

33
2 eje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
A R A G O N

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES EN ZONAS URBANAS.

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO - CIVIL
P R E S E N T A :
VICTOR MANUEL MINO GOMEZ



ENEP
ARAGON

ASESOR: ING. RICARDO RODRIGUEZ CORDERO

MEXICO, D. F.

DICIEMBRE DE 1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

VICTOR MANUEL MINO GOMEZ
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 8 de febrero del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. RICARDO RODRIGUEZ CORDERO pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN ZONAS URBANAS ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPRITU"
San Juan de Aragón, Mex., 19 de Mayo de 1984
EL DIRECTOR

M en Y CLAUDIO C. MARRIFIELDO CASTRO



- c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas, Jefe de la Unidad Académica.
c c p Ing. José Paulo Mejorada Mota, Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil.
c c p Ing. Ricardo Rodríguez Cordero, Asesor de Tesis.

CCMC'AIR'11a.

A MIS PADRES:

GILBERTO MINO NAVA POR TODO EL APOYO QUE ME HA BRINDADO.

JUANITA GOMEZ DE MINO A LA QUE LE DEBO LO QUE HE LOGRADO.

A MIS HERMANOS :

**SILVIA, CARLOS, PATRICIA Y SANDRA POR SU APOYO PARA PODER
LOGRAR MI META.**

A MI ESPOSA:

PATY QUE LLEGASTE EN EL MOMENTO EN QUE MAS TE NECESITABA.

A MIS AMIGOS:

HECTOR (Q.E.P.D), JUAN , MARIANO Y A MI AMIGA CELIA POR SU APOYO PARA PODER TERMINAR ESTE TRABAJO.

A LA E.N.E.P. ARAGON. :

POR HABERME FORMADO COMO PROFESIONISTA.

A MI DIRECTOR DE TESIS :

**ING.RICARDO RODRIGUES CORDERO POR SU PACIENCIA PARA DIRIGIR
MI TRABAJO.**

**RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN ZONAS
URBANAS**

- I.- INTRODUCCION DE PAVIMENTOS URBANOS.
- II.- DISEÑO DE PAVIMENTOS URBANOS .
 - a.- Pavimentos Flexibles.
 - b.- Pavimentos Rigidos.
- III.- BASES Y SUBBASES ESTABILIZADAS.
 - a.- Mecanicos.
 - b.- Quimicos.
 - c.- Asfalticos
- IV.- LINEAMIENTOS SOBRE RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.
 - a.- Tipos de reciclamiento.
 - b.- Diseño de Mezclas .
 - c.- Selección de las tecnicas de reciclamiento.
 - d.- Experiencias en el mundo.
- V.- RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.
 - a.- Normas de calidad.
 - b.- Experiencia en México.
 - c.- Pruebas a Mezclas.
 - e.- Emulsiones Asfalticas.
- VI.-CONCLUSIONES.

CONTENIDO.

	Página
Capítulo I. Introducción	1
1.1. Clasificación del sistema vial urbano.	6
1.2. Clasificación de las calles y de tránsito.	10
1.3. Reciclado de Pavimentos.	12
Capítulo II. Diseño de Pavimentos Urbanos.	
2.1. Tipos de Pavimentos Utilizados.	16
2.2. Elementos que conforman un pavimento.	17
2.3. Pruebas de Clasificación .	18
2.4. Pavimentos Flexibles.	23
2.5. Pavimentos Rígidos.	29
Capítulo III. Base y Sub-bases Estabilizadas.	36
3.1. Estabilización con cal.	37
3.2. Estabilización con cemento.	42
3.3. Estabilización con Productos Asfálticos.	45
Capítulo IV. Lineamientos sobre Recuperación y Reciclaje de Pavimentos Flexibles.	51
4.1.a. Reciclaje de materiales de Pavimento.	53
4.1.b. Reciclaje de Superficie.	55
4.1.c. Calentamiento - Nivelado.	56
4.1.d. Calentamiento - Escarificado.	56
4.1.e. Remoción en caliente.	57
4.1.f. Nivelado en frío.	57
4.1.g. Remoción en frío.	57

4.1.h. Reciclaje de Superficie y Base en el lugar de trabajo.	58
4.1.i. Reciclaje en Planta Central.	59
4.1.j. Tecnicas de Reciclaje Central.	59
4.2. Ventajas y Desventajas de las Tecnicas de Reciclamiento.	60
4.3. Experiencia en el mundo.	74
4.4. Fundamentos fisicos y quimicos del Reciclamiento.	83
4.5. Slurry Seal.	91
V.- Reciclaje de Pavimentos Flexibles.	100
5.1. Agentes Modificadores.	100
5.2. Experiencias de Reciclado en México.	100
5.3. Teorias de las Emulsiones Asfálticas.	108
VI.- Conclusiones.	119
Anexo Fotografico.	121
Bibliografia.	138

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.- INTRODUCCION.

El notable incremento de la población de nuestro país, se ha traducido a su vez en un crecimiento desmesurado de las áreas urbanas existentes, así como en la planeación y construcción de nuevos centros urbanos.

Este fenómeno se encuentra aparejado con necesidades de orden social, económico y cultural, es necesario satisfacer muchas veces en situaciones muy adversas, fundamentalmente por la falta de recursos económicos para ello.

Por esto es frecuente observar el crecimiento de áreas urbanas en las que es palpable la carencia de viviendas, empleos, servicios, etc, y problemas que no pueden ser resueltos satisfactoriamente; por demandar para ello la aplicación de fuertes inversiones, que en numerosas ocasiones no pueden realizarse a nivel municipal o bien, deben diferirse realizándose a un ritmo menor que el correspondiente a la demanda.

En el renglón de los servicios municipales destaca el relativo a la pavimentación de calles y avenidas, no sólo por la importancia que en si reviste desde el punto de vista urbanístico, sino por el monto de la inversión inicial requerida y sobre todo, por el correspondiente al costo de conservación y mantenimiento.

Los pavimentos urbanos tienen mucho en común con los carreteros sin embargo los primeros tienen algunas peculiaridades que les dan un caracter especial, tales como las siguientes:

- 1.- Forman una extensa red en una área relativamente pequeña, en terminos generales puede suponerse que por cada km de área urbana existen 20 km de vialidades, y que en una ciudad de unos 120 km de extensión tendrá por lo tanto una red vial del orden de los 200 km cifra mayor muchas veces que la red de carreteras.
- 2.- Presentan importantes diferencias de uso, magnitud de cargas necesidades, etc, la red vial urbana,

debe satisfacer las demandas de tránsito que le imprimen las necesidades propias de su vida cotidiana, existen zonas económicamente activas, zonas residenciales, etc., que tienen sus características y necesidades propias.

- 3.- Existen limitaciones geométricas importantes, la traza urbana, el concepto urbanístico, arquitectónico y funcional de la ciudad que imponen limitaciones importantes a las vialidades urbanas.
- 4.- La presencia de instalaciones, subterráneas dentro de las vialidades constituyen un factor muy importante que debe considerarse en su proyecto. (figs. 1 y 2)
- 5.- Los pavimentos urbanos están sujetos a la constante calificación del público.

A diferencia de las carreteras, en el caso urbano los pavimentos son también calificados por los peatones y por los mismos usuarios que juzgan su estado y apariencia.

Existen intensas presiones de carácter económico, político y social que deben ser considerados en el diseño y conservación de los pavimentos, teniendo en cuenta sus costos iniciales de mantenimiento y de operación, disponibilidad de materiales, equipos y tecnología.

Por otra parte es necesario considerar la disponibilidad de fondos y su recuperación, beneficios económicos, aspectos de planeación en el crecimiento del área urbana, los aspectos sociales y políticos involucrados.

De esta manera será posible programar las prioridades, y proceder a su proyecto y construcción.

Por lo que el AASHO estableció una calificación del estado de los pavimentos a partir de un ensayo realizado en los años 70 s del cual resultaron los siguientes conceptos:

- a).- Concepto de falla funcional.

Se lleva a cabo cuando el pavimento no cumple con su función primordial, provocando incomodidad e inseguridad en el usuario así como esfuerzos imprevistos en los vehículos, no siempre esta acompañada de falla estructural. (anexo fotográfico).

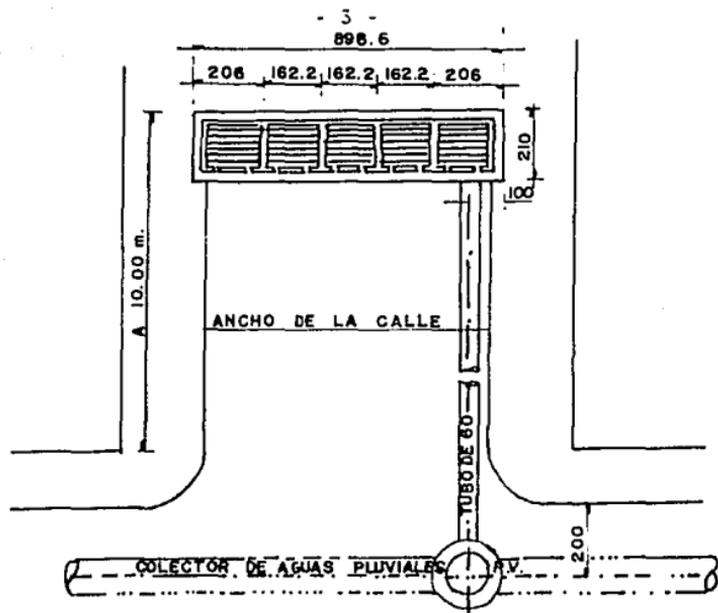


FIG. 1

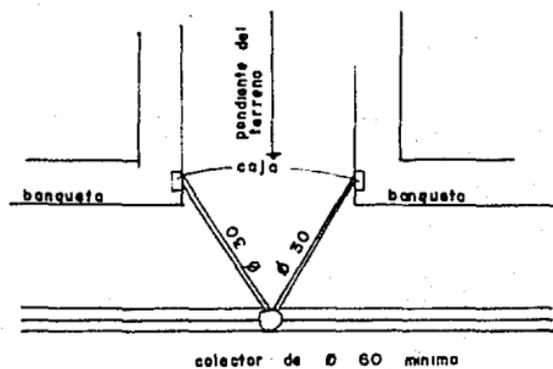


FIG. 2

b.- Concepto de falla estructural.

En el colapso de la estructura del pavimento o de alguno de sus componentes, de tal manera que el pavimento sea incapaz de soportar las cargas o bien, se reduce a una interrupción en su continuidad o integridad, puede degenerar en falla funcional.

c).- Índice de serviciabilidad.

La estimación de la serviciabilidad de un tramo de pavimento, fue obtenida a partir de mediciones físicas.

Pavimento flexible:

$$IS = 5.3 - 1.9 \log (1 + SV) - 0.01 C + P - 1.38 (2/RD)$$

Pavimento rígido:

$$5.41 - 1.8 \log (1 + SV) - 0.09 C + P$$

donde:

SV= Variancia de la pendiente.

C= longitud del agrietamiento por cada 100 m².

P= area bacheada por cada 100 m².

RD= profundidad de las deformaciones en rodadas medidas con regla de 1 a 2 m.

Derivado de este ensayo surgió el denominado Índice de Servicio urbano y poder seguir la evolución con respecto al tiempo de los pavimentos.

Este índice está compuesto por dos factores, que son el índice de servicio (IS), derivado del concepto establecido en el tramo AASHO y el índice de apariencia (IA), que toma en cuenta el aspecto estético de los pavimentos desde el punto de vista del usuario, automovilista o peatón.

En general el índice de Servicio Urbano (ISU) tiene la siguiente expresión: $ISU = 0.7 (IS) + 0.3 (IA)$.

El ISU varía a través del tiempo, existen otros indicadores que manifiestan la forma en que los pavimentos se demeritan, como su capacidad estructural, resistencia al derrapamiento, severidad de los deterioros, así como los costos de mantenimiento y operación que se incrementan con el tiempo, a medida que un pavimento se deteriora y es necesario

incrementar los trabajos de mantenimiento.

A continuación presentamos una estructuración para el estudio de pavimentos urbanos.

a).- Clasificación de calles según:

- 1.- tránsito.
- 2.- geometría.
- 3.- controles geométricos.
- 4.- aspectos económicos y sociopolíticos.
- 5.- problemas del subsuelo o terrenos de cimentación

b).- Definición del tipo de pavimento.

- 1).- tránsito.
- 2).- vida útil.
- 3).- Costo (inicial, conservación, operación).
- 4).- urbanismo, estética.
- 5).- factibilidad (materiales, equipos, etc).
- 6).- Conservación.

Por todo esto es necesario tener esquemáticamente un programa de todo o que queremos llevar a cabo.

Programación de prioridades:

costo-beneficio
costo-actualizado
restricciones
inflación e intereses
disponibilidad de fondos

Estrategias:

Pavimentos nuevos: tipos de pavimentos y uso racional.

	Rehabilitación	Rutina Sobrecarpeta Reciclados
PAVIMENTOS ANTIGUOS	Reconstrucción	Nuevos Materiales o procesados

1.1.- Clasificación del sistema vial urbano.

	a).-Autopistas	a nivel elevadas o viaductos inferiores	
Subsistema Primario	b).-Arterias Principales		
	c).-Arterias		
Subsistema Secundario	a).-Calles colectoras		
	b).-Calles locales		
	c).-Ciclopista		
	d).-Calles peatonales		
	a).-Estacionamiento		
Areas de transferencia	b).-Terminales	suburbanas foraneas	Urbanas
	c).-Estaciones		
Vias	a).-Vias de tranvia		
	b).-Vias del metro		
	c).-Vias de ferrocarril suburbano		
	d).-Vias de ferrocarril regional		

Caracteristicas del sistema vial urbano.

- a).-Subsistema Primario:
-Define la estructura general de la ciudad.
-Comunica las zonas que forman la ciudad.
-Maneja elevados volumenes de tránsito.
-Facilita largos recorridos.
-Enlaza la ciudad con las redes carreteras. (fig.3)
- b).-Subsistema Secundario:
Conecta el tránsito general por las propiedades colindantes con el sistema primario.

ESQUEMA DE UN SISTEMA VIAL URBANO

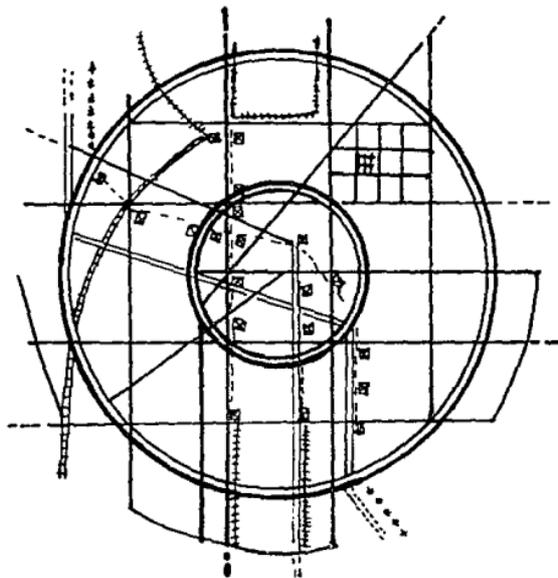


FIG. 4

SIMBOLOGIA	SUBSISTEMAS VIALES
	PRIMARIO
	SECUNDARIO
	ÁREAS DE TRANSFERENCIA
	VÍAS DE TRAVÍA
	VÍAS DEL FERROCARRIL METROPOLITANO (METRO)
	VÍAS DEL FERROCARRIL SUBURBANO
	VÍAS DEL FERROCARRIL REMOVAL

ESQUEMA DE LOS SUBSISTEMAS VIALES URBANOS
PRIMARIO Y SECUNDARIO

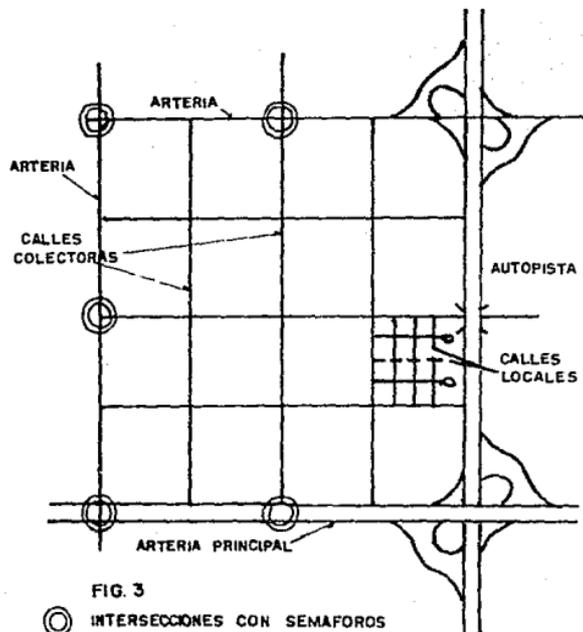


FIG. 3

- INTERSECCIONES CON SEMAFOROS
- SUBSISTEMA PRIMARIA
- SUBSISTEMA SECUNDARIO

c).-Areas de transferencia:

- Se realiza un cambio de medio de transporte.
- Se alojan fuera de la vía publica.(fig.4)

d).-Vias Férreas:

- Requieren de derechos de vía.
- Requieren elementos de conexión con otros medios de transporte.
- Requieren dispositivos de control en las intersecciones con otros subsistemas, o pasos a desnivel.

Las calles industriales dan acceso a las áreas o parques industriales, el volumen de tránsito total puede estar en los rangos más bajos, pero el porcentaje de camiones con ejes pesados es relativamente grande.

Por lo cual resumiendo tenemos las siguientes variables para el diseño de pavimentos.

a).- CARGA

- magnitud de las cargas.
- configuración de las llantas y espaciamiento entre ellas.
- número de ejes.
- presión de inflado
- presión de contacto
- número de repetición de cargas, cambios anuales y estacionales.
- tasa de crecimiento.
- distribución de tránsito en la sección transversal.
- vida de proyecto del pavimento antes de que requiera una reconstrucción.
- criterio de falla.
- tipo de impacto.

b).-REGIONALES

- temperatura.
- régimen de precipitación.
- precipitación media anual.
- nivel freático.
- geología.
- topografía.

c).-ESTRUCTURALES

- características de las capas que constituyen el pavimento.
- espesores.
- resistencias.
- deformabilidad.
- disponibilidad de materiales.
- costo.
- respuesta bajo condiciones regionales.

d).-COMPORTAMIENTO

- seguridad.
- serviciabilidad.
- durabilidad.
- depende de la interacción entre las características estructurales, sollicitaciones de tránsito, clima, regionales y tipo de conservación.

e).-CONSERVACION

- tipo de conservación requerido.
- frecuencia.

f).-CRITERIOS DE DECISION

- disponibilidad de fondos.
- costos de construcción, conservación y operación.
- confiabilidad.
- seguridad, calidad de operación y tipo de conservación.
- impacto ambiental.

g).-CONSTRUCCION

- control de calidad
- disponibilidad de equipo y de personal.
- nivel tecnológico.
- recursos industriales.

1.2.- Clasificación de las calles y de tránsito (incluyendo su volumen y los pesos por eje).

Los estudios exhaustivos sobre tránsito que se hagan dentro de los límites de la ciudad pueden proporcionar la información necesaria para el diseño de pavimentos municipales, y las podemos clasificar de la siguiente forma:

a).-Calles residenciales ligeras.

Estas calles no son de gran longitud y sus ramales pueden ser cerradas o retornos, dan servicio a un tránsito generado por unas cuantas casas o lotes (20 o 30).

Los volúmenes de tránsito son bajos menos de 200 vehículos por día (TDPA) de 1 a 2% de tránsito comercial pesado (camiones de 2 ejes y sus ruedas o mayores), y deberán tener una carga máxima sobre eje tandem de 16.3 ton y de 9 ton máximas sobre eje sencillo.

b).-Calles residenciales.

Estas calles tienen en sus ramales el mismo tipo de tránsito que las avenidas residenciales ligeras, pero dan servicio a más casas (60 a 140), incluyendo a aquellas que se encuentran en calles cerradas.

El tránsito consiste generalmente de vehículos que sirven a los hogares y ocasionalmente algún camión pesado, los volúmenes de tránsito varían de 300 a 700 (TDPA), con un 1 a 2% de tránsito comercial pesado por día.

c).-Calles colectoras residenciales.

Los colectores residenciales reciben todo el tránsito de las calles residenciales de un área y lo distribuyen a los sistemas de calles mayores.

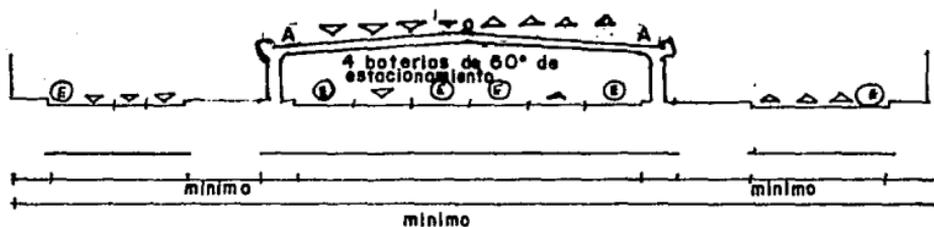
Pueden ser de gran longitud y de servicio a 140 y 300 hogares o más y tener volúmenes de 700 y 1500 (TDPA), con un 1 a 2% de tránsito comercial pesado.

d).-Calles colectoras.

Las calles colectoras son las que sirven a varias ramales y pueden tener varios kilómetros de longitud.

Pueden servir a rutas de autobuses y a maniobras de camiones en una determinada área, aunque no lo hagan a través

AUTOPISTA ELEVADA

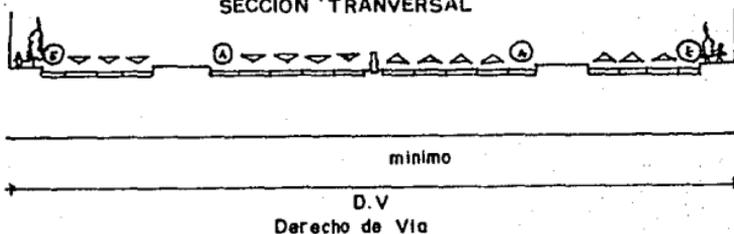


- (A) acotamiento
- (E) estacionamiento

SECCION TRANSVERSAL

ARTERIA A NIVEL O INFERIOR

SECCION TRANSVERSAL



- (A) acotamiento (carril de estacionamiento momentaneo)
- (E) carril para estacionamiento

de rutas y los volúmenes de tránsito varían de 2000 a 6000 (TDPA) con 3 a 5% de tránsito comercial pesado.

Los camiones que utilicen estas avenidas deberán tener una carga máxima sobre eje tandem de 17.2 ton y de 10.8 ton. máxima sobre eje sencillo.

e).-Arterias.

Las arterias llevan tránsito desde y hacia vías rápidas y sirven a movimientos mayores de tránsito en áreas metropolitanas que no cuentan con servicio de vías rápidas.

Las rutas de autobuses y camiones, así como las rutas federales y estatales numeradas, van comúnmente altas, para las que justifican diseños extensos y meticulosos. (fig.5).

g).-Calles comerciales.

Estas calles constituyen una categoría especial, proporcionan acceso a tiendas y al mismo tiempo sirven al tránsito en los distritos céntricos de negocios, estas calles se congestionan frecuentemente ya que las velocidades de tránsito son bajas.

h).-Calles industriales.

Las calles industriales dan acceso a las áreas o parques industriales, el volumen total de tránsito puede estar en los rangos más bajos pero el porcentaje de camiones con ejes pesados es relativamente más grande.

1.3.- Reciclado de pavimentos.

El empleo del reciclado, como una nueva alternativa en la construcción de autopista, avenidas, calles, está avanzando rápidamente en algunos países, debido a las bondades que esta técnica ofrece en los renglones económicos y de impacto ambiental.

Sin embargo, no hay que perder de vista que los procedimientos constructivos, materiales, mano de obra y equipos utilizados son propios de cada región y que estos juegan un papel muy importante en la evolución de cualquier tecnología.

Las actividades que se generan por el movimiento de personas y bienes de consumo en un país o fuera de este, requieren de una infraestructura vial adecuada que permita realizar un transporte comodo y eficiente, estas vias de comunicación dependeran precisamente de las necesidades que surjan en dichos polos de desarrollo, por lo tanto, los estudios que se realicen en la construcción de una autopista o una carretera nueva, vista como un sistema aplicando tecnologías de punta.

Son muy amplios e interdisciplinarios, basta con mencionar algunos estudios donde se requiere especial atención, selección de materiales, proporcionamiento de mezclas, ensayos de laboratorio, diseño de espesores, selección de equipo, procedimientos constructivos, control de calidad y conservación.

Considerando también, desde luego, los estudios previos de ingeniería de tránsito, planeación, trazado y entorno ecológico.

Las primeras aplicaciones empíricas que tuvo el reciclado en las vias terrestres en nuestro país fue en la década de los 70's, aplicado en la reconstrucción de caminos vecinales de Cd. Juárez, Chihuahua, en una zona de mediana capacidad de tránsito.

No cabe duda, que la escuela de esta tecnología, esta sustentada en las experiencias obtenidas en diferentes partes del mundo en la reutilización de pavimentos flexibles (en este trabajo solo hablaremos de ellos) y pavimentos rígidos.

Durante los 80's sigue el interes en la tecnología del reciclado, la investigación se profundiza mas a un punto de que los equipos que anteriormente se utilizaban como por ejemplo la rotomill, que marcaron un cambio revolucionario en el tren de la construcción aplicado a las vias terrestres, pues su funcionamiento es mas sencillo y es controlado automaticamente.

Sin embargo, algunas empresas constructoras mexicanas que han iniciado la introducción de esta técnica a finales de los 80's, se han enfrentado a un problema real, pues resulta que su parque de maquinaria no es del todo el ideal para afrontar la tecnología de punta.

Es claro que la inversión que realicen algunas empresas en la adquisición de estos equipos debido a los altos costos de estos seran minimas.

C A P I T U L O II

DISEÑO DE PAVIMENTOS URBANOS

2.- DISEÑO DE PAVIMENTOS URBANOS.

A medida que los vehículos evolucionaron en peso, velocidad, comodidad y autonomía fue creando la necesidad de proporcionarles una pista de circulación con unas condiciones de curvatura, pendiente, visibilidad, sección transversal, uniformidad, textura, etc., apropiadas a una demanda de operación cada vez más exigente.

Para poder adentrarnos en nuestro estudio debemos definir que es un pavimento, el cual es una estructura constituida por varias capas de materiales, que tienen por objeto permitir el tránsito de vehículos en forma comoda, segura y eficiente, con un costo mínimo.

Un pavimento adecuado es el que llega a la falla funcional después de haber resistido el tránsito de proyecto hasta llegar a la calificación de rechazo con el menor costo posible.

Para propósitos de diseño, el ingeniero debe contar con la información y herramientas necesarias para lograr un diseño adecuado del pavimento.

Los parámetros de diseño pueden clasificarse en los grupos siguientes:

a).-Transitos y cargas.

Estan constituidos por la información consistente en la caracterización de los diferentes tipos de vehículos que integran o integrarán el tránsito.

- 1).-Tipos de vehículos.
- 2).-Cargas por ejes.
- 3).-Números de aplicaciones.
- 4).-Distribución del tránsito durante el año.
- 5).-Canalización del tránsito.

En el caso de rehabilitación de pavimentos se cuenta desde luego con mayor información de este tipo, cuando se trata de proyecto de pavimentos, se tropieza con el problema de la estimación del tránsito, sobre todo en lo que concierne a la proyección del mismo hacia el futuro.

b).-Parámetros ambientales.

Los parámetros incluidos en este grupo son muy importantes, ya que influyen con caracter principal en el diseño de un pavimento, siendo necesario identificar los

tipos de suelos sobre los que se construirán los pavimentos y caracterizarlos mediante las pruebas de laboratorio establecidas al respecto.

- 1).-Tipo de suelo.
- 2).-Topografía.
- 3).-Regimen pluviométrico.
- 4).-Drenaje superficial y subdrenaje.
- 5).-Temperatura ambiente.

c).-Parámetro de construcción.

Estos parámetros pueden llegar a desechar un diseño o tipo de pavimento.

- 1).-Control de calidad.
- 2).-Experiencia del personal.
- 3).-Disponibilidad del equipo.

El control de calidad debe tener un carácter preventivo, y como tal, debe iniciarse con el proyecto mismo. El control de calidad debe comprender aspectos que cubren desde selección de contratistas, pasando por estudios de bancos hasta revisión de especificaciones, tolerancias y pruebas.

d).-Parámetro de mantenimiento.

Estos están relacionados con aspectos económicos del proyecto, así como de carácter social.

- 1).-Nivel de mantenimiento.
- 2).-Tipo de rehabilitación.
- 3).-Disponibilidad de fondos.
- 4).-Relación con los usuarios.

Consisten en evaluar cada diseño desde el punto de vista mantenimiento que requieren para conservar un nivel de servicios durante la vida del diseño.

e).-Parámetros de diseño estructural.

Aquí se lleva a cabo una utilización inteligente de los materiales incluyendo prácticas de estabilización y tratamiento de los materiales.

- 1).-Características de la subrasante.
- 2).-Tipo y calidad de los materiales disponibles.
- 3).-Estabilidad de suelos.
- 4).-Disponibilidad de equipo de pruebas.

f).-Parámetros operacionales.

Contempla aspectos en que se ve involucrado el usuario, y su importancia aumenta en la medida en que crece el tránsito, ya que en estas condiciones la intensidad del mismo impide efectuar trabajos de mantenimiento.

- 1).-Control de tránsito durante la construcción.
- 2).-Control de tránsito durante el mantenimiento.
- 3).-Control de tránsito durante la reconstrucción.
- 4).-Comodidad para el usuario.

g).-Parámetros restrictivos.

Se refieren fundamentalmente a aspectos económicos como pueden verse, así como a las interferencias que se produzcan en el tránsito motivadas por trabajos de mantenimiento.

- 1).-Máximos costos admisibles a nivel inicial, mantenimiento y operacional.
- 2).-Vida de diseño.
- 3).-Lapso para la primera reconstrucción importante .
- 4).-Lapsos entre reconstrucciones importantes.
- 5).-Impacto ambiental.

2.1.-TIPOS DE PAVIMENTOS UTILIZADOS.

- a).-Asfálticos (flexibles).
- b).-Adoquin.
- c).-Compuestos.
- d).-Losas de concreto.

Los pavimentos urbanos están constituidos por:

Calles	Residenciales
	Comerciales
	Fabriles

Avenidas

Autopistas Urbanas

Estacionamientos

A continuación formulamos algunos factores que determinan la elección del tipo de pavimento, adicionales al económico.

- a).-Confiabilidad.
- b).-Limitaciones en el mantenimiento y conservación.
- c).-Equipos y practicas de construcción.
- d).-Disponibilidad presente y futura de los materiales requeridos.

2.2.- ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN PAVIMENTO.

Los elementos que conforman un pavimento son los siguientes:

a).- Cuerpo de terraplen.- La finalidad de esta parte de la estructura de una via terrestre es dar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geometricas, sobre todo en lo relativo a pendiente longitudinal, la de resistir las cargas de tránsito transferidas por las capas superiores, y distribuir los esfuerzos a traves de su espesor y poder transmitirlos en forma adecuada al terreno natural.

b).- Capa subrasante.- Es la capa que sirve de apoyo al pavimento y su función es la transición entre el cuerpo del terraplen y el pavimento, la transmisión de esfuerzos. La siguiente tabla nos muestra el tipo de material, VRS y su categoria correspondiente.

CATEGORIA	MATERIAL	VRS	OBSERVACIONES
MUY BUENA	GW,GP,GM,GC SW,SP,SM,SC	10	Recomendable
BUENA	ML,CL,OL	6 A 10	Recomendable
MALA	MH,CH,OH	3 A 6	No recomendable

c.-Subbase y base.

Las subbases y bases tienen finalidades y características semejantes, sin embargo a las primeras pueden ser de menor calidad:

- 1).-Recibir y resistir las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento.
- 2).-Transmitir adecuadamente distribuidas estas cargas a las terracerias.
- 3).-Impedir que la humedad de las terracerias ascienda por capilaridad.

4).-En caso de que haya alguna introducción de agua por la parte superior, permitir que descienda hasta la capa subrasante en la que por efecto del bombeo o sobreelevación, sea desalojada hacia el exterior.

2.3.- PRUEBAS DE CLASIFICACION.

Segun el tipo de pavimento que necesite, en funcion del tránsito diario promedio durante la vida util de la obra, se tienen pruebas para los agregados petreos relativas a granulometria, plasticidad, etc.

En cuanto a las mezclas asfalticas se necesitan requisitos de resistencia, estabilidad, etc.

Principales pruebas a desarrollar en pavimentos:

a).- Rellenos y subrasantes, subbase y base.

a.1).- Para determinar la calidad de los materiales que se empleen se llevaran a cabo las siguientes pruebas:

- Peso volumetrico suelto
- Peso volumetrico maximo
- Humedad óptima
- Granulometria
- Valor relativo de soporte
- Valor cementante
- Porciento de expansion
- Absorción y densidad
- Límites de consistencia
- Contraccion lineal
- Equivalente de arena (prueba tentativa).

a.2.- Determinación periodica del peso volumetrico maximo y humedad del material compactado mediante calas.

a.3.- Determinacion periodica del peso volumetrico maximo y humedad optima de cada uno de los materiales a emplear.

a.4.- Determinacion del grado de compactación en el lugar se efectuaran tres determinaciones por cada capa compactada de 100 ml.

b). Pavimentos flexibles

b.1.- Estudio de la calidad de mezclas asfalticas mediante la



Construcontrol, S.A.

ENSAYE DE MATERIALES PARA
SUB-BASES Y BASES

REHABILITACION PAV. AV. CENTRAL

PROCEDENCIA

M. 5 + 800

MUESTRA Num.

DESCRIPCION

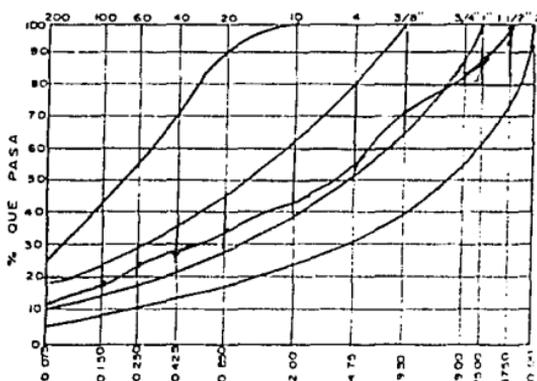
Mat. de Base

FECHA DE RECIBO

COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA Num	% RETENIDO	% QUE PASA
500	0	
375	5	
		100
500		100
375		95
250		89
150		87
95		71
475		55
200		43
0.850		35
0.425		29
0.250		25
0.150		19
0.075		13

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



PE SECO SUELTO Kg/m ³	1253	VR S (ESTANDAR) %	106	PRUEBAS EN MATERIAL MAYOR QUE LA MALLA Num 90	
PE S MAXIMO Kg/m ³	1600	EXPANSION %	2.83	ABSORCION %	11.68
HUMEDAD OPTIMA %	19	VALOR CEMENTANTE Kg/cm ²	5.0	DENSIDAD	1.78
COMPACTACION DEL LUGAR %		EQUIVALENTE DE ARENA %	65.0	DURABILIDAD	
HUMEDAD DEL LUGAR %		PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA Num 0.425			
CLASIFICACION PETROGRAFICA		LIMITE LIQUIDO %		INDICE PLASTICO %	
TIPO DE SUELO (SUCS)	SM	LIMITE PLASTICO %		CONTRACCION LINEAL %	

OBSERVACIONES

FORMEADO

APROBADO

FECHA

determinación de las siguientes características:

Granulometría del pétreo
Densidad del pétreo
Afinidad con el asfalto

Ensayes Marshall para la determinación de P.V.M., estabilidad, vacíos, flujo y contenido de asfalto, estas determinaciones se efectuarán mediante la obtención de dos muestras por cada 500 m² de superficie de carpeta.

b.2.- Control en el proceso de tendido de la mezcla, determinando su P.V.M. (3 pastillas cada 500 m), y las temperaturas de la misma en el transporte, tendido y compactación .

b.3.-Determinación mediante extracción de núcleos del peso volumetrico de la carpeta compactada en el lugar (3 núcleos cada 500 m) .

b.4.-Determinación del grado de compactación de la carpeta asfáltica.

b.5.-Determinación de la permeabilidad de la carpeta asfáltica terminada (determinaciones cada 500 m) .

c).- Riegos .

c.1.- Control de riegos de impregnación y liga mediante inspección visual y determinación de volumen de material asfáltico empleado por unidad de área .

d).- Pavimentos Rígidos.

d.1.-Para determinar la calidad de los materiales que se empleen se llevarán a cabo las siguientes pruebas:

- Peso volumetrico suelto
- Peso volumetrico compacto
- Densidad aparente
- Absorción
- Granulometría
- Coeficiente de expansión termica.
- Revenimiento
- Factor de compactación
- Esfera de Kelly
- Prueba de remoldeo
- Prueba de Vebe
- Contenido de aire
- Tiempo de fraguado



Construcontrol, S. A.

DETERMINACION DE PESO VOLUMETRICO
DE MATERIAL SECO Y SUELTO Y
COMPOSICION GRANULOMETRICA

AV. CENTRAL

KM - 0+000 AL KM 9+500

Operador **Victor M. Mino** Fecha **26 - Oct. - 1991** Ensayó

Peso Bruto gr. Volumen **14727**

Tara gr. Peso Volumétrico **1253**

Peso Neto **18450** gr. Desperdicio (% Ret.en ")

COMPOSICION GRANULOMETRICA DE MATERIAL RETENIDO EN MALLA NUM 4

MALLA	Peso Retenido Parcial (gr.)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa la malla
2"	0	0		100
1 1/2"	850	5		95
1"	1150	6		89
3/4"	400	2		87
1/2"	3000	16		71
3/8"	---			
1/4"	2850	16		55
Núm. 4	10200	55		
Pasa Núm.4	18450			
Suma				

COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA NUM 4

MALLA	Peso Retenido Parcial gr.	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa la malla
Num. 10	60.5	12		43
Num. 20	42.1	8		35
Num. 40	29.8	6		29
Num. 60	23.1	4		25
Num. 100	28.9	6		19
Num. 200	29.1	6		13
Pasa Num200	70	13		
Suma	283.5			

ABSORCION DENSIDAD Y DESGASTE

Tipo de Material	Mayor 1/4"	Menor Núm4	Tipo de Material	Mayor 1/4"	Menor Núm4
Peso Humedo (1)	1070 gr.	gr.	Vol. desalojado (4)	530 cc	cc
Peso Seco (2)	945 gr.	gr.	Peso Seco (Ps) (2)	945 gr.	gr.
Agua Absorbida (1)-(2)	125 gr.	gr.	Can. Rel. Abs. (1/4)	1.78	
Absorción (1/2) x 100	11.68%	%	Desgaste en %		

FORMADO **Victor M.M.** APLICADO **Victor M.Mino G.** FECHA



DEPENDENCIA _____

- 22 -

Construcontrol, S. A.

UNIDAD DE LABORATORIOS
RESIDENCIA _____

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO PORTER Y DEL V.R.S. ESTANDAR

DESCRIPCION DE LA MUESTRA _____	MATERIAL _____	ENSAYES N° _____
ESTUDIO POR EFECTUAR _____		FECHA DE INICIACION 26 Oct. 91
PROCEDENCIA _____		FECHA DE TERMINACION 29 Oct. 91
		LABORATORISTA _____

ENTREN*							
EQUIPO	11						
ANALITICO	5000						
LONGITUDINAL (mm)	4000						
AREA SECCIONATA	400						
AREA DEL HEMBRO	12.48						
AREA DEL CANTANTE	1.64						
SECCION DEL CATE - AL	1084						
AREA DEL HEMBRO	191.1						
SECCION DEL CATE - AL	2072						
AREA (Y _{max} = $\frac{1000}{100}$)	1931						
AREA (Y _{max} = 10)	1730						
UMEDNECIENTURA	11						
V.R.S.	106						

PENETRACION

1.27 mm.	200						
2.54 mm.	625						
3.81 mm.	1025						
4.75 mm.	1550						
7.62 mm.	2450						
12.5 mm.	3025						
19.0 mm.	3460						

EXPANSION

FECHA							
LECTURA INICIAL	2.47						
LECTURA FINAL	2.54						
DIFERENCIA	0.07						
EXPANSION %	2.83						

d.2.-Pruebas para determinar las propiedades generales del concreto endurecido.

d.2.1.-Las principales propiedades y características del concreto endurecido son las siguientes:

- Resistencia a la compresión simple.
- Resistencia al esfuerzo cortante.
- Resistencia a la compresión triaxial.
- Resistencia a la torsión.
- Resistencia al impacto.
- Resistencia a la fatiga.
- Resistencia al intemperismo.

2.4.- PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Los pavimentos con una superficie de rodamiento asfáltico con bases granulares, son los pavimentos flexibles típicos.

Y a la carpeta asfáltica se le define como la capa o capas formadas de agregados petreos y asfalto, colocadas sobre la capa de base, en pavimentos de poco o regular tránsito se coloca una carpeta de un solo espesor y en casos de tránsito intenso y pesado el espesor de la carpeta asfáltica se divide en:

- a).- Carpeta de desgaste.
- b).-Capa de liga .

Tipos de carpetas asfálticas.

Carpeta de tratamiento o riegos superficiales.

Consiste en dar un riego de asfalto de FR-3 o alguna emulsión sobre la base impregnada y cubrirlo con un material petreo.

La carpeta puede consistir de un riego, dos riegos o tres riegos , en el primero se coloca el asfalto y se cubre con el agregado mayor 25 mm (1 pulg) o 19 mm (3/4 pulg) .

Después se vuelve a aplicar otro riego de asfalto y se cubre con el siguiente agregado y de nuevo se aplica otro riego de asfalto y el agregado menor, el espesor varia de 10 a 25 mm, y es la de menor costo y calidad; es muy sencilla de construir y con poco equipo pero de poca calidad .

Carpeta de mezcla en el lugar.

Las carpetas de mezcla en el lugar, se construyen acamellonando el agregado (de granulometría gruesa o fina) sobre el lugar y aplicandole con una petrolizadora la cantidad adecuada de asfalto (rebajado o emulsión) mezclandolos con motoconformadora o equipo especial de mezclado .

Después de volatizar los solventes o el agua, se tiende y compacta la mezcla al espesor fijado.

La cantidad de asfalto varia con la granulometria y puede variar de 3 a 6 %, estas carpetas pueden tener un espesor de 4 a 7 cm.

Su calidad es superior a la de tratamientos superficiales, no deben usarse para categorias de tránsito 3, 4, y 5.

Carpeta de concreto asfaltico.

Cuando el tránsito sea intenso y pesado, la carpeta asfaltica se elabora con cemento asfaltico, llamandosele concreto asfaltico para tránsito de categorias 3,4,y 5, deberan usarse estas carpetas.

Si el espesor de la carpeta es de mas de 5 cm, se reparte en espesor de carpeta y en espesor de capa de ligante.

La capa de ligante se hace con agregados algo mayores que el de carpeta, un poco menos de asfalto, el valor de estabilidad de una carpeta de concreto asfaltico, dependen de la granulometria del agregado, compactación y cantidad de asfalto en la mezcla.

Todos los agregados usados en mazclas asfalticas deberan tener una buena afinidad con los asfaltos usados.

Espesores de carpetas asfálticas Instituto de asfalto U.S.A.

Espesor	de	la	carpeta	en	cm.
Tipo de carpeta	Tránsito ligero	Tránsito medio	Tránsito pesado	muy pesado	Tránsito
Tratamientos Superficiales	+ 2.5	+2.5	-----	-----	-----
Mezcla en el Lugar	5.0	7.5	-----	-----	-----
Concreto asfáltico	5.0	7.5	7.5		10.0

*Los espesores de carpeta mayores de 5.0 cm deben separarse en dos capas siguiendo varias combinaciones por ejemplo:
 Espesor de carpeta de rodamiento4.0 cm.
 Espesor de capa ligante3.5 a 6.0 cm.

Las carpetas asfálticas de mezcla en el lugar y las de concreto asfáltico, deben recibir un riego de sello, para impermeabilizar o vitalizar su superficie reseca o desgranada.

Los riegos de sello pueden ser de dos clases:

- a).-De tratamiento superficial
- b).-De mortero asfáltico (Slurry Seal).

Los riegos de sello por tratamiento superficial, consisten en aplicar asfalto FR(2 o 3) o emulsión asfáltica y cubrirlo con agregado No.3 (A,C,D o E).

El material 3-B solo se usa para el tratamiento superficial, de las carpetas de 2 o 3 riegos.

La cantidad de asfalto FR varia de 1 a 2 lt/m², se aplica en caliente, la emulsión asfáltica se aplica en frio.

Los riegos de sello con mortero asfáltico, son muy adecuados para pavimentos de calles y aeropuertos y consisten en mezclar un agregado (arena), emulsión asfáltica, cemento portland o cal y agua haciendo un lodo asfáltico, el cual se

coloca en frio sobre las carpetas.

Los pavimentos flexibles de asfalto, son un sistema de varias capas y se prestan mucho a varias combinaciones en cuanto a tipo de materiales y grado de calidad en varios espesores equivalentes desde el punto de vista estructural.

El diseño completo de un pavimento flexible de asfalto, es de lo mas complejo en ingenieria de carreteras ya que existen más de veinte métodos, los valores propuestos en las siguientes tablas, son promedio entre los proporcionados por varios de esos métodos.

Tabla 2.1.-Pavimentos de asfalto

Calles residenciales, estacionamientos para automoviles.

TRANSITO: CATEGORIA 1											

	S	U	B	R	A	S	A	N	T	E	

CAPA	BUENA			REGULAR			POBRE				
Riego de sello	si			si			si				
Carpeta asfaltica	4			4			4				
Riego de impregnación	si	si	no	si	si	no	si	si	no		
Base Granular	12	--	--	15	--	--	15	--	--		
Base suelo-cemento	--	8	--	--	10	--	--	15	--		
Base asfaltica	--	--	6	--	--	8	--	--	12		
Sub-base granular	--	--	--	--	--	--	--	--	--		

Espesor total cm	16	12	10	19	14	12	29	19	16		

Tabla 2.2.-Pavimentos de asfalto
Calles residenciales alimentadoras, pocos autobuses.

TRANSITO : CATEGORIA 2											
S U B R A S A N T E											
CAPA	BUENA			REGULAR			POBRE				
Riego de sello	si			si			si				
Carpeta asfaltica	8			8			8				
Riego de impregnación	si	si	no	si	si	no	si	si	no		
Base granular	15	--	--	15	--	--	15	--	--		
Base suelo-cemento	--	10	--	--	14	--	--	16	--		
Base asfaltica	--	--	8	--	--	12	--	--	14		
Subbase granular	--	--	--	10	--	--	15	--	--		
Espesor total cm.	21	16	14	31	20	18	36	22	20		

Tabla 2.3.-Pavimentos de asfalto.
Avenidas, calles industriales, mercado de abastos, regular
cantidad de autobuses.

TRANSITO : CATEGORIA 3											
S U B R A S A N T E											
CAPA	BUENA			REGULAR			POBRE				
Riego de sello	si	si	si	si	si	si	si	si	si		
Carpeta asfaltica	8			8			8				
Riego de impregnacion	si	si	no	si	si	no	si	si	no		
Base granular	15	--	--	15	--	--	15	--	--		
Base suelo-cemento	--	10	--	--	10	--	--	10	--		
Base asfaltica	--	--	12	--	--	12	--	--	12		
Subbase granular	10	10	--	15	10	10	20	15	10		
Espesor total cm.	33	28	20	38	28	28	43	33	30		

Este espesor puede separarse asi: Carpeta 3cm, capa ligante 5 cm.

Tabla 2.4.-Pavimentos de asfalto
Calzadas y calles comerciales con muchos autobuses

CAPA	TRANSITO : CATEGORIA 4								
	S	U	B	R	A	S	A	N	T	E
	BUENA			REGULAR			POBRE		
Riego de sello	si	si	si	si	si	si	si	si	si
Carpeta asfaltica	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Riego de impregnacion	si	si	no	si	si	no	si	si	no
Base granular	15	--	--	15	--	--	15	--	--
Base suelo-cemento	--	10	--	--	10	--	--	10	--
Base asfaltica	--	--	10	--	--	10	--	--	10
Subbase granular	15	15	10	20	20	13	25	25	15
Esesor total cm.	38	33	28	43	38	31	48	43	33

A continuación se realiza un ejemplo para el uso de las tablas:

Diseñar un pavimento flexible de asfalto para un fraccionamiento turistico en una población de la costa del pacifico.

El tránsito probable para sus calles sera de calles residenciales y estacionamientos de automoviles, categoria 1.

El suelo de las terracerias es una arcilla negra muy expansiva.

En este caso conviene mejorar la subrasante, ya que existe en abundancia arena fina de playa y un banco de grava-arena, mal graduado, de plasticidad mayor y VRS fuera de especificaciones para subbase de pavimentos flexibles.

En las terracerias de las calles se abraja caja en 40 cm de profundidad y se colocara arena fina, cubierta con la grava-arena.

Con esto la capa subrasante se convirtio a una categoria de buena. Solución: La tabla No. 2.1. nos indica un pavimento de :

Carpeta asfaltica	4 cm	4 x 0.40 = 1.60
Base granular	12 cm	12 x 0.07 = 0.84
Número estructural	.....	= 2.44

Al construirse ese pavimento se opto por estabilizar la grava-arena muy cercana, usando 60 kg de cemento portland por

m3 de suelo compacto, o sea la solución B.

Número estructural de pavimentos.

Uno de tantos logros obtenidos en la carretera de prueba AASHTO fue el relacionado con la obtención del concepto número estructural, que es un número índice de un espesor total de pavimento que puede ser convertido a espesores de varias capas de pavimento usando un coeficiente de capa, en función del tipo y calidad del material usado en cada capa.

Analíticamente el número estructural puede expresarse:
 $N.E = aD + aD + aD$
en donde a, a y a son los coeficientes de carpeta asfáltica, base y subbase (si se necesita) y D, D y D son los espesores correspondientes:

Algunos coeficientes de capa AASHTO son:

Carpeta mezcla en el lugar	.....	0.20	Carpeta
mezcla en planta	.....	0.44	Base
grava-arena	.....	0.07	
Base grava-triturada	.....	0.14	Base
suelo-cemento	.....	0.15	
Base suelo-asfalto	.....	0.32	Base
suelo-cal	.....	0.15	Subbase
grava-arena	.....	0.06	
Subbase arena-arcilla	.....	0.05	

2.5.- Pavimentos rígidos.

Los pavimentos de concreto reciben la carga de los vehículos y la reparten a un área muy amplia de la subrasante.

La losa por su alta rigidez y alto módulo elástico, tienen un comportamiento de elemento estructural de viga.

Ella absorbe prácticamente toda la carga, estos pavimentos han tenido un desarrollo bastante dinámico.

Diferentes pavimentos de concreto:

- a).- Pavimentos de concreto simple, sin varillas pasajuntas.
- b).- Pavimentos de concreto simple, con varillas pasajuntas.
- c).- Pavimentos de concreto reforzado (refuerzo continuo).
- d).- Pavimento de concreto preesforzado.
- e).- Pavimentos de concreto reforzado con fibras cortas de acero.

Los pavimentos de concreto son muy adecuados para calles de ciudades o plantas industriales, tecnicamente los pavimentos de concreto usado.

En la actualidad hay un diseño de pavimento hidraulico llamado "WHITETOPPING".

Diseño simplificado de pavimentos de concreto.

El factor mas importante en diseño de pavimentos de concreto, es la resistencia del concreto utilizado, el concreto que aqui se considera debera tener una resistencia a la compresión de 300 kg/cm² mínima a los 28 días de edad, o antes si se especifica otra edad, si se usara resistencia de 250 kg/cm², se debera aumentar el espesor de la losa unos 2 cm.

Los pavimentos de concreto, estan formados exclusivamente por la losa de concreto, la cual puede colarse directamente sobre la subrasante (para poco transito o suelos buenos de la subrasante) o sobre la subbase.

La subbase tiende a corregir defectos del suelo subrasante, siendo asi un mejoramiento de esa capa.

Conviene que el pavimento de concreto se apoye sobre una capa de rigidez menor que el concreto, pero mayor que la correspondiente a la subrasante cuando se necesite subbase en estos pavimentos es muy ventajoso usar las de suelo-cemento.

La capa de subbase suelo-cemento, se forma mezclando un suelo con el cemento portland teniendo las siguientes resistencias a la compresión:

a los 7 dias15,25,30 kg/cm², segun el tránsito previsto.

Esta resistencia se obtendra ensayando a la compresión probetas guardadas en el cuarto de curado, elaboradas en el modelo AASHTO, con una compactación estandar.

El grado de compactación obtenido sera de 95% min del P.V.S.M determinado con la prueba AASHTO estandar, una

vez aprobada la subbase de compactación, se cura la superficie con riegos de agua durante 4 días como mínimo.

El grado de compactación de la subrasante será de 95 % min. del P.V.S.M determinado con la prueba AASHTO estandar, según sus variantes A,B,C y D.

Para el diseño de pavimentos rígidos usaremos las siguientes tablas:

Tabla 2.5.- Pavimentos de concreto.
Calles residenciales, estacionamientos de automoviles.

TRANSITO : CATEGORIA 1			
	S U B R A S A N T E		
CAPA	BUENA	REGULAR	POBRE
Losa	13	13	15
Subbase granular	0	10	10

Espesor total en cm.	13	23	25

Concreto de 300 kg/cm ² a la compresión.			
Para concreto de 250 kg/cm ² aumentar la losa 2cm.			

Tabla 2.6.-Pavimentos de concreto
Calles residenciales alimentadoras, pocos autobuses.

TRANSITO : CATEGORIA 2			
	S U B R A S A N T E		
CAPA	BUENA	REGULAR	POBRE
Losa	15	15	17
Subbase granular	0	10	10
Subbase suelo-cemento	--	--	--

Espesor total en cm	15	25	27

Concreto de 300 kg/cm ² a la compresion.			
Para concreto de 250 kg/cm ² , aumentar el espesor de la losa 2 cm.			

Tabla 2.7.- Pavimentos de concreto
Avenidas, estacionamientos de industrias, regular cantidad de autobuses.

TRANSITO : CATEGORIA 3										
	S	U	B	R	A	S	A	N	T	E
CAPA			BUENA			REGULAR			POBRE	
Losa			16			18			20	
Subbase granular			10			12	--			15
Subbase suelo-cemento			--			--	8			-- 10
Espesor total en cm.			26			30	26			35 30

Concreto de 300 kg/cm² a la compresión.

Para concreto de 250 kg/cm², aumentar el espesor de la losa 2 cm.

Tabla 2.8.- Pavimentos de concreto
Calzadas, calles comerciales con muchos autobuses.

TRANSITO : CATEGORIA 4										
	S	U	B	R	A	S	A	N	T	E
CAPA			BUENA			REGULAR			POBRE	
Losa			20			20			25	
Subbase granular			10			12	--			15
Subbase suelo-cemento			--			--	8			-- 10
Espesor total en cm.			30			34	30			40 45

Tabla 2.9.- Pavimentos de concreto.
Autopistas

CAPA	TRANSITO : CATEGORIA 5									
	S	U	B	R	A	S	A	N	T	E
	BUENA		REGULAR			POBRE				
Losa		22		24	24			26	26	
Subbase granular		10		12	--			15	--	
Subbase suelo-cemento		--		--	8			--	10	
Espesor total en cm.		32		36	32			41	36	

Para el uso adecuado de las tablas realizaremos el siguiente ejemplo:

La población de Cd. Azteca es pequeña y su ritmo de crecimiento es bajo, se considera que su tránsito de diseño es de categoría 1, el suelo de la subrasante es una grava-arena y le corresponde una buena con respecto a la categoría de subrasante de la AASHTO.

Losa de concreto de 13 cm de espesor
Subbase granular de 0 cm de espesor.

El concreto considerado es para una resistencia de compresión a los 28 días es de 300 kg/cm².

Dependiendo de si queremos bajar la resistencia del concreto de 250 kg/cm² deberemos aumentar el espesor de la losa a 15 cm.

Calidad del concreto.

Resistencia a la compresión.- El concreto tendrá una resistencia a la compresión de 300 kg/cm² a los 28 días de edad o antes si se especifica otra edad, para comprobar la resistencia del concreto se deberá tomar una muestra de volumen suficiente para hacer 4 cilindros estandar por cada 20 m³ de concreto.

Dos cilindros como mínimo deberán ser ensayados a los 28 días de edad o antes si se especifica otra edad, y el

promedio de las resistencias obtenidas constituye una prueba de resistencia.

Revenimiento.

El revenimiento del concreto sera de 6 cm con una tolerancia de más o menos 2.5 cm durante 15 min. después de la descarga, el revenimiento se determinara en una muestra tomada del primer cuarto de m³ y antes del último cuarto de m³ de volumen descargado.

Materiales.- Todos los materiales tales como el cemento, agua, agregados finos, agregados gruesos, deberan cumplir con las normas de calidad ya establecidas.

Compactación del concreto.

Al colocar el concreto sobre la subbase o subrasante, atrapara una cantidad adecuada de este aire, el concreto se sujetara a una vibración mecánica a base de batería de vibraciones de inmersión para compactar el concreto junto a las cimbras.

Juntas.

Juntas longitudinales.

Las juntas longitudinales son construidas para controlar las grietas longitudinales, ellas deberan hacerse espaciadas para coincidir con las líneas de los carriles teniendo de 2.40 m a 3.60 m de espaciamiento, esta junta se construira usando una cimbra metalica machihembrada, con la cimbra en hembra.

Junta transversal de contracción.

Las juntas de contracción son usadas para controlar las grietas transversales, su espaciamiento sera de 4.5m a 5.0 m segun el espesor de la losa.

Para losas hasta de 15 cm de espesor, espaciamiento maximo 5.0 m la junta de contraccion podra ser de tipo aserrado o tipo preformada sin alterar la superficie del

pavimento en el lugar de la junta.

Junta de expansión.

Estas juntas se colocaran al llegar a las intersecciones de calles o al llegar a un cuerpo fijo, como una alcantarilla, estas juntas se asemejan a las de construcción con una separación entre losas de 2.5 cm.

Al momento de hacer la junta se colocara entre el concreto una tira de material compresible de una altura que deje un espacio vacio arriba de ella de 2.5 cm para sellarse.

Curado de Concreto.

El curado del concreto es de la mayor importancia para asegurar su resistencia, un descuido de esta etapa puede hacer que el concreto pierda hasta un 50% de su resistencia.

El curado debe iniciarse al momento de terminar el acabado de la superficie del pavimento.

3.- BASE Y SUBBASES ESTABILIZADAS.

La base para pavimentos es la capa de material seleccionado que se coloca entre la carpeta y la subbase, esta debiera ser rigidizada en pavimentos de concreto asfaltico, con el fin de que su modulo de elasticidad sea compatible con el modulo de elasticidad de la carpeta.

Cuando se construyen pavimentos flexibles la base debe proporcionar una sustentación estable, las cualidades mencionadas se pueden obtener mediante un mejoramiento mecanico o una estabilización química.

Estabilización.

Para entrar al estudio del tema es necesario explicar en que consiste la estabilización de bases de caminos, estriba esencialmente en dar a este determinadas cualidades de resistencia y plasticidad que le hagan capaz de conservarse en el tiempo bajo determinadas condiciones de carga.

Las características requeridas en el suelo se pueden obtener por mejoramiento mecánico o estabilización química.

El mejoramiento mecánico, se realiza por medio de la mezcla de dos materiales naturales, en este tipo de estabilización no se lleva a cabo reacción química entre los componentes de la mezcla, en la estabilización química si se produce reacción entre los componentes del suelo y el producto industrial agregado.

Base natural para suelos que pretendan emplearse en la construcción de base o de subbase en caminos y no reunan las características de valor cementante requerido, es conveniente la adición de cantidades pequeñas de materiales cuya fracción fina presenten un indice plastico menor de 16% o sea, contracción lineal menor de 6%.

Generalmente se emplean para proporcionar cementación, arenas-limo-arcillosa de origen calizo o de silicatos en proporciones que de 10 a 20% es importante el control de la

C A P I T U L O I I I

BASE Y SUB-BASES ESTABILIZADAS

cantidad el material cementante para producir mezclas con un valor relativo de soporte y plasticidad dentro de especificaciones. (fig. 3.1)

3.1.- Estabilización con cal.

Los componentes fundamentales de la cal son las rocas calizas, calcitas o dolmíticas, la caliza es derivada de las rocas calcáreas, cuyo contenido es de aproximadamente un 90 a un 95% de carbonato de calcio y las calcitas o dolmíticas se obtienen de las rocas dolmíticas con un contenido aproximadamente de 35% de carbonato de magnesio promedio del mineral y el sobrante de carbonato de calcio.

La estabilización se debiera hacer solo con productos calcinados, no con piedra caliza pulverizada, ya que mientras la cal, y la cal hidratada reaccionan químicamente con el suelo, la caliza (carbonato de calcio) es inerte químicamente.

En suelos y bases con contenido de arcilla lo mas comunmente usado para su estabilización es la cal en presencia de humedad la reacción de la cal con los materiales arcillosos es de dos tipos, primero ocurre un cambio básico, con los cationes de calcio de la cal, desplazando a los cationes de sodio, hidrogeno y otros.

Inmediatamente después hay un efecto aglomerante o floculante, aglutinando las particulas finas de arcillas, en forma de arena y arcilla más gruesa propiciando partículas mas desmoronables y fáciles de trabajar.

Después de una compactación y curado, se desarrolla una cementación muy definida y/o endurecimiento porque la cal reacciona químicamente con la arcilla silicosa (óxido silícico) existente con los óxidos de aluminio dando silicatos y aluminatos complejos.

Generalmente la cal tambien reacciona con la mayor parte de los limos, lamas y con muchos suelos granulares siempre cuando estos materiales contengan un mínimo de 10% de arcilla.

Los suelos que responden a la reacción con cal, tienen un rango de índice plástico de 10 a 50%, siendo una excepción los suelos altamente orgánicos, sin embargo hay algunos suelos que tienen un I.P. menor de 10% y que también reaccionan con cal.

La grafica que presentaremos en la siguiente pagina fue tomada de las especificaciones y métodos de prueba de AASHTO, y presentan una guía general para determinar porcentajes de cal.

Efectos de la cal en suelos arcillosos.

La cal cambia las características físicas de la mayor parte de los suelos arcillosos en varias formas a saber:

1).- El índice de plasticidad se abate rapidamente (en algunos casos, hasta en más de la cuarta parte), esto es debido a que generalmente el límite líquido disminuye y el límite plástico aumenta.

2).- El suelo se aglomera, disminuyendo substancialmente el contenido de finos (principalmente de partículas menores de 0.42 mm malla No.40).

3).- La cal y el agua aceleran la disgregación de grumos de arcilla durante la mezcla, como resultado de los efectos de los puntos anteriores, el suelo se vuelve desmoronable o disgregable y puede ser trabajado facilmente.

4).- La cal ayuda a secar los suelos humedos en forma rápida por lo que acelera la operación de compactación.

5).- La capa estabilizada con cal forma una barrera resistente al agua, impidiendo la penetración de humedad por gravedad y por capilaridad a través del subsuelo.

Tabla 3.1.- Comparación aproximada de datos de las pruebas de estabilidad con o sin cal.

SIN TRATAR					
Tipo de suelo	TRIAxIAL (%)	VRS (%)	Valor de	Valor de R	Cohesímetro de K
Arcilla	5.5	2	20	100	----
Arcillosos	4.5	5	35	150	----
Arcilla-arenosa	3.7	12	50	200	----
Suelo granular I.P. 8+	3.2	30	65	200	----
Grava arcillosa I.P. de 6 a 10	2.6	50	75	400	----

TRATADA CON CAL					
Tipo de Suelo	Triaxial (%)	VRS (%)	Valor de	Valor de R	Cohesímetro de K
Arcilla	3.2-3.5	15-30	55-69	250-350	350-850
Arcillosos	2.9-3.4	20-40	60-75	450-700	450-700
Arcilla-arenosa	2.4-3.0	35-60	65-80	550-850	550-850
Suelo granular I.P. 8+	1.5-2.7	50-75	70-80+	450+	650+
Grava arcillosa I.P. DE 6 a 10	1.0-1.6	70-100+	80+	500+	800+

a).- Clasificación por resistencia triaxial.

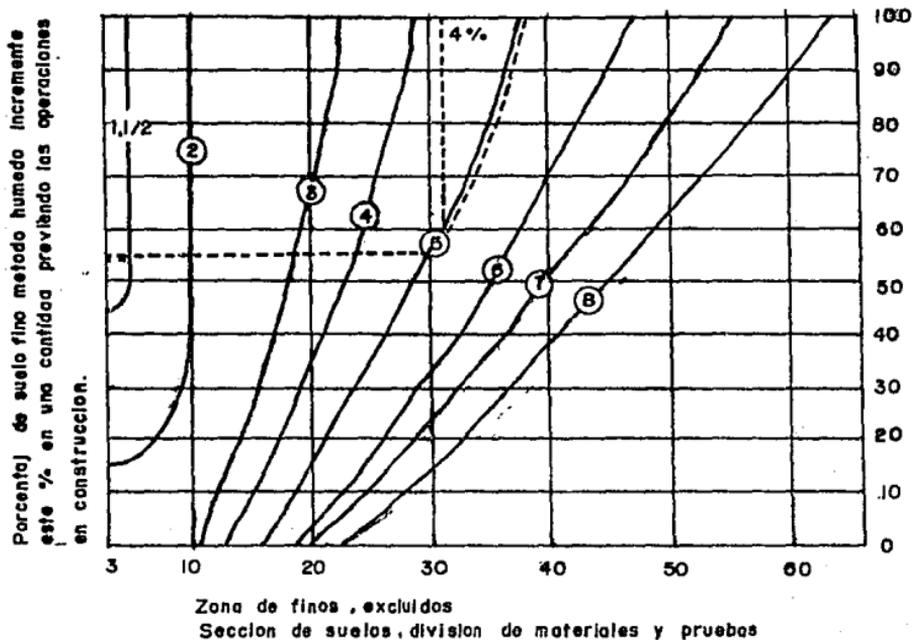
Es un valor determinado por una prueba de corte en forma triaxial, en la cual el espécimen clínico del suelo, envuelto en una membrana impermeable, se sujeta a una presión confinante y se carga axialmente hasta fallar.

En este caso mientras mas baja es la clasificación, más alta es la estabilidad.

b).- V.R.S.- Valor Relativo de Soporte.

Mide la resistencia a la penetración de un cilindro o

I Pr METODO HUMEDO



GRAFICA 3.1

piston de 5.08 cm (2 ") de diametro.

c).- Valor de R.

Valor de resistencia, es una medida de la estabilidad de los suelos y materiales de pavimentación, se determina por medio de un instrumento llamado estabilometro: representa la resistencia de un material a la deformación plastica, reflejando su capacidad de carga.

d).- Valor de K.

Se usa para designar la capacidad de cargar de una subrasante o capa de pavimento basada en una prueba de placa de carga; el termino se usa también como modulo de reacción de la subrasante.

e).- Cohesimetro.

Se usa para determinar el esfuerzo a la tensión.

La tabla esta basada en el uso de 4 a 6% de cal para suelos arcillosos y de 2 a 4% para materiales granulares y grava arcillosa.

Los valores de la prueba triaxial y del cohesimetro se determinaron después de curar aproximadamente el especimen durante 18 días en el laboratorio, el VRS con 4 días de curado (saturado) y el valor de R de 2 días de curado.

Los valores de estabilidad de especimenes tratados con cal, se incrementan marcadamente con mayor tiempo de curado especimenes 2 días, seran el doble de las obtenidas sin curar.

Este curado, acelerado correspondera a 30 o 45 días de curado en epoca de verano.

La grafica No.3 nos muestra las cantidades de cal recomendadas para estabilización de subrasantes y bases.

Estos porcentajes de cal hidratada con respecto al peso seco del suelo se sacan entrando con el I.P. en la parte superior, lea la cantidad para 100% de suelo fino, desde las curvas, siga la curva hacia abajo hasta encontrar el % de suelo fino.

Desde esta intersección trace una linea vertical y lea en la parte superior el % de cal correspondiente a la curva,

ejemplo:.... para I.P =39, 55% material menor de la malla No. 0.420 (40).

El diagrama excluye el uso de materiales con un contenido menor del 10% de suelos que pasan la malla No.0.420 y material cohesivo (IP menor de 3) .

Porcentaje de cal relativamente pura, generalmente con 90% o mas de hidroxido de calcio y/o magnesio y 85% o mas del material que pasa la malla No.0.074 (200), los porcentajes indicados son para estabilización de subrasantes y bases en donde se espera tener los resultados en la estabilización.

Algunas veces se obtienen resultados temporales satisfactorios con el uso de la mitad de los porcentajes indicados.

3.2.- Estabilización con cemento.

Los componentes del cemento son gran cantidad de calcio obtenido de la caliza magra o creta, con partes de silice y aluminio extraido de las arcillas, pizarra y escoria, se adicionan una pequeña cantidad de yeso para el control de hidratación al reaccionar el agua con el cemento.

Los elementos señalados anteriormente, se mezclan y se muelen la mezcla se calcina a una temperatura de 1450 C sobre hornos rotatorios para producir finalmente clinker.

Este último da como resultado de la reacción, silicato bicalcico y tricalcico y finalmente el ferrito, el comportamiento del producto en seco es estable; en presencia de agua comienza una hidratación en las particulas disueltas que al estar en reposo, se cristalizan para proseguir con el fraguado en un determinado tiempo y dar lugar al endurecimiento de la mezcla, el fraguado puede retardarse o acelerar con algun regulador de fraguado, también se tiene que el clima juega un papel muy importante en el fraguado, ya que en un clima caluroso el fraguado es rápido exigiendo un incremento grande en la cantidad de agua y en clima frio baja el desarrollo del fraguado por la lenta hidratación producida al reaccionar con el agua .

Previamente diremos, que se pueden realizar dos tipos de estabilizaciones con cemento, las del tipo flexible y las de tipo rígido, en las primeras la función del cemento, es la de neutralizar la arcilla por acciones físico-químicas, y en la segunda el cemento proporciona al suelo una elevada resistencia que le permite una vez compactado, trabajar en forma el pavimento de concreto hidráulico.

El porcentaje de cemento usado estará en función de la finura y plasticidad del suelo y aproximadamente varía entre el seis y el catorce por ciento del peso del suelo seco. (fig. 3.3).

En general, casi todos los suelos pueden ser tratados con cemento portland, mencionaremos a continuación algunos de ellos, así como también los requisitos que deberán cumplir para su estabilización flexible o rígida respectivamente.

a).- Suelos de arena y grava se pueden tratar con contenidos de cemento, si contienen 55% o más de material que pasa la malla No.4 y 100% para la malla No.75.0 (3"), con menos de 10% de fino.

b).-Materiales bien graduados hasta con un 65% de material retenido en la malla No.4 y con suficientes finos para endurecimiento apropiado con el cemento.

c).-Suelos limosos y arcillosos pueden presentar buenas características con material estabilizado, solo que mientras más arcilla tenga el suelo será más difícil su pulverización y requiere de una mayor cantidad de cemento.

d).-Suelos arenosos y con grava que contengan de 10 a 35 % de limos y arcillas, presentan una mayor necesidad de estabilización requieren de una menor cantidad de cemento.

La práctica que se ha obtenido al estabilizar suelos con cemento ha arrojado una serie de resultados satisfactorios para incrementar la resistencia a la compresión simple.

Las pruebas a la compresión simple se realizan a diferentes contenidos de cemento de los resultados de las pruebas se selecciona el porcentaje conveniente para efectuar la estabilización.

Las mezclas que se hicieron en Gran Bretaña con 3.5 y 4.0% de cemento con un suelo con un bajo contenido de finos

relación de vacíos mínima, se obtuvo una resistencia a la compresión simple aceptable, en otros casos cuando el porcentaje de finos es mayor al 30 % se ha tenido que agregar hasta un 8% de cemento para lograr el mismo resultado en la resistencia.

En la tabla No.3.1 se muestra la variación de la resistencia a la compresión simple en un suelo-cemento en función de la edad y del porcentaje de cemento.

Los datos son obtenidos en el estudio emprendido por el centro de ensayos de Rouen sobre tramos experimentales con mezclas de gravas con arcillas y pequeñas cantidades de limos.

La resistencia a la compresión simple medidas en el laboratorio fueron las siguientes:

EDAD	DOSIFICACION DE CEMENTO		
	2%	4%	6%
1 día	25.0 kg/cm ²	44.0 kg/cm ²	36.0 kg/cm ²
7 días	43.0 kg/cm ²	82.0 kg/cm ²	110.0 kg/cm ²
14 días	49.0 kg/cm ²	107.0 kg/cm ²	141.0 kg/cm ²

Corresponden a la variación de la resistencia a la compresión simple en mezclas de gravas con arcillas y limos en función de la edad y el porcentaje de cemento, estas resistencias se obtuvieron en tramos experimentales en el centro de ensayos de Rouen.

Especificaciones para estabilizaciones del tipo flexible, que son aquellas en los que se mezcla el material petreo en pequeñas cantidades de cemento portland con puzolanas, cuyo objetivo es disminuir la plasticidad del material por estabilizar.

- a).- El material por estabilizar no debera contener más del 3% de materia orgánica.
- b).- Los materiales estabilizados con cemento portland que se usan en la construcción de bases deben cumplir con las normas de materiales para bases naturales de la S.C.T.
- c).- Los materiales estabilizados deberan compactarse en

la carretera, aeropistas o zonas urbanas a 95 % de P.V.S.M. salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación.

Estabilización del tipo rígido.

Para la estabilización del tipo rígido de suelos con cemento que se pretendan emplear en la construcción de bases para camiones; la S.C.T. indica que el porcentaje de cemento a emplear sea aquel con el cual se obtenga una resistencia a la compresión simple de 52 kg/cm² en especímenes elaborados según los lineamientos de la prueba porter, los especímenes antes de ser probados deberán permanecer con todo y molde en una cámara húmeda para efectuar su curado durante un periodo de siete días.

Para la elaboración de los especímenes se tomara una muestra representativa del material, utilizando las cantidades siguientes cemento del 2.5% al 5% que se expresan como porcentaje en peso de suelo seco, para el curado de los cilindros cuando no se dispone de una cámara húmeda se puede envolver en arena húmeda.

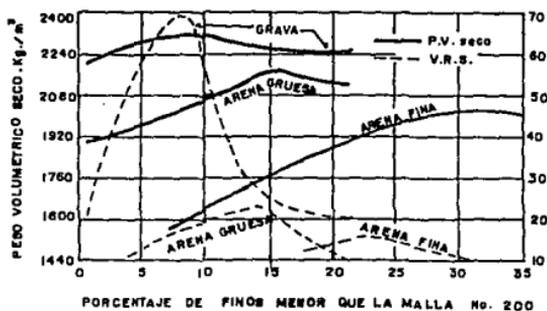
3.3.- Estabilización con productos asfálticos.

En general, podemos clasificar a los suelos por su comportamiento mecánico en suelos cohesivos que son los que resisten la tracción y el esfuerzo cortante y los suelos no cohesivos que son incapaces de resistir los citados esfuerzos.

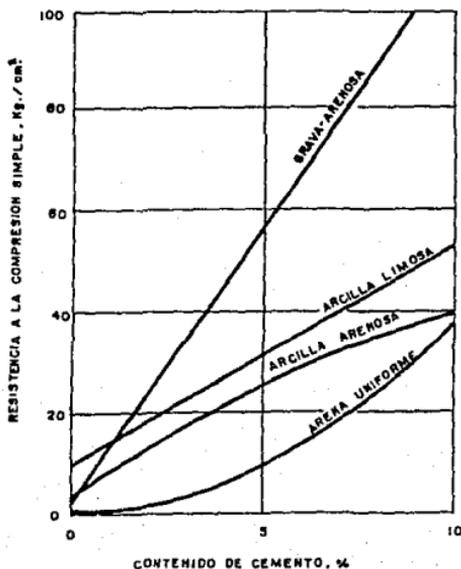
El producto asfáltico (rebajado asfáltico, cemento asfáltico o emulsión asfáltica), actúa de manera diferente según se trate de un terreno cohesivo o no cohesivo, a continuación explicamos cada uno de estos casos.

En los terrenos cohesivos, el ligante asfáltico envuelve los elementos de menor tamaño rodeados por su agua absorbida o envuelve los elementos mayores y ocupa los conductos capilares, oponiéndose con su viscosidad, superior a la del agua absorbida y a los movimientos de la humedad en los espacios intersticiales. (fig.3.3)

Además el cemento combina su acción con la acción mecánica de los elementos arcillosos, que deben aprovecharse al máximo con el fin de evitar un consumo demasiado elevado de cemento.



VALORES OPTIMOS DEL CONTENIDO DE FINOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL PESO VOLUMETRICO SECO Y EL V.R.S. (FIG. 3-1)



VARIACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE, DE ESPECIMENES ESTABILIZADOS CON CEMENTO EN DIVERSOS SUELOS TÍPICOS. (FIG. 3-2)

En los terrenos no cohesivos, como los muy arenosos, mediante el asfalto se obtiene una cohesión permanente que se debe fundamentalmente a la consistencia propia del asfalto y su adherencia a las partículas minerales.

Este tipo de estabilización se obtiene mezclando a la masa del terreno un ligante asfáltico adecuado, que puede ser cemento asfáltico un rebajado o una emulsión de rotura lenta. fig. 3.4)

Criterios para poder determinar cuando se pueden emplear productos asfálticos en la estabilización.

Como norma general, y sin entrar en muchos detalles podemos decir que en los materiales puramente arcillosos, la estabilización con ligante asfálticos pueden resultar antieconómica, mientras que siempre resultara ventajosa la estabilización con ligante asfáltico resulta muy conveniente.

Naturalmente en la realidad no solo nos encontramos con materiales puramente arenosos, ni puramente arcillosos si no con tipos intermedios caracterizados en su posición entre ambos extremos por su índice de plasticidad y por su contenido de finos.

Proseguimos con algunas consideraciones para determinar el tipo de ligante, tomando como base los conceptos anteriores.

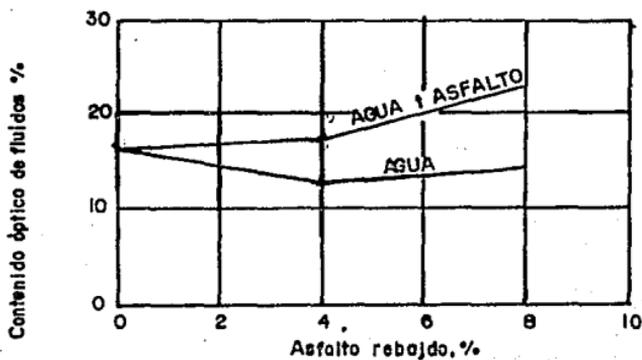
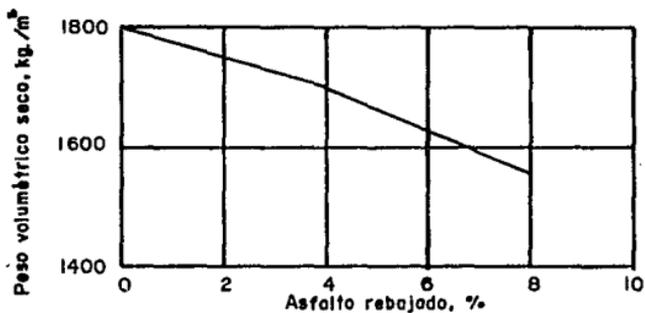
Cuando el índice de plasticidad es mayor que 8 no es aconsejable una estabilización con un producto asfáltico.

Cuando el índice de plasticidad es menor a 4 se obtendran excelentes resultados al estabilizar con algun producto asfáltico.

Cuando el material cribado a través de la malla No. 20 es menor del 15% puede procederse a la estabilización con ligante asfáltico con absoluta seguridad.

Elección del tipo de ligante.

El tipo de ligante a emplear en la estabilización del suelo depende fundamentalmente de las características de este.



VARIACION DEL PESO VOLUMETRICO SECO Y DEL CONTENIDO OPTIMO DEL AGUA, EN ESPECIMENES ESTABILIZADOS CON ASFALTOS REBAJADOS.

Para suelos muy arenosos con índice de plasticidad igual o menor que 5 que prácticamente carecen de plasticidad y a los que el ligante asfáltico empleado debe darles toda la cohesión necesaria, deben emplearse para la estabilización rebajados de fraguado rápido o emulsión asfáltica.

De este modo al producirse rápidamente el fraguado del ligante se obtiene también rápidamente la cohesión necesaria para proceder a las operaciones de compactación y en su momento abrir el camino al tránsito.

Aunque hemos indicado que esto puede conseguirse gracias al fraguado rápido de los materiales, no puede entenderse en modo alguno que la emulsión a emplear debe ser de rotura rápida.

La emulsión ha de ser de ruptura lenta, ya que al proceder a la mezcla con elementos muy finos, solo este tipo tarda en romper lo suficiente para el mezclado conveniente de los materiales.

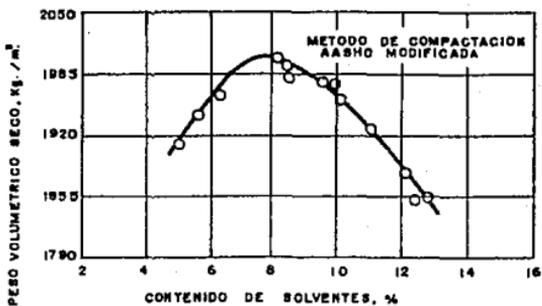
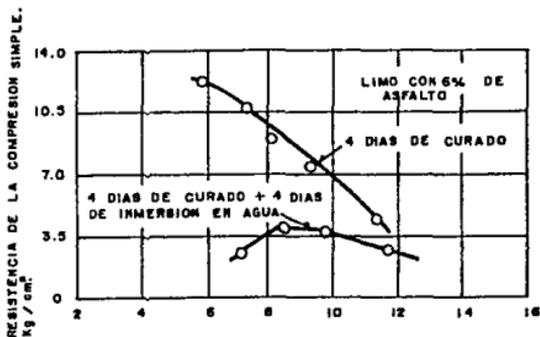
Si el suelo ha estabilizar tiene un índice de plasticidad comprendido entre 6 y 10, quiere decir que posee por sí solo cohesión suficiente para permitir en principio las operaciones de extendido y compactación.

Para terrenos de índices de plasticidad superiores a 10 cuya cohesión, es en general, suficiente durante toda su vida para cumplir su misión en un pavimento y en los que al fin de la estabilización se reduce fundamentalmente a una impermeabilización que mantenga el contenido de humedad del suelo en valores próximos al óptimo.

También son factores importantes a tener en cuenta en la determinación del tipo de ligante a emplear las condiciones atmosféricas permisibles durante la realización de la obra.

La estabilidad de las mezclas asfálticas ante el agua es una característica preponderante, que se busca estabilizar con asfalto a suelos finos cohesivos.

Se pone de manifiesto que cuando el contenido de asfalto aumenta, la estabilidad de la mezcla ante el agua también aumenta hasta que los solventes adicionados al asfalto rebajado aumenta en exceso la parte líquida de la mezcla la vuelven excesivamente plástica y poco resistente, es notorio que esto representa un límite el cual no conviene rebasar, pues lo que se gana en estabilidad se pierde en resistencia.



EFFECTO EN EL PESO VOLUMETRICO SECO Y EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE, DEL CONTENIDO DE SOLVENTES EN ESPECIMENES ESTABILIZADOS CON ASFALTO (FIG. 3-5 y 3-6)

C A P I T U L O I V

**LINEAMIENTOS SOBRE RECUPERACION Y RECICLAJE
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

4.- Lineamientos sobre recuperación y reciclaje de pavimentos flexibles.

El objetivo de este procedimiento de diseño preliminar es para permitir a los ingenieros empezar con una rutina de diseño de las mezclas que involucran cementos asfálticos deteriorados reciclados.

Los resultados preliminares indican que las mezclas asfálticas recicladas pueden ser tratadas por medio de la adición de asfalto y/o agentes reciclantes para producir un material que exhiba propiedades ingenieriles satisfactorias.

Para la rehabilitación de un pavimento ya sea flexible o rígido deberemos ver la selección de alternativas más adecuadas tomándose en cuenta la historia y descripción física del pavimento, todo esto mediante una inspección, evaluación y análisis para establecer las causas probables de los desperfectos del pavimento.

Los datos que obtengamos de las pruebas de campo, como las de laboratorio serán un factor de evaluación.

Otro de los factores a tomar en cuenta será el ambiente y localización de la obra, la experiencia que se tenga, equipo disponible, comportamiento, distancia a la fuente de los agregados y el aglutinante.

La prioridad que tenemos en analizar las alternativas de reciclamiento, diseño, tanto de las mezclas como de la estructura misma como de los modificadores asfálticos.

Ver la factibilidad de ahorros y costos con el reciclado y la comparación entre métodos, costos y comportamiento por medio de los métodos convencionales.

Llevar a cabo la construcción bajo las especificaciones de control de calidad establecidas por la S.C.T. para terracerías como materiales y productos asfálticos.

Evaluación de resultados y objetivos trasados esto es de los métodos de construcción así como del comportamiento del pavimento, todos estos conceptos son los lineamientos en los cuales debemos basarnos para el reciclamiento.

La expansión, rehabilitación y mantenimiento de cualquier sistema de transporte depende de los recursos fiscales para financiar el sistema, la tecnología para planear, diseñar, construir y mantener el mecanismo en una manera económica, suministro de agregados y aglomerantes, equipo y recursos humanos con los cuales construir y mantener las instalaciones.

Los estados y los municipios responsables de las vías de comunicación se enfrentan a un número de problemas que incluyen:

- 1).- Una reducción de los fondos disponibles para la construcción de nuevas vías de circulación.
- 2).- Problemas de suministro de materiales ocasionados por la falta de fuentes de abastecimiento cercanas al lugar de su uso, inaccesibilidad, mayores distancias de acarreo y costos de transportación.
- 3).- Problemas de disponibilidad de equipo originados por presupuestos reducidos, el alto costo de nuevo equipo, etc.
- 4).- Problemas de mano de obra resultantes de los bajos salarios que con frecuencia causan problemas también de deficiencia en operadores de equipo entrenados y empleados calificados.
- 5).- Problemas de energía asociados con la disponibilidad de combustible y su costo.

Debido a estos problemas y otros, existe una urgente necesidad de optimizar el uso de agregados, aglomerantes, equipo, mano de obra, energía y fondos desde los puntos de vistas de planeación, diseño construcción, rehabilitación y mantenimiento.

Una solución a estos problemas de transportación, es la reutilización y mantenimiento como proposito, el reciclaje de materiales de pavimentos (tales como concretos asfálticos y concreto de cemento portland); y materiales de carreteras.

El reciclado de agregado en el viejo pavimento y el uso de subproductos y productos de desecho por reconstrucción, rehabilitación o propósitos de mantenimiento disminuirán la demanda de agregado y engrandecerá la existencia de agregados para la construcción en un momento en que sus fuentes (particularmente las cercanas a las áreas urbanas) están vaciándose debido a su gran uso, restricciones de

minado, regulaciones de protección al medio ambiente.

El reciclaje puede contribuir a la preservación del medio ambiente mediante la reducción del monto de nuevos materiales requeridos para uso en carreteras.

4.1.a.- Reciclaje de materiales de pavimento.

El reciclaje o la reutilización de los actuales materiales de pavimento para la rehabilitación, construcción y mantenimiento de pavimento no es un concepto nuevo, una gran variedad de planteamientos se han dado desde los años 30's.

La clasificación de los planteamientos sobre reciclaje estan generalmente en:

- a).- Los procedimientos de reciclaje utilizados.
- b).- El tipo de materiales de pavimentos a ser reciclados y los productos terminados derivados de esos materiales.
- c).- El beneficio estructural a ser obtenido con el planteamiento de reciclado.

Cada una de estas categorías tiene su propio al describir el propósito y aplicabilidad de un determinado tipo de reciclaje.

Reciclaje de superficie - retratamiento de la superficie de un pavimento a una profundidad de menos de 1" pulg., (25 mm) mediante aparatos de calentamiento - nivelación, calentamiento-escarificado, remoción en caliente, nivelación en frío o remoción en frío, esta operación es un proceso continuo de paso simple y de etapas múltiples que pueden implicar el uso de materiales nuevos, incluyendo agregado o mezclas.

Reciclaje de superficie y base en el lugar de trabajo-pulverización a una profundidad mayor que 1" pulg. (25 mm) en el lugar de trabajo, seguida por remoldeo y compactación, esta operación puede ser llevado a cabo con o sin la adición de un estabilizador.

Reciclaje en planta-central-escarificado del material de

pavimento retiro del pavimento de la carretera antes o después de la pulverización, procesamiento del material con o sin un estabilizador o modificador, tendido y compactación al grado deseado, esta operación puede implicar la adición de calor, dependiendo del tipo de material utilizado.

El reciclaje de pavimentos es una de muchas alternativas de rehabilitación o mantenimiento de entre las cuales el ingeniero debe seleccionar; la selección de una alternativa depende del deterioro del pavimento, sus problemas, causas, el aspecto económico y la información del proyecto.

Los siguientes factores deben ser considerados:

- a).- Historia de los requerimientos y costos de mantenimiento del pavimento.
- b).- Historia del rendimiento del pavimento.
- c).- Controles geométricos horizontales y verticales.
- d).- Factores medio-ambientales.
- e).- El tráfico.

Una vez que ha sido seleccionado el reciclaje como una posible alternativa de rehabilitación, se inicia el proceso de selección de la operación específica de reciclaje, deben llevarse a cabo un limitado número de pruebas de laboratorio y de campo para establecer los recursos materiales disponibles en el pavimento y los estabilizadores que pueden ser utilizados con estos materiales.

A partir de esta información preliminar, las alternativas potenciales de reciclamiento pueden ser seleccionadas y asimismo desarrollarse los diseños de pavimentos y los análisis económicos.

En base a esta información, se seleccionan las alternativas de reciclaje más promisorias, se desarrollan pruebas detalladas de laboratorio para establecer el contenido del estabilizador y se diseña el corte del pavimento.

Los requerimientos de energía para la operación de reciclaje deben ser determinados, las especificaciones de la construcción preparadas y la operación de reciclaje llevada a cabo.

4.1.b.- Reciclaje de superficie.

El reciclaje de superficie difiere de otras categorías generales de reciclaje en el que se involucra el tratamiento de la superficie de un pavimento a una profundidad menor a 1" pulg, (25 mm) (a menos que se efectuen pasos múltiples).

Así el reciclaje de superficie tiene una efectividad limitada en reparación de caminos asperos o caminos severamente surcados por el incremento vehicular eso hace incrementar la carga del pavimento.

Sin embargo, el reciclaje de superficie es actualmente la forma más popular de reciclaje, ya que a un costo razonable puede tratar una gran variedad de deterioro de pavimentos.

Los datos ilustran la utilidad del calentamiento-escarificado más una capa superpuesta para reducir el agrietamiento por reflexión, otras ventajas del reciclaje parecen ser la habilidad para fomentar una cohesión entre el camino viejo y una capa superpuesta delgada y para proporcionar una transición entre la nueva capa superpuesta y las cunetas, puentes, pavimentos, etc.

El material retirado mediante nivelación y remoción puede ser utilizado nuevamente en bases estabilizadas o inestabilizadas así como en espaldones y en superficies estabilizadas.

La evolución del equipo de reciclaje de superficie nos indica que tres de las unidades originales de calentamiento-nivelado fueron desarrolladas en California en los años 30's, una unidad fue un calentador remolcado con un semi-trailer detrás de un trailer de camión, seguido por un nivelador independiente.

Una segunda unidad fue un calentador y nivelador combinados.

Una tercera unidad fue un calentador montado sobre un nivelador la cuchilla del nivelador en esta unidad fue sustituida por una cuchilla de una alisadora de asfalto.

4.1.c.- Calentamiento-Nivelado.

Los calentadores - niveladores han sido usados principalmente para el mantenimiento del nivel longitudinal del pavimento y su pendiente transversal, otros usos incluyen el retiro de pavimento de los puentes para reducir el peso muerto; manteniendo los pasos libres apropiados en tuneles, pasos a desnivel y puentes de semaforo, retiro de sellos diseñados o construidos inapropiadamente.

Una aplicación única del calentador-nivelador es usar las unidades de calentamiento para ayudar en actividades de mantenimiento correctivo para pavimentos con escasa resistencia al patinaje, se puede esparcir una capa de agregado antibrillo con un esparcidor de cascajo de capas sellante convencional.

La unidad de calentamiento entonces calienta el pavimento y es seguida por una aplanadora rueda de acero para embutir el agregado dentro de la superficie del pavimento viejo.

4.1.d.- Calentamiento-Escarificado.

Las operaciones de reciclaje usando el calentamiento-escarificado se presenta de varias formas, las operaciones básicas consisten en preparación, calentamiento y escarificado de la superficie; agregar materiales adicionales si se requieren compactación, hacer ajustes finales a cajas de registros y estructuras de drenaje y apertura al trafico de la obra terminada.

La aspereza de la superficie del pavimento puede ser eliminada a fin de lograr una superficie lisa para una nueva capa de desgaste y consecuentemente elimina o reduce el monto de la capa de enrase requerida, la cohesión entre el viejo pavimento y la nueva capa superpuesta de concreto asfáltico también puede ser mejorada con el uso del calentador-escarificador o un calentador-nivelador inmediatamente antes de la capa superpuesta.

Los sistemas de calentamiento al igual que aquellos de los dispositivos de calentamiento-nivelado, se presentan tanto como emisores de calor radiante o como quemadores estan encerrados por un cofre que dirige el calor a la superficie del pavimento.

Para aflojar y procesar el pavimento calentado se usan cuchillas de acero tipo carburo sobre escarificadores montados en resorte o escarificadores accionados por bolsas de aire.

Con los calentadores-escarificadores frecuentemente se incluyen cuchillas de arrastre hechas de acero para ayudarse en el nivelado y para reunir el material excedente en un monton para facilitar su carga posteriormente.

4.1.e.- Remoción en caliente.

La remoción en caliente no ha sido utilizada extensivamente el proceso esta limitado a carreteras de superficie asfáltica y es ejecutado por las mismas razones dadas en la sección de remoción en frío mas adelante.

La maquina de remoción en caliente fabricada por Wirtgen, la Millars Mark II Road Razer ha sido utilizada en Inglaterra.

4.1.f.- Nivelado en frío.

Los propositos principales del nivelado en frío son remover corrugaciones y otras fallas de estabilidad, reducir la cantidad de arrasado y remover sellos diseñados o contruidos inapropiadamente la apariencia y la ejecución del nivelado en frío en muchos de los casos no son tan satisfactorias como las de la tecnica de calentamiento nivelado.

El equipo que normalmente se utiliza para el nivelado en frío es una motoconformadora con cuchillas de acero reforzado.

4.1.g.- Remoción en frío.

La remoción en frío ha sido practicada tanto en caminos de superficie asfáltica como en los de superficie de concreto cemento portland, el principal proposito de la remoción es la remoción o eliminación de la superficie deteriorada; de cualquier forma los removedores pueden ser utilizados para capas de base inestabilizada o base estabilizada o capas de

superficie.

Las remociones pueden ser trabajadas tanto en el lugar de trabajo como en plantas centrales.

Los tipos de deterioros que pueden ser tratados por medio de remoción en frío incluyen surcos, desmoronamiento de bordes, arrasado y corrugaciones de pavimentos de superficie asfáltica, descascaramiento, fallamiento, astillamiento de pavimentos de superficie de concreto de cemento portland.

La remoción en frío tiene aplicaciones adicionales que incluyen reparación de caminos de rodaje aspero, mejoría de la resistencia al patinaje y preparación de superficies de concreto asfáltico o de cemento portland para recibir la capa superpuesta.

La peculiaridad del control automático de nivel con que cuentan muchas de las máquinas de remoción en frío permite la posibilidad de mejorar el rodaje.

Casi todas las operaciones de remoción mejoran la textura de la superficie de la carretera y comprime la superficie expuesta del agregado.

La mejoría de la resistencia al patinaje puede sin embargo, ser solo temporal si el agregado es susceptible al brillo, la textura mejorada de la superficie del pavimento también incrementará la cohesión o la resistencia al corte entre la superficie vieja y la nueva capa superpuesta.

La máquina de remoción en caliente requirió la adición de un nivelador para disponer el material en camiones y ocasionalmente un cucharón cargador frontal.

4.1.h.- Reciclaje de superficie y base en el lugar de trabajo

El reciclaje en lugar de pavimentos viejos de concreto asfáltico y concreto de cemento portland no es un nuevo concepto, se ha utilizado equipo de construcción convencional como bulldozers, compactadores vibratorios, etc; para triturarse el pavimento viejo y combinarlo con una porción de la base o subbase existente para formar una capa estructural reconstituida.

Los estabilizadores tales como cal, cemento, asfalto y otros químicos han sido utilizados en estos procesos.

4.1.i.- Reciclaje en planta central.

El reciclaje de superficie y base en planta central se ha practicado en los últimos años, el pavimento y los escombros de construcciones han sido triturados y utilizados tanto como capas de asiento (bases y subbases).

Los procesos involucran el uso de calor adicional en plantas centrales y el cemento asfáltico como estabilizador tiene un tremendo futuro en nuestro país, ya que el 10% del mercado de mezcla caliente de concreto asfáltico será proveído por operaciones de reciclaje en caliente de plantas centrales en los próximos años.

El pavimento puede ser reducido de tamaño en el lugar y luego acarreado a la planta central.

La remoción y reducción ya sea en el lugar o sobre la marcha del nivelado pueden ser llevadas a cabo con equipo normalmente destinado al reciclaje en el lugar y de superficie específicamente, máquinas de remoción en caliente y en frío, equipo de calentamiento-nivelado y pulverizadoras que trabajan sobre la marcha del nivelado.

4.1.j.- Técnicas de reciclaje en planta central.

El equipo para procesar centralmente en caliente el material reciclado ya existe actualmente y para efectos prácticos puede ser separado en tres categorías generales:

- a).- Calentamiento a flama directa.
 - b).- Calentamiento a flama indirecta.
 - c).- Agregado sobrecalentado.
- a).- Calentamiento flama directa

Tipicamente se lleva a cabo en una mezcladora circular en la que todos los materiales son mezclados simultaneamente en un tambor giratorio con una flama en un extremo.

b).- Calentamiento a flama indirecta.

El calentamiento a flama indirecta ha sido llevada a cabo con mezcladores circulares especiales equipadas con tubos intercambiadores, estos tubos que transfieren los gases que impiden que las mezclas tengan un contacto directo con la flama y temperaturas extremadamente altas.

c).- Agregado sobrecalentado puede ser empleado para calentar material bituminoso reciclado, aquí también se pueden utilizar mezcladoras circulares en tandem, el primer tambor puede ser empleado para sobrecalentar el agregado nuevo.

El segundo tambor puede entonces ser usado ya sea para calentar la mezcla reciclada o para mezclar y calentar los materiales nuevos y reciclados.

Sin calentamiento.

La versión final de reciclaje en planta central a ser tratada sin adición de calor, se pueden obtener altas tasas de producción con este tipo de plantas utilizando cal, cemento o asfalto como aglomerante.

Esta operación en frio de reciclaje en planta central puede usar hasta cerca del 100% de materias bituminosas recicladas.

4.2.- Ventajas y desventajas de las técnicas de reciclamiento.

a).- Ventajas de reciclamiento superficial.

- Reduce el agrietamiento por reflexión.
- Facilita la trabazon entre el pavimento viejo y el recubrimiento delgado.
- Proporciona una transición entre la nueva sobrecapa y la cuneta, puente, pavimento, etc., que resiste el desprendimiento (elimina la incrustación).
- Reduce las zonas asperas.
- Trata una variedad de tipos de desperfectos de pavimentos asfaltos oxidados, fallas) a un costo razonable.
- Mejora la resistencia al derrapamiento.
- Interrupciones mínimas de tránsito.

a.1).- Desventajas del reciclamiento superficial.

- Mejora estructural limitada.
- La vegetación cercana a la carretera puede ser dañada.
- Algunos problemas de contaminación del 80%.
- Reparación limitada de los pavimentos inestables o que fluyen.

b).- Ventajas del reciclamiento en el lugar.

- Mejoras estructurales significativas.
- Trata todo tipo y grados de desperfectos del pavimento.
- Las grietas por reflexión pueden ser eliminadas.
- Se puede mejorar la resistencia a los efectos del congelamiento.
- Mejora la calidad del rodamiento.

b.1).- Desventajas del reciclamiento en el lugar.

- El control de calidad no es tan bueno como en planta central.
- El equipo de pulverización requiere repeticiones.
- Interrupciones de tránsito.
- Costoso.
- No pueden realizarse fusiones de los pavimentos de concreto hidraulico.

c).- Ventajas del reciclamiento en planta central.

- Mejoras estructurales significantes.
- Buen control de calidad.
- Trata todos los tipos y grados de desperfectos del pavimento.
- Las grietas por reflexión pueden ser eliminadas.
- Mejora la resistencia al derrapamiento.
- Mejora la resistencia a los efectos de congelamiento.
- Los problemas geometricos pueden resolverse facilmente.
- Mejor control si debe aplicarse la adición de aglutinante y/o agregados. -Mejora la calidad de la superficie de rodamiento.

c.1).- Desventajas del reciclamiento en planta central.

- Incremento de la desorganización del trafico.
- Puede tener problemas de contaminación del aire en la planta.

El reciclamiento de los pavimentos asfalticos viejos, comunmente requiere consideración especial ya que el aglutinante con frecuencia se endurece y es quebradizo.

Los modificadores (Slurry Oil, Reclamite, Emulsión asfáltica) del asfalto pueden utilizarse para reblandecer estos aglutinantes viejos y así producir mezclas con propiedades similares a la de los materiales asfálticos convencionales.

El método es aplicable tanto para las operaciones de reciclamiento en caliente como en frío e incluye modificadores tales como agentes rejuvenecedores suavizantes, aceites fluidificantes y cementos asfálticos suaves.

El método consiste de los siguientes pasos:

- a).- Evaluación de los materiales recuperados.
- b).- Determinación de la necesidad de agregados adicionales.
- c).- Selección del tipo y cantidad del modificador.
- d).- Preparación y pruebas de las mezclas.
- e).- Selección de las combinaciones óptimas de agregados nuevos y modificadores asfálticos.

Se deben obtener de los pavimentos que van a ser reciclados muestras representativas, las pruebas de extracción y recuperación deben realizarse en cada lugar muestreado, los resultados de esta prueba junto con las mediciones del espesor hechas en los corazones deben ayudar a determinar la uniformidad de la sección bajo consideración para reciclamiento.

Los agregados recuperados de las muestras se deben probar por granulometría, durabilidad (como las pruebas de abrasión de los Angeles), valor de pulido, si es apropiado.

Si las propiedades de los agregados no son adecuadas para la mezcla final especificada, entonces se necesitara agregado adicional para combinarse con la mezcla vieja para cumplir estos requerimientos la graduación no sera adecuada si los pavimentos viejos consisten de capas multiples y diversos tipos de mantenimiento.

El valor de pulido necesita considerarse solamente si la mezcla reciclada se va a utilizar para la carpeta.

Los agregados nuevos pueden adicionarse a la mezcla por uno o más de los propósitos siguientes:

- 1).- Requerimientos para satisfacer la graduación.
- 2).- Requerimientos de resistencia al derrapamiento para las

- carpetas.
- 3).- Problemas de contaminación del aire asociados con el calentamiento, reciclamiento en planta central.
 - 4).- Requerimientos de espesor.

Las normas de graduación para las mezclas recicladas deben ser aquellas requeridas por la S.C.T. para materiales asfálticos.

Para proporcionar la resistencia al derrapamiento inicial y en forma duradera para las carpetas asfálticas recicladas, puede ser necesario combinar el agregado grueso sin pulir con el pavimento reciclado, parece que 40% en volumen de la fracción retenida en la malla No.4 que no esta pulida proporciona la buena textura contra el derrapamiento en las carreteras con volumen de transito de moderado a alto.

Si se requiere colocar el pavimento reciclado con una seccion de mayor espesor de material asfáltico estabilizado, por algun requerimiento especial de diseño estructural del pavimento, puede lograrse combinando agregados nuevos con el material reciclado o con capas adicionales de materiales nuevos estabilizados con asfalto.

La cantidad de asfalto necesaria para lograr el reciclamiento de los materiales puede estimarse de la siguiente ecuacion:

$$1.- D = \frac{V}{T} \frac{D}{R} + \frac{V}{N} \frac{D}{N}$$

donde

$$2.- D = \frac{D}{R} = \frac{D}{CKE} - \frac{A}{R}$$

D_R = asfalto requerido para recuperar el agregado reciclado en por ciento.

D_{CKE} = CKE derivado de los agregados recuperados o reciclados en por ciento.

A_R = contenido de asfalto de los agregados recuperados o reciclados.

D_N = valor del CKE de los agregados recuperados o reciclados en por ciento.

V = volumen de los agregados reciclados en las mezclas.

R

V = volumen de los agregados nuevos en las mezclas.
N

Debe hacerse notar que si no se van a utilizar agregados nuevos la ecuación 1 se convierte en la ecuación 2.

Una primera característica en el diseño de las mezclas recicladas involucra determinar el tipo y la cantidad requerida de aditivo como requerimiento de construcción la viscosidad del aditivo debe ser lo suficiente para humedecerse y penetrar uniformemente el material asfáltico triturado que va a reciclarse.

Requerimiento.

Actualmente no hay un procedimiento disponible para el diseño de las mezclas asfálticas recicladas; las siguientes recomendaciones se basaron en la experiencia obtenida hasta la fecha y son de tipo preliminar en los E.U.A.

El problema de diseño comprende:

- 1).- Hacer que el asfalto tenga su composición química óptima para la durabilidad.
- 2).- Restaurar las características del asfalto hasta una consistencia de nivel apropiado para la mezcla.
- 3).- Cumplir con el requerimiento del contenido de asfalto del procedimiento de diseño de la mezcla.

Los pasos necesarios para el diseño de las mezclas asfálticas recicladas se han subdividido en tres categorías:

- a).- General.
- b).- Diseño preliminar.
- c).- Diseño final.

a).- General.

- a.1).- Determinar la graduación del agregado en la mezcla que se va a reciclar.
- a.2).- Determinar la cantidad de asfalto en la mezcla asfáltica que se va a reciclar.

- a.3).- Determinar las condiciones finales del agregado o sea graduación final despues de la adición de un nuevo agregado.
- a.4).- Determinar el tamaño máximo de las particulas de la mezcla después de la pulverización.
- b).- Diseño preliminar.
 - b.1).- Los objetivos principales de estos procedimientos preliminares son para seleccionar los tipos y cantidades de aditivos que pueden usarse para reacondicionar al asfalto en la mezcla que se va ha reciclar, e involucra la selección de un aditivo que suavice el asfalto existente.

Existen varios materiales, tales como suavizantes comercialmente disponibles o combinaciones de estos materiales.

El primer criterio es para reducir la viscosidad o incrementar la penetración del asfalto hasta que alcance un nivel aceptable o especifico; los pasos basicos de resumen como sigue:

- b.2).- Extraer y recuperar el asfalto de la mezcla que se va a reciclar.
 - b.3).- Mezclar el asfalto extraido con los tipos seleccionados de las cantidades de aditivos.
 - b.4).- Medir la viscosidad y/o la penetración del cemento asfaltico tratado.
 - b.5).- Desarrollar las relaciones entre la cantidad de aditivo y la viscosidad y/o penetración.
 - b.6).- Seleccionar aquellas combinaciones que garanticen la evaluación posterior; esta selección puede basarse en el costo disponibilidad, consideraciones de construcción, confiabilidad y experiencia, etc.
- c).- Diseño final.

Los materiales seleccionados en el diseño preliminar deben evaluarse posteriormente para seleccionar el tipo final y cantidad de aditivo y para determinar el tipo final y cantidad de aditivo y para determinar si los resultados de las propiedades ingenieriles son apetables.

- c.1).- Preparar especimenes por duplicado de las mezclas conteniendo diferentes porcentajes de los aditivos seleccionados aproximadamente determinados en el diseño

preliminar.

c.2).- Las pruebas de acuerdo con las normas usadas en el departamento de carreteras y transportación pública de Texas son:

- c.2.1.)- para base negra compresion sin confinar.
- c.2.2.)- para concreto asfaltico, (estabilometro).

Otras dependencias deben probar empleando sus pruebas estandar.

c.3).- Comparar los resultados con los requeridos en las especificaciones en las mezclas convencionales.

Las pruebas normales usadas en el departamento de carreteras y transportación pública de Texas, dan los siguientes valores:

c.3.1.)- Base negra para el mejor material de base la resistencia a la compresión sin confinar no sera menor de 3.5 Kg/cm² a velocidad lenta Y 7.0 Kg/cm² a velocidad rápida.

c.3.2.)- Concreto asfáltico, estabilidad no menor que 30%.

c.4.)- Prueba de tensión indirecta aplicando carga estatica y carga repetida respectivamente.

c.5.)- Comparar los resultados con los obtenidos para las mezclas convencionales; las propiedades que deben considerarse son:

- c.5.1.)- Resistencia a la tensión.
- c.5.2.)- Modulo de elasticidad (con carga estatica).
- c.5.3.)- Vida util (hasta la fatiga).
- c.5.4.)- Modulo resilente de elasticidad.

c.6.)- Evaluar la trabajabilidad de la mezcla por inspección visual y hacer los ajustes necesarios.

Procedimiento de escarificación en caliente y recubrimiento.

El procedimiento de escarificación en caliente y recubrimiento, se expone en este trabajo bajo los siguientes encabezados:

- I.-Introducción.
- II.-Ventajas del procedimiento.
- III.-Procedimiento de escarificación en caliente y recubrimiento.
- IV.-Descripción del proceso.
- V.-Preparación del pavimento.
- VI.-Especificaciones.
- VII.-Consideraciones para el uso del procedimiento.

I.- Introducción.

El pavimento asfáltico tiene la ventaja particular de ser renovable, los pavimentos construidos con asfalto pueden ser rejuvenecidos aun después de haber servido durante su vida útil de diseño.

Una de las técnicas nuevas más efectivas para renovar los pavimentos asfálticos es la del procedimiento

La aplicabilidad de esta técnica se basa en el hecho de que la oxidación(*), o envejecimiento del pavimento asfáltico ocurre mas rápidamente en la superficie del pavimento la parte que esta mas en contacto con los elementos.

Esto significa que aunque la superficie del pavimento haya perdido alguna resiliencia, y muestre algunos signos de agrietamiento, el asfalto subyacente a la superficie es probable que este en buenas condiciones.

II.-Ventajas del procedimiento.

En algunas circunstancias el procedimiento de escarificación en caliente y recubrimiento puede ofrecer ventajas sobre colocación de un recubrimiento convencional, en la siguiente forma:

-Los pavimentos con deformación moderada de la superficie pueden algunas veces corregirse con el procedimiento de escarificación en caliente y recubrimiento sin la aplicación de una capa de nivelación .

Debido a que dicho procedimiento usa el mismo material en el lugar en el procedimiento de nivelación puede haber una reducción en la cantidad de la mezcla de agregado-asfáltico

aplicada como un recubrimiento.

La colocación de recubrimientos mas delgados significa mayor retención de la capacidad de drenaje de las guarniciones y cunetas del lugar.

La aplicación de calor y reaprovechamiento de las particulas de agregado por medio de la escarificación pueden tener la aparición del agrietamiento por reflexión en el recubrimiento.

Debidamente ejecutado, el procedimiento asegura una trabazón fuerte entre las capas asfálticas nueva y vieja .

(&) La oxidación (envejecimiento) del pavimento es un proceso por medio del cual la composición del cemento asfáltico se altera gradualmente , este cambio, durante varios años, resulta en debilitamiento (fragilidad) de la superficie del pavimento que se manifiesta por agrietamientos y desquebrajamientos.

Nota: Este envejecimiento tambien se presenta al ser manejado varias veces, y al entrar en contacto con el aire.

III.- Procedimientos de escarificación en caliente y cubrimiento caliente se desarrolla como sigue:

- 1.- Se usa una camara de combustión grande para calentar el pavimento hasta suavizar el aglutinante asfáltico.
- 2.- Con un espaciamiento cercano, los dientes de la escarificadora entran en acción haciendo zurcos continuos poco profundos en el material suavizado.
- 3.- Se recompacta el pavimento.
- 4.- Un aditivo liquido se aplica a la superficie del pavimento recompactado.
- 5.- Se coloca un recubrimiento asfáltico .
- 6.- Se compacta el recubrimiento para lograr la firme trabazón entre la capa nueva y la estructura del pavimento viejo.

Frecuentemente hay un retardo de varios dias entre los pasos 4 y 5 ; adicionalmente, hay un procedimiento alternativo en

el cual se omite el paso 3 anterior .

Este procedimiento alternativo tiene una ventaja en que la omisión de la recompactación despues de la escarificación significa que el pavimento esta en condición aspera cuando el recubrimiento se coloca, lo cual posteriormente asegura una trabazón cerrada entre el pavimento existente y el recubrimiento.

Por otro lado, el uso del procedimiento alternativo requiere mayor cuidado en la aplicación del aditivo.

Debido a que el camion distribuidor debe operar entre la escarificación en caliente y la pavimentadora, esta sujeto a frecuentes paradas y arranques .

Tal operación intermitente puede contribuir a que la distribución de la mezcla sea irregular, adicionalmente el procedimiento alternativo necesita la concentración de mucho más equipo de construcción interdependiente de un área confinada .

IV.- DESCRIPCION DEL PROCESO .

EQUIPO.-El procedimiento de escarificación en caliente y recubrimiento puede completarse ya sea por medio de una pavimentación en serie (un tren de pavimentación o con el metodo integral (una sola pasada); ademas de los camiones de acarreo y de los vehiculos que intervienen, el metodo del tren de pavimentación comunmente y que generalmente se emplean 4 piezas de equipo y que son:

Una escarificadora, una exparcidora convencional de asfalto, un camion distribuidor(petrolizadora), y un rodillo.

El metodo integral usa tres maquinas:una para calentar, escarificar y colocar el recubrimiento, un camion distribuidor (petrolizadora), y un rodillo.

1.- Calentamiento .- Cualquiera de los metodos que se use, el proceso de calentamiento consiste de uno omas calentadores de alta intensidad montados en la maquina, pasando sobre la superficie del pavimento a una velocidad que permita que el material existente sea suavizado .

La velocidad esta sujeta a una amplia variación dependiendo de varios factores y los rangos típicos de velocidad varían entre 1.5 y 15 m/ min(5 y 50 pies / min) .

Las calentadoras deberan lograr que la superficie del pavimento alcance una temperatura lo suficientemente alta para permitir que los dientes de la escarificadora se introduzcan a través del material sin romper las parrticulas del agregado .

Las temperaturas de trabajo dependen del metodo (tren de pavimentación o integral); la velocidad de desplazamiento y las propiedades termoplasticas del pavimento existente.

La superficie de rodamiento no debe ser quemada porque daña el asfalto y produce smog indeseable, el quemado puede evitarse por una reducción del calentamiento o por un incremento en la velocidad de desplazamiento.

2.- ESCARIFICACION.- El proposito de la escarificación es para dejar suelta la superficie del pavimento existente y para redistribuir en algun grado la partícula del agregado.

Una profundidad de escarificación entre 13 y 19 mm (0.5 y 0.75 plg) es recomendada, para ciertos tipos de pavimento puede ser necesario emplear dos unidades de calentamiento para calentar el pavimento existente hasta lograr la profundidad de escarificación sin dañar la superficie .

Cuando se usan dos maquinas, la primera aplicara calor solamente y segunda calentara y escarificara.

Debido a que el equipo de escarificación se monta comunmente sobre un chasis que tiene una dimensión larga, el movimiento vertical del diente escarificador se minimiza, sin embargo el mantenimiento de una profundidad de escarificación constantemente precisa no debe asperarse.

El control de la construccion debe basarse en el promedio de varias mediciones.

3.- RECOMPACTACION O COMPACTACION.- En la secuencia estandar del metodo de tren de compactación (pasos 1,2,3,4,5, y 6) del pavimento escarificado se compacta inmediatamente después de

que la calentadora escarificadora esta calentando.

El rodillo debe ser uno estandar de 7.3 a 9.1 ton (8 a 10 ton) del tipo tandem de acero, tres pasadas completan el mínimo usual requerido para una adecuada densidad (peso especifico relativo especimen).

En la alternativa del metodo de pavimentación en tren, y el método de pavimentación en tren, y el método integral, el recubrimiento asfaltico se coloca directamente sobre el pavimento escarificado existente.

Frecuentemente se usa para la compactación un rodillo de (8 a 10 ton) de acero; comunmente se requiere un minimo de tres pasadas para lograr el peso especifico relativo especificado.

4.- APLICACION DEL ADITIVO.- Ciertos aditivos sirven para regresar en algun grado la oxidación del pavimento, restaurando algunos de los constituyentes perdidos.

La aplicación de estos aditivos es un paso importante en el proceso de escarificado en caliente y recubrimiento, dichos aditivos frecuentemente usados son asfaltos emulsificados y rejuvenecedores, aplicados conjuntamente por medio de un camión distribuidor (petrolizadora).

Actualmente no hay procedimientos estandarizados para prescribir el tipo y aplicación de las proporciones y aplicación de aditivos; deben seguirse cuidadosamente las recomendaciones de los fabricantes.

5.- COLOCACION DEL RECUBRIMIENTO ASFALTICO.

Generalmente se siguen procedimientos de construcción estandarizado para los recubrimientos asfalticos, el espesor del recubrimiento depende del objetivo par el que se destine el uso de dicho recubrimiento en caliente.

Si es solamente para corregir defectos de la superficie en un pavimento que esta estructuralmente adecuado para el tránsito presente y futuro, sera suficiente un minimo de espesor.

El minimo real depende principalmente de la

granulometria del agregado en circunstancias normales el espesor del recubrimiento no sera inferior que dos veces el tamaño maximo de las particulas del agregado en la mezcla del recubrimiento.

Inversamente si el proposito de las operaciones del recubrimiento (sobre capa) debe diseñarse con los procedimientos convencionales para proporcionar la resistencia requerida.

5.1.- COMPACTACION DEL RECUBRIMIENTO.

La compactación del recubrimiento debe hacerse de acuerdo con los procedimientos normales de compactación.

V.- Preparación del pavimento.

La preparación para el proceso de escarificación en caliente y recubrimiento es similar a la requerida para un recubrimiento convencional, si hay areas que les falte un drenaje adecuado; debe corregirse dicha condición antes de proceder con la obra.

Similarmente, si existen fallas aisladas que necesiten un bacheo profundo, esto debe realizarse antes de comenzar con el proceso de calentamiento superficial.

Tambien, al igual que con un recubrimiento convencional, si los bordos o guarniciones de concreto van ha ser removidos y recolocados, este trabajo y cualquier otro ajuste proceder al tratamiento del pavimento.

Finalmente, la buena trabazon entre un asfalto viejo y uno nuevo depende de la limpieza de la superficie del pavimento por medio de barrido o algun otro medio.

Si hay cunetas también deben limpiarse.

Un detalle importante de la preparación, que no se requiere normalmente, en conexión con el recubrimiento convencional, pero necesario por algunos tipos de equipo de escarificación en caliente en la localización de la estructuras de servicio que sobresalen, los dientes escarificadores son frecuentemente montados en resortes y

simplemente ceden y pasan sobre un objeto inmovil tal como una estructura de boca de alcantarilla.

Los dientes en algunos otros equipos sin embargo, son controlados manualmente y deben ser retraidos por el operador de la maquina cuando pasen sobre tales estructuras.

Consecuentemente, cuando sea necesario la localización de todas las estructuras de utilidad sobre la superficie debe hacerse a lo largo de la obra, otra diferencia en la preparación es que si el recubrimiento no se retarda demasiado, un riego de liga convencional no es necesario algunas veces, el aditivo líquido sirve para el mismo proposito.

VI.- Especificaciones.

Las especificaciones para el proceso de recubrimiento en caliente no deben excluir ninguno de los metodos, es decir el metodo de tren de pavimentación o el integral.

Esto puede hacerse ya sea estableciendo especificaciones lo suficientemente generales para adaptarse a ambos metodos, o estableciendo especificaciones lo suficientemente generales para adaptarse a ambos metodos, o estableciendo especificaciones alternativas que cubran los detalles tecnicos de cada proceso y además obteniendo aplicaciones alternativas.

Las siguientes son algunas de las previsiones tecnicas mas importantes para cubrir cualquier especificación para el proceso de recubrimiento en caliente.

. La especificación debe definir la preparación debida, debe fijar las responsabilidades del trabajo tales como ajuste de las estructuras de utilidad y el bacheo preliminar.

. La temperatura minima y el metodo de medicion deben estar anotados.

. Profundidad promedio de la escarificacion y como medirla.

. Tipo de la mezcla y velocidad de aplicacion.

. Tipo de la superficie asfaltica, especificaciones detalladas y pueden referirse comunmente para los materiales y/a las especificaciones de construccion.

. Medida y pago.

Usualmente la limpieza normal del pavimento y la escarificación en caliente se pagan en base a los metros cuadrados del area de la superficie cubierta sin importar el numero de operaciones requeridas para obtener un trabajo satisfactorio.

El metodo de pago para aditivo rejuvenecedor y el recubrimiento asfaltico deben describirse..

Frecuentemente, ambos se pagan en base al volumen, peso o area.

. Control de la polucion.

Las especificaciones deben prevenir contra el quemado de las hojas de los arboles adyacentes o de la vegetación, con quemadores extinguidores, algunas especificaciones requieren equipo para regar agua para humedecer la vegetacion y evitar el posible quemado.

VII Consideraciones para uso del procedimieto, la seccion de la carpeta debe tener cuando menos 7.5 cm (3") de una mezcla asfaltica.

En el caso de carreteras de concreto hidraulico que han tenido previamente un recubrimiento asfaltico deben haber un minimo de 5 cm (2") del pavimento asfaltico existente sobre el concreto hidraulico.

Si los desperfectos del pavimento son causados por una base pobre y sobrecargada, lo cual se demuestra por el agrietamiento del tipo piel de cocodrilo, baches, desniveles o rodaduras, el proceso de escarificación en caliente y recubrimiento no sera de aplicacion practica.

Se enfatiza que el procedimiento de recubrimiento en caliente es para la corrección de defectos en la superficie del pavimento, incluyendo acanalamientos menores, agrietamiento no debido a la carga, desprendimiento, pulido del agregado y llorado del asfalto.

4.3.-Experiencia en el mundo.

En la primavera de 1975, una seccion de 1.4 millas (2.3 km) de la carretera federal 84, fue reciclada en forma experimental por el octavo distrito del Departamento de carreteras y transporte publico del estado de Texas.

Esta sección consistia de una superficie de concreto asfáltico de mezcla caliente sobre una base flexible, después de que el material fue escarificado se emplearon dos metodos para el triturado del material.

Con el primer metodo, el material fue transportado a una trituradora primaria y procesado, una planta amasadora convencional fue empleada para reciclar este material.

La adición de asfalto de 1/2 a 1 por ciento por el peso al pavimento reciclado produjo un material con una buena consistencia.

El segundo metodo de triturado empleo triturado en el lugar usando una aplanadora de rejilla tirada por tractor, este proceso permitio al contratista introducir humedad en el material para obtener un contenido de humedad mas uniforme que auxilio al mezclado y mejoro la calidad del aire.

Un tamiz de 2.5" (63mm) fue colocado sobre el viejo transportador de carga fria para remover los trozos de pavimento de gran tamaño antes de su procesado en la mezcladora circular.

Cinco combinaciones de material nuevo y reciclado fueron probadas.

La primera consistio de nuevo material de base al 50%, pavimento reciclado al 50% y emulsion de asfalto al 6% por peso.

Esta mezcla fue colocada en el camino sin dificultad.

La tercera prueba consistio de nuevo material de base al 60%, pavimento reciclado al 40% y asfalto CA-10 al 6% por peso, esta mezcla produjo polvo en exceso, que requirio la adición de agua.

La colocacion de esta mezcla fue lograda con poca dificultad.

La cuarta mezcla consistio de nuevo material de base al 70% pavimento reciclado al 30% y alfalto CA-10 al 7% por peso, esta mezcla produjo una gran cantidad de humo pero fue colocada con un minimo de dificultad.

La prueba final se compuso de pavimento al 100% y asfalto CA-10 al 4% por peso.

Esta mezcla no tuvo una buena consistencia y su colocación fue dificil, el mayor problema encontrado en esta operacion experimental fue la contaminacion del aire, la planta amasadora estaba equipada con una casilla de bolsa.

Reciclado en frio en Gales (Gran Bretaña).

Obras a realizar: reciclado de una capa de asfalto de macadam.

Tipo de degradaciones: piel de cocodrilo y baches.

Profundidad de trabajo: 80 mm.

Anchura de calzada: aprox. 5.50 - 7.50 m.

Metodo de reparación reciclado en frio in situ de la capa de asfalto mezclando emulsion bituminosa.

Adicion de emulsión: 4% en peso.

Tipo de emulsión: emulsión cationica con 55% de betun.

En dependencia del ancho de la calzada se necesitaron de 3 a 4 pasadas para el fresado, adición y mezclado de emulsión así como recolocacion con la regla acabadora integrada en una sola operación.

En las areas de solapado no se aplico emulsión, para evitar una aportación doble de emulsión durante la pasada sobre las zonas adyacentes, después del reciclado el material se compacto con un rodillo vibrador, acto seguido se efectuo un sellado de la superficie mediante proyección de emulsión bituminosa y engravillado.

Con el apisonado de la gravilla concluye el proceso de rehabilitación, llevandose a cabo estas obras con trafico.

Reciclado en frio en la Union Sovietica.

Reparacion de la via de acceso a la autopista Zagorsk-Moscu.

En la Union Sovietica con las grandes distancias a salvar entre las poblaciones y los limitados medio financieros, especialmente se buscaron soluciones que conlleven un abaratamiento de los costos de reparacion de carreteras.

En vista de las condiciones climaticas especiales, se atribuye especial importancia al comportamiento de la capa reciclada bajo temperaturas extremas, para obtener resultados confiables, tambien en lo concerniente a a emulsión empleada, los trabajos de reparacion se ejecutaron antes del invierno.

Profundidad del trabajo : 80 mm.
Anchura de la calzada : 7.5 m.
Adición de la emulsión : 3-5% .

Para minimizar la incidencia en el trafico, se procesa cada vez un carril por tramos, el ligante procedente del tanque pasaba directamente al equipo de dosificacion.

Para alcanzar una buena mezcla y alcanzar el optimo del material se limito el avance a 5 m/min.

El tren de reciclaje constituido por tan solo 3 unidades, (tanque de emulsión, fresadora y rodillo vibrador), formaba una unidad compacta y rápida por lo que solo fue necesario efectuar un corte local de la carretera.

Tras la compactación final con el rodillo vibrador, se abrio la calzada reciclada al trafico. Resultando una capa asfaltica reciclada confortable, libre de fisuras y baches.

Rejuvenecimiento de los pavimentos oxidados de las calles.

En muchas ocasiones las calles requieren tratamientos mas sustanciales que un riego de sello, pero los recubrimientos ordinarios aun los de poco espesor, no siempre se ajustan sin provocar desniveles y distorsiones geometricas en la calles.

Después de un estudio prolongado se descubrió como lograr el incremento de resistencia necesario sin interferir con las líneas de drenaje y los accesos a las vías rápidas:

-Calentar y desbastar la superficie adyacente a las cunetas de concreto.

-Calentar, escarificar y rejuvenecer la superficie en una pulgada de profundidad del concreto asfáltico viejo.

-Recubrir con una capa de 2.2 cms de espesor de nueva mezcla caliente.

Esta secuencia revitaliza al aglutinante oxidado nocivamente para que pueda una vez más adquirir flexibilidad y evitar el agrietamiento, también se obtiene la calidad de adhesión necesaria para asegurar el recubrimiento.

La máquina calentadora-remezcladora realmente es una cámara grande de combustión y una escarificadora montada sobre el mismo chasis la cámara está cubierta por paneles por todos lados, exceptuando la parte inferior, con objeto de dirigir todo el calor sobre el pavimento.

El avance es de 4.50 a 10.50 mts., por minuto, dependiendo de la dureza, contenido de asfalto y temperatura ambiental de pavimento, el calor penetra a una profundidad de aproximadamente 2.6 cm. y las temperaturas de pavimentación alcanzan de 107 a 120 C.

La escarificadora entonces mezcla el material completamente, debido a que el trabajo se realiza durante el invierno, se debió emplear dos de estas máquinas trabajando una detrás de otra, para concentrar el calentamiento sobre el pavimento.

Un elemento importante del proceso de remezclado es la adición del derivado asfáltico, reclamite sobre la superficie escarificada, el cual proporciona al aglutinante envejecido los componentes perdidos o degradados por la edad y el intemperismo.

Además restaura la plasticidad a la mezcla asfáltica calentada y escarificada y también actúa como riego de liga

para el recubrimiento.

El reclamite es un producto de la Bolden Bear Dil Co., es una emulsión cationica rosa, comunmente usada como disolvente en un tratamiento de penetración, en este proceso no es deseable la dilución.

Debido a que los distribuidores se desplazan mas rapidamente que los calentadores, el conductor deja que los separe casi una manzana antes de iniciar la aplicación del reclamite.

Directamente atras una pavimentadora teniendo un recubrimiento de 2.25 cms, que es compactada por los rodillos de acero.

Todo esto, se realiza antes de que la superficie escarificada se enfrie apreciablemente y debido a que el recubrimiento se tendio directamente sobre el material escarificado y rejuvenecido se compactan en conjunto, produciendo una trabazón muy resistente .

El agente rejuvenecedor del asfalto se aplico a razón de 0.45 a 0.67 lt/m² , basandose en las pruebas de laboratorio que se realizarón en corazones de muestra .

Para determinar las velocidades de aplicación en el campo se habia aprobado el aglutinante con diferentes cantidades de aditivo en el laboratorio, el metodo es muy simple.

Primero los laboratoristas separan mecanicamente los materiales de la superficie para simular la operación de remezclado por escarificación.

A continuación se obtienen el cemento asfáltico por el metodo de recuperación de Abson, y le determinan su valor de penetración , la adición de reclamite al cemento asfáltico en diferentes cantidades, incrementa los valores de penetración hasta una condición mas deseable.

Lo anterior proporciona un indice de la cantidad que se debe adicionar, otro indice es la granulometria aparente y la relación de vacios en muestras inalteradas (para determinar el espacio disponible para el aditivo) .

Las cantidades de reclamite indicadas por las pruebas de laboratorio deben reducirse drasticamente cuando el cemento asfáltico exhiba una tendencia a incrementar grandemente los valores de penetración despues de la adición de reclamite.

Esto es particularmente evidente si la mezcla tiene pocos vacios , se muestra que un exceso de reclamite bajo estas condiciones podria causar inestabilidad en la capa remezclada y podria llorarse el aditivo a traves de ella .

"
El llorado podria tambien resultar de la aplicación de mucho material en un pavimento con pocos vacios o uno con un amplio porcentaje de contenido de asfalto.

Mantenimiento correctivo por el metodo de calentamiento, escarificación y aplicación de reclamite.

El procedimiento de calentamiento-escarificación y aplicación de reclamite para el recubrimiento de pavimentos asfálticos han ganado una amplia popularidad en todos los tipos de obras de pavimentación, incluyendo calles, estacionamientos y similares.

Basandose en las propiedades excepcionales de rejuvenecimiento de la emulsión reclamite, el proceso ofrece tres ventajas sobre los recubrimientos convencionales.

- 1).- Asegura la trabazon entre las capas asfálticas vieja y nueva.
- 2).- Rejuvenece el pavimento viejo escarificado, desarrollando cuando menos una pulgada adicional de pavimento flexible.

3).- El agrietamiento superficial en el pavimento existente queda eliminado y por consiguiente, retarda el agrietamiento por reflexión.

El metodo de calentamiento-escarificación, para rejuvenecer el asfalto se puede realizar en cuatro partes; el primer paso es el calentamiento y desprendimiento , para rejuvenecer el material viejo.

Un recubrimiento asfaltico nuevo se coloca sobre el pavimento rejuvenecido, se riega de 0.45 a 0.90 lts/m² de reclamite concentrado, inmediatamente después de la operación de desprendimiento, para rejuvenecer el material viejo.

La colocación del recubrimiento se efectua de una manera convencional, inmediatamente despues del tratamiento con reclamite.

El metodo de medición de el calentamiento-escarificación, debe pagarse por m² de area de la superficie.

Y las bases de pago de las cantidades aceptadas para este objeto, deben pagarse de acuerdo al precio especificado en el contrato por m² para el calentamiento-escarificación, tal precio debe compensar completamente el aprovisionamiento de todo el trabajo; herramientas, equipo y todo el trabajo, herramientas, equipo y todo lo que se necesite .

Incidentalmente, para completar dicho trabajo, se pagara por separado lo correspondiente al agente rejuvenecedor del asfalto, recubrimiento de concreto asfaltico y la pavimentación.

Especificaciones para el agente rejuvenecedor de asfalto.

El agente rejuvenecedor de asfalto, debera estar compuesto por una base de resinas y aceites del petroleo, uniformemente emulsificada con agua y de acuerdo a los siguientes requerimientos fisicos y quimicos.

Designación de la especificación	Metodo de prueba	Requerimientos
Viscosidad, S.F a 23 C en seg.	ASTM D244-60	16-40
Residuo, por ciento minimo (1)	ASTM D244-60(mod)	60-65
Miscibilidad(2)	ASTM D244-60(mod)	Sin coagulación
Retenido en malla 200 por ciento max (3)	ASTM D244-60	0-10
Carga de la particula	ASTM D244-60	Positiva
Pruebas sobre el residuo de ASTM D244-60 (mod):		
Viscosidad cs, 60 C	ASTM D445	100-200
Asfaltenos por ciento maximo	ASTM D2006-65-T	0.75
Relacion de distribucion de maltenos.	ASTM D2006-65-T	0.3-0.5
PC + A 1 ----- (4)		
S + A 2		

1).- La prueba de evaporación ASTM D244, para el por ciento de residuo, se hace calentando una muestra de 50 gramos a 300 F, hasta que cesa de espumar, a continuación se enfria (inmediatamente) y se calculan los resultados.

2).- El procedimiento de prueba es identico al ASTM D244-60, excepto que una solucion normal del cloruro de calcio al 2% debe usarse en lugar del agua destilada.

3).- El procedimiento de prueba es identico al ASTM D244-60, excepto que una solución normal del cloruro de calcio al 2%.

4).- En la prueba ASTM D2006-65-T, para la relación de distribución de maltenos.

PC	Compuestos polares.	A	Primeros aciduoafines
		1	
A	Segundo acido afines	S	Saturados
2			

Los materiales deberan tener un record de servicio satisfactorio como agentes rejuvenecedores de asfalto; dicho servicio satisfactorio, estara basado en la capacidad de los materiales para incrementar la ductibilidad y penetración de los aglutinantes asfalticos de las carpetas.

4.4.-Fundamentos físicos y quimicos del reciclamiento.

El comportamiento mecanico del asfalto y de los agregados, así como las mezclas de los dos esta gobernado por las leyes de la fisica; los principales factores que deben considerarse son los de la temperatura y de las fuerzas mecanicas aplicadas, esta es el area donde el equipo eficiente es mas importante.

Debido a la prevision de los fabricantes de equipo, actualmente se tiene disponible maquinaria que proporciona en el lugar o fuera de el, un mezclado efectivo y calentamiento cuando se requiera.

Se estan desarrollando nuevos equipos para cumplir con las necesidades y adaptarse a los procedimientos de procesamiento modernos, los fabricantes de equipos han avanzado mucho en el campo de la construcción de pavimentos.

La investigación química ha creado agentes rejuvenecedores puede especificarse, ahora, para asegurar la compatibilidad deseada con todos los asfaltos envejecidos y un alto grado de durabilidad del asfalto nuevamente formado.

El requerimiento importante de que el agente rejuvenecedor debe impartir ligazon a la mezcla, es olvidado

con frecuencia la ligazon es necesaria no solo para desarrollar la cohesividad en la mezcla durante la compactación, sino también adhesión y fusión de las capas, si un pavimento es tendido en dos o mas niveles.

Los principios químicos pertinentes que gobiernan el comportamiento de un asfalto pueden explicarse y entenderse facilmente con unos cuantos hechos fundamentales.

Los asfaltos consisten de cinco grupos de componentes, los cuales conjuntamente con su función se indican a continuación:

A -Asfaltenos (que constituyen la estructura fundamental).

N -Compuestos de nitrogeno basicos, o compuestos polares no saturados (que funcionan como peptizadores de los asfaltenos).

A -Hidrocarburo no saturados del grupo 1 (que funcionan como 1 solventes de los asfaltenos peptizado).

A -Hidrocarburos no saturados del grupo 2 (que funcionan 2 tambien como solventes de los asfaltenos peptizados)

P -Parafinas o hidrocarburos saturados (que producen gel y floculan a los asfaltenos).

El hecho de que los grupos de componentes contengan una multitud de compuestos quimicos es inmaterial, ya que cada grupo quimicamente identificablemente ya que se comportan de una manera predecible y tiene propiedades especificas genericas.

Es importante, sin embargo que los cinco componentes esten presentes en un asfalto debidamente balaceados para asegurar el comportamiento satisfactorio durante un periodo largo de tiempo.

Para funcionar como un agente cementante adecuado el asfalto debe ser un sistema homogeneo que contenga todos los cinco componentes en la forma de una solución estable.

Los cuatro componentes N, A₁, A₂, y P, tambien llamados

maltenos son mutuamente solubles en todas las proporciones.

La fracción A (asfaltenos) es sin embargo solamente soluble en la fracción N y en los maltenos que contienen una cierta cantidad de N, que funciona como peptizador para A.

La fracción P es el agente gelizante para A y aunque juega una parte importante en la durabilidad y en las propiedades reológicas, no debe exceder de un cierto límite. Expresado en forma diferente, una solución de A con N puede ser diluida con las otras fracciones de maltenos (A, A, P)

1 2 sin floculación de A mientras se mantengan las relaciones balanceadas de A a N y de N a P.

Las fracciones N y A son los componentes químicamente más activos del asfalto y por lo tanto, más susceptibles al envejecimiento que las otras dos fracciones de maltenos A y P.

Todos estos hechos son tomados en cuenta por la simple especificación de que el parámetro de durabilidad, $(N + A) / 1$

$(P + A) / 2$, debe estar para un asfalto altamente durable entre

0.4 a 0.8 .

La experiencia en el laboratorio y en el campo práctico ha mostrado que un agente rejuvenecedor que imparte a un cemento asfáltico envejecido la consistencia de CA-10 y un parámetro de durabilidad de $(N + A)$ de 0.4 a 1.2, preferentemente de 0.4 a 0.8 será efectivo en casi todos los casos.

La relación N/P conciente entre la cantidad de peptizador (solvente) y la cantidad de agente gelizante (floculante), regula la sinéresis, o sea la compactibilidad de las fracciones.

La viscosidad de los maltenos, mezcla de N, A, A y P,
1 2

juega un papel significativo para formar un asfalto de acuerdo con la cantidad de agente estructurador (A) necesario para satisfacer los requerimientos de consistencia del asfalto.

El envejecimiento de un asfalto se inicia al aplicarlo; el envejecimiento causa un desequilibrio de estos componentes, resultando en un incremento de asfaltenos a expensas de la fracción de maltenos, los cuales se convierten gradualmente en asfaltenos.

El efecto sobre las mezclas asfálticas de los pavimentos es de endurecimiento, pérdida de cohesión, desprendimiento, agrietamiento y desgarramiento.

Estos efectos adversos, del envejecimiento, son progresivamente mas severos al aumentar el contenido de vacíos en la mezcla.

Un agente rejuvenecedor debidamente formulado reconstituye el asfalto envejecido reabasteciendole la cantidad requerida de las fracciones de maltenos, formando un nuevo cemento asfáltico altamente durable.

Esto es en forma simplificada, toda la química que el ingeniero de pavimentos necesita para especificar un agente rejuvenecedor adecuado, las especificaciones para los agentes rejuvenecedores que se muestran en las tablas 1 y 2 aseguran que el cemento asfáltico reciclado tenga una composición que le de facilidad de sinéresis y resistencia al envejecimiento.

Procedimiento de operación.

El principal pre-requisito para un procedimiento de diseño racional es entender y conocer la validez de los principios científicamente establecidos aplicables al reciclamiento.

Ignorar los hechos inalterables es una garantía de falla, antes de iniciar cualquier operación, se debe conocer: la condición del pavimento que va ser reciclado, las

cantidades de material; involucradas, y el uso específico final del material reciclado por ejemplo, si va ser usado para material de base para nivelar una capa que se va a recubrir, para la construcción de un pavimento en la misma manera que con la mezcla de concreto asfáltico nuevo, o como una envoltura para incrementar el volumen de una mezcla que contiene esencialmente cemento asfáltico y agregado.

En el significado correcto del término, el reciclamiento verdadero es solamente la parte de la operación que comprende la combinación del pavimento viejo con el agente rejuvenecedor.

Una vez que estos hechos han sido establecidos, los pasos a seguir son directos, el primer paso es tomar una muestra del pavimento viejo para que sea analizada en el laboratorio, donde se le determinara:

- a).- Los porcentajes de agregado y de asfalto viejo.
- b).- La granulometría de los agregados.
- c).- La consistencia (penetración o viscosidad) del asfalto viejo extraído

Con esta información el ingeniero puede establecer la cantidad y tipo del agente rejuvenecedor para la mezcla.

Se puede emplear una simple fórmula matemática para calcular la cantidad de agente rejuvenecedor que debe agregarse, la cual igualara a la demanda de asfalto menos la cantidad de asfalto en la mezcla vieja.

Esta fórmula se encuentra en la tabla No. 1.

La viscosidad de penetración del asfalto reciclado puede leerse en los nomogramas, la fórmula de la tabla y las gráficas mostradas y son aplicables para el caso de un agente rejuvenecedor específico y para un cemento asfáltico reciclado, con la viscosidad de un asfalto No. 10.

Tabla No. 1

Especificaciones para el agente rejuvenecedor

Propiedad	M. de Prueba	Especificaciones
Viscosidad a 140 F CST	ASTM D 2170-74	1000-4000
Punto de Inflamación Copa abierta de Cleveland F	ASTM D 92-72	350 min.
Volatilidad	ASTM D 1160-61	
IBF, F 2 % F 5% F	10 mm	300 min. 375 min. 410 min.
Compatibilidad N/P	ASTM D 2006-70	0.5 min.
Parametro de durabilidad (N + A) / (P + A) 1	ASTM D 2006-70	0.2 - 1.2 2

Tabla No. 2

Especificaciones para el agente rejuvenecedor emulsificado

Propiedad	M. de Prueba	Especificaciones
Viscosidad a 77 F, Saybolt-Furol, en seg.	ASTM D 244-76	15 - 85
Estabilidad al bombeo	S.B. Method &	Aprobado
Granulometria de le emulsion %	ASTM D 244-76 (mod)	0.1 (max)
Miscibilidad con cemento portland	ASTM 244-76	2.0 (max)
Carga de la particula	ASTM D 244-76	Positivo
Residuo de aceite en %	ASTM D 244-76 (mod.)&&	60 min.

& La estabilidad al bombeo se determina colocando 450 ml. en un vaso de aluminio, de un litro de capacidad, se hace circular a la emulsión a través de una cierta bomba cuya entrada y salida es de 1/4".

La emulsión es aprobada si después de 10 minutos de circulación no se presenta una cantidad significativa de aceites.

&& Prueba de evaporación de 50 grs. de agente a 300 F.

Calculo de la demanda de asfalto de la mezcla.

$$P = \frac{.4R + 75 + 12 F}{100} \quad X 1.1$$

P = % Total de asfalto requerido en la mezcla reciclada (asfalto viejo + agente rejuvenecedor) en peso (%).

R = Grava (retenida en malla No. 8) en peso (%).

S = Arena (pasa malla No. 8, se retiene en No.200), en peso (%)

F = Finos (pasa malla No. 200), en peso (%).

Criterio de diseño y especificaciones para el sellado con Slurry Seal de las carpetas recicladas

Algunos problemas de diseño de las superficies recicladas.

No hay absoluta uniformidad en los pavimentos, particularmente en los pavimentos reciclados, ahí el problema central para el diseño de una capa superficial en los pavimentos reciclados.

La siguiente lista parcial de las variantes que afectan una carpeta ilustra estos problemas :

- 1).- La granulometría del agregado de la carpeta puede variar desde zonas gruesas a zonas finas.
- 2).- El contenido de asfalto varía en relación con el área superficial de los agregados reciclados.
- 3).- Las características de compactación de las mezclas o superficies recicladas pueden variar resultando diferentes condiciones estructurales.
- 4).- Las superficies pueden desfigurarse con el proceso de reciclamiento afectando por ejemplo, el rayado longitudinal.

- 5).- Las técnicas de cortado (marcado, profundidad, velocidad etc..)
- 6).- La rugosidad de la textura puede ocasionar niveles de sonido objetables.
- 7).- Las operaciones de cortado en las sobrecapas de poco espesor, las dejan a estas tan delgadas que quedan sujetas a desprendimientos y laminación.
- 8).- Los vacíos superficiales se abren exponiendo por lo tanto, la estructura a los elementos.
- 9).- En algunas situaciones el resurcamiento puede acelerarse, la retención del agua incrementarse y estorbarse las maniobras de remoción de nieve y de hielo.
- 10).- En las operaciones de nivelación, particularmente en el desbastado en frío o en caliente, pueden ocurrir severas variaciones en la macrotextura y por lo tanto en la resistencia al derrapamiento.

Algunas premisas usadas para abordar problemas de diseño.

- 1).- Los recursos de la tierra son finitos, el despilfarro ya no está de moda.
- 2).- El objetivo del diseño de pavimentos debe combinar las cualidades de calidad, durabilidad, economía y seguridad, la estructura debe ser adecuada para la vida útil de diseño.
- 3).- La práctica de la ingeniería requiere un equilibrio pragmático entre los requerimientos específicos de la ingeniería y las realidades políticas y económicas de la época y del lugar.

4.5 .- Slurry Seal .

El Slurry Seal es una mezcla homogénea y semi-fluido de emulsión asfáltica, agua, filler mineral y agregados finos bien graduados, la cual se aplica a la superficie del pavimento por medio de una caja distribuidora adaptada con correderas y dispositivos adecuados (enjugadores).

Fig.No.1.- El proceso continuo del Slurry Seal proporciona

AGREGADO PETREO PARA SLURRY SEAL

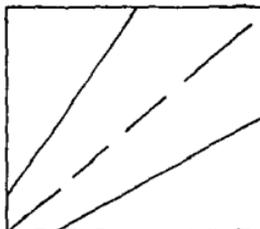
- limpio

- triturado y cribado

- durable

- bien graduado

- uniforme



EMULSIONES ASFALTICAS PARA USO EN SLURRY SEAL.



agua

emulsificante

cemento
asfáltico

La AASHO "SS" da
mezclas tipo para pavimen-
to segun el tipo del
asfalto.

- duro o blando

- bajo o alto

- emulsificador

rompimiento
ahónico

con precisión los materiales , mezcla y distribuye.

AGREGADO PETREO	EMULSION ASFALTICA	FINOS MINERALES (CAL -CEMENTO)	AGUA
	PROPORCION UNITARIA		
	MEZCLADO		
	RIEGO		

Fig.2.- Agregado petreo para Slurry Seal.

- Limpio
- Triturado y Cribado
- Durable
- Bien Graduado
- Uniforme

Emulsiones asfálticas para uso en Slurry Seal.

AGUA	La AASHTO "SS" da mezclas tipo para pavimento segun el tipo del asfalto.
EMULSIFICANTE	.-Duro o Blando.
CEMENTO	.-Bajo o Alto rompimiento.
ASFALTICO	.-Emulsificador cationico, anionico o neutral.

Los principales materiales del Slurry Seal son los agregados y la emulsion asfáltica, los agregados deben estar limpios y triturados y deben ser durables y con graduación buena y uniforme; la emulsión es un sistema de tres partes que consiste de cemento asfáltico, agua y emulsionante.

Las emulsiones asfálticas generalmente cumplen con los dispuesto para los tipos de mezcla densa de AASHTO "RL" y estan hechas de cemento asfáltico y pueden ser duras o suaves.

Las emulsiones son de rompimiento lento o rapido elaboradas con emulsionantes anionicos, cationicos o no ionicos.

Algunas veces se emplean aditivos liquidos para alguna modificacion, "los fillers" tales como el cemento portland o cal hidratada se usan comunmente en pequenas cantidades para estabilizar mezclas incompatibles o como modificadores quimicos del sistema.

El agua de mezclado debe ser potable y libre de sales perjudiciales con Slurry Seal son:

1).-Preventivo ... para evitar los daños superficiales que ocurren en los pavimentos recién tendidos, tales como los efectos de la meteorización (oxidación, pérdida de aceites, pérdida de aglutinante y debilitamiento de la mezcla estructural) y para proporcionar durabilidad especial y textura que no se tiene en la mezcla de la capa abajo.

2).-Correctivo... para corregir los desperfectos superficiales que ya han ocurrido en los pavimentos mas viejos tales como agrietamientos superficiales, desprendimiento, pérdida de aglutinante, permeabilidad incrementada al aire y al agua y condiciones malas contra el derrapamiento producidas por el flujo o por los agregados pulidos.

El Slurry Seal en las superficies de los pavimentos reciclados cumple propósitos de corrección y prevención.

Las especificaciones generales de la asociación internacional del Slurry Seal en su guía A-105 reconoce tres graduaciones básicas de agregado:

Tipo fino (I) 1/8, Tipo general (II) 1/4" , Tipo grueso (III) 3/8".

La graduación del agregado, seleccionada para usarse, depende del objetivo de un tratamiento particular:

Tipo (I).- Se usa para la máxima penetración en las grietas y como una preparación excelente para recubrir con mezcla en caliente o con riego de sello; comunmente se usa en las áreas con poca densidad de tránsito o bien de poco uso, tales como las aeropistas para aviones ligeros, áreas de estacionamiento o acotamiento donde el objetivo principal es el sellado.

Tipo (II).- Es el mas ampliamente usado para sellar, corregir desprendimientos severos, oxidación y perdida de aglutinante, tambien para mejorar la resistencia al derrapamiento; se emplea para transito moderado y pesado dependiendo de la calidad de los agregados disponibles y del diseño.

Tipo (III).- Se usa para corregir condiciones severas de desprendimiento, como primera capa en la aplicacion de las multi-capas, para impartir resistencia al derrapamiento y para evitar desperfectos debidos al agua bajo condiciones de transito pesado y para poder extender la vida util bajo estas condiciones.

El Slurry Seal es el sistema de tratamientos superficiales de pavimentos mas versatil.

Debido a que el Slurry Seal es el sistema de tratamietos superficiales de relativo poco espesor, los requerimientos de energia son bajos y resulta economicamente factible usar materiales especiales importados o aun exóticos para proporcionar las características superficiales deseadas.

El Slurry Seal se distingue de otros sistemas de tratamientos superficial por su particularidad de habilitar para depositar un recubrimiento asfaltico de poco espesor en la superficie de los pavimentos de acuerdo a las demandas de una textura superficial variable, esta particularidad es valiosa en el sellado de las carpetas recicladas.

Las propiedades de un Slurry Seal varian con las propiedades de los materiales incorporados en la mezcla y con el diseño y construcción de las combinaciones seleccionadas.

Comunmmmente se considera que el Slurry Seal tiene muy baja permeabilidad (un excelente sello), poca resistencia a la tensión, alta resistencia al derrapamiento, buena textura y resistencia alta al resbalamiento por los efectos del agua, buena estabilidad excelente adherencia y apariencia .

Estas propiedades pueden variarse por la selección de materiales como agregados especiales para impartir durabilidad y resistencia al derrapamiento segun las necesidades , tambien se combinan elastomeros para impartir flexibilidad y resistencia al agrietamiento termico.

El desarrollo de los procedimientos de diseño del Slurry Seal es parecido al desarrollo de otros materiales de pavimentación ; es decir, con pruebas de tanteo se va relacionando el comportamiento en el campo con la experiencia del laboratorio .

Guia para los procedimientos de diseño para reciclamiento de pavimentos asfálticos deteriorados o envejecidos.

El reciclamiento no es una idea nueva ni un proceso nuevo , es simplemente una nueva palabra que involucra la practica y utilización de tecnología conocida que se ha puesto de moda.

Quedan sin embargo, algunas cuestiones y problemas practicos.

Los dos principales problemas son :

- 1.- Definir las deficiencias quimicas y fisicas de un pavimento deteriorado .
- 2.- Proporcionar al ingeniero una guia simple y practica sobre como corregir dichas deficiencias.

Basicamente existen cuatro etapas o estados del deterioro del pavimento, la primera etapa se alcanza durante la construcción , provocada por el endurecimiento del cemento asfáltico en la preparación, las pruebas de laboratorio del asfalto extraido de la mezcla de pavimentación , tomado en la descarga de la planta, muestran el grado de endurecimiento.

La segunda etapa se debe al intemperismo y al uso normal durante los primeros años de un pavimento , el grado de deterioro en la segunda es evidenciado por las grietas muy ligeras en todos sentidos perdida de forma, otros daños superficiales, e incrementos de la permeabilidad al aire y al agua.

El grado de este tipo de deterioro puede medirse en el lugar y por medio de pruebas en el laboratorio con corazones tomados del pavimento, este segundo proceso de envejecimiento se contrarresta por el uso a tiempo de un rejuvenecedor, el cual restaurara las propiedades del cemento asfáltico que han perdido bajo el ataque de la temperatura, del agua y del aire .

No se requiere preparación para un tratamiento con rejuvenecedor en la segunda etapa del deterioro, excepto para determinar que el pavimento que va a tratarse aceptara el material .

La tercera etapa del deterioro se alcanza en los pavimentos que muestran carpetas muy usadas, deformación y generalmente una apariencia pobre, así como condiciones de rodamiento malas pero que estan estructuralmente sanos todavia.

Los pavimentos en esta etapa pueden ser restaurados satisfactoriamente mediante el proceso de escarificación en caliente-rejuvenecedor-recubrimiento.

La cuarta etapa del deterioro se alcanza en pavimentos que se han deteriorado hasta el grado de ya no ser utiles para sus propósitos de diseño.

Esta etapa es causada por envejecimiento avanzado, las condiciones de uso muy pesado y con frecuencia por negligencia, es decir por mantenimiento insuficiente.

Un pavimento asfaltico que ha alcanzado esta etapa del deterioro no puede ser separada en el lugar por una aplicación de un agente rejuvenecedor para restaurar in situ las propiedades del cemento asfaltico, tal desperfecto requiere una o dos medidas correctivas ya sea la de quitar y desechar el pavimento y luego reconstruirlo desde la base, o bien una operación de salvamento para recubrir al agregado y lo que queda del cemento asfaltico envejecido .

La razón del renovado interes en salvar los pavimentos deteriorados se debe al cambio reciente de factores economicos de la construcción de caminos , al incremento en la escasez de los agregados y al reciente despertar de una conciencia ecologica que dicta medidas para evitar el desperdicio .

Los experimentos realizados demuestran que puede establecer algun lineamiento especifico para el diseño de las operaciones de reciclado, deben seguirse los pasos que se exponen a continuación:

- 1.- Se debe tener una muestra representativa del pavimento que se va a reciclar.
- 2.- Se deben efectuar pruebas de laboratorio para determinar:
 - a).- La granulometría del agregado en el pavimento viejo.
 - b).- La cantidad y consistencia del asfalto envejecido.
- 3.- Se hacen los cálculos para determinar la demanda de asfalto de los agregados.
- 4.- Deben establecerse los límites de tolerancia para la consistencia del asfalto rejuvenecido.

Características de los agentes rejuvenecedores.

Los procedimientos de reciclamiento efectivos y económicos, como han demostrado ser, son contingentes con el uso de un agente rejuvenecedor adecuado, las propiedades deseables de un agente rejuvenecedor adecuado son:

- 1.- El agente rejuvenecedor debe ser completamente compatible con el asfalto contenido en el pavimento viejo

Para cumplir este requerimiento el agente rejuvenecedor debe contener una cantidad suficiente de la fracción N para peptizar (*), los asfaltenos y no exceder una cantidad máxima de la fracción P, la cual es un agente gelificante (*), para los asfaltenos .

Si estos requerimientos para la composición no se cumplen, ocurre sinéresis (&), la relación N/P requerida es, desafortunadamente diferente para varios asfaltos .

El requerimiento puede sin embargo cumplirse usando un agente rejuvenecedor adicionado resulte en un cemento asfáltico, en la mezcla reciclada con una relación de composición $(N + A) / (P + A)$, mayor que 0.4 .

- 2).- El agente rejuvenecedor debe servir para mejorar la durabilidad del asfalto envejecido.

Este requisito se cumple usando un agente rejuvenecedor con un parámetro de composición $(N + A) / (P/A)$, entre 0.4 y 1.0, preferiblemente entre 0.4 y 0.8 .

3).- El agente rejuvenecedor debe, independientemente de la cantidad adicionada, producir un asfalto reciclado en el rango de consistencia para grado de pavimentación.

(&). - Definición.

Peptización: Disolución de un gel por dilución en agua.

Floculación

Sol

Gel

Peptización

Sol: Emulsoide o dilución coloidal.

Gel: Sustancia viscosa formada por la mezcla de una materia coloidal y un líquido.

Coloide: Un sistema en el cual las partículas de una sustancia pueden hallarse en suspensión en un líquido sin tender a acumularse ni en la superficie ni en el fondo debido al equilibrio llamado estado coloidal.

Gelificar: Transformar en gel.

Sineresis: Fenómeno que se observa en la coagulación de las disoluciones coloidales, la cual es seguida durante un tiempo más o menos prolongado de una exudación del líquido contenido por el coágulo o jalea, y este al mismo tiempo que endurece, disminuye progresivamente de volumen .

C A P I T U L O V

RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

5.- Reciclaje de Pavimentos Flexibles.

Normas de Calidad .

Se tienen noticias de las tecnologías desarrolladas en otros países a través de la literatura y ponencias que se presentan en los congresos .

El reciclamiento de pavimentos flexibles por ser una tecnología en proceso en nuestro país , no se han realizado normas de calidad referenciado a este tipo de proceso constructivo .

Las constructoras, los grupos de asesores y la misma S.C.T. han tomado como base de clasificación las normas de calidad establecida por esta dependencia en el tomo VIII y IX .

Tales pruebas que son las que se realizan a los materiales de construcción pueden dividirse en: pruebas de clasificación, de control y de proyecto .

Las fabricas constructoras de equipo para construcción realizan pruebas de granulometria, pruebas de compactación mediante la prueba proctor, a la emulsión bituminosa y la prueba Marshall.

5.1.- Agentes Modificadores.

Los modificadores de reciclaje han sido modificados en varios proyectos, estos modificadores son normalmente aceites aromaticos que reblandecen el asfalto viejo .

5.2.- Experiencia de reciclado en nuestro país.

En nuestro país se ha ido incrementando el uso del reciclamiento, utilizando diversos metodos de reciclado, mediante el uso de las maquinas disponibles en el mercado como la remixer, rotomill, etc .

Retomaremos la experiencia adquirida en el Edo. de México, Cd. de México y en el Edo. de Guanajuato.

En el Edo. de México el proyecto ejecutivo se marcaba el escarificado de la carpeta asfáltica y poder recuperar el material y estabilizar con un buen cementante para ser utilizado como material de sub-base y base.

Así como la reutilización de parte de este fresado y volver a reutilizarlo en la planta de concreto asfáltico de la compañía constructora .

Este procedimiento se llevo a cabo con la maquina fresadora marca Wirtgen la cual cuenta con un tanque de almacenamiento de gas con capacidad de 5000 litros de gas butano.

Cuatro barras de calentadores para poder reblandecer el pavimento cuidando no quemar el concreto asfáltico a temperatura de 150 C para que con las cuchillas de tungsteno poder triturar el concreto asfáltico, además de contar con una banda de transportación para la carga del material en camiones de volteo.

La capacidad que tiene esta maquina es la de fresar a una profundidad de 12 cm, teniendo un rendimiento diario de 500 metros lineales en una sola franja, por la variación de espesores de carpeta se opto por fresar el material a 9 cm.

Se acamellono el material fresado mediante una motoconformadora, adicionandosele un cementante de buena calidad, se anexan los resultados obtenidos .

El material recuperado para ser utilizado para el concreto asfáltico en planta central, no hubo variación en la granulometria, solo se tuvo cuidado en el % de cemento asfáltico ya que se podia correr el riesgo de que se llorara al sobrepasar el cemento asfáltico.

La experiencia obtenida en el tramo de Yuriria - Salvatierra del Edo. de Guanajuato.

Esta es una carretera federal con tránsito de vehiculos pesados en su gran mayoría, de dos carriles de circulación que comunica a la ciudad de Morelia , Michoacan, con clima caluroso y lluvioso .

Las condiciones que presenta la carpeta asfáltica son las de oxidación y baches .

Esta carpeta fue construida por el sistema de mezcla en el lugar, teniendo al menos tres riegos de sello, obteniendose en muestreos a cada 500 m, una variación constante de materiales de base y en la misma mezcla asfáltica.

Este trabajo se realizo mediante la maquina Wirtgen 2100 VCR, la cual tiene un peso de 39 600 Kg. en bruto y llena con diesel y agua con un peso de 43500 Kg, tanque de almacenamiento con capacidad de 4000 litros de agua y un tanque de diesel de 13000 lts. de capacidad, motor Mercedes Benz de 12 pistones, un avance de 5 metros por minuto y una banda transportadora .

Este es un reciclado en frio en el que el pavimento es fresado y procesado in situ .

El procedimiento a seguir es fresado, aportación de emulsión bituminosa, mezclado y colocación, esta maquina tambien se puede utilizar para estabilizar con cemento portland, asi como fresado y mezclado simultaneos de la capa asfáltica de 30 a 50 mm de espesor este procedimiento se realiza tras haber esparcido un 5% en peso de cemento portland, se efectua el fresado y mezclado con la maquina, añadiendose un 3.5% de agua y mediante una motoconformadora se extiende y se compacta con un vibrocompactador de 12 ton.

Con solo cuatro (4) pasadas y adicionandole una capa de concreto asfáltico, de acuerdo al tipo de base granular que se tenga .

Cuenta con un tambor fresador con trepanos de tungsteno, rociador bituminoso, sinfion distribuidor, con regla de colocación .

El equipo de dosificación esta integrado, para regular la adición de agua y ligante.

Este equipo se compone de una unidad de regulación electronica para el ajuste y mando de la cantidad de aditivos y de una bomba con dispositivo de rociado.

Con ayuda de este equipo se dosifica exactamente la cantidad de agua, ligante y emulsión, la bomba de caudal regulable y el dispositivo de rociado proyecta uniformemente el agua, el ligante o la emulsión contra la carcasa del tambor fresador.

El mando programador por microprocesador dosifica la cantidad de aditivos en porcentaje, en peso, en dependencia de la velocidad de avance de la profundidad de fresado, del ancho de fresado, del espesor del material .

Las toberas de rociado se abren o cierran mediante valvulas en función del ancho de fresado .

Una computadora automatica interrumpe el proceso de rociado con la maquina parada.

El ligante es conducido al equipo de dosificación desde un camion cisterna, cuenta con cuatro gatos neumaticos controlados segun sea el esviaje que se necesite de ella.

Se pueden dotar de una regla de colocación variable con sinfin distribuidor antepuesto, esta regla hace de la maquina un sistema completo, fresado, adición de ligante, mezclado y colocación con compactación previa en una sola operación.

En el tramo de Yuriria - Salvatierra se relizaron pruebas con distintas emulsiones asfalticas tales como: emulsión asfaltica de rompimiento rapido, rapida superestable y de rompimiento medio dando mejores resultados de esta ultima .

La via es de dos carriles con un ancho de 2 mts, y mediante el mando se dosifica solo la parte con la cual se va a trabajar y el resto se adicionara a la siguiente pasada del tramo faltante, ya que si no se cerraran las valvulas lo que ocasionaria seria que nos llorara o que se produjeran baches.

Esto producido por el exceso de emulsión , ya que se debe llevar a efecto un control en cada franja que se este realizando ya que en este caso particular podemos señalar que por contar con varios riegos de sello, producira un exceso de material bituminoso.

Se realiza un poreo y rastrilleo asi como un barrido para que no se clasifique el material.

En cada corte y a cada 100 mts, se lleva un control de granulometria, asi como el contenido de asfalto antes y despues de que se le ha agregado emulsión asfaltica .


**ENSAYE DE MATERIALES PARA
CONCRETO ASFALTICO**
Construcontrol, S.A.
PROCEDENCIA

YURIRIA - SALVATIERRA

MUESTRA NUM.
PARA UTILIZARSE EN

MATERIAL PRODUCTO DE FRESADO

FECHA DE RECIBO
CLASIFICACION PETROGRAFICA

MALLAS	% PASA	PROYECTO
1"		
3/4"	100	
1/2"	97	
3/8"	95	
1/4"	86	
Num. 4	79	
" 10	49	
" 20	34	
" 40	26	
" 60	15	
" 100	10	
" 200	6	
RET. MALLA		%

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO
COMPOSICION GRANULOMETRICA

 P. V. MECO SUELTO kg/m^3

ABSORCION %

BERRIDAD

DEBASTE %

PART. ALARGADAS %

PART. LAJADAS %

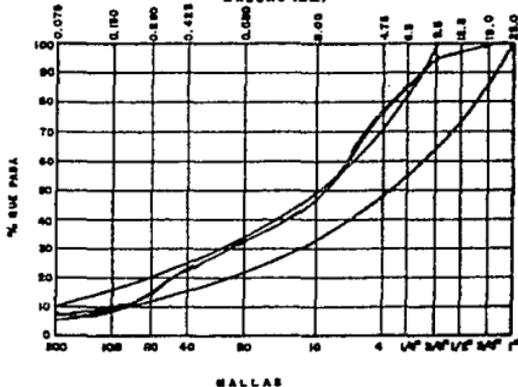
EQUIV. DE ARENA %

CONTRACCION LINEAL %

CARACTERISTICAS DEL CEMENTO ASFALTICO
TIPO

PENETRACION, 25°C, 100 gr., 5 seg.

VISCOSIDAD SAYBOLT F, seg.

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA
MALLAS (mm.)

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN
ESPECIFICACIONES

TEMP. ELABORACION, °C

 PESO VOLUMETRICO, kg/m^3

 ESTABILIDAD, kg

FLUJO, mm.

VACIOS, %

VAM, %

CONT. CEM. ASF. / PETREO, %

ADITIVO

USADO

MARCA

TIPO

CARBIDAS/C.A., %

AFINIDAD

OBSERVACIONES

MUESTRA TOMADA CON EMULSION ASFALTICA INCREMENTADA EN LA CARPETA DE 12 CM. AGUA EN MEZCLA 9.15%

FORMULO
APROBO
FECHA
IMP. Num.

VICTOR NINO GOMEZ



Construcontrol, S.A.

**ENSAYE DE MATERIALES PARA
CONCRETO ASFALTICO**

PROCEDENCIA YURIRIA - SALVATIERRA

MUESTRA NUM.

PARA UTILIZARSE EN MATERIAL PRODUCTO DE FRESADO

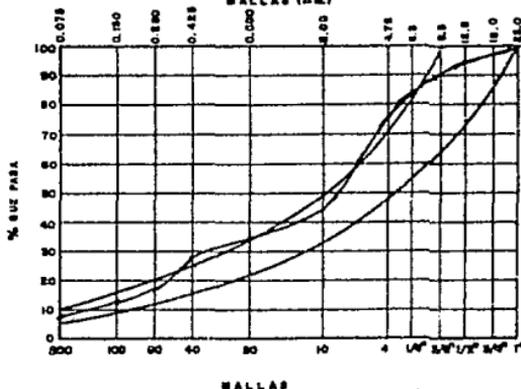
FECHA DE RECIBO

CLASIFICACION PETROGRAFICA		
MALLAS	% PASA	PROYECTO
1"		
3/4"	100	
1/2"	98	
3/8"	95	
1/4"	91	
Num. 4	83	
" 10	74	
" 20	45	
" 40	35	
" 60	29	
" 100	18	
" 200	13	
RET. MALLA	9	%

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO

COMPOSICION GRANULOMETRICA

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



R. V. SECO SUELTO kg/m³

ABSORCION %

BERSIDAD

DESBASTE %

PART. ALARGADAS %

RENT. LAJADAS %

ENIV. DE ARENA %

CONTRACCION LINEAL %

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN		ESPECIFICACIONES
TEMP. ELABORACION, °C		
PESO VOLUMETRICO, kg/m ³		
ESTABILIDAD, Kg		
FLUJO, mm		
VACIO, %		
VAN, %		
CONT. DEP. ASF. / PETREO, %		8.76
ADITIVO USADO	MARCA	
	TIPO	
	CANTIDAD/C.A., %	
	AFINIDAD	

CARACTERISTICAS DEL CEMENTO ASFALTICO

TIPO

PENETRACION, 25°C, 100 gr., 5 seg.

VISCOSIDAD SAYBOLT F, seg.

OBSERVACIONES MUESTRA TOMADA CON EMULSION INCREMENTADA EN LA CARPETA A 15 CM. AGUA EN MEZCLA 8.46%

FORMULO

APROBADO

FECHA

REF. No m.

VICTOR MINO GOMEZ



ENSAYE DE MATERIALES PARA CONCRETO ASFALTICO

Construcontrol, S.A.

PROCEDENCIA

YURIRIA - SALVATIERRA

MUESTRA NUM.

PARA UTILIZARSE EN

MATERIAL PRODUCTO DE FRESADO

FECHA DE RECIBO

CLASIFICACION PETROGRAFICA

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO

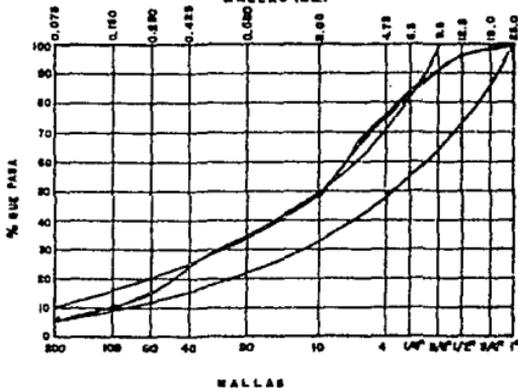
MALLAS	% PASA	PROYECTO
1"		
3/4"	100	
1/2"	100	
3/8"	99	
1/4"	97	
NUM. 4	91	
" 10	84	
" 20	50	
" 40	35	
" 60	27	
" 100	15	
" 200	10	
RET. MALLA 5		%

P. V. POCO SUELTO Kg/m ³	
ABSORCION %	
DENSIDAD	
DESGASTE %	
PART. ALARGADAS %	
PART. LAJADAS %	
EQUIV. DE ARENA %	
CONTRACCION LINEAL %	

CARACTERISTICAS DEL CEMENTO ASFALTICO

TIPO	
PENETRACION, 25°C, 100 gr., 5 Seg.	
VISCOSIDAD SAYBOLT P, Seg.	

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA
MALLAS (mm.)



CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN		ESPECIFICACIONES
TEMP. ELABORACION, °C		
PESO VOLUMETRICO, Kg/m ³		
ESTABILIDAD, Kg		
FLUJO, mm.		
VACIOS, %		
V.A.M., %		
CONT. CEN. ASF. / PETREO, %		5.20
ADITIVO USADO	MARCA	
	TIPO	
	CANTIDAD/C.A., %	
AFINIDAD		

OBSERVACIONES: ESTA MUESTRA SE ANALIZO ANTES DE INCREMENTAR ENULSION. CONTENIDO DE AGUA 5.53%.

FORMULO
VICTOR MINO GOMEZ

APROBADO

FECHA

IMP. Num.

Se compacta con un vibro-compactador, una tandem y un neumático para poder alcanzar una compactación aceptable .

Entrando en funcionamiento inmediatamente después de haber sido compactada, y se le ayuda adicionando una sobrecarpeta de 5 cms, de concreto asfáltico y efectuándosele la prueba marshall para conocer su grado de compactación. (Se anexan resultados obtenidos en campo con material reciclado).

Los trabajos efectuados en la Ciudad de México, (Circuito Interior) fueron la de fresado y agregado de material emulsionante y una sobrecarpeta de 5cm. desde el aeropuerto de la ciudad de México hasta la av. Eduardo Molina .

5.3.- Teoría de las Emulsiones Asfálticas.

Podemos definir a las emulsiones desde el punto de vista físico-químico, como una dispersión fina mas o menos estabilizada de un líquido en otro, no miscibles entre si.

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

- a).- Fase dispersa discontinua.
- b).- Fase dispersa continua.

Existen dos tipos de emulsiones según la concentración de cada una de esas fases: una emulsión directa es aquella en que la fase hidrocarbonada.

Las del primer tipo son las que mas se emplean en la industria caminera, es preferible el empleo de las emulsiones directas por su baja viscosidad a temperaturas ambiente.

El tamaño promedio del globo de asfalto es de 2 a 6 micras, tan pequeño que hace aumentar la superficie de contacto de asfalto.

Esto favorece el mojado, repartición y cohesión con el material petreo, el emulsificante define el tipo de emulsión: las aniónicas con carga del globo negativo y las cationicas, positivo .

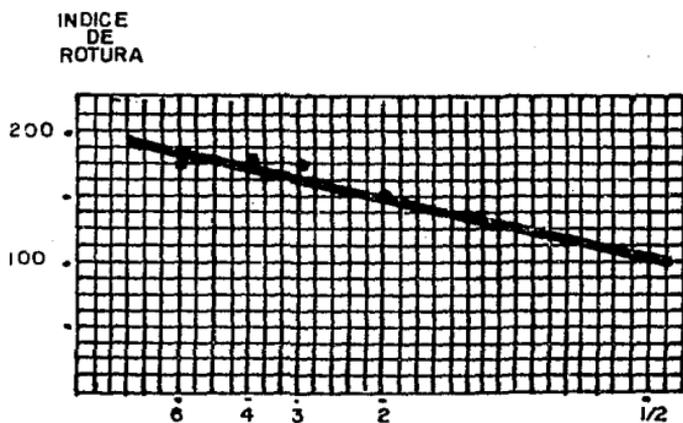


FIG.5.1 LONG. CONCENTRACION EMULSIONANTE
VARIACION DEL INDICE DE ROTURA EN FUNCION DE LA
CANTIDAD DE EMULSIONANTE

Los emulsificantes cationicos y anionicos son compuestos organicos de peso molecular relativamente elevado; su parte polar es soluble en el agua hidrofila .

En general los factores que influyen en la ruptura de una emulsión anionica son: la evaporación de la fase acuosa , la difusión del agua de la emulsión y en menor grado, factores fisico-quimicos y absorción superficial de una parte del emulsificante en el material petreo.

La absorción puede ser la parte polar acida y acidos grasos que efectuan una reacción con el material, lo cual destruye la pelicula protectora, haciendo depositar el ligante sobre el agregado, esto origina la ruptura de una emulsión cationica, lo anterior sucede con casi todos los materiales.

Esta absorción de la parte polar del jabon por los agregados provoca la ruptura de la emulsión, haciendo que los globulos de asfalto se adhieran inmediatamente a las particulas del material petreo, aun en presencia de humedad.

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

Las citadas propiedades de las emulsiones cationicas, permiten proseguir los trabajos en regiones con climas humedos o durante la temporada de lluvias.

La perfecta liga del asfalto con el material petreo, garantiza, la apertura de caminos al tránsito en un corto periodo de tiempo.

(&).- Saporificación.- Es el paso que se sigue con los productos quimicos agregando sosas, potasa o acido, de acuerdo con el tipo de emulsión que se vaya a fabricar, con el objeto de lograr un jabon emulsificante.

- Reacción o proceso quimico en el cual se calienta el ester con un alcali acuoso tal como hidroxido sodicos, formandose un alcohol y la sal sodica del acido correspondiente al ester.

El proceso se lleva a cabo con mas frecuencia en grasas que son esteres glicericos de acidos grasos, las sales sodicas que se forman en estos casos son jabones .

La gama de los emulsificantes generalmente utilizados consideran de su costo y eficiencia, se reduce a los siguientes compuestos:

-Para las emulsiones anionicas:
ácidos grasos abieticos y naftenicos, neutralizados por una base fuerte (generalmente sosa o potasa) .

-Para las emulsiones cationicas :
poliaminas, amidoaminas, ionidazolinis y sales cuaternarias de amonio de cadena grasa.

Se emplea adicionalmente un ácido fuerte que generalmente es el ácido clorhídrico.

-Selección de la fórmula para la emulsión.

En las emulsiones no se tienen fórmulas tipo, la formulación debe diseñarse para cada tipo de asfalto y cada técnica de empleo, no obstante , es necesario tener en cuenta un cierto número de reglas generales, las cuales se indican a continuación.

Con el fin de que el emulsificante presente bajo forma ionizada se encuentre en cantidad suficiente es necesario calcular la cantidad de ácido o de base que se debe agregar a la fase acuosa .

La concentración de cemento asfáltico no debe sobrepasar un límite, arriba del cual la viscosidad alcanza valores poco compatibles con las condiciones de empleo de las emulsiones, este límite o umbral es del orden de :

65% de asfalto para las emulsiones anionicas.

70% de asfalto para las emulsiones cationicas.

Esta diferencia entre las dos emulsiones reviste mayor importancia en las emulsiones cationicas, al considerar su granulometría.

La velocidad de ruptura depende también del Ph de la emulsión, para las emulsiones cationicas, utilizando valores de Ph bajos se logra la mejor estabilidad .

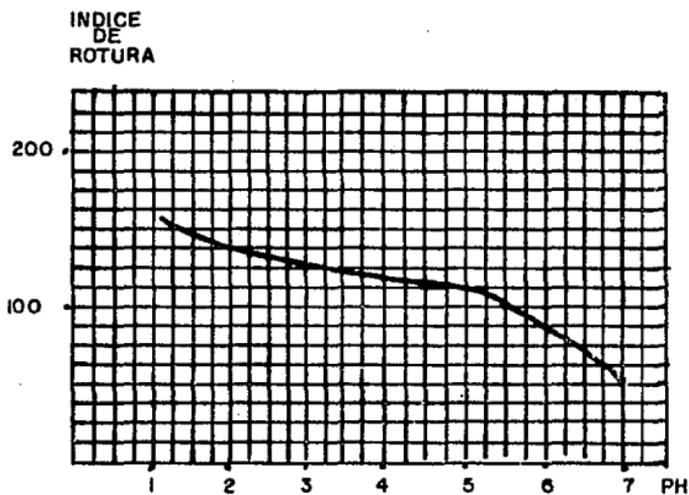


FIG. 6.2 VARIACION DEL INDICE DE ROTURA
CON EL PH DE LA FASE ACUOSA

Mecanismo de ruptura del cationico.

En el caso de las emulsiones cationicas, la parte polar del jabon es absorbida por los agregados, existe una ruptura y adhesión inmediata inclusive en presencia de agua (agregados humedos).

La emulsión cationica rompe en contacto con los agregados silicosos debido a la atracción de los iones NH_3^+ , formandose una sal insoluble para asegurar la adhesión.

La emulsión cationica rompe sobre los materiales calcareos debido a la reacción de los iones CL^- sobre el agregado y fijación de los iones NH_3^+ sobre los aniones CO_3^{2-} .

Se sabe por ejemplo que una emulsión para riegos superficiales debe responder a las características siguientes : ruptura rápida(del orden de media hora), buena adhesividad en contacto con los agregados secos o humedos, viscosidad suficiente para que la emulsión no escurra antes de su ruptura.

Los parametros fisicos como la temperatura de las fases, el tipo de asfalto rebajado (fluxado) y el contenido de ligante, tienen una influencia preponderante sobre las propiedades de la emulsión .

1).- Temperatura.- A su llegada a la turbina, el asfalto debe tener una viscosidad suficientemente para fraccionarse facilmente bajo la acción de las fuerzas cortantes del equipo de fabricación.

Temperaturas optimas para obtener una emulsión excelente son:

140 C para cemento asfaltico	180/220
150 C para cemento asfaltico	80/100
160 C para cemento asfaltico	40/50

La temperatura de la emulsión a la salida de la turbina no debe sobrepasar a los 95 C para evitar la formación de espuma .

2).- Fluxado.- Mediante el fluxado se puede disminuir la viscosidad del asfalto cuando:

-El aumento de la temperatura del ligante resulta imposible o

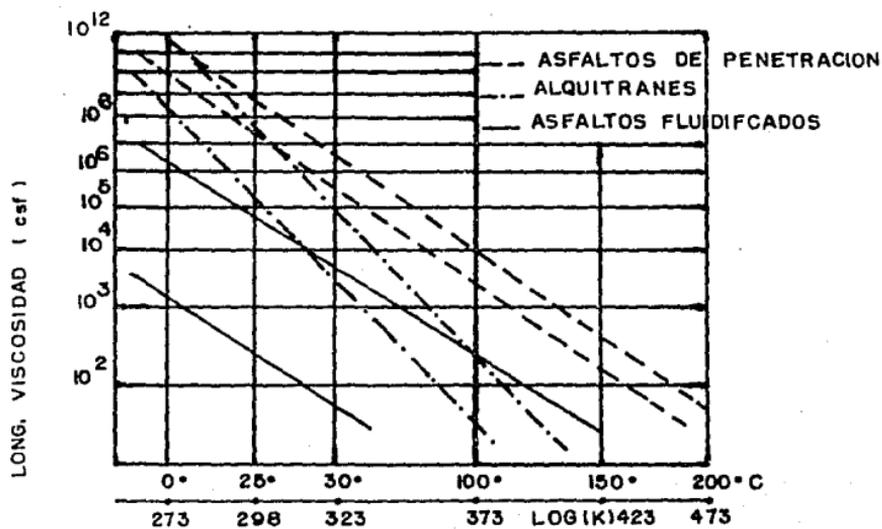


FIG. 5.3 DIAGRAMA VISCOSIDAD TEMPERATURA DE
DIFERENTES LIGANTES ASFALTICOS

muy costoso.

-El espesor de la película de asfalto residual (después de la ruptura de la emulsión) es prácticamente insuficiente.

Contenido de ligante.

El contenido de ligante se considera aquí como un parámetro físico ya que ejerce influencia en la elección de las temperaturas de elaboración , es necesario, como ya se ha indicado anteriormente calcular el balance térmico para cualquier cambio en el contenido de ligante .

-Para evitar la fabricación empírica en serie, se pueden utilizar métodos que permitan la clasificación de los emulsificantes en función de su naturaleza química y de la longitud de su cadena; en efecto las numerosas propiedades de los activantes de superficie, varían de acuerdo con su estructura química, tales propiedades son:

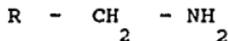
Solubilidad en el agua, coeficiente de cubrimiento, relación del tiempo de retención cromatográfica.

En la práctica, la elección del emulsificante se limita, para los tensoactivantes catiónicos , en tres tipos principales :

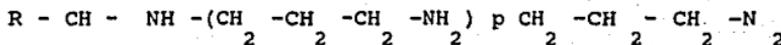
a).-Las aminas grasas y sus derivados :
diaminas y poliaminas

Las aminas grasas se obtienen por amidación de ácidos grasos, deshidratación de amidas e hidrogenación del nitrilo obtenido

Su fórmula química puede representarse por :



Las poliaminas se obtienen mediante la adición de acrinolitrilo sobre la amina inferior:



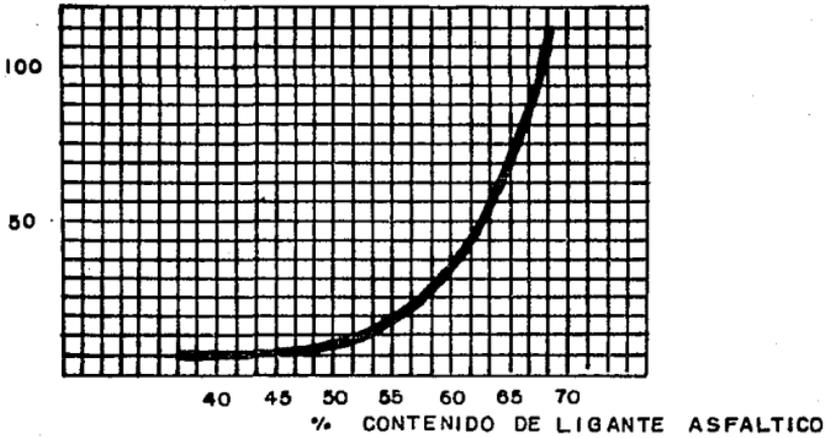
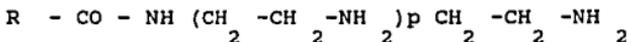


FIG. 5.4 VISCOSIDAD DE UNA EMULSION EN FUNCION DEL CONTENIDO DE LIGANTE

variando p de 0 a 2 .

b).-Las amidoaminas se obtienen mediante la reacción entre un ácido graso y una poliamina que no presenta cadena grasa:



c).- Los heterociclos nitrogenados del tipo imidazolina son condensaciones de amidoaminas.

Las amidoaminas y las imidazolinas son utilizadas principalmente para las emulsiones de rompimiento rápido, confieren a la emulsión una buena adhesividad .

2).- Cantidad de emulsificante.

Una vez hecha la elección del emulsificante en función del tipo de emulsión (rápida, semirápida, lenta) la cantidad de emulsificante se determina tomando en cuenta las condiciones reales de utilización, es decir la naturaleza y granulometría del agregado, naturaleza del asfalto, condiciones climáticas, equipo de construcción y tipo de mezcla.

3).- Neutralización del emulsificante.

El emulsificante para su eficaz, debe encontrarse bajo forma de sal, la salificación debe llevarse a cabo con precaución para poder obtener como resultado una fase acuosa con un ph determinado en la cual el emulsificante se encuentra perfectamente repartido, una mala neutralización conduce a emulsiones de calidad aleatoria.

4).- Estabilizantes.

Puede ser internamente, en ciertos casos particulares aumentar el tiempo de ruptura de una emulsión ya fabricada.

Para esto se emplea un compuesto químico, ya sea un electrolito inorgánico o un verdadero estabilizante orgánico, tal como el clorhidrato etoxileno de amina.

Siendo esta la tecnica empleada en las emulsiones para mezclas asfalticas, debe escogerse al electrolito en funcion de la naturaleza mineralogica de los materiales.

- Fluxantes.- Los fluxantes utilizados son generalmente: asfaltos fluidificados de baja viscosidad (0 / 1) aceites de hulla.

- Emulsificantes.- Se expenden bajo forma de pasta en recipientes metalicos.

- Acido.- Es en general, acido clorhidrico presentado en solucion acuosa de 20 - 22 Bacum envasado en garrafones.

CONCLUSIONES

6.- Conclusiones.

Durante los proximos 20 años la principal meta de los programas relativos a caminos, calles y autopistas. Habra algunas nuevas construcciones a lo largo de los actuales lineamientos, pero la inquietud principal sera mantener la fuerza y resistencia de la capa de 3 a 10 cms de los pavimentos de rutas y calles existentes.

El metodo tradicional y aun el mas comun para renovaci3n de la superficie dañada es el revestimiento con una nueva sobrecapa. El recubrimiento con el material nuevo continuara jugando un papel preponderante, pero los dos metodos nuevos, perfilado y reciclado de pavimentos, estan adquiriendo rapidamente significancia y estan destinados a jugar un papel mayor en los futuros programas de renovaci3n de superficies.

La reciente introducci3n de maquinas de ferfilado del pavimento, de alta productividad y con capacidad para quitar el pavimento aspero, dejando una capa de revestimiento nueva, ha comenzado a cambiar el pensar de muchos, sobre la renovaci3n de superficies.

Muchos factores parecen señalar que el reciclado en plantas en caliente crecera y la cambiante estructura socio-economica esta suministrando la oportunidad que este cambio ocurra, en todos los paises del mundo demandan la reconstruccion para proteger las inversiones actuales.

La inflaci3n y lo escasos real y siempre progresiva de fuentes de energia de petroleo, unidas a la busqueda de nuevos metodos y la necesidad de reparaci3n de caminos y calles.

En todos los casos de remocion y reuso de las superficies para el reciclado, debera dispensarse una atencion cuidadosa a la granulometria del material, al contenido de asfalto y a la calidad de asfalto en el material recuperado.

Todos los metodos de recuperacion de material aumentara el contenido de finos del material viejo.

Consecuentemente, el reciclado, en la mayor parte,

implicara la combinación de nuevos materiales limpios con los recuperados para producir el mezclado en caliente, con la curva de granulometría requerida y la estabilidad y vacíos apropiados.

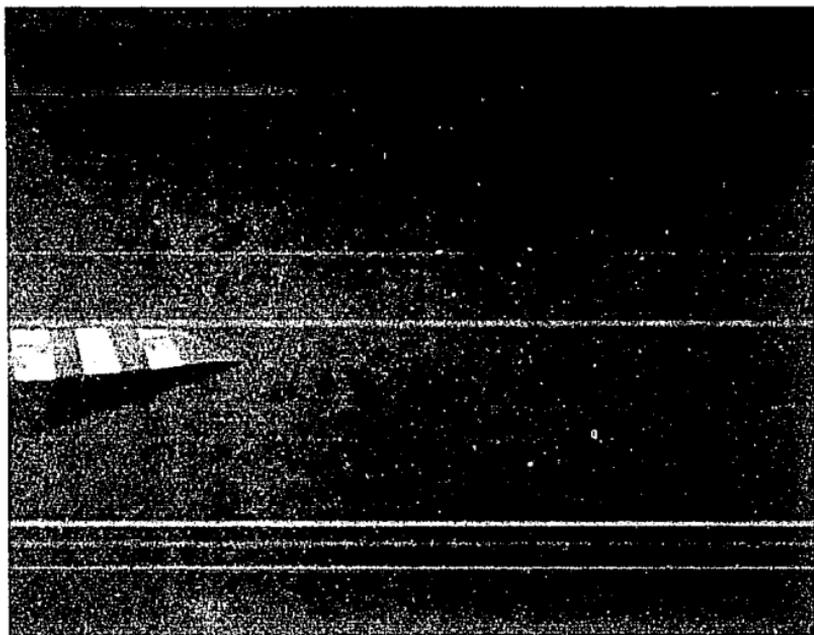
En todos los ramos de la industria, así también en la construcción de carreteras, se ha propagado a través de una concientización hacia el medio ambiente, procesos activos, en la cual elevan a primer plano procesos que imperan la economía de materias primas no renovable.

Se impone la pregunta, si la incursión en contra de la naturaleza cada vez más profunda, causada por la escasez de materias primas y la mentalidad no concientizada hacia el uso de lo desechable, es todavía justificable a pesar del progresivo agotamiento de las fuentes y yacimientos de estos recursos.

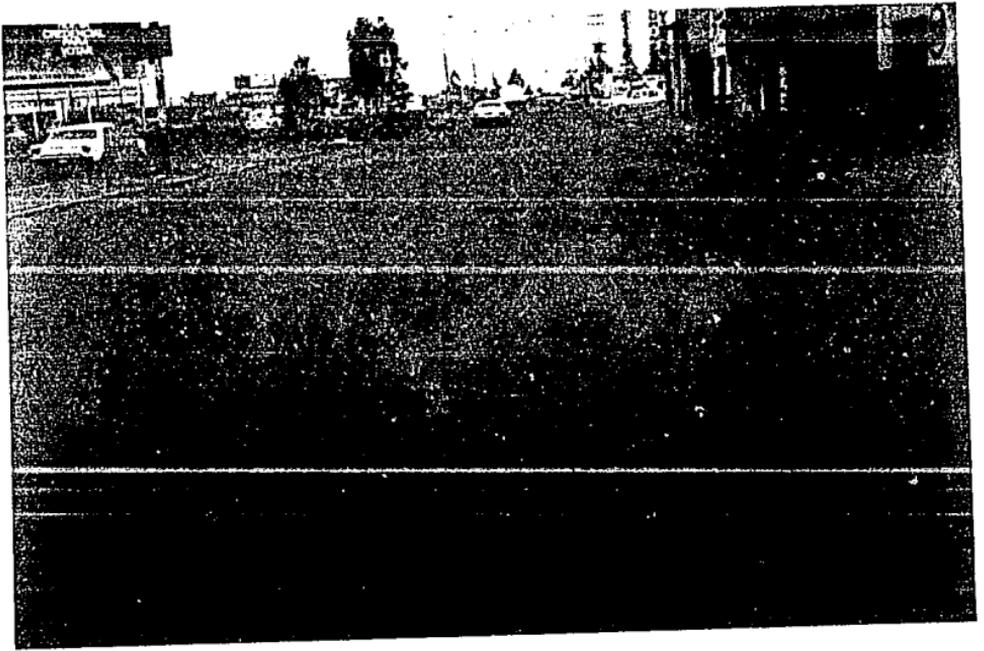
Desde el punto de vista político económico, ya no es justificable el no recurrir al rehuso de las materias primas y se buscan nuevos métodos racionales y la reconsideración de procedimientos en la construcción a base de métodos científicos y prácticos.

Las reservas existentes tendrán que ser mejor aprovechadas y las materias primas disponibles utilizadas económicamente más acertadas que hasta la fecha.

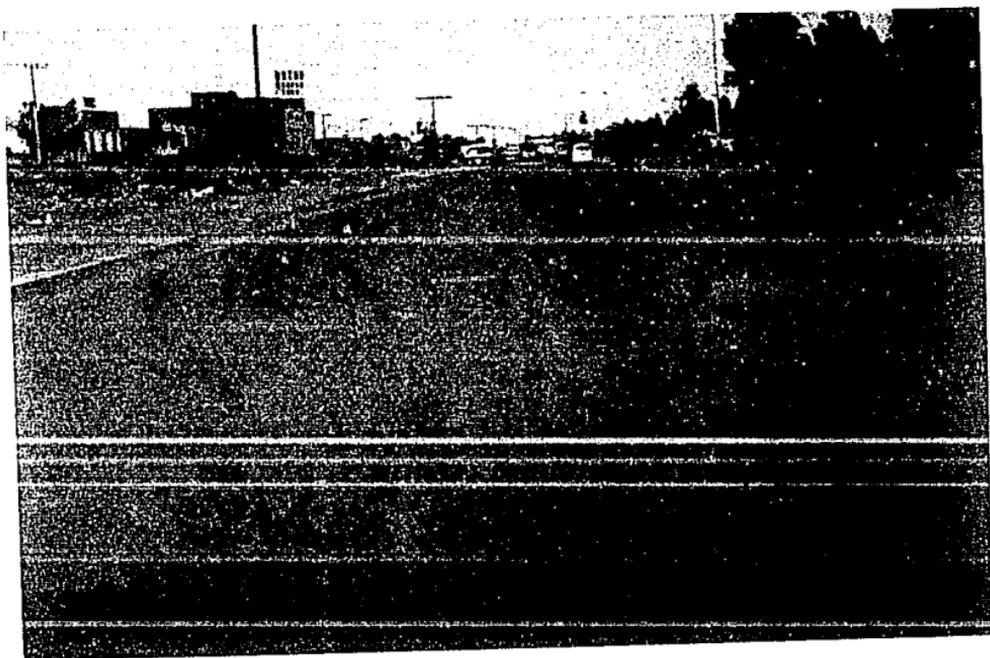
ANEXO FOTOGRAFICO



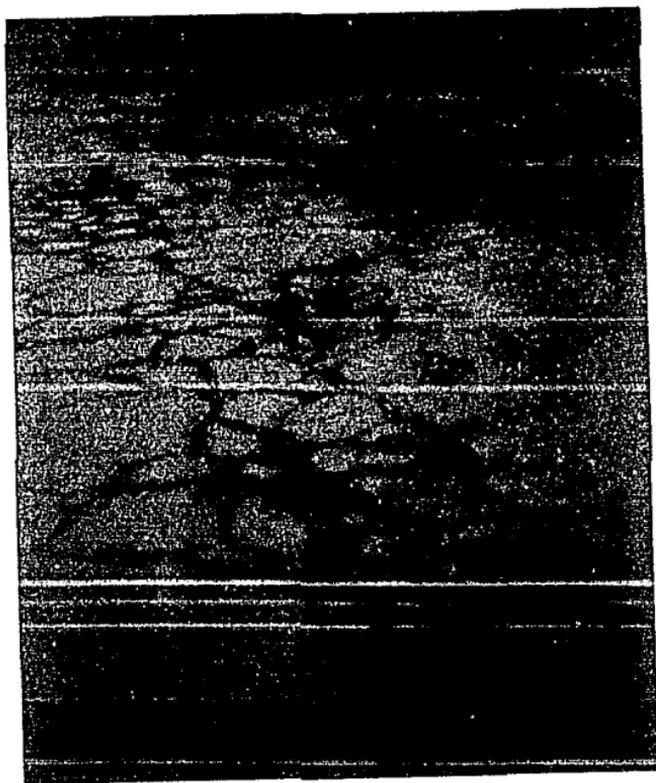
*Vista de la Regla Integrada y de la Colocación
del Material.*



Péndida Ligera de Agreago Gualeo.



*Pérdida Severa de Agregado Grueso o
Piel de Cocodrilo.*



Desprendimiento y Agrietamiento Severo.



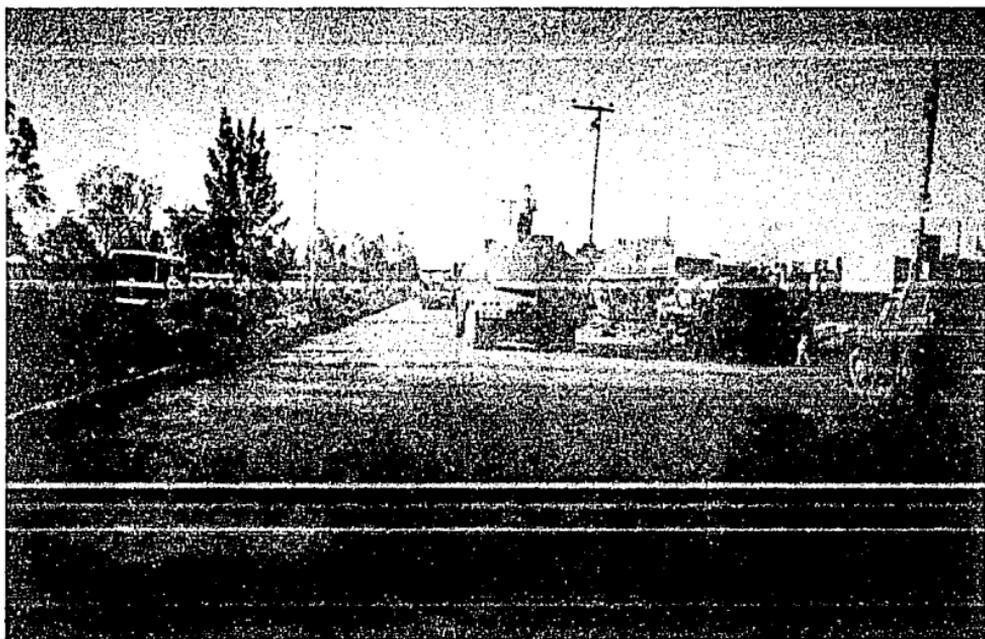
*Vista Parcial Corte con Máquina Fresadora
Wintgen por Calentamiento.*



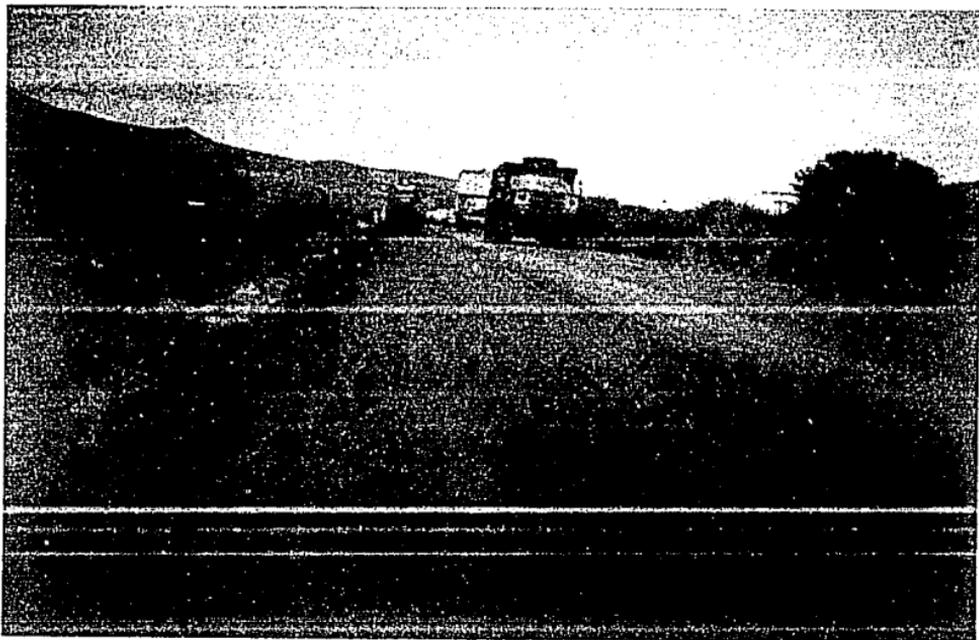
Estabilización con Cal en Material de Sub-Base.



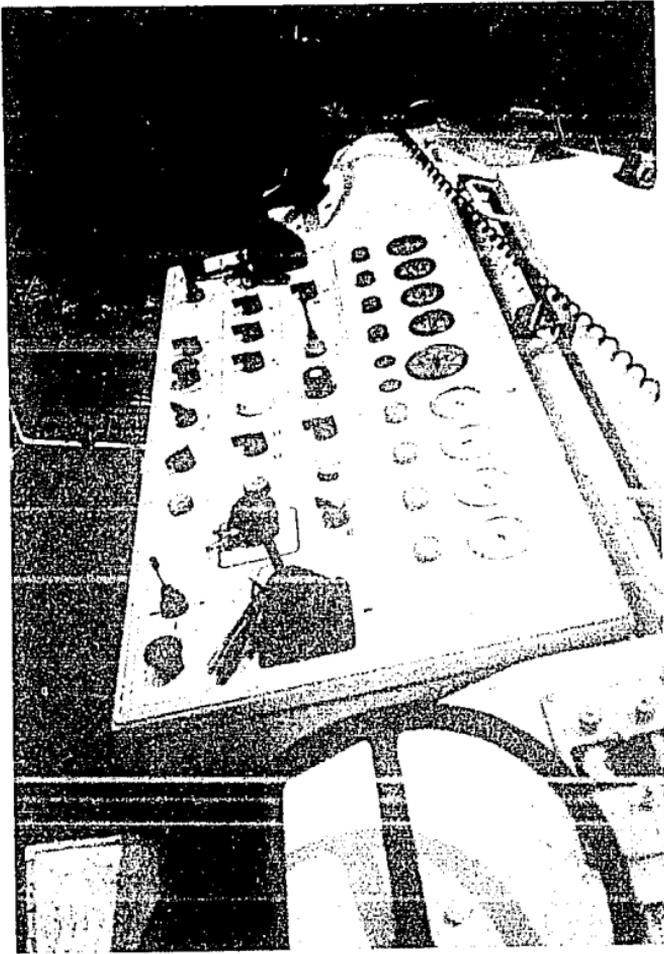
*Homogeneización de Material Fresado con Cementante.
(Tepetate).*



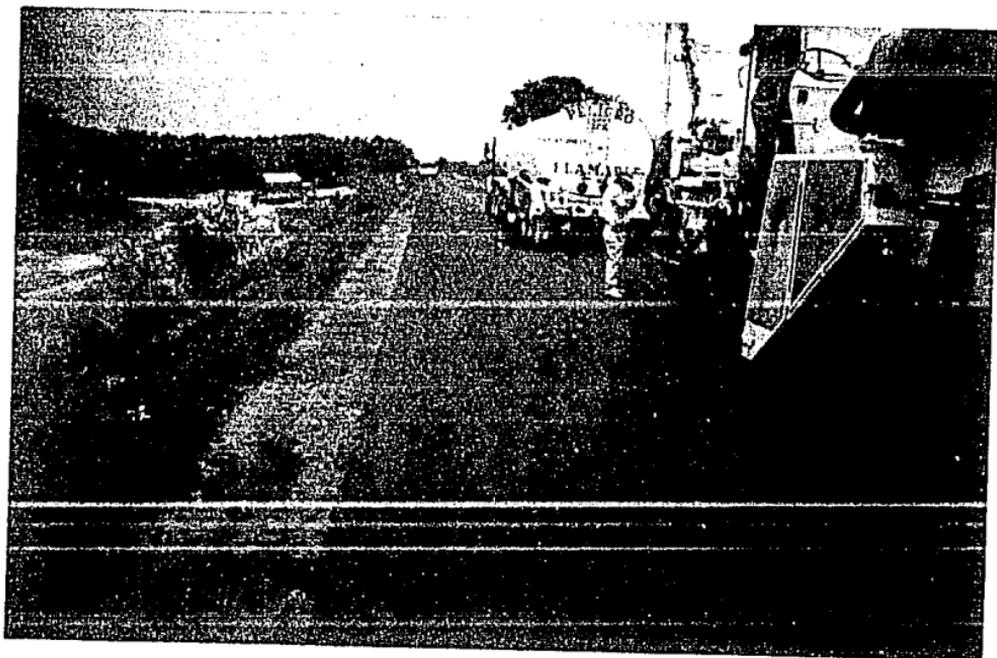
Riego de Agua o comunmente llamado Matapolvos, y a Derecha La Petrolizadora para impregnar con Material FM-1.



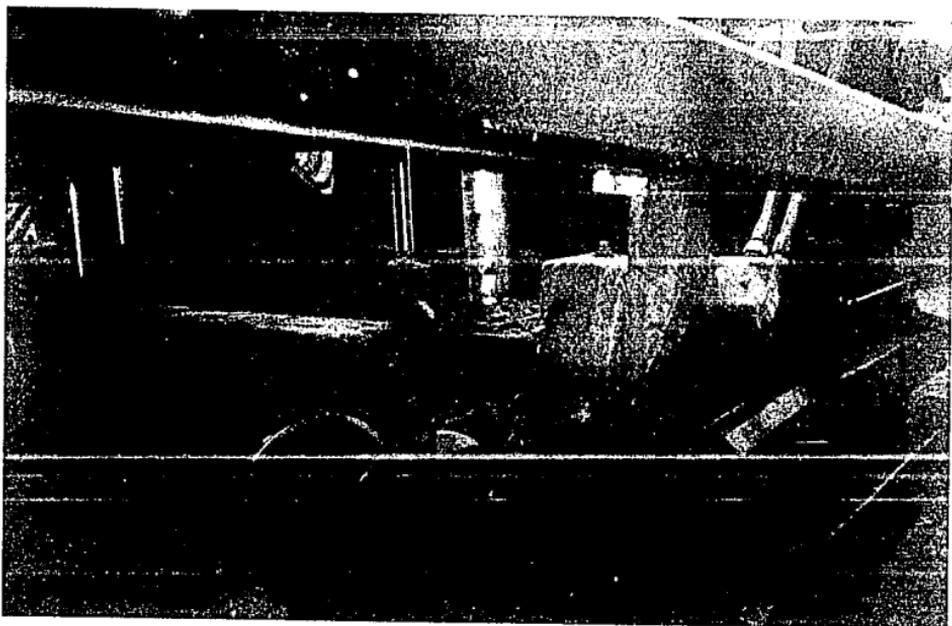
*Carpeta Asfáltica Terminada y Funcionando
La Vialidad.*



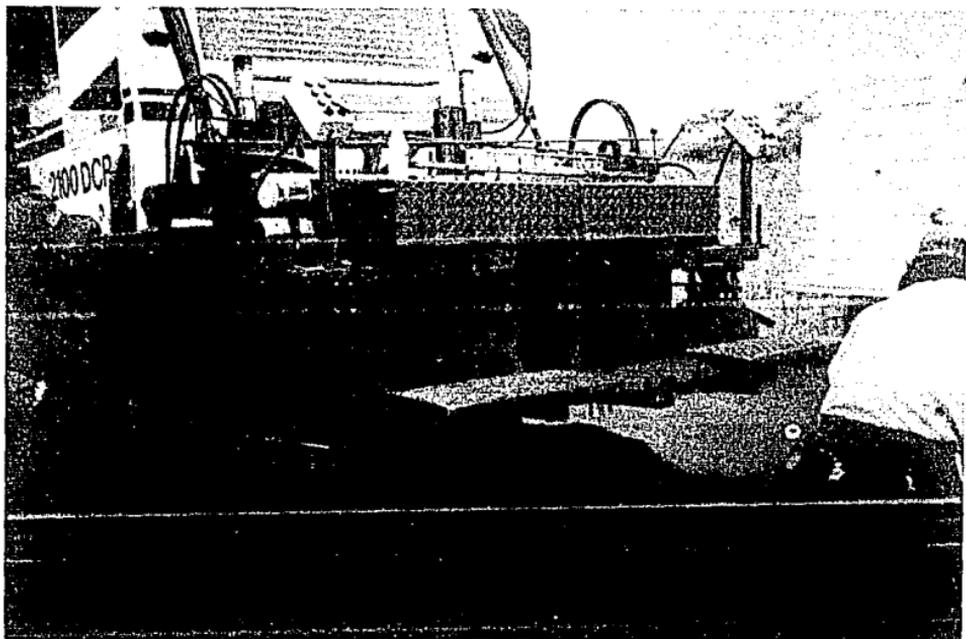
Vista Parcial del Mando, Programada por el Procesador.



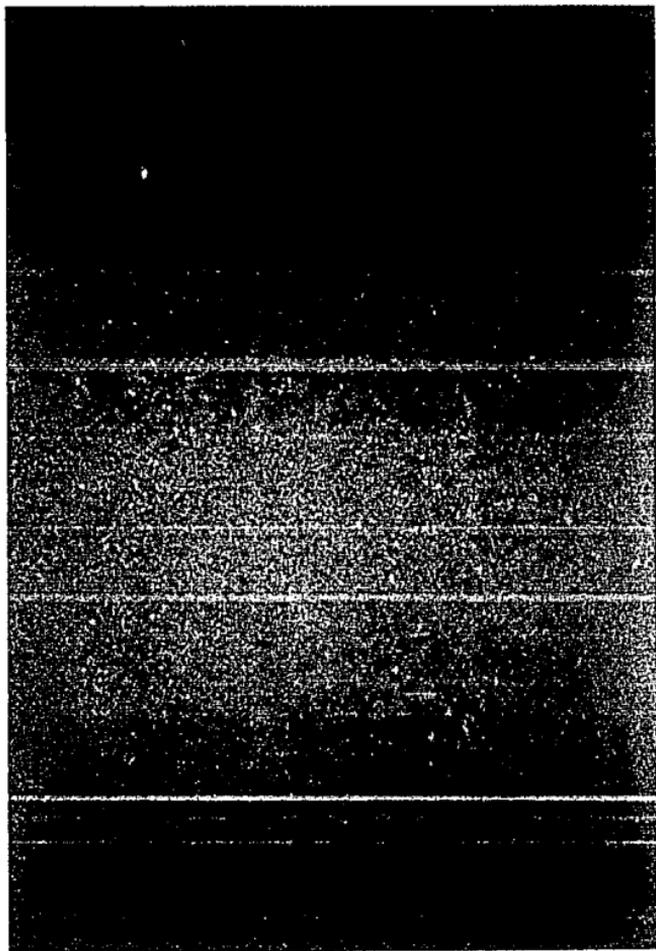
*Tanque de Emulsión Acoplado a La Máquina
Recicladora 2000 VCR.*



Sinfin - Distribuidor.



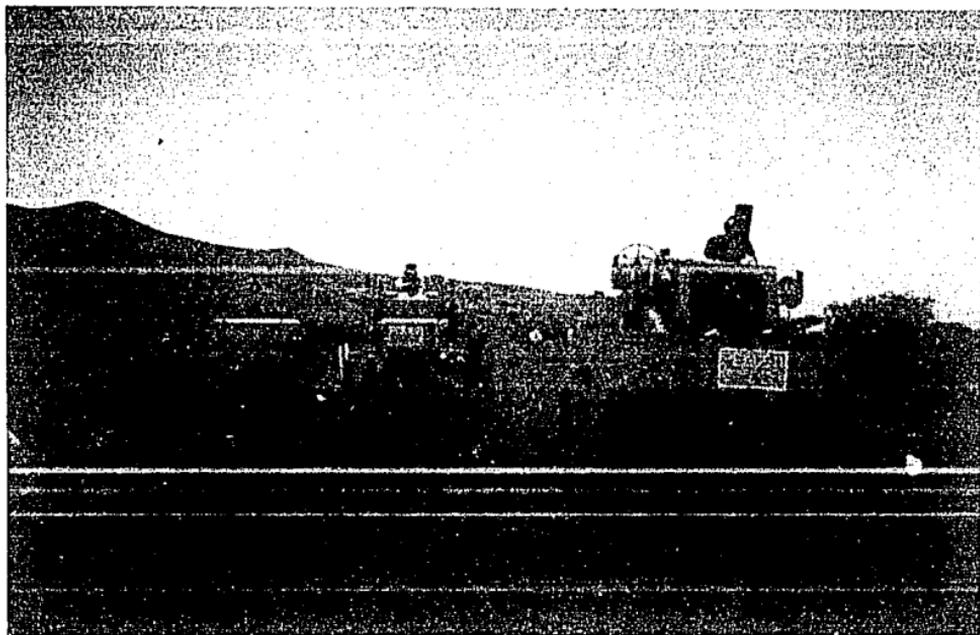
Regla Acabadora Integrada a La Máquina.



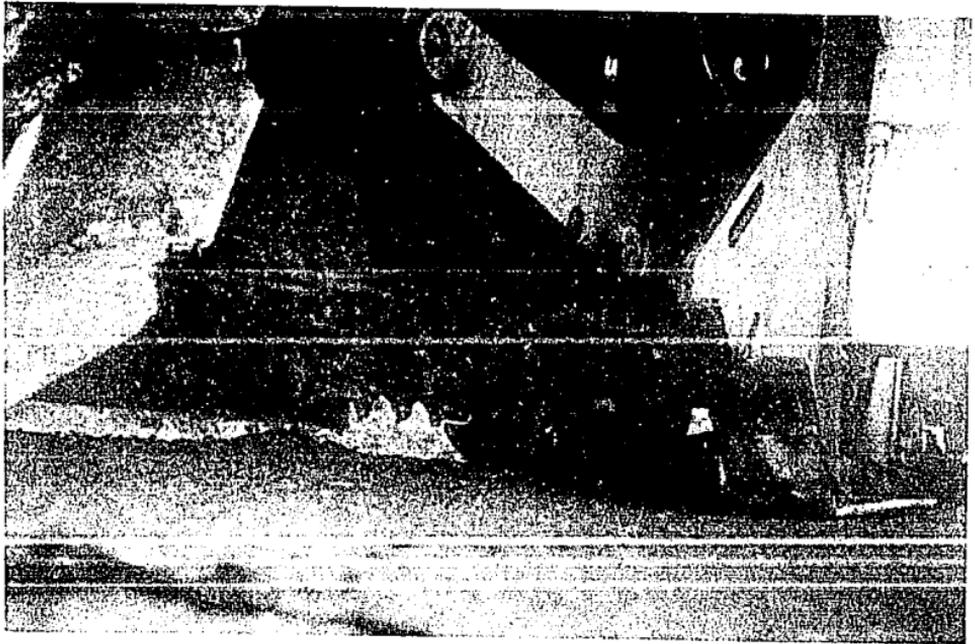
Textura del Material Reciclado.



*Compactación del Subtramo Reciclado con Compactador
y Circulación Alternativa de Vehículos sobre la Vía
en Rehabilitación.*



*Equipo utilizando para la Compactación, Rodillo liso
y Compactador Neumático.*



Tambor Fresador de La Máquina Recicladora.

BIBLIOGRAFIA

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

- Asociación Nacional de Fabricante de Cal, A.C.
Guía para el Proyecto de Pavimentos Flexibles.
México, 1987.
- Revista IMCYC. Vol. XIV No. 80.
Mayo-Junio 1976.
- Moncayo Jesús. Manual de Pavimentos.
Editorial, C.E.C.S.A. 1986.
- GEOSOL. Emulsiones Asfálticas.
México, 1976.
- Rivera E. Gustavo. Emulsiones Asfálticas.
Edit. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.
México, 1987.
- Rico. Alfonso y del Castillo Hermilo.
La Ingeniería de Suelos en Vías Terrestres.
Editorial LIMUSA. México, 1981.
- Ing. Limón Limón Luis. Experiencias no Publicadas de
Reciclamiento de Pavimentos Flexibles.
