | 163(325) | 177(350) | 218(425) | 232(450) | 232(450) | 232(450) |
| SOLUBILIDAD en tricloro- etileno por ciento-min | 99.0 | 99.0 | 99.0 | 99.0 | 99.0 | 99.0 |
| Pruebas s/residuo de ensayo TFO: Perdidas por ca- lentamiento por ciento max(opc) ³ | | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Viscosidad 60°C poises-max | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | 12000 | 16000 |
| Ductilidad 25°C 5 cm por minuto, cm-minimo | 100 | 100 | 75 | 50 | 40 | 25 |
| Prueba de mancha (cuando y como se espe- cifique) con: | | | | | | |
| Solvente normal de nafta | Negativo para todos los grados | | | | | |
| Solvente de nafta xileno,%xileno | Negativo para todos los grados | | | | | |
| Solvente de Heptano- xileno,%xileno | Negativo para todos los grados | | | | | |

1 Si la ductilidad es menor que 100 el material será aceptado, si la ductilidad a 15.6°C tiene un valor mínimo de 100.

2 El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente usado cuando se va a usar la prueba. En el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el porcentaje de xileno a ser usado.

3 El uso del requisito de pérdida por calentamiento es opcional.

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, serie manual 22, Asphalt Institute.

TABLA IX. REQUISITOS PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO
POR VISCOSIDAD A 60°C
 (Clasificación basada en el residuo del ensayo de RTFO)

| PRUEBA SOBRE EL RESIDUO DEL ENSAYO DE LA NORMA AASHTO T240 ¹ | GRADO DE VISCOSIDAD | | | | |
|--|---------------------|------------------|-----------|-----------|------------|
| | AR10 | AR20 | AR40 | AR80 | AR160 |
| VISCOSIDAD 60°C, POISES | 1000±250 | 2000±500 | 4000±1000 | 8000±2000 | 16000±4000 |
| VISCOSIDAD 135°C Cs- mínimo | 140 | 200 | 275 | 400 | 550 |
| PENETRACION 26°C 100 gr. 5 seg_min | 65 | 40 | 25 | 20 | 20 |
| PORCIENTO DE PEN original 25°C MINIMO | - | 40 | 45 | 50 | 52 |
| Ductibilidad, 26°C. 5 cm por minuto cm-mínimo | 100 ² | 100 ² | 75 | 50 | 52 |
| Pruebas a/Asfalto Original | | | | | |
| PUNTO INFLA- MADOR CLEVE- LAND 2C(2F) MINIMO | 205(400) | 219(425) | 227(440) | 232(450) | 238(480) |
| SOLUBILIDAD en tricloroetileno por ciento min. | 99.0 | 99.0 | 99.0 | 99.0 | 99.0 |

1 AASHTO T179 (TFO) puede ser usado pero AASHTO T240 deberá ser el método de referencia .

2 Si la ductilidad es menor que 100 el material será aceptado si la ductilidad a 15.6°C tiene un valor mínimo de 100.

Fuente: principios de construcción de pavimentos de mezcla
asfáltica en caliente, series de manual 22, ASPHALT Institute.

2.2.2 ENSAYO DE PENETRACION

Cuando hablamos de ensayo de penetración nos referimos a un método antiguo y empírico, basado en las normas ASTM D-5 y de la AASHTO T49, las cuales hacen referencia que el sistema cuando se realice la prueba la temperatura tiene que ser 25°C (77°F), apoyando una aguja normalizada de 100 grs. de peso en la superficie de la muestra por 5 segundos, clasificando el cemento asfáltico, dependiendo de los resultados a través de la tabla X, que nos muestra los requisitos que debe reunir el cemento asfáltico (AASHTO M20).

TABLA X. REQUISITOS PARA UNA ESPECIFICACION PARA
CEMENTO ASFALTICO AASHTO M 20

| | GRADO DE PENETRACION | | | | | | | | | |
|---|----------------------|-----|-------|-----|--------|--------------------------------|---------|-----|---------|-----|
| | 40-50 | | 60-70 | | 85-100 | | 120-150 | | 200-300 | |
| | min | max | min | max | min | max | min | max | min | max |
| Penetracion a 25°C. 100g. 5seg | 40 | 50 | 60 | 70 | 85 | 100 | 120 | 150 | 200 | 300 |
| Punto Inflamador, Ensayo Cleveland 9C | 450 | - | 450 | - | 450 | - | 425 | - | 350 | - |
| Ductilidad a 25°C, 5cm x min | 100 | - | 100 | - | 100 | - | 100 | - | - | - |
| Solubilidad en tricloroetileno, por ciento TFO 3.2 mm, 163°C, 6 horas | 99 | - | 99 | - | 99 | - | 99 | - | 99 | - |
| Pérdida por calentamiento por ciento | - | 0.8 | - | 0.8 | - | 1.0 | - | 1.3 | - | 1.6 |
| Penetracion del residuo, por ciento del original | 58 | - | 54 | - | 50 | - | 46 | - | 40 | - |
| Ductilidad del residuo a 25°C 5cm por min,cm | - | - | 50 | - | 75 | - | 100 | - | 100 | - |
| Prueba de mancha (cuando y como se especifique) (ver nota) con: | | | | | | | | | | |
| Solvente normal de nafta | | | | | | Negativo para todos los grados | | | | |
| Solvente de nafta-xileno % xileno | | | | | | Negativo para todos los grados | | | | |
| Solvente de heptano-xileno % de xileno | | | | | | Negativo para todos los grados | | | | |

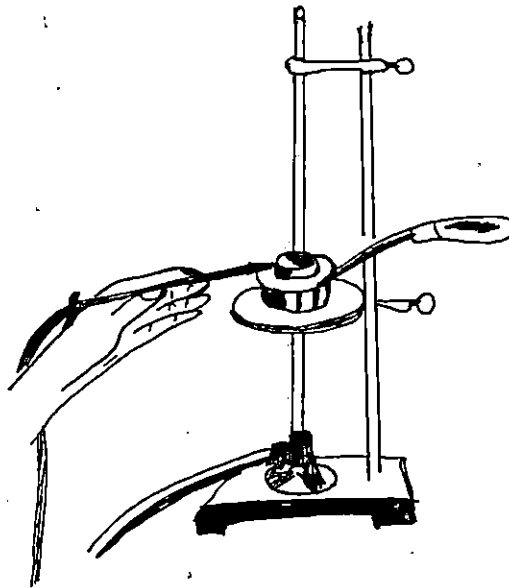
Nota: El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente cuando se va a usar la prueba y en el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el porcentaje de xileno a ser usado.

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente, serie de manuales 22, Asphalt Institute.

2.2.3 PUNTO DE INFLAMACION

El punto de inflamación de un cemento asfáltico es la temperatura mas baja a la cual se separan materiales volátiles en una muestra, creando un destello en presencia de una llama abierta.

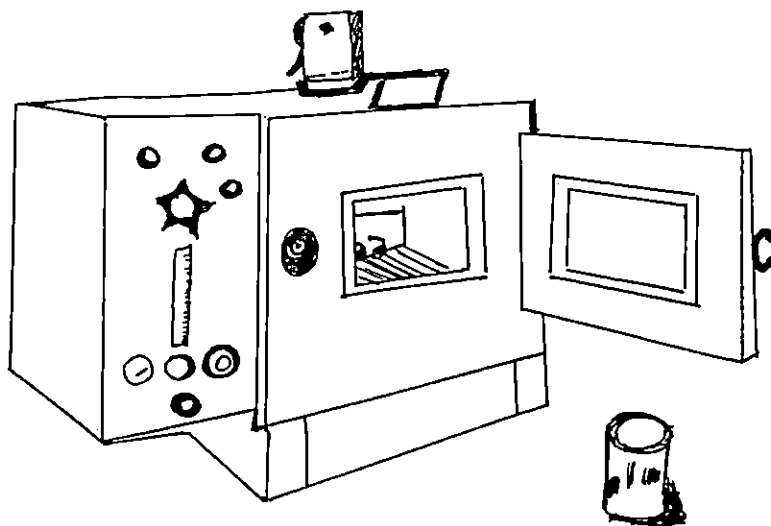
El punto de inflamación de un cemento asfáltico se determina para identificar la temperatura máxima a la cual este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame. Esta información es muy importante debido a que el cemento asfáltico es generalmente calentado en su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad lo suficientemente baja para que el material pueda ser bombeado. Este ensayo está normado a través de la AASHTO T48 y de la ASTM D92, siendo la forma de determinarlo como se muestra en la figura siguiente:



2.2.4 PRUEBA DE UNA PELICULA DELGADA EN HORNO (TFO) Y PRUEBA DE PELICULA DELGADA EN HORNO ROTATIVO (RTFO)

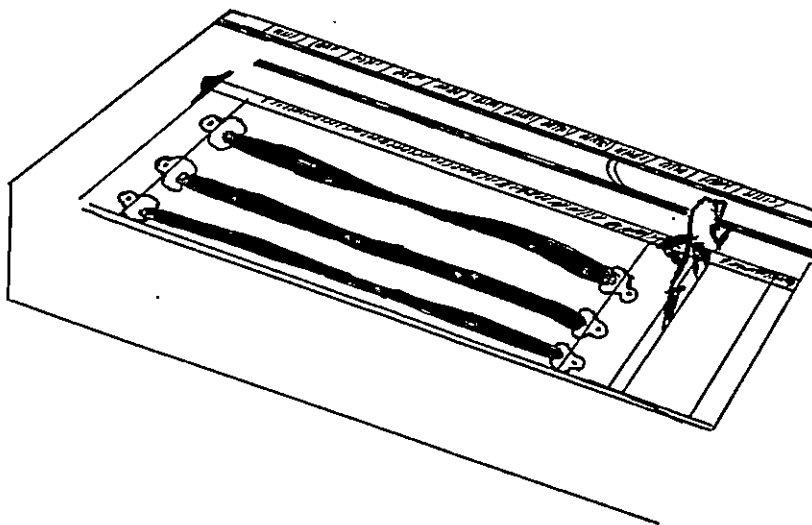
Estos ensayos no son verdaderas pruebas solamente son procedimientos que exponen una muestra de asfalto a condiciones que se aproximan a las ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente. Los ensayos de viscosidad y penetración efectuados sobre las muestras obtenidas después del ensayo de TFO o RTFO, son usadas para medir el endurecimiento anticipado del material, durante la construcción y durante el servicio del pavimento.

El equipo necesario para realizar estas pruebas se muestran en la figura siguiente, para el RTFO, siendo normalizados por AASHTO T179 y ASTM D1754. Para la prueba de película delgada en horno y para el ensayo de prueba de película delgada en horno rotativo con las normas ASTM D2872 y AASHTO T240.



2.2.5 ENSAYO DE DUCTILIDAD

La ductilidad es una medida a la cual la muestra puede ser estirada antes de que se rompa en dos, la ductilidad es normalizada por la AASHTO T51 y por la ASTM D113. Esta prueba se realiza por medio del equipo mostrado en la figura siguiente, mediante el cual la muestra es extendida a una velocidad de 5 cm por minuto teniendo una temperatura constante de 25°C. Mostrando los rangos en la tabla X.



2.2.6 ENSAYO DE SOLUBILIDAD

Es un procedimiento para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente (tricloroetileno) en donde se disuelven sus componentes cementantes activos, siendo la norma ASTM D2042 y la AASHTO T44 las que establecen el grado de pureza que tiene un cemento asfáltico.

2.2.7 PESO ESPECIFICO

Es la proporción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual de agua. El valor del peso específico de un cemento asfáltico, generalmente no se indica en las especificaciones, pero existen dos razones importantes para las cuales se deben conocer:

- I - El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando es enfriado.
- II - Es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado.

Este tipo de ensayo está normalizado por la AASHTO T228 y la ASTM D70, usando el método del picnómetro para su determinación.

**2.3 RESUMEN DE LOS RESULTADOS REALIZADOS
A LA CARPETA ASFALTICA**

| GRANULOMETRIA | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| % PASA MALLA | MUESTRA No 1 | MUESTRA No 2 | MUESTRA No 3 | MUESTRA No 4 |
| 2 1/2" | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 2" | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 1" | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 3/4" | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 96.70 |
| 1/2" | 84.23 | 100.00 | 86.41 | 90.21 |
| 3/8" | 85.24 | 100.00 | 78.27 | 84.96 |
| No 4 | 62.34 | 54.01 | 62.38 | 72.31 |
| No 8 | 42.15 | 25.56 | 43.49 | 55.38 |
| No 16 | 30.28 | 14.73 | 30.51 | 43.06 |
| No 30 | 22.40 | 9.32 | 21.76 | 31.41 |
| No 50 | 16.08 | 6.22 | 15.34 | 21.93 |
| No 100 | 11.29 | 4.37 | 10.48 | 14.67 |
| No 200 | 7.53 | 3.06 | 7.06 | 9.64 |
| Pasa No 200 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| CARACTERISTICAS DEL CONCRETO ASFALTICO | | | | |
|---|-------|--------|-------|--------|
| % DE ASFALTO CEMENTO ASFALTICO | 6.7 | 4.6 | 6.2 | 6.4 |
| PENETRACION A 25°C d.mm | 45 | 15 | 50 | 41 |
| DUCTILIDAD A 25°C en cm | 78 | 4 | 47 | +100 |
| VISCOSIDAD Furcl en Sg a 135°C | 216 S | 786 S | 475 S | 717 S |
| VISCOSIDAD Cinematica en centistokes a 135°C | 432 C | 1572 C | 950 C | 1435 C |
| GRAVEDAD ESPECIFICA BULK | 2.250 | 2.225 | 2.325 | 2.325 |

3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS Y ALTERNATIVAS DE REHABILITACION

3.1 Análisis del CBR de la subrasante

Para obtener los resultados del CBR de la subrasante se analizaron tres muestras de las cuales se obtuvo materiales con igual características a lo largo del tramo en estudio, siendo éste una arena limosa (SM). Los resultados demuestran que éste tiene una capacidad de soporte (CBR), lo suficiente para soportar las cargas que le ejercen los vehículos que transitan por el lugar, por lo que consideramos que este no representa problemas exceptuando algunas zonas que han sido saturadas por los malos drenajes existentes.

3.2 Análisis de la Carpeta Asfáltica

De acuerdo a la inspección realizada, la carpeta asfáltica muestra comportamiento similar a lo largo de todo el tramo, persistiendo la falla piel de cocodrilo. Presentando áreas donde han sido realizados bacheos superficiales y algunos recarpeteos, dando soluciones inmediatas al problema.

Además de la carpeta que se encuentra en pésimas condiciones, el que contribuye a un mayor deterioro de toda la

estructura del pavimento son los drenajes que presentan cajas tragantes azolvadas, cordón y cunetas hundidos, etc., dando lugar a que las aguas se transporten superficialmente, contribuyendo ello al deterioro del pavimento y empozamiento de agua en lugares que se encuentran bajo el nivel deseado.

Con respecto a los resultados presentados anteriormente de la carpeta asfáltica se puede decir que el asfalto que contiene la carpeta en el tramo de estudio se encuentra oxidado, dando una penetración baja y una mínima ductilidad, por lo que recomendamos la eliminación total de la carpeta asfáltica y colocar una nueva con todas las condiciones originales de serviciabilidad; pero se podría además sin eliminar la carpeta realizar reciclado en caliente o en frío, dependiendo el tipo de carpeta, con un fresado anterior a éste en las partes donde se tengan sobrecapas arriba de la cuneta y volver a las condiciones iniciales la carpeta asfáltica.

En muchas ocasiones se puede dar como este caso que el contenido de asfalto en la mezcla se encuentre cerca del óptimo, pero con esto no basta para obtener las condiciones óptimas de una carpeta, es necesario considerar todas las características mencionadas anteriormente para que el asfalto se encuentre en condiciones aceptables como son el grado de penetración, la ductilidad, etc. Estas pueden ser mejoradas

agregando a la mezcla aceites ligeros o una cantidad de asfalto para llegar a los rangos permisibles que establecen las normas, o agregar a la mezcla algún aditivo rejuvenecedor para obtener con ello una mezcla que cumpla con las especificaciones de diseño.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para dar algunas conclusiones y recomendaciones nos basaremos en los resultados obtenidos en la investigación realizada en el tramo de estudio como son las pruebas de campo y laboratorio y algunas experiencias vividas en trabajos similares realizados en alguna arteria de San Salvador.

CONCLUSIONES

- 1 - De acuerdo a los resultados obtenidos concluimos que la carpeta asfáltica existente en el tramo de estudio se encuentra oxidada, siendo necesaria su restitución o rehabilitación.
- 2 - La subrasante en el tramo de estudio presenta buena capacidad de soporte, siendo el material que la conforma una arena limosa (SM) sólo deberá corregirse zonas puntuales de ésta.
- 3 - No se puede aplicar un sólo método de rehabilitación en el AMSS, por existir una diversidad de carpetas asfálticas. (Desde Macadam hasta concreto asfáltico).

- 4 - Que la mayor parte de arterias pavimentadas en el AMSS, ya cumplieron su vida útil, siendo necesario rehabilitarlas.
- 5 - Que más del 90% de la Red Vial a Nivel Nacional se encuentra deteriorada, siendo en su mayoría pavimento flexible.
- 6 - Siendo el Ministerio de Obras Públicas la institución encargada del Mantenimiento Vial, éste no lleva ningún control, para poder aplicar un mantenimiento preventivo y poder conservar la Vía en su período de diseño satisfactoriamente.
- 7 - Para poder rehabilitar una vía es necesario contar con antecedentes de su construcción, pero también deberá efectuarse un estudio previo detallado de ésta, para así poder elegir de entre los distintos métodos de rehabilitación el más efectivo y económico.
- 8 - Los drenajes en el AMSS son inadecuados para la evacuación de las aguas en época invernal, sumándose a ello la falta de mantenimiento que éstos reciben, provocando estos daños en el pavimento por la acumulación de las aguas superficiales.

- 9 - El laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la UES no dispone de equipos para efectuar pruebas en mezclas asfálticas o en asfalto.

RECOMENDACIONES

- 1 - Que en la rehabilitación del tramo en estudio lo más recomendable es que se ejecute una reconstrucción total de la carpeta asfáltica, pero para aprovechar los materiales existentes se recomienda aplicar algún método de reciclado.
- 2 - Reconstruir los drenajes dañados que presenten problemas para la evacuación del agua y así ayudar a conservar la subrasante en buen estado.
- 3 - Que se tome el reciclado (ya sea en caliente o en frío) como alternativa de solución al problema que tiene la Red Vial de nuestro país, así como también para la conservación de los recursos naturales.
- 4 - Que se le proporcione mayores recursos a las instituciones encargadas de dar mantenimiento a la Red Vial, para que se lleve un mejor control en nuevas carreteras, o que lo realice la empresa privada y el estado sólo sirva como ente administrador.

- 5 - Hacer un estudio general del drenaje para solucionar el problema que se tiene a nivel nacional tanto del drenaje menor como el mayor.

- 6 - Que en la enseñanza de Ingeniería Civil de la UES y resto de Universidades, se enseñen asignaturas relacionadas con la tecnología del asfalto y diseño de mezclas asfálticas.

- 7 - Que la Escuela de Ingeniería Civil de la UES, dote su laboratorio de Suelos y Materiales con el equipo necesario para efectuar pruebas en mezclas asfálticas o en asfalto, para que el estudiante realice las pruebas en éste Laboratorio y no tener que recurrir a otras instituciones.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - Asphalt Institute (1981). "Asphalt Cold-Mix Recycling". Manual serie No. 21 (MS-21), USA.
- 2 - Asphalt Institute (1981). "Asphalt Hot-Mix Recycling". Manual serie No. 20 (MS-20), USA.
- 3 - Asphalt Institute (1991). "Diseño de Espesores de Pavimento". Manual serie No. 1 (MS-1), USA.
- 4 - Asphalt Institute. "Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla en Caliente". Manual serie No. 22 (MS-22), USA.
- 5 - Arévalo Villavicencio, Alfredo y otros (1994). "Ingeniería de Carreteras". Memorias del seminario de la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos. Mayo, San Salvador, El Salvador.
- 6 - Figueroa, Juan Carlos y Otros (1996). "Supervisión de obras de Infraestructura Vial". Memorias del seminario de la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos, noviembre, San Salvador, El Salvador.

- 7 - Flores Alvarado, Adry V.; Hernández Aguilar, José E. y Martínez Penado, José R. (1995). "Evaluación de Pavimentos de Concreto Asfáltico en Carreteras aplicando la Viga Benkelman y Propuesta Metodológica para la Rehabilitación y Mantenimiento". Tesis. Universidad de El Salvador, UES. San Salvador, El Salvador.

- 8 - Instituto Chileno del Asfalto (1991). "Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción". Primera reimpresión. Santiago, Chile.

- 9 - Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso (1970). "Mecánica de Suelos", Tomo I. 2ª edición. Editorial Limusa S.A., D.F. México.

- 10 - Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso (1973). "Mecánica de Suelos", Tomo II. 1ª edición. Editorial Limusa S.A., D.F. México.

- 11 - Melara, Enrique y otros (1993). "Supervisión y Control en el diseño y ejecución de Obras de Pavimento". Memorias del seminario de la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos. noviembre. San Salvador, El Salvador.

- 12 - Moncayo V., Jesús. (1980). "Manual de Pavimentos. Asfalto, Adoquín, Empedrado, Concreto". 1ª Edición. Universidad de Guadalajara. Compañía Editorial Continental S.A., México, D.F. México.

- 13 - Valle Rodas, Raúl. (1976). "Carreteras, Calles y Aeropistas". 6ª edición, editorial El Ateneo. Caracas, Venezuela.

- 14 - Wright, Paul H. y Paquette, Radnor J. (1993). "Ingeniería de Carreteras". 1ª Edición en español. Editorial Limusa S.A. de C.V., grupo Noriega editores, México D.F., México.

A N E X O S

ANALISIS DEL MATERIAL SUBRASANTE

MUESTRA No 1

GRANULOMETRIA

Wi = 500.0 gramos

| Malla No | W retenido | % Parcial retenido | % Acumld. retenido | % que pasa la Malla |
|----------|------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 4 | 18.30 | 3.66 | 3.66 | 96.34 |
| 8 | 29.80 | 5.96 | 9.62 | 90.38 |
| 16 | 43.20 | 8.64 | 18.26 | 81.74 |
| 30 | 55.10 | 11.02 | 29.28 | 70.72 |
| 40 | 31.30 | 6.26 | 35.54 | 64.46 |
| 50 | 24.70 | 4.94 | 40.48 | 59.52 |
| 100 | 84.30 | 16.86 | 57.34 | 42.66 |
| 200 | 84.40 | 16.88 | 74.22 | 25.78 |
| fondo | 128.90 | 25.78 | 100.00 | 0 |
| total | 500.00 | | | |

LIMITES DE ATTERBERG

LL = 28.20

Ip = No plástico

CLASIFICACION DEL SUELO POR EL SISTEMA UNIFICADO

- El suelo es grueso ya que pasa menos del 50% por la malla No. 200.
- El suelo es arenoso ya que más del 50% del material grueso pasó la malla No. 4.
- El suelo contiene más del 12 % que pasa por la malla No. 200, como LL = 28.20 y el Ip = N.P, se tiene que el suelo es un SM.

PRUEBA PROCTOR MODIFICADA (T180D)

MUESTRA No 1

Se efectuaron seis puntos para poder graficarlos y formar la curva de la cual se sacará el peso volumétrico seco máximo y el porcentaje óptimo de humedad, presentándose éstos a continuación:

Peso del martillo: 10.0 libras
 Número de golpes: 55 por capa
 Altura de caída del martillo: 18 pulgadas
 Número de capas: 5 capas de igual espesor

| Punto No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Wsh + molde | 6537 | 6667 | 6755 | 6796 | 6732 | 6652 |
| Wmolde | 2893 | 2893 | 2893 | 2893 | 2893 | 2893 |
| Wsh | 3644 | 3774 | 3862 | 3903 | 3839 | 3759 |
| Vmolde | 2105 | 2105 | 2105 | 2105 | 2105 | 2105 |
| Wunitario humedo | 1731 | 1793 | 1835 | 1854 | 1824 | 1786 |
| Wunitario seco | 1512 | 1547 | 1552 | 1544 | 1494 | 1434 |
| Contenido de humedad | | | | | | |
| Wsh + tara | 99.10 | 93.80 | 94.40 | 104.60 | 97.90 | 109.0 |
| Wss + tara | 87.80 | 82.30 | 81.50 | 88.70 | 81.90 | 89.60 |
| Wagua | 11.3 | 11.5 | 12.9 | 15.9 | 16.0 | 19.4 |
| Wtara | 9.7 | 9.8 | 10.7 | 9.7 | 9.5 | 10.3 |
| Wss | 78.1 | 72.5 | 70.8 | 79.0 | 72.4 | 79.3 |
| % Humedad | 14.5 | 15.9 | 18.2 | 20.1 | 22.1 | 24.5 |

Graficando % Humedad vrs. Peso Unitario seco se tiene que el peso volumétrico seco máximo = 1566 Kg/M³ y el % óptimo de humedad = 17.2 % representándose en la gráfica siguiente.

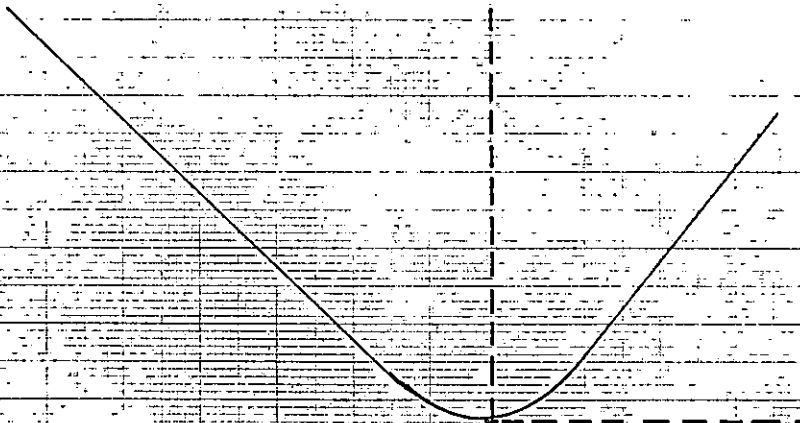
Curva Peso-Volumétrico Vs % de Humedad

% DE HUMEDAD

17.2%

14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

Peso Unitario Seco (kg/m³)



MUESTRA No. 1

285

CALCULO DEL CBR

MUESTRA No 1

Una vez calculado el peso seco máx y el % de humedad óptimo, se procede al calculo de la capacidad de carga del suelo de la subrasante, (CBR), los valores obtenidos se muestran a continuación:

COMPACTACION

| Molde No / No de golpes | 2/56 | 5/25 | 6/12 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| Agua agregada (cc) | 304.0 | 304.0 | 304.0 |
| % agua agregada | 6.7 | 6.7 | 6.7 |
| Peso suelo húmedo + molde (gr) | 10933 | 10748 | 10599 |
| Peso del molde (gr) | 7153 | 7160 | 7267 |
| Peso del suelo húmedo (gr) | 3780 | 3588 | 3332 |
| Altura de la muestra (cms) | 11.6 | 11.6 | 11.6 |
| Volumen del molde (cm ³) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Contenido de agua antes de sat.(%) | 17.3 | 17.1 | 17.0 |
| Peso volumétrico húmedo | 1796 | 1704 | 1583 |
| Peso volumétrico seco | 1531 | 1455 | 1353 |
| Peso muestra Antes Pen. | 11064 | 10950 | 10925 |
| Saturada + molde Despues Pen | 11037 | 10945 | 10900 |
| Peso muestra saturada después Pen. | 3884 | 3785 | 3633 |
| Contenido de agua después Sat(%) | 23.1 | 27.5 | 30.5 |
| Peso volumétrico húmedo (saturado) | 1845 | 1798 | 1726 |
| Peso volumétrico seco (saturado) | 1499 | 1409 | 1322 |

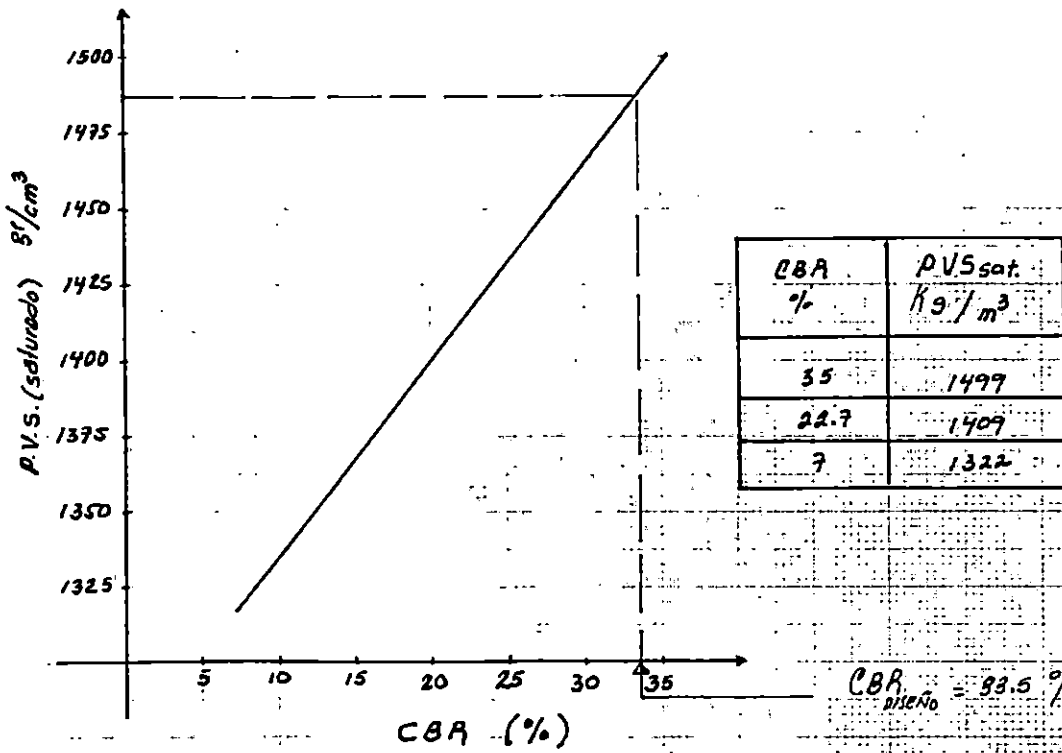
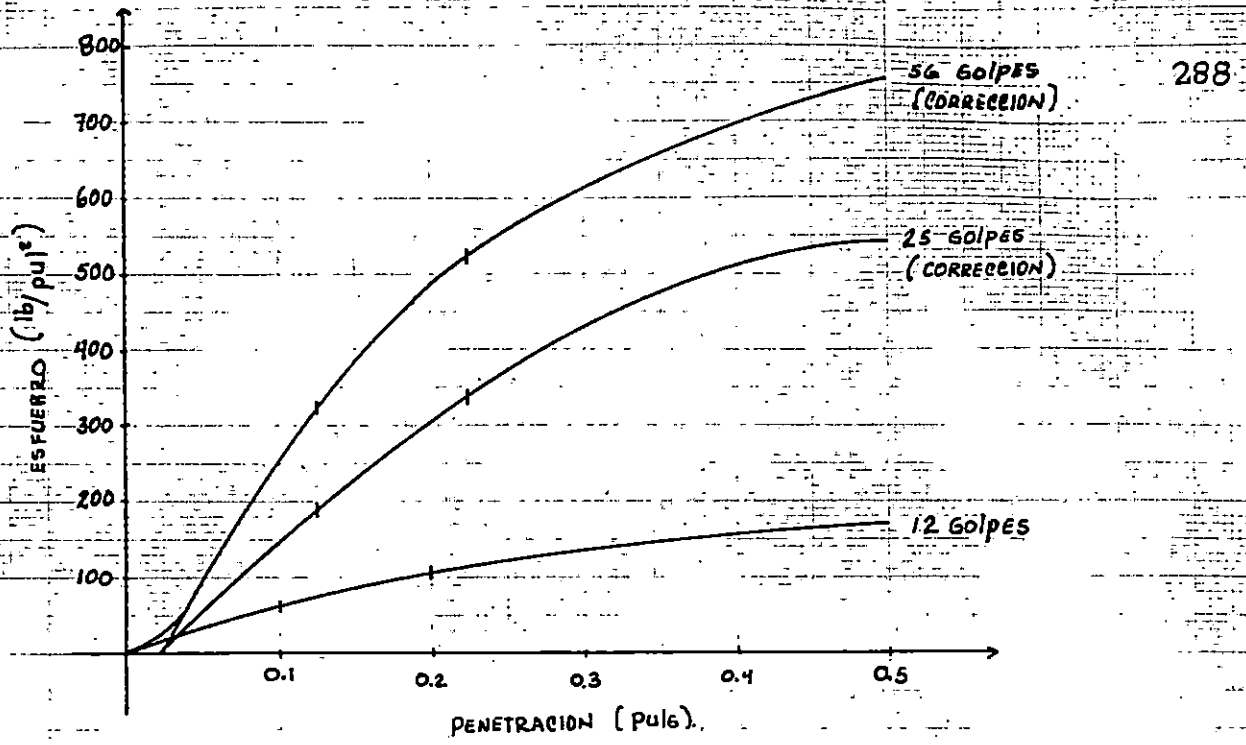
ABUNDAMIENTO

| MOLDE No 2 SOBRECARGA = 10 LBS | | | MOLDE No 5 SOBRECARGA = 10 LBS | | | MOLDE No 6 SOBRECARGA = 10 LBS | | |
|-----------------------------------|---------|------|-----------------------------------|---------|-------|-----------------------------------|--------|-------|
| HR/FECH | LEC | PULG | HR/FECH | LEC | PULG | HR/FECH | LEC | PULG |
| 7 p.m. 4-11-96 | 500 | 0 | 7 p.m. 4-11-96 | 500 | 0 | 7 p.m. 4-11-96 | 500 | 0 |
| 8 p.m. 5-11-96 | 505.102 | .002 | 8 p.m. 5-11-96 | 505.242 | .0021 | 8 p.m. 5-11-96 | 505.36 | .0021 |
| 8 p.m. 6-11-96 | 505.102 | .002 | 8 p.m. 6-11-96 | 505.242 | .0021 | 8 p.m. 6-11-96 | 505.36 | .0021 |
| 8 p.m. 7-11-96 | 505.102 | .002 | 8 p.m. 7-11-96 | 505.242 | .0021 | 8 p.m. 7-11-96 | 505.36 | .0021 |
| 8 p.m. 8-11-96 | 505.102 | .002 | 8 p.m. 8-11-96 | 505.242 | .0021 | 8 p.m. 8-11-96 | 505.36 | .0021 |

PENETRACION

| PENETRACION EN PULGADAS | MOLDE No 2 | | MOLDE No 5 | | MOLDE No 6 | |
|-------------------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|
| | # de golpes:56 | | # DE GOLPES:25 | | # DE GOLPES:12 | |
| | TIPO: SM | | TIPO: SM | | TIPO: SM | |
| | LECT | LB/PI ² | LECT | LB/PI ² | LECT | LB/PI ² |
| 0.025 | 12.0 | 50.0 | 8.50 | 35.4 | 5.0 | 20.8 |
| 0.050 | 24.0 | 100.0 | 14.0 | 58.3 | 10.0 | 41.7 |
| 0.075 | 42.50 | 177.1 | 25.7 | 107.1 | 14.0 | 58.3 |
| 0.100 | 62.40 | 260.0 | 38.4 | 160.2 | 17.0 | 70.8 |
| 0.150 | 92.50 | 385.5 | 57.6 | 240.0 | 21.0 | 87.5 |
| 0.200 | 117.3 | 488.9 | 73.2 | 305.0 | 24.0 | 100.0 |
| 0.250 | 135.8 | 566.0 | 91.2 | 380.1 | 26.3 | 109.6 |
| 0.300 | 148.8 | 620.0 | 100.8 | 420.0 | 29.5 | 122.9 |
| 0.400 | 168.0 | 700.0 | 122.4 | 510.9 | 36.0 | 150.0 |
| 0.500 | 178.8 | 745.0 | 129.8 | 540.8 | 43.5 | 181.3 |

MUESTRA No. 1



ANALISIS DEL MATERIAL SUBRASANTE

MUESTRA No 2

GRANULOMETRIA

Wi = 455.0 gramos

| Malla No | W retenido | % Parcial retenido | % Acumld. retenido | % que pasa la Malla |
|----------|------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 4 | 13.50 | 2.97 | 2.97 | 97.03 |
| 8 | 27.00 | 5.93 | 8.90 | 91.10 |
| 16 | 46.10 | 10.13 | 19.03 | 80.97 |
| 30 | 56.20 | 12.35 | 31.38 | 68.62 |
| 40 | 36.50 | 8.02 | 39.40 | 60.60 |
| 50 | 36.10 | 7.93 | 47.33 | 52.67 |
| 100 | 64.60 | 14.20 | 61.53 | 38.47 |
| 200 | 56.90 | 12.51 | 74.04 | 25.96 |
| fondo | 118.10 | 25.96 | 100.00 | 0 |
| total | 455.00 | | | |

LIMITES DE ATTERBERG

LL = 28.76

LP = 28.59

IP = 0.17

CLASIFICACION DEL SUELO POR EL SISTEMA UNIFICADO

- El suelo es grueso ya que pasa menos del 50 % por la malla No. 200.
- El suelo es arenoso ya que más del 50 % del material grueso pasó la malla No. 4.
- El suelo contiene más del 12 % que pasó por la malla No. 200, como LL = 28.76 y el Ip = 0.17 se tiene que el suelo es un SM.

PRUEBA PROCTOR MODIFICADA (T180D)

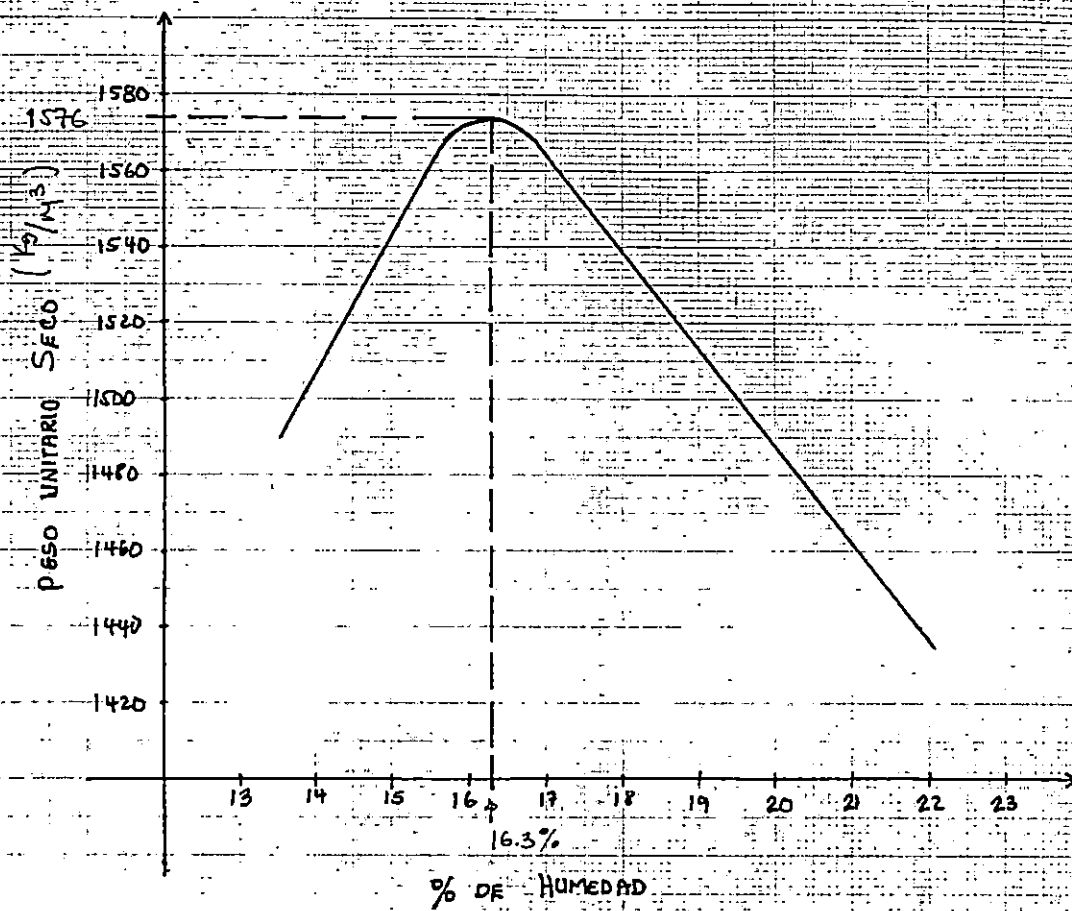
MUESTRA No 2

Los resultados de esta prueba se muestran a continuación:

Peso del martillo: 10.0 libras
 Número de golpes: 55 por capa
 Altura de caída del martillo: 18 pulgadas
 Número de capas: 5 capas de igual espesor

| Punto No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Wsh + molde | 6578 | 6694 | 6737 | 6652 | 6576 |
| Wmolde | 2893 | 2893 | 2893 | 2893 | 2893 |
| Wsh | 3685 | 3801 | 3844 | 3759 | 3683 |
| Vmolde | 2105 | 2105 | 2105 | 2105 | 2105 |
| Wunitario humedo | 1751 | 1806 | 1826 | 1786 | 1750 |
| Wunitario seco | 1533 | 1564 | 1552 | 1496 | 1431 |
| Contenido de humedad | | | | | |
| Wsh + tara | 273.1 | 275.0 | 288.3 | 158.10 | 270.2 |
| Wss + tara | 251.9 | 251.4 | 260.4 | 148.5 | 239.0 |
| Wagua | 21.2 | 23.6 | 27.9 | 9.69 | 31.2 |
| Wtara | 102.3 | 98.9 | 102.3 | 98.9 | 98.9 |
| Wss | 149.6 | 152.5 | 158.1 | 49.6 | 140.1 |
| % Humedad | 14.17 | 15.48 | 17.65 | 19.40 | 22.27 |

Graficando % Humedad vrs. Peso Unitario seco se obtiene que el peso volumétrico seco máximo = 1576 Kg/M^3 y el % óptimo de humedad = 16.3 % , representándose gráficamente a continuación:

MUESTRA No. 2

CURVA PESO VOLUMETRICO VS % DE HUMEDAD

CALCULO DEL CBR

MUESTRA No 2

Una vez calculado el peso seco máx y el % de humedad óptimo, se procede al cálculo de la capacidad de carga del suelo de la subrasante, (CBR), los valores obtenidos se muestran a continuación:

COMPACTACION

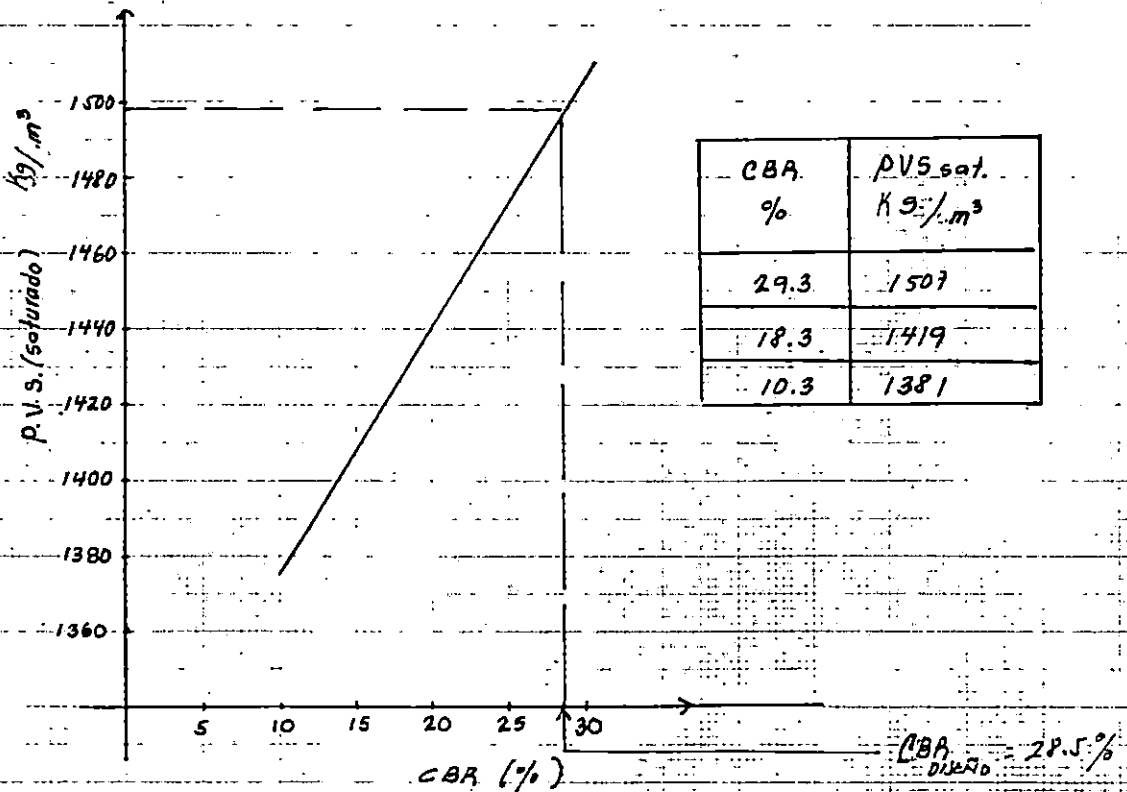
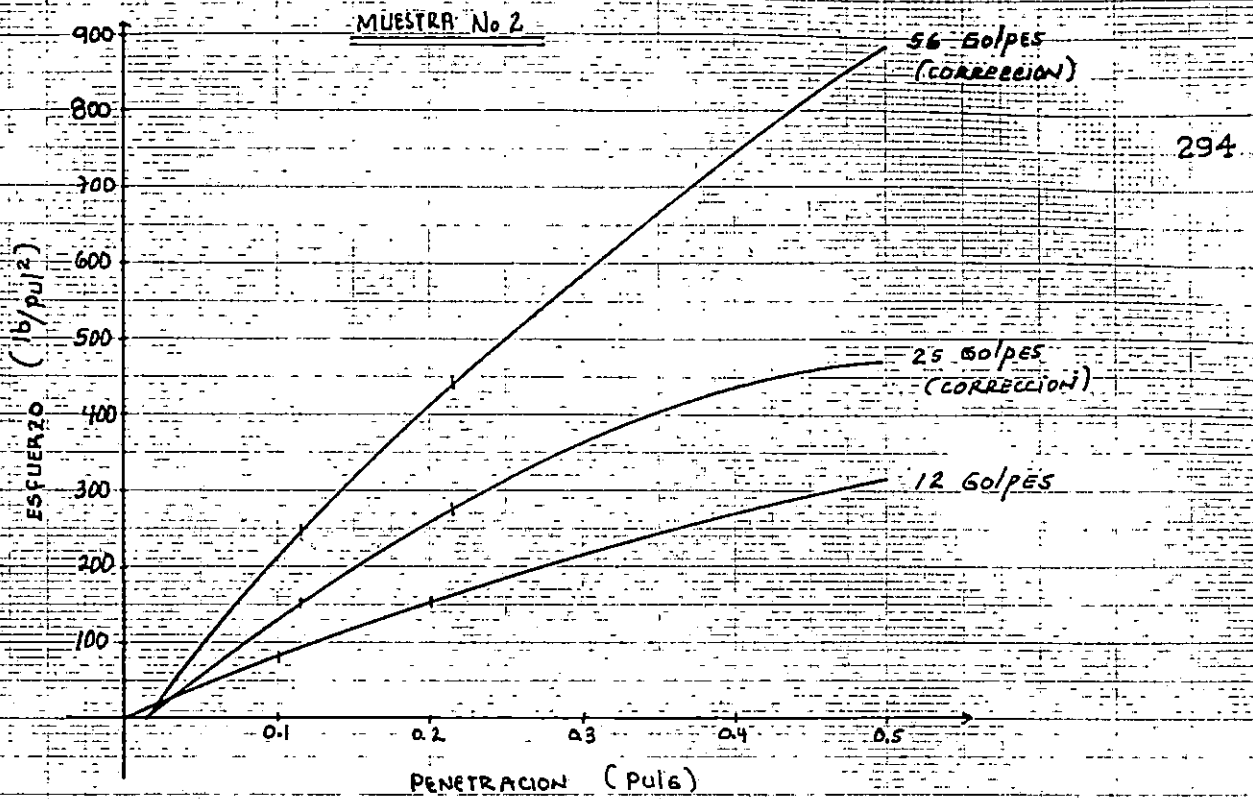
| Molde No / No de golpes | 2/56 | 5/25 | 6/12 |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| Agua agregada (cc) | 262.4 | 262.4 | 262.4 |
| % agua agregada | 5.8 | 5.8 | 5.8 |
| Peso suelo húmedo + molde (gr) | 10842 | 10647 | 10580 |
| Peso del molde (gr) | 7153 | 7160 | 7267 |
| Peso del suelo húmedo (gr) | 3689 | 3487 | 3313 |
| Altura de la muestra (cms) | 11.6 | 11.6 | 11.6 |
| Volumen del molde (cm ³) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Contenido de agua antes de sat.(%) | 15.9 | 16.3 | 16.6 |
| Peso volumétrico humedo | 1752.5 | 1656.5 | 1573.9 |
| Peso volumétrico seco | 1512 | 1424 | 1350 |
| Peso muestra Antes Pen. | 10982 | 10885 | 10907 |
| Saturada + molde Después Pen | 10973 | 10858 | 10890 |
| Peso muestra saturada después Pen. | 3820 | 3698 | 3623 |
| Contenido de agua después Sat(%) | 20.4 | 23.8 | 24.6 |
| Peso volumétrico húmedo (saturado) | 1814.7 | 1757 | 1721 |
| Peso volumétrico seco (saturado) | 1507 | 1419 | 1381 |

ABUNDAMIENTO

| MOLDE No 2 SOBRECARGA = 10 LBS | | | MOLDE No 5 SOBRECARGA = 10 LBS | | | MOLDE No 6 SOBRECARGA = 10 LBS | | |
|-----------------------------------|-------|------|-----------------------------------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|
| HR/FECH | LEC | PULG | HR/FECH | LEC | PULG | HR/FECH | LEC | PULG |
| 7 p.m. 11-11-96 | 500 | 0 | 7 p.m. 11-11-96 | 500 | 0 | 7 p.m. 11-11-96 | 500 | 0 |
| 6 p.m. 12-11-96 | 505.2 | .002 | 6 p.m. 12-11-96 | 510.5 | .0041 | 6 p.m. 12-11-96 | 514.8 | .0058 |
| 6 p.m. 13-11-96 | 505.5 | .002 | 6 p.m. 13-11-96 | 510.5 | .0041 | 6 p.m. 13-11-96 | 514.8 | .0058 |
| 6p.m. 14-11-96 | 505.5 | .002 | 6p.m. 14-11-96 | 510.2 | .004 | 6p.m. 14-11-96 | 514.5 | .0057 |
| 6p.m. 15-11-96 | 505.5 | .002 | 6p.m. 15-11-96 | 510.2 | .004 | 6p.m. 15-11-96 | 514.2 | .0056 |

PENETRACION

| PENETRACION EN PULGADAS | MOLDE No 2 | | MOLDE No 5 | | MOLDE No 6 | |
|-------------------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|
| | # de golpes 56 | | # DE GOLPES 25 | | # DE GOLPES 12 | |
| | TIPO: SM | | TIPO: SM | | TIPO: SM | |
| | LECT | LB/PL ² | LECT | LB/PL ² | LECT | LB/PL ² |
| 0.025 | 5.00 | 20.8 | 5.00 | 20.8 | 4.5 | 18.6 |
| 0.050 | 19.0 | 79.20 | 16.0 | 67.0 | 9.0 | 37.5 |
| 0.075 | 31.00 | 129.2 | 23.5 | 98.0 | 14.0 | 58.3 |
| 0.100 | 51.00 | 212.5 | 31.2 | 130.0 | 17.5 | 72.9 |
| 0.150 | 77.00 | 320.8 | 48.0 | 200.0 | 26.2 | 109.2 |
| 0.200 | 96.00 | 400.0 | 62.5 | 260.0 | 35.5 | 148.0 |
| 0.250 | 117.0 | 487.3 | 76.0 | 318.0 | 44.5 | 185.4 |
| 0.300 | 137.0 | 570.8 | 86.50 | 360.0 | 53.0 | 220.8 |
| 0.400 | 177.5 | 739.4 | 105.5 | 440.0 | 66.0 | 275.0 |
| 0.500 | 216.0 | 900.0 | 114.0 | 475.0 | 75.5 | 314.5 |



ANALISIS DEL MATERIAL SUBRASANTE

MUESTRA No 3

GRANULOMETRIA

Wi = 500.0 gramos

| Malla No | W retenido | % Parcial retenido | % Acumld. retenido | % que pasa la Malla |
|----------|------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 4 | 34.20 | 6.84 | 6.84 | 93.16 |
| 8 | 45.10 | 9.02 | 15.86 | 84.14 |
| 16 | 57.60 | 11.52 | 27.38 | 72.62 |
| 30 | 62.20 | 12.44 | 39.82 | 60.18 |
| 40 | 33.10 | 6.62 | 46.44 | 53.56 |
| 50 | 30.10 | 6.02 | 52.46 | 47.54 |
| 100 | 77.40 | 15.48 | 67.94 | 32.06 |
| 200 | 90.50 | 18.10 | 86.04 | 13.96 |
| fondo | 69.80 | 13.96 | 100.00 | 0 |
| total | 500.00 | | | |

LIMITES DE ATTERBERG

LL = 31.20

LP = 29.65

IP = 1.55

CLASIFICACION DEL SUELO POR EL SISTEMA UNIFICADO

- El suelo es grueso ya que pasa menos del 50 % por la malla No. 200.
- El suelo es arenoso ya que más del 50 % del material grueso pasó la malla No. 4.
- El suelo contiene más del 12 % que pasa por la malla No. 200, como LL = 31.20 y el Ip = 1.55, se tiene que el suelo es un SM.

PRUEBA PROCTOR MODIFICADA (T180D)

MUESTRA No 3

Se efectuaron seis puntos para poder graficarlos y formar la curva de la cual se sacará el peso volumétrico seco máximo y el porcentaje óptimo de humedad, presentándose éstos a continuación:

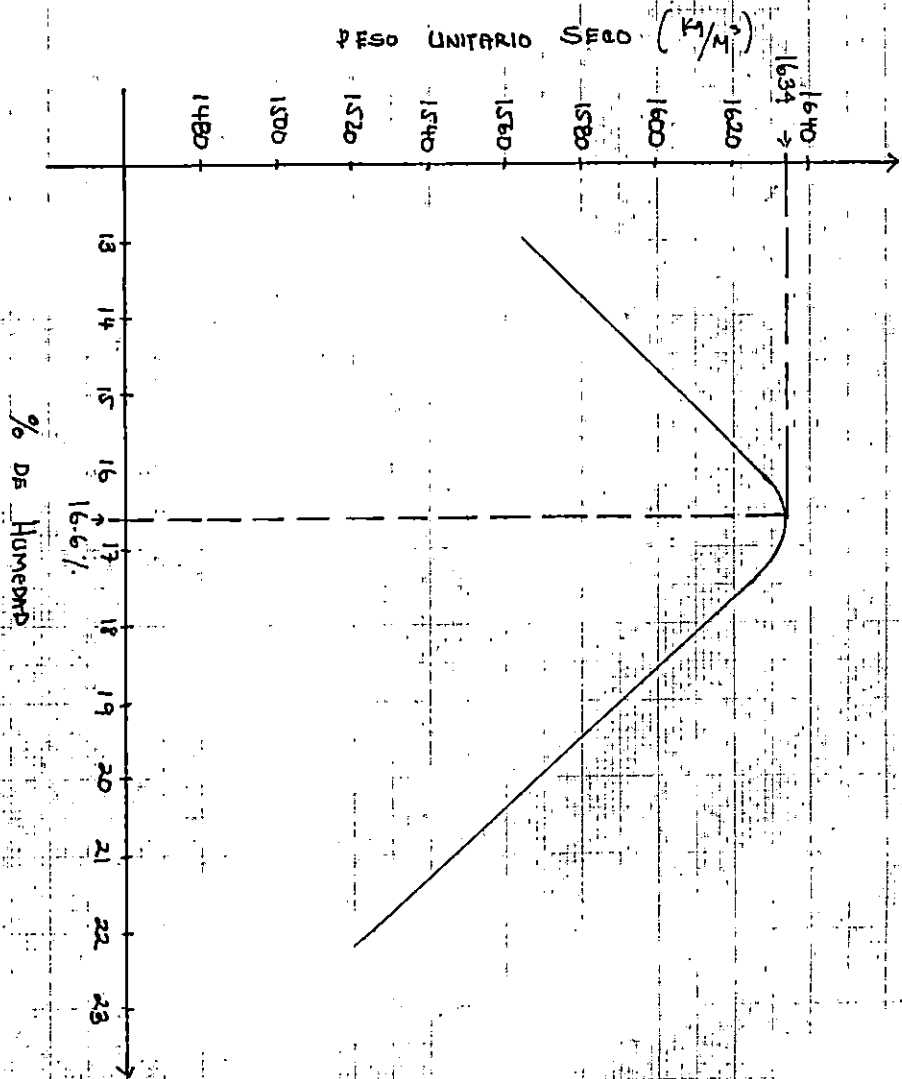
Peso del martillo: 10.0 libras
 Número de golpes: 55 por capa
 Altura de caída del martillo: 18 pulgadas
 Número de capas: 5 capas de igual espesor

| Punto No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Wsh + molde | 6764 | 6857 | 6878 | 6913 | 6858 | 6755 |
| Wmolde | 2893 | 2893 | 2893 | 2893 | 2893 | 2893 |
| Wsh | 3871 | 3964 | 3985 | 4020 | 3965 | 3862 |
| Vmolde | 2105 | 2105 | 2105 | 2105 | 2105 | 2105 |
| Wunitario humedo | 1839 | 1883 | 1893 | 1910 | 1884 | 1835 |
| Wunitario seco | 1602 | 1625 | 1618 | 1608 | 1563 | 1493 |
| Contenido de Humedad | | | | | | |
| Wsh + tara | 95.90 | 104.0 | 100.0 | 104.10 | 120.0 | 104.8 |
| Wss + tara | 84.80 | 91.10 | 86.80 | 89.20 | 101.3 | 87.10 |
| Wagua | 11.1 | 12.9 | 13.2 | 14.9 | 18.7 | 17.7 |
| Wtara | 9.8 | 10.20 | 9.2 | 9.9 | 10.1 | 9.73 |
| Wss | 75.0 | 80.90 | 77.6 | 79.3 | 91.2 | 77.4 |
| % Humedad | 14.8 | 15.9 | 17.0 | 18.8 | 20.5 | 22.9 |

Graficando % Humedad vrs. Peso Unitario seco se tiene que el peso volumétrico seco máximo = 1634 Kg/M^3 y el % óptimo de humedad = 16.6%, la gráfica se presenta a continuación:

MUESTRA No 3

297



CARGA PERO VOLUMENETICO Kg/M^3 % DE HUMEDAD

CALCULO DEL CBR

MUESTRA No 3

Una vez calculado el peso seco máx y el % de humedad óptimo, se procede al cálculo de la capacidad de carga del suelo de la subrasante, (CBR), los valores obtenidos se muestran a continuación:

COMPACTACION

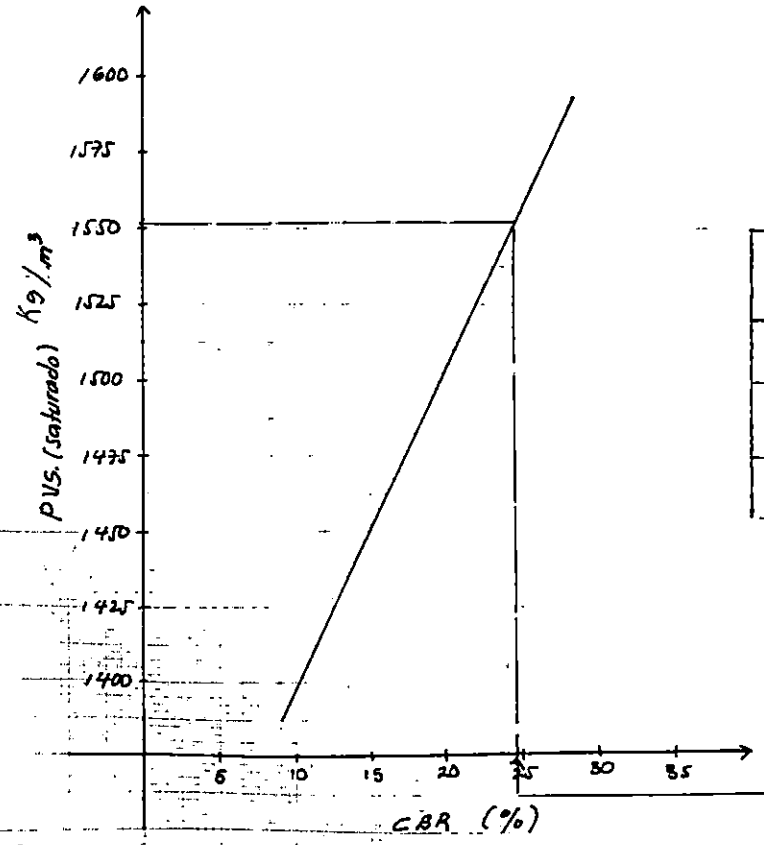
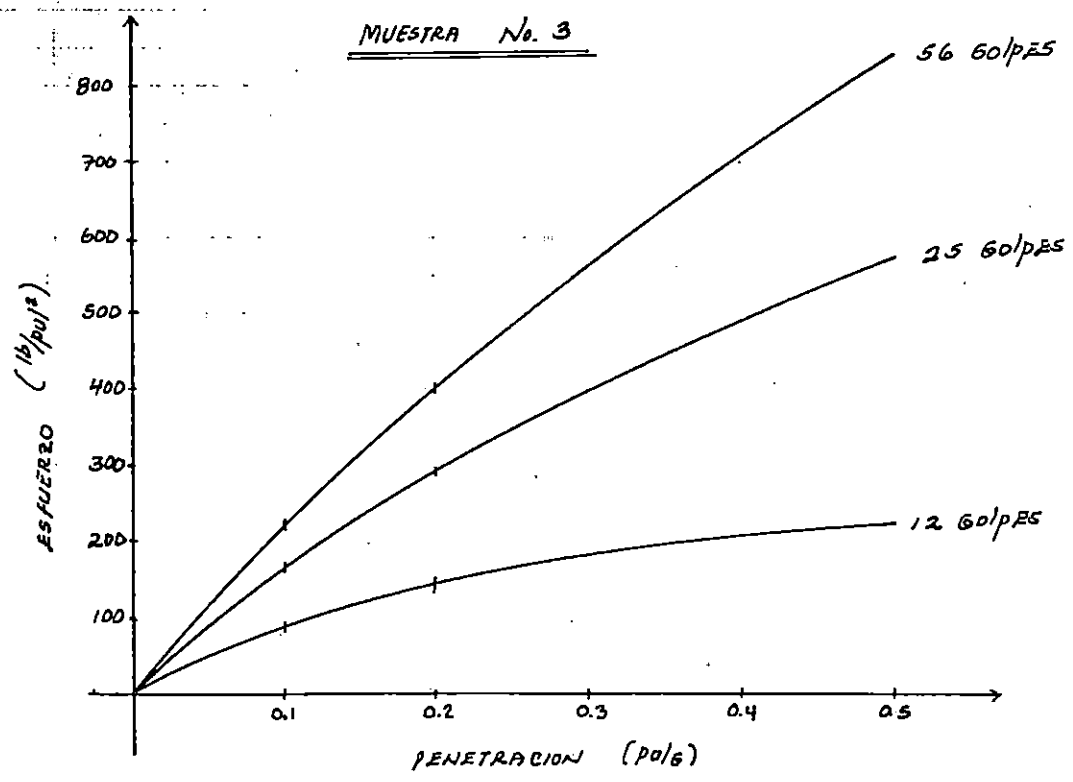
| Molde No / No de golpes | 2/56 | 5/25 | 6/12 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| Agua agregada (cc) | 210 | 210 | 210 |
| % agua agregada | 4.6 | 4.6 | 4.6 |
| Peso suelo húmedo + molde (gr) | 11022 | 10840 | 10677 |
| Peso del molde (gr) | 7153 | 7160 | 7267 |
| Peso del suelo húmedo (gr) | 3869 | 3680 | 3410 |
| Altura de la muestra (cms) | 11.6 | 11.6 | 11.6 |
| Volumen del molde (cm ³) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Contenido de agua antes de sat.(%) | 16.8 | 16.6 | 16.6 |
| Peso volumétrico húmedo | 1838 | 1748 | 1620 |
| Peso volumétrico seco | 1574 | 1499 | 1389 |
| Peso muestra {Antes Pen. | 11144 | 11032 | 11010 |
| Saturada + molde {Después Pen | 11135 | 11023 | 10982 |
| Peso muestra saturada después Pen. | 3982 | 3863 | 3715 |
| Contenido de agua después Sat(%) | 19.3 | 23.4 | 26.4 |
| Peso volumétrico húmedo (saturado) | 1892 | 1835 | 1765 |
| Peso volumétrico seco (saturado) | 1586 | 1487 | 1396 |

ABUNDAMIENTO

| MOLDE Nº 2 SOBRECARGA = 10 LBS | | | MOLDE Nº 5 SOBRECARGA = 10 LBS | | | MOLDE Nº 6 SOBRECARGA = 10 LBS | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|
| HR/FECH | LEC | PULG | HR/FECH | LEC | PULG | HR/FECH | LEC | PULG |
| 7 p.m. 18-11-96 | 500 | 0 | 7 p.m. 18-11-96 | 500 | 0 | 7 p.m. 18-11-96 | 500 | 0 |
| 6 p.m. 19-11-96 | 507.9 | .0031 | 6 p.m. 19-11-96 | 519.2 | .0076 | 6 p.m. 19-11-96 | 532.2 | .0127 |
| 6 p.m. 20-11-96 | 509.0 | .0035 | 6 p.m. 20-11-96 | 519.3 | .0076 | 6 p.m. 20-11-96 | 532.1 | .0126 |
| 6p.m. 21-11-96 | 509.0 | .0035 | 6p.m. 21-11-96 | 519.3 | .0076 | 6p.m. 21-11-96 | 532.8 | .0126 |
| 6p.m. 22-11-96 | 509.0 | .0035 | 6p.m. 22-11-96 | 519.3 | .0076 | 6p.m. 22-11-96 | 531.8 | .0125 |

PENETRACION

| PENETRACION EN PULGADAS | MOLDE Nº 2 | | MOLDE Nº 5 | | MOLDE Nº 6 | |
|-------------------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|
| | # de golpes 56 | | # de golpes 25 | | # de golpes 12 | |
| | TIPO: SM | | TIPO: SM | | TIPO: SM | |
| | LECT | LB/PL ² | LECT | LB/PL ² | LECT | LB/PL ² |
| 0.025 | 13.0 | 54.2 | 13.0 | 54.2 | 7.0 | 30.0 |
| 0.050 | 27.5 | 115.0 | 23.0 | 95.8 | 13.5 | 56.3 |
| 0.075 | 41.0 | 170.0 | 32.0 | 133.3 | 18.0 | 75.0 |
| 0.100 | 61.0 | 254.0 | 40.0 | 166.6 | 21.5 | 89.5 |
| 0.150 | 81.5 | 339.5 | 56.0 | 233.3 | 29.0 | 120.8 |
| 0.200 | 93.5 | 389.54 | 68.5 | 285.4 | 34.0 | 141.6 |
| 0.250 | 116.0 | 83.0 | 80.5 | 335.4 | 38.5 | 160.4 |
| 0.300 | 138.8 | 575.0 | 101.0 | 420.8 | 44.5 | 185.4 |
| 0.400 | 168.0 | 700.0 | 120.0 | 500.0 | 45.0 | 187.5 |
| 0.500 | 201.5 | 840.0 | 134.5 | 560.4 | 55.0 | 229.1 |



| CBR % | P.V.S. sat. Kg./m³ |
|-------|--------------------|
| 26.7 | 1586 |
| 19.3 | 1487 |
| 9.7 | 1396 |

CBR _{diseno} = 24.5 %

Nueva San Salvador, 02 de Enero de 1997.

Bachilleres :

Rogelio Antonio Aguirre

Jorge M. Baires Marroquin

Santiago Ibañez Salazar

Presentes.-

Atentamente enviamos a ustedes los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a las muestras de concreto asfáltico viejos , procedentes del Boulevard del Ejército, obtenidos del rodaje en los puntos siguientes:

Muestra N ° 1 Frente al ISSS

Muestra N ° 2 Frente a Rotoflex

Muestra N ° 3 Frente a Mayndeford

Muestra N ° 4 Frente a Prado

Las pruebas realizadas a dichas muestras las solicitaron los Bachilleres; Rogelio Antonio Aguirre, Jorge M. Baires y Santiago Ibañez Salazar quiénes desarrollan su trabajo de Graduación en el tema :

" ESTUDIO DE LOS METODOS DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR "

Quiénes investigan las características del concreto asfáltico viejo del tramo antes citado.

Las pruebas realizadas a las muestras números uno, dos, tres y cuatro son las siguientes :

a) Gravedad específica Bulk

b) Contenido de asfalto %

c) Extracción del C.A. por reflujó

d) Penetración del Asfalto

e) Ductilidad de los asfaltos

f) Viscosidad del C.A. (Cinemática)


g) Granulometría de Agregados

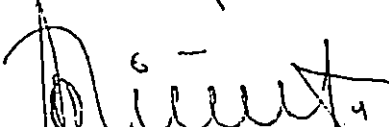
Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a las muestras de concreto asfáltico son las siguientes :

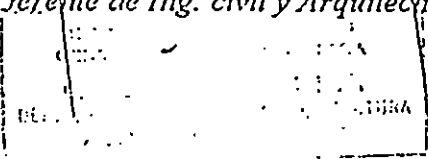


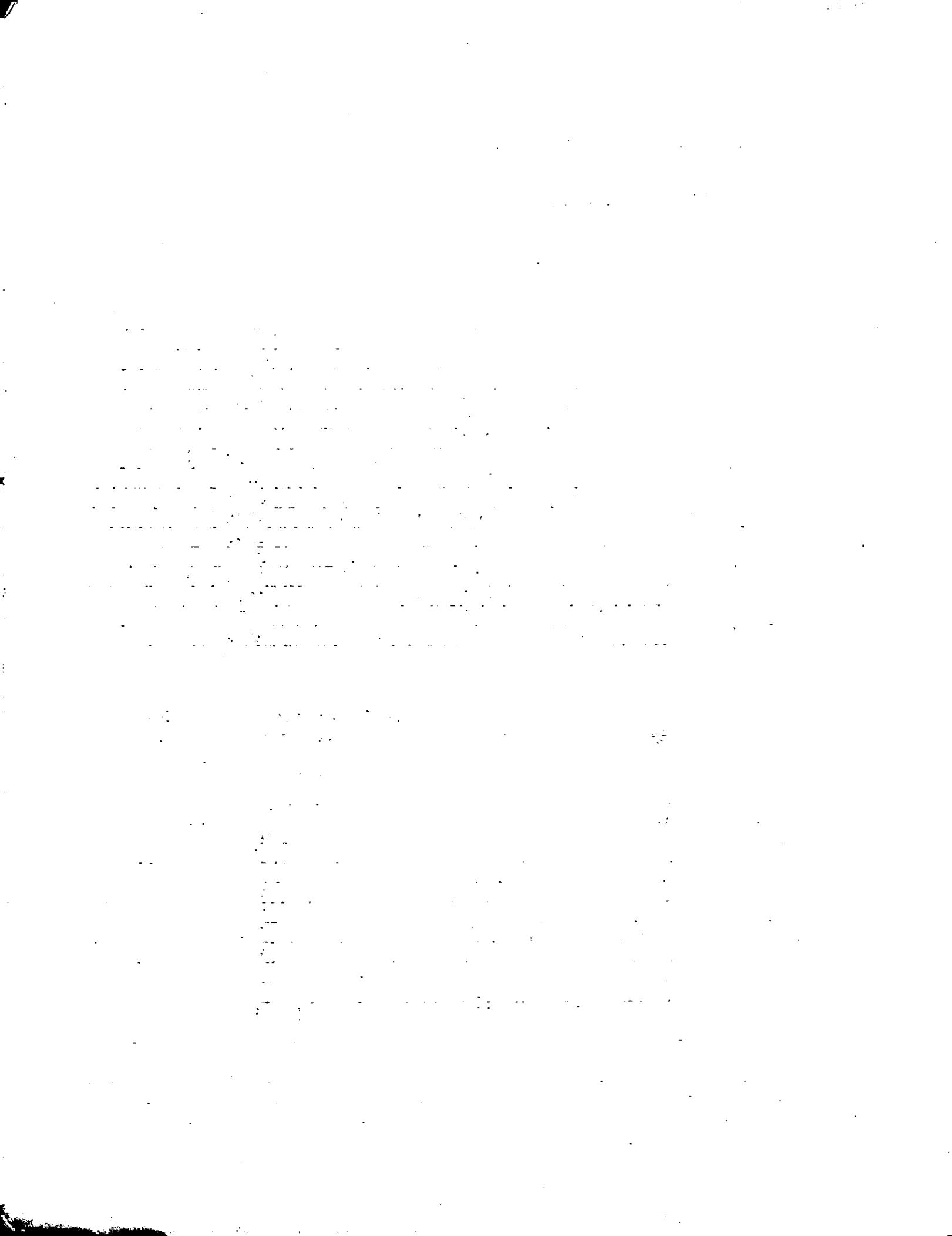
| Identificación de Muestras | Pruebas realizadas | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|---|
| | % de asfalto Cemento Asfáltico. | Penetración a 25 °C en d. m.m | Ductilidad a 25 °C en Cm | Viscosidad furol en Sg Cinemática en centitokes a 135 °C | Gravedad especifica Bulk de concreto asfáltico |
| N° 1 Frente al ISSS | 6.7 | 45 | 78 | 216 S 432 C | 2.250 |
| N° 2 Frente a Rotoflex | 4.6 | 15 | 4 | 786 S 1572 C | 2.225 |
| N° 3 Frente a Maydenford | 6.2 | 50 | 47 | 475 S 950 C | 2.325 |
| N° 4 Frente a Prado | 6.4 | 41 | + 100 | 717 S 1435 C | 2.325 |

Atentamente,


Ing. José Miguel Landaverde
Jefe de Laboratorio


Vo Bo Ing. Mario Wilfredo Montes
Gerente de Ing. civil y Arquitectura





INSTITUTO TECNOLÓGICO CENTROAMERICANO
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS (SEGUN NORMA A.S.T.M. D 422)

PROYECTO : Tesis UES

UBICACION : Boulevard del Ejercito (Frente a ISSS)

INTERESADO : Grupo de tesis

Fecha : 03/Diciembre /97

Peso Bruto para grueso :Gr 950.3

Peso Neto para grueso: Gr 748.6

Muestra N ° 1

Tara : 201.9 Grs

| MALLA | TAMAÑO(m.m) | P.R.P (Grs) | % R.P. | % R.A. | % PASA | OBSERV. |
|------------|-------------|---------------|--------|--------|--------|---------|
| 2 1/2 " | 62.500 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 2 " | 50.000 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 1 1/2 " | 37.500 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 1 " | 25.000 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 3/4 " | 18.750 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 1/2 " | 12.500 | 43.2 | 5.77 | 5.77 | 94.23 | |
| 3/8 " | 9.375 | 67.3 | 8.99 | 14.76 | 85.24 | |
| N° 4 | 4.750 | 171.4 | 22.90 | 37.66 | 62.34 | |
| N° 8 | 2.360 | 151.2 | 20.20 | 57.85 | 42.15 | |
| N°16 | 1.180 | 89 | 11.89 | 69.74 | 30.26 | |
| N°30 | 0.600 | 58.8 | 7.85 | 77.60 | 22.40 | |
| N°50 | 0.300 | 47.3 | 6.32 | 83.92 | 16.08 | |
| N°100 | 0.150 | 35.9 | 4.80 | 88.71 | 11.29 | |
| N°200 | 0.075 | 28.1 | 3.75 | 92.47 | 7.53 | |
| Pasa N°200 | | 56.4 | 7.53 | 100.00 | 0.00 | |

PROYECTO : Tesis UES

UBICACION : Boulevard del Ejercito (Frente a Rotoflex)

INTERESADO : Grupo de tesis

Fecha : 03/Diciembre /97

Peso Bruto para grueso :Gr 869.4

Peso Neto para grueso: Gr 667.5

Muestra N ° 2

Tara : 201.9 Grs

| MALLA | TAMAÑO(m.m) | P.R.P (Grs) | % R.P. | % R.A. | % PASA | OBSERV. |
|------------|-------------|---------------|--------|--------|--------|---------|
| 2 1/2 " | 62.500 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 2 " | 50.000 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 1 1/2 " | 37.500 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 1 " | 25.000 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 3/4 " | 18.750 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 1/2 " | 12.500 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 3/8 " | 9.375 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| N° 4 | 4.750 | 307 | 45.99 | 45.99 | 54.01 | |
| N° 8 | 2.360 | 189.9 | 28.45 | 74.44 | 25.56 | |
| N°16 | 1.180 | 72.3 | 10.83 | 85.27 | 14.73 | |
| N°30 | 0.600 | 36.1 | 5.41 | 90.68 | 9.32 | |
| N°50 | 0.300 | 20.7 | 3.10 | 93.78 | 6.22 | |
| N°100 | 0.150 | 12.3 | 1.84 | 95.63 | 4.37 | |
| N°200 | 0.075 | 8.8 | 1.32 | 96.94 | 3.06 | |
| Pasa N°200 | | 20.4 | 3.06 | 100.00 | 0.00 | |

Handwritten signature

GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS (SEGUN NORMA A.S.T.M. D 422)

PROYECTO : Tesis UES
 UBICACION : Boulevard del Ejercito (Frente a Maydenford)
 INTERESADO : Grupo de tesis
 Fecha : 03/Diciembre /97

Peso Bruto para grueso :Gr 950.1
 Peso Neto para grueso: Gr 748.2
 Muestra N ° 3
 Tara : 201.9 Grs

| MALLA | TAMAÑO(m.m) | P.R.P (Grs) | % R.P. | % R.A. | % PASA | OBSERV. |
|------------|-------------|---------------|--------|--------|--------|---------|
| 2 1/2 " | 62.500 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 2 " | 50.000 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 1 1/2 " | 37.500 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 1 " | 25.000 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 3/4 " | 18.750 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 1/2 " | 12.500 | 101.7 | 13.59 | 13.59 | 86.41 | |
| 3/8 " | 9.375 | 60.9 | 8.14 | 21.73 | 78.27 | |
| N° 4 | 4.750 | 118.9 | 15.89 | 37.62 | 62.38 | |
| N° 8 | 2.360 | 141.3 | 18.89 | 56.51 | 43.49 | |
| N°16 | 1.180 | 97.1 | 12.98 | 69.49 | 30.51 | |
| N°30 | 0.600 | 65.5 | 8.75 | 78.24 | 21.76 | |
| N°50 | 0.300 | 48 | 6.42 | 84.66 | 15.34 | |
| N°100 | 0.150 | 36.4 | 4.87 | 89.52 | 10.48 | |
| N°200 | 0.075 | 25.6 | 3.42 | 92.94 | 7.06 | |
| Pasa N°200 | | 52.8 | 7.06 | 100.00 | 0.00 | |

PROYECTO : Tesis UES
 UBICACION : Boulevard del Ejercito (Frente a Prado)
 INTERESADO : Grupo de tesis
 Fecha : 03/Diciembre /97

Peso Bruto para grueso :Gr 950.6
 Peso Neto para grueso: Gr 748.7
 Muestra N ° 4
 Tara : 201.9 Grs

| MALLA | TAMAÑO(m.m) | P.R.P (Grs) | % R.P. | % R.A. | % PASA | OBSERV. |
|------------|-------------|---------------|--------|--------|--------|---------|
| 2 1/2 " | 62.500 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 2 " | 50.000 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 1 1/2 " | 37.500 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 1 " | 25.000 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| 3/4 " | 18.750 | 24.7 | 3.30 | 3.30 | 96.70 | |
| 1/2 " | 12.500 | 48.6 | 6.49 | 9.79 | 90.21 | |
| 3/8 " | 9.375 | 39.3 | 5.25 | 15.04 | 84.96 | |
| N° 4 | 4.750 | 94.7 | 12.65 | 27.69 | 72.31 | |
| N° 8 | 2.360 | 126.8 | 16.94 | 44.62 | 55.38 | |
| N°16 | 1.180 | 92.2 | 12.31 | 56.94 | 43.06 | |
| N°30 | 0.600 | 87.2 | 11.65 | 68.59 | 31.41 | |
| N°50 | 0.300 | 71 | 9.48 | 78.07 | 21.93 | |
| N°100 | 0.150 | 54.4 | 7.27 | 85.33 | 14.67 | |
| N°200 | 0.075 | 37.6 | 5.02 | 90.36 | 9.64 | |
| Pasa N°200 | | 72.2 | 9.64 | 100.00 | 0.00 | |

J. J. J.

PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION

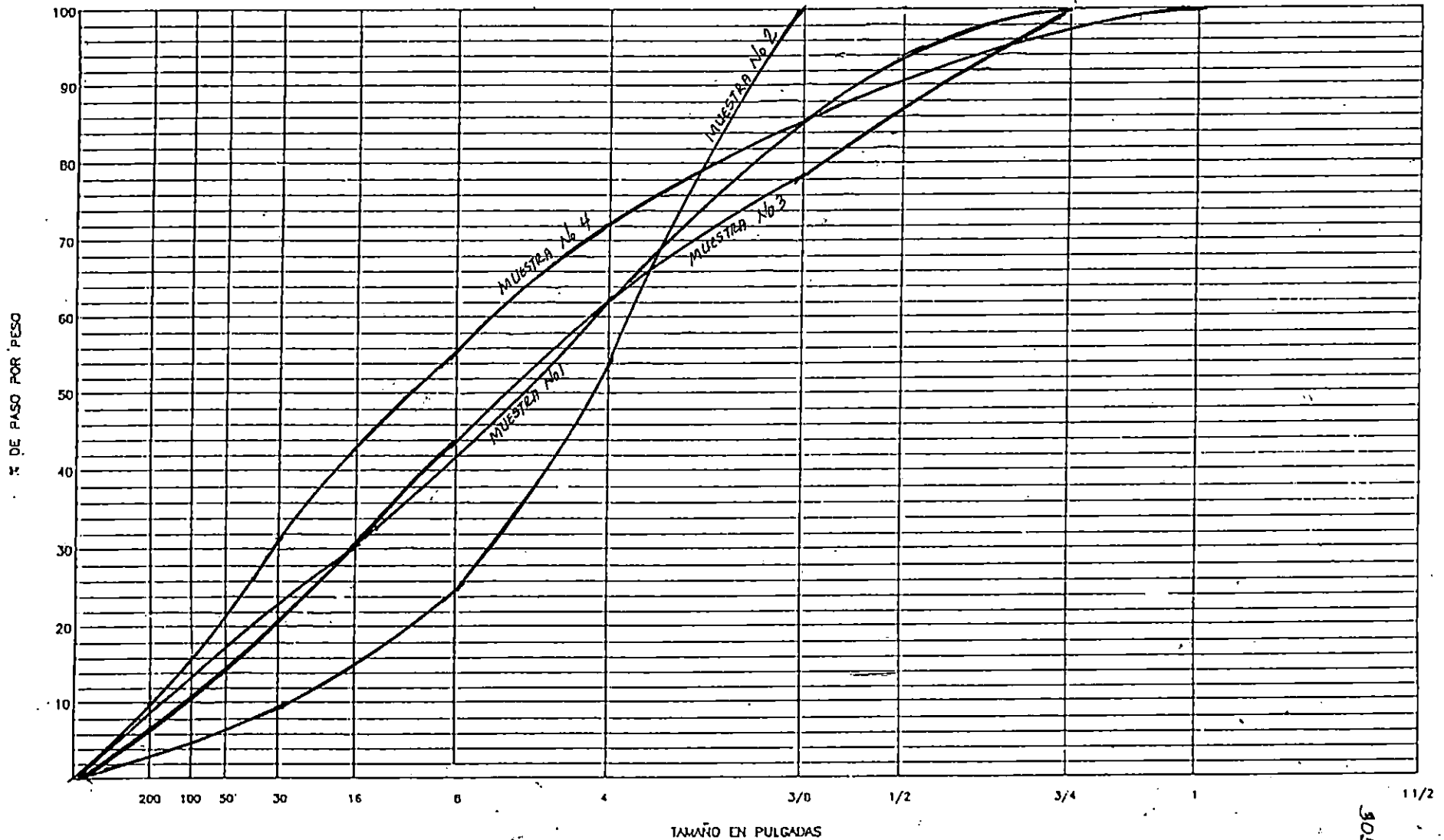
FECHA: DIC/96

PREPARO: ITCA

REMSO: ITCA

ANALISIS GRANULOMETRICO

MATERIAL: MEZCLA ASFALTICA



ORIGEN AGREGADO: BOULEVARD DEL EJERCITO

PROPORCION AGREGADO: _____