

24
2 ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLÁN**



**RECICLADO
DEL
CONCRETO
ASFALTICO**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
JESUS RODRIGUEZ VELASCO

MEXICO, D. F.

MAYO 1986



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.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

CI/058/1986.

SR. JESUS RODRIGUEZ VELASCO
Alumno de la carrera de Ingeniería
Civil.
P r e s e n t e.

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 18 de agosto de 1983, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Reciclado del Concreto Asfáltico", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Generalidades.
 - I.1.- Tipos de falla de un pavimento y su solución.
- II.- Sistemas de reciclado.
- III.- Maquinaria usada en el reciclado.
- IV.- Materiales usados en el reciclado.
- V.- Costo de un reciclado comparándolo con la colocación de una nueva carpeta.
- Conclusiones.
- Bibliografía.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Abel A. López Martínez, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Acatlán, Edo. de Méx., a 11 de abril de 1986.

ING. HERMENEGILDO ARCOS SERRANO
Coordinador del Programa de
Ingeniería.

ENEP
COORDINACIÓN
PROGRAMA DE

HAS'APA/rcm.

INTRODUCCION

El reciclaje de materiales ha sido utilizado por algunas industrias durante años con productos como vidrio, papel, aluminio, acero y otros, estas empresas usan el reciclaje porque reconocen que en lo que se tiene como desperdicio de algunas mercancías, existen cantidades finitas de elementos que pueden usar como materias primas y con las cuales elaboran sus productos; por otro lado las economías de estas industrias han hecho que el reciclaje sea competitivo contra la producción de bienes con componentes nuevos.

Existen numerosas ventajas al efectuar el reciclamiento en los pavimentos de las carreteras, aeropistas, caminos de acceso, calzadas y zonas de estacionamiento, ya que el utilizar asfalto y material pétreo nuevo cada vez es mas caro y difícil de transportar, por lo que una reparación con el sistema tradicional de sobrecarpetas es mas costosa.

La importancia del reciclado asfáltico es darle una vida adicional al pavimento que se encuentra en mal estado, tomando en cuenta que su falla no se localiza en las capas inferiores de la estructura.

Antes de realizar un reciclado, se debe analizar primeramente el tipo de falla que se observa en el pavimento que se pretende reparar, ya que algunas de ellas se deben a una

insuficiencia estructural ocasionadas por la colocación de material de mala calidad o a espesores reducidos, también puede deberse a defectos constructivos que se originan por capas de la estructura del pavimento mal compactadas o a humedades inadecuadas, entre otras; estas fallas no se corrigen con un reciclado, ya que en este caso la carpeta solo refleja el defecto que se localiza en alguna de las capas inferiores del pavimento, siendo necesario para reparar esta falla levantar la carpeta y las capas necesarias con el fin de enmendar la que se encuentra en mal estado y así nuevamente volver a construir el pavimento.

La falla por fatiga de un pavimento es provocada por la acumulación de ejes equivalentes superior al estimado de diseño y cuyo valor dá por terminada la vida de proyecto del pavimento; la falla prematura por fatiga es indicativa de una apreciación inadecuada del tránsito y sus cargas ocurrientes aunada a la falta de una rehabilitación, los agentes de intemperismo, principalmente el gradiente térmico, producen cambios en la estructura interna del asfalto, provocando que se vuelva mas frágil y por lo tanto quebradizo, esto trae como consecuencia que se tenga una flexibilidad diferente con las otras capas del pavimento y se originen agrietamientos. Es en esta falla y antes de que las grietas permitan la introducción del agua a la estructura en donde es conveniente efectuar un reciclado para devolverle a la carpeta los solventes perdidos y sellar las grietas.

También puede efectuarse un reciclado cuando la falla que se presenta en la superficie de rodamiento es ocasionada por defectos en la construcción de la carpeta asfáltica.

Para mantener adecuadamente las condiciones de servicio de un camino, se hace necesario un mantenimiento preventivo de la superficie de rodamiento a través de un sellado de grietas con riegos de sello del tipo slurry seal, emulsión pétreo, asfaltos rebajados pétreos u otras técnicas que utilizan asfalto, ayudando con esto a que la superficie de rodamiento se mantenga en buen estado y se retarde la colocación de una sobrecarpeta o un reciclado.

Dentro de los diferentes procesos que se tienen para el reciclado de la superficie de rodamiento, debe tomarse en cuenta las propiedades químicas del asfalto, la granulometría del material pétreo que tiene la carpeta en el momento en que se piensa reciclar, así como las propiedades físicas del material pétreo respecto a la afinidad con el asfalto, incluyendo las condiciones ambientales, ya que del conocimiento de esta información puede determinarse la cantidad de aditivo que requiere el pavimento usado, el agregado nuevo que puede adicionarse, así como su compactación y sistema de reciclado.

Al efectuar la mezcla para un reciclado con asfalto y agregados pétreos recuperados, deben considerarse factores

como la temperatura, las fuerzas mecánicas aplicadas y los agentes rejuvenecedores, que sirven para devolver los componentes del asfalto que se perdieron durante el tiempo que estuvo expuesto a la intemperización, por otro lado debe tenerse presente que en un reciclado se requiere agregar de 1 a 3% de asfalto, mientras que en un concreto asfáltico nuevo se necesita un 6%.

En un reciclamiento se debe tener especial atención en el calentamiento que se le proporciona a la carpeta que se va a rehabilitar, al aditivo que va a ser empleado y a la trabajabilidad mecánica del nuevo pavimento que se pretende obtener, asimismo es importante considerar las secciones de un camino con diferente proceso de construcción, ya que cada una de las muestras obtenidas puede indicarnos que requiere un tratamiento de rehabilitación diferente, y el tomar alguna de ellas como base, podría traer como consecuencia que se cometan graves errores, por lo que a los agregados recuperados se les debe efectuar pruebas de granulometría y durabilidad para determinar si requiere la adición de agregado y la cantidad que sería necesaria.

Para reciclar un pavimento existen tres procedimientos diferentes, dependiendo del espesor que se pretende reciclar, así como de la importancia del camino, por lo que tenemos el superficial, en el lugar y en planta central.

El reciclamiento que se efectúa en caliente tiene mucho mejor calidad que el que pudiera elaborarse en frío, porque hace al pavimento mas trabajable y fácil de manejar, además de que elimina la laminación que se genera entre el pavimento viejo y el nuevo; por otro lado la mezcla que se elabora en planta central es mas homogénea y de mejor calidad que la que se hace en el lugar, ya que permite una mejor dosificación, se gradua adecuadamente la temperatura requerida y se tiene una mejor supervisión del concreto asfáltico reciclado obtenido.

Para efectuar un buen reciclamiento se cuenta con una cantidad ilimitada de maquinaria, cada país e inclusive algunos estados tienen un diseño propio o una preferencia a usar determinado equipo, al cual le colocan aditamentos especiales con el fin de adaptarlos a casos particulares; dentro de toda esta gama de maquinaria, existen desde muy pequeñas (manuales) como fresadoras, hasta muy complicadas como las unidades REMIXER que efectúan todo el trabajo en una sola operación con ayuda de otras máquinas complementarias.

Existe maquinaria a la cual se le puede adaptar un sistema para efectuar el trabajo de dos o mas unidades, ahorrando tiempo y costo, es importante tomar en cuenta que no todas pueden ser adaptadas y que a veces puede resultar anti-económico dependiendo de la importancia del pavimento.

Una de las unidades del sistema de reciclamiento mas importante, es la planta asfáltica en la cual se efectúa el proceso para obtener como producto terminal un concreto asfáltico reciclado de excelente calidad, estas plantas tienen aditamentos para variar la inclusión de agregado pétreo nuevo o de asfalto, también gradúan el contenido de aditivo o simplemente calientan y mezclan el pavimento viejo sin incluirle nada.

Es importante en el reciclamiento de un pavimento asfáltico la adición de un agente rejuvenecedor que restaure algunas de las propiedades perdidas del asfalto, el mas investigado y usado es el aditivo RECLANITE, que es una emulsión especial de resinas y aceites derivados del petróleo que rejuvenece y restaura en buena parte las características de penetración y ductilidad que el asfalto pierde con el tiempo, además reemplaza las partes mas volátiles del asfalto que se evaporan al calentarlo en planta.

Este aditivo se proporciona en forma concentrada en frío, diluyéndose a base de dos partes de agente rejuvenecedor por una parte de agua en el sitio de la obra con cualquier tipo de agua (incluyendo agua de mar), puede regarse a una temperatura que va desde 0°C hasta la mas alta que se pueda manejar, preferentemente se recomienda que el riego se efectúe en un día caluroso, puede ser esparcido con un camión distribuidor normal o a mano y su velocidad de aplica--

ción depende del aditivo necesario para la rehabilitación -- del asfalto viejo determinado por las pruebas de laboratorio.

La adición excesiva de este agente rejuvenecedor puede ser perjudicial al usuario del camino porque su permanencia en la superficie de rodamiento propicia la disminución del efecto de tracción de los vehículos sobre la carpeta; también es perjudicial cuando en el pavimento se vayan a tener derrames de combustible, aceite, grasas o asfalto.

El uso de un agente rejuvenecedor es indispensable en cualquier tipo de reciclado, en la etapa de asparificación en caliente evita la laminación entre los dos pavimentos, el actual y el nuevo, sella las grietas de un pavimento viejo, y sirve como sellador tanto en la carpeta asfáltica actual como en la nueva.

Asimismo es importante tener en cuenta los costos que origina un reciclamiento, con el que se tendría en la colocación de una sobrecarpeta, para esto debe tomarse en cuenta que el asfalto y los agregados pétreos que se encuentran en el pavimento actual son usados como una parte integral de la nueva carpeta, ya que son rehabilitados tanto en su composición granulométrica como en la asfáltica.

Debe considerarse además que los costos de acarreo son-

casí eliminados en el reciclado, ya que el material existente solo tiene que ser removido y volverlo a colocar, salvo el caso especial en que tenga que ser transportado a la planta.

Otro punto importante podría ser el caso de la escasez de material de banco, además de que su utilización requiere de un triturado total o parcial y un cribado a tamaños adecuados para usarlo en la carpeta, lo que trae como consecuencia que los costos se incrementen.

Tomando en cuenta todo lo anterior, el reciclado de pavimentos asfálticos, es una solución adecuada para la rehabilitación de la superficie de rodamiento en la actualidad, -- siempre y cuando el pavimento no se encuentre con fallas ocasionadas por insuficiencia estructural o defectos constructivos, en cuyos casos este sistema no traería ningún beneficio.

CAPITULO PRIMERO

GENERALIDADES

I.- TIPOS DE FALLA DE UN PAVIMENTO

La descripción de las fallas en los pavimentos presenta cierta dificultad, porque en algunos casos no existe acuerdo sobre la terminología usada, presentándose a veces que en un mismo país, diferentes organizaciones describen en forma distinta un mismo tipo de defecto.

El empleo de diferentes puntos de vista para describir los tipos de falla en los pavimentos y existiendo una carencia de distinción entre falla y la evidencia de cierta condición que hace la pavimentación menos perfecta, demuestra que existe una generalizada propensión a emplear la palabra "falla" para describir todas las especies de fenómenos, algunos de los cuales no son, rigurosamente hablando, verdaderas fallas.

El objetivo principal del ingeniero en pavimentos es -- desarrollar una tecnología que tienda a evitar la aparición de deterioros y fallas en toda la sección estructural del pavimento, asimismo deberá determinar una relación causa-efecto con el fin de controlar estas fallas por medio de normas de criterio como pueden ser de proyecto o conservación.

Debemos entender como falla cualquier alteración que --

se presente en la superficie de rodamiento, debida a algun defecto o deterioro de cualquiera de las capas de la estructura del pavimento, y que provoque inseguridad al usuario.

Desde el punto de vista estrictamente mecánico, las fallas en los pavimentos suelen ser resultado de la deformación bajo esfuerzos cortantes, de la deformación por consolidación o por aumento de compacidad; estos procesos pueden tener lugar en cualquiera de las capas del pavimento y aún en las terracerías.

Los agentes del intemperismo, principalmente el gradiente térmico, van haciendo que el asfalto se vuelva más frágil por los cambios que se realizan en su estructura interna, -- ocasionando que la carpeta adquiriera una rigidez incompatible con la flexibilidad de las demás capas del pavimento, dando lugar a la formación de grietas en la carpeta que facilitan la entrada del agua, iniciándose así la destrucción del pavimento.

Puede existir discusión al observar las diferentes formas de agrietamiento que se manifiestan en la superficie de rodamiento y determinar si la grieta que se analiza debe considerarse como una falla o sólo como una advertencia de futuros cambios adversos, o a lo sumo un defecto insignificante.

Las fallas en los pavimentos pueden dividirse en tres -

grupos fundamentales que son:

1.- Fallas por insuficiencia estructural.- Este tipo de fallas son ocasionadas por la colocación de materiales -- inapropiados en cuanto a su resistencia, o por espesores de capa insuficientes, aún cuando se tengan buenos materiales.

2.- Fallas por defectos constructivos.- Este tipo de fallas se producen cuando en la construcción del pavimento se han cometido errores o defectos que modifican el comportamiento de los materiales, aunque éstos sean adecuados y de la resistencia necesaria.

3.- Fallas por fatiga.- Esta falla esta relacionada con la vida útil del pavimento para la cual fué diseñado y que se construyó en perfectas condiciones, al término de la cual, éste empieza a sufrir una degradación estructural y en general una pérdida de resistencia y deformación acumulada. Esta falla puede presentarse antes del tiempo fijado debido a un exceso en el número de repeticiones de tránsito que ha circulado por el pavimento.

Otra descripción de los tipos de falla en un pavimento, aunque no es muy aceptada es la siguiente:

1.- Falla estructural.- Esta falla se define cuando existe-

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

2.- **Falla funcional.**-- Esta falla ocurre cuando el pavimento no cumple con su función primordial, provocando incomodidad e inseguridad en el usuario, así como esfuerzos imprevistos en los vehículos, esta falla no siempre está acompañada de la de tipo estructural.

Analizando esta clasificación con la anterior se observa que en su parte integral es lo mismo, ya que una al mencionar la falla estructural involucra las fallas por insuficiencia estructural y las ocasionadas por defectos constructivos de la primera definición, y al hablar de falla funcional puede referirse a la llamada falla por fatiga.

Como puede observarse las dos clasificaciones ya indicadas, engloban de cierta manera todas las fallas que pueden ocurrir en los pavimentos flexibles.

I.1.- FALLAS DE CARPETA.

A continuación se relacionan las fallas que se manifiestan en la superficie de rodamiento y que son debidas a defectos en la carpeta asfáltica; además se indican las causas --

probables que las producen. En estas fallas de carpeta se toma en consideración que las capas subyacentes de la estructura del pavimento están construidas con materiales apropiados.

1.- Agrietamiento

- a) Endurecimiento del asfalto.
- b) Bajas temperaturas.
- c) Escasez de asfalto.
- d) Falta de adherencia entre las capas inferiores.
- e) Espesor de la capa de rodamiento demasiado delgada.
- f) Presión del tránsito pesado.

2.- Desintegración (disgregación)

- a) Escasez de asfalto.
- b) Endurecimiento del asfalto.
- c) Acción del agua.
- d) Insuficiente compactación durante la construcción.
- e) Colocación de la carpeta en tiempo muy húmedo o frío.
- f) Sobre calentamiento de la mezcla.
- g) Utilización de agregados sucios, desintegrables o de poca afinidad con el asfalto.

3.- Baches

- a) Poca resistencia de la carpeta en la zona defectuosa.
- b) Exceso o ausencia de finos en la mezcla.
- c) Drenaje insuficiente.

d) Mala distribución en el espesor de carpeta.

4.- Inestabilidad o corrugaciones (deformación plástica)

a) Exceso de asfalto.

b) Partículas de agregado pétreo lisas y pulidas.

c) Exceso de agregados finos.

d) Cargas de tránsito muy pesadas.

e) Exceso de agua.

f) Cemento asfáltico demasiado blando.

g) Contaminación por derrame de aceite.

5.- Sangrado o afloramiento de asfalto

a) Exceso de asfalto en la mezcla.

b) Construcción inadecuada del sello.

c) Riego de liga o de impregnación excesivo.

d) Contaminación por algunos solventes que acarrea el asfalto a la superficie.

I.2.- FALLAS POR ESTRUCTURA.

Existen numerosas fallas que no son precisamente debidas a la carpeta asfáltica, de las cuales describiremos algunas de ellas.

- 1.- Agrietamiento poliédrico en forma de "Piel de cocodrillo".- Este agrietamiento se extiende sobre toda la superficie de rodamiento o, por lo menos sobre una gran parte de ella; indica el movimiento excesivo de una o más de las capas del pavimento provocando el fenómeno

de fatiga, se presenta en:

- a) Pavimentos construidos sobre terracerias arcillosas o dentro de las cuales la subrasante muestre resistencia.

2.- Agrietamiento poliédrico en forma de mapa.-Este agrietamiento puede ser o no progresivo; cuando lo es, termina en destrucciones locales del pavimento, que comienzan por desprendimientos de la carpeta en lugares localizados y en rápida remoción de los materiales granulares expuestos; cuando alcanza estos grados destructores puede decirse que está ligado a deficiencias estructurales en la base, este agrietamiento se debe a:

- a) Bases débiles o insuficientemente compactadas.

3.- Deformación permanente en la superficie del pavimento - "Surcos o canalizaciones".- Esta falla debe distinguirse de la que se produce por un simple desplazamiento lateral de una carpeta defectuosa que hace que el material se eleve a los lados del mismo; ya que el surco que se produce por una deformación permanente es de origen profundo y sin ondulaciones.

La anchura del surco es mayor a la de la llanta y tiende a ser mas grande, cuanto mas profunda sea la consolidación que provoca el fenómeno; esta falla suele ser -- provocada por:

- a) Consolidación o movimiento de una o varias capas sub

yacentes.

- b) Aumento de compacidad en las capas granulares de base o subbase, debida a una carga excesiva o repetida.

4.- Fallas por cortante.- Consiste en surcos profundos nítidos y bien marcados, cuyo ancho no excede mucho del de la llanta, en esta falla suele haber elevación del material de carpeta a ambos lados del surco, se atribuye a:

- a) Carpetas nuevas mal compactadas.
- b) Baja estabilidad del concreto asfáltico.
- c) Filtración de agua a la base.

5.- Agrietamientos longitudinales.- Consisten en la aparición de grietas de no gran abertura (0.5/cm.) provocadas por el movimiento de las capas del pavimento que tienen lugar predominantemente en dirección horizontal, el fenómeno puede ocurrir en la base, subbase o, con cierta frecuencia en la subrasante, esta falla es ocasionada por:

- a) Congelamiento y deshielo.
- b) Cambios volumétricos por variación del contenido de agua, sobre todo en la subrasante.
- c) La débil unión entre dos franjas de construcción de la carpeta.
- d) Drenaje defectuoso.
- e) Vegetación cercana a la orilla del pavimento.

6.- Consolidación del terreno de cimentación.- Produce una distorsión en el pavimento, independientemente de los espesores o de la condición estructural del mismo, esta deformación en la sección transversal puede originar -- agrietamientos longitudinales.

Cuando un terreno de cimentación tiene falta de resistencia, perjudica la estabilidad de los terraplenes, -- produciendo agrietamientos típicos con trayectoria circular, marcando lo que podrá llegar a ser la cabeza de la falla eventual, puede presentarse al:

- a) Haber una falta de compactación de las capas inferiores del pavimento.
- b) Operar cargas superiores a las de diseño.

7.- Grietas transversales.- Esta falla es causada por:

- a) Asentamientos aislados de la subrasante, subbase o base, por ejemplo cuando el pavimento es cruzado por tuberías o ductos.
- b) Movimientos mas generales y mas amplios del suelo de cimentación, por ejemplo grietas por secado de suelos arcillosos, grietas por movimientos telúricos o grietas por fallas geológicas activas.

8.- Grietas por reflexión.- Consiste en movimientos verticales u horizontales en el pavimento que se encuentra debajo de una sobrecarpeta, se produce por:

- a) Movimientos ocasionados por cambios de temperatura o humedad que provocan expansiones y contracciones.

9.- Crecimiento de yerba y afloramiento de agua.- Se produce por:

- a) Textura de la carpeta demasiado abierta.
- b) Capa de base saturada.
- c) Agua atrapada en la carpeta durante la construcción.

El mantenimiento de los pavimentos se ha venido realizando mediante bacheos, sellados de grietas, riegos asfálticos y sobrecarpetas, tratando de corregir las fallas más comunes como serían los agrietamientos, distorsiones, desprendimientos y superficies lisas.

La conservación de un pavimento puede ser:

- 1.- Conservación preventiva.- La cual tiende a prevenir o retardar las fallas.
- 2.- Conservación correctiva.- Esta se aplica cuando han ocurrido fallas en un pavimento, con el fin de localizar su origen, tipo de falla, dimensiones y procedimiento a seguir para su reparación.

CAPITULO SEGUNDO

SISTEMAS DE RECICLADO

II.- OBJETIVO DEL RECICLADO.

El estado de la superestructura de la carretera debe--- responder a las exigencias cada vez mas elevadas del aumento de las cargas de tránsito, ya que a menudo los espesores del pavimento son insuficientes, obteniéndose como consecuencia deformaciones que ponen en peligro la seguridad del transporte.

Es importante mantener la capacidad de tránsito de la red carretera existente, conservando la seguridad y confort de los usuarios, por lo que es preciso llevar a cabo mantenimientos cada vez mas crecientes, mediante procedimientos que permitan trabajar rápida y económicamente con un consumo mínimo de materias primas.

La magnitud de la vida de servicio de un pavimento ---- asfáltico, puede preverse antes de tomar en cuenta el mantenimiento, ya sea mayor o menor. Además existen muchos factores que deben ser considerados en el proyecto de un pavimento, con el fin de definir el tipo de mantenimiento requerido, entre los que se encuentran:

- El apego a las especificaciones de diseño originalmente establecidas para la construcción del pavimento -- en sí.

- La elaboración de la mezcla de diseño.
- La operación de la planta en caliente.
- La compactación.
- Las condiciones climatológicas durante la construcción.
- La sanidad, calidad y homogeneidad de los bancos de agregados.

Si por alguna causa cualquiera de los factores anteriormente mencionados no cumplen con las especificaciones necesarias requeridas para un pavimento asfáltico, deben tomarse medidas correctivas o preventivas con el fin de corregir las deficiencias después de terminado el camino, ya sea inmediatamente o años mas tarde.

Algunas de estas medidas generalmente son a base de riegos complementarios de emulsión asfáltica, riegos de sello, slurry seal y otras técnicas que utilizan asfalto o productos asfálticos.

El comportamiento mecánico del asfalto y de los agregados, así como de la mezcla de los dos, está gobernado por las leyes de la física; los principales factores que deben considerarse son los efectos de la temperatura y de las fuerzas mecánicas aplicadas. Esta es el área donde el equipo eficiente es mas importante; debido a la provisión de los fabricantes de equipo, actualmente se tiene disponible maquinaria

que proporciona en el lugar o fuera de él un mezclado efectivo y un calentamiento adecuado cuando se requiera.

La investigación química ha permitido la obtención de agentes rejuvenecedores que pueden reconstituir los cementos asfálticos envejecidos hasta una calidad adecuada, resultando aún superior a la de muchos asfaltos originalmente empleados en la elaboración del pavimento existente que cumplen solamente los requerimientos de la especificación física.

La esencia del reciclamiento consiste en restaurar la utilidad de los pavimentos en mal estado, por lo que es conveniente darle un poco de atención a la química involucrada, ya que la falta de los componentes adecuados del asfalto, es la causa anticipada del deterioro.

El reciclamiento de los pavimentos asfálticos ha alcanzado un nivel tecnológico tal alto, que asegura el éxito en cualquier obra, con la condición de que sean observados los principios científicos físicos y químicos requeridos para una rehabilitación determinada.

Los objetivos básicos del reciclamiento de los pavimentos asfálticos son los mismos que los de cualquier industria recicladora:

- Resolución de un problema de reposición.
- Salvar la materia prima valiosa contenida en el mate-

rial descartado.

El procedimiento que debe seguirse para efectuar un buen reciclamiento es:

- Tomar muestras de la carpeta actual.
- Analizar la composición granulométrica del material extraído.
- Determinar la cantidad requerida de agente rejuvenecedor.
- Desbastar hasta una profundidad determinada el pavimento existente.
- Mezclar los ingredientes, lo cual en algunos casos puede incluir pequeñas cantidades de agregados y asfalto nuevo.
- Tender el pavimento reciclado.
- Compactar el material reciclado.

Existen tres aspectos que deben considerarse en todas las operaciones de reciclado.

- 1.- El calentamiento.- Este es benéfico en todas las operaciones, desde el desbastado del pavimento hasta la etapa final de tendido de la nueva mezcla.

Un calentamiento moderado reduce la viscosidad del cemento asfáltico envejecido, y por lo tanto, ayuda a desenmarañar los trozos de la carpeta vieja sin triturar el agregado.

El mezclado en caliente ayuda a la combinación de los -

ingredientes (asfalto viejo y aditivos) y propicia una distribución uniforme del cemento asfáltico nuevamente formado a través del agregado.

El calentamiento empleado al pavimentar, ayuda a la compactación y agiliza las operaciones de acabado.

Otro punto importante es que en todas las operaciones, el calentamiento reduce el uso del equipo empleado, por lo que al escoger el equipo, el proporcionamiento de calor en adición a las operaciones mecánicas eficientes será siempre preferido.

- 2.- El aditivo.- Debe considerarse que entre mayor sea el volumen del agente reciclante que se incorpore en la mezcla los resultados serán mejores, siempre y cuando no se rebase la cantidad determinada por el laboratorio.

Es difícil y frecuentemente imposible distribuir uniformemente una pequeña cantidad de aditivo a través de una masa porosa seca como la de un pavimento viejo desmenuzado, ya que ésta absorberá rápidamente cualquier tipo de hidrocarburo líquido en el lugar donde se adicione antes de que pueda ser distribuido uniformemente en toda la mezcla.

Para que se cumpla mejor la función del aditivo, éste debe colocarse en forma de emulsión, en la cual el contenido de agua es el máximo que puede tener bajo las condiciones de temperatura y tiempo determinados por el

equipo y las condiciones ambientales.

El uso de un aceite estable en una emulsión con agua, - tiene la ventaja adicional de proporcionar el tiempo su-
ficiente para la distribución uniforme de la fase acei-
te antes de ser absorbido y combinado con el asfalto en
vejecido.

- 3.- La funcionalidad.- Debe tenerse en cuenta la trabajabi-
lidad mecánica de una mezcla y la apariencia de una nue-
va capa de pavimento, ya que ésta es garantía del valor
en términos de comportamiento y durabilidad.

El cumplimiento de la calidad requerida solamente puede
lograrse por la recuperación del asfalto envejecido has-
ta una consistencia (medida por la viscosidad o penetra-
ción) del asfalto con grado de pavimentación, y por una
composición química que asegure un alto grado de resis-
tencia al envejecimiento.

Para cumplir estos dos requerimientos (consistencia y -
composición) se debe usar un agente rejuvenecedor que -
imparta al asfalto recuperado la viscosidad y otras pro-
piedades ya perdidas, asimismo que corrija su composi-
ción química hasta contener dentro de ciertos límites -
un mínimo de componentes susceptibles a la oxidación y-
a otras reacciones asociadas con el envejecimiento.

Las secciones del camino que contienen capas con dife-
rente granulometría en los materiales no deben agruparse, ya

que el análisis de los resultados sería incierto.

Los informes de las pruebas de extracción y recuperación de materiales que se realicen junto con las mediciones del espesor obtenido por los corazones, deben ayudar a determinar la uniformidad de la sección que debe considerarse para el reciclamiento. Se debe recuperar suficiente asfalto para permitir la combinación con los modificadores asfálticos en pruebas posteriores.

Los agregados recuperados de las muestras se deben probar por granulometría, durabilidad (como las pruebas de abrasión y los angeles) y valor de pulido si es necesario. Si las propiedades de los agregados no son adecuadas para la mezcla final especificada, entonces se necesitará agregado adicional para combinarse con la mezcla vieja y así cumplir los requerimientos indispensables. Típicamente, la graduación no será adecuada si los pavimentos viejos consisten de capas múltiples con diversos tipos de mantenimiento; esta graduación debe obtenerse en todas las muestras extraídas, mientras que pruebas tales como la de abrasión, de los angeles y la del valor de pulido deben efectuarse en las muestras representativas seleccionadas, estos datos pueden utilizarse para determinar la uniformidad de la obra. 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 mas de los propósitos siguientes:

- Requerimientos para satisfacer la granulometría.
- Necesidad de resistencia al derrapamiento de las carpetas que tienen los agregados lisos y pulidos.
- Problemas de contaminación del aire asociados con el calentamiento (reciclado en planta central).
- Requerimientos de espesor.

Para proporcionar resistencia al derrapamiento inicial y en forma duradera a las carpetas asfálticas recicladas, es necesario combinar el agregado sin pulir con el pavimento reciclado. Se ha observado que el 40% en volumen de la fracción retenida en la malla No.4 que no este pulida, proporciona una buena textura contra el derrapamiento en las carreteras con un tránsito que va de moderado a alto; las operaciones en caliente de una planta central necesitan el uso de un mínimo de 30% en volumen de agregado nuevo.

Si se requiere colocar el pavimento reciclado con una sección de mayor espesor de material asfáltico, estabilizado por algún requerimiento especial de diseño estructural del pavimento, puede lograrse combinando agregados nuevos con el material reciclado o con capas adicionales de materiales nuevos. Si se va a utilizar la operación de caliente en planta central, parece práctico mezclar los agregados nuevos con el pavimento reciclado.

modificador pueden utilizarse para formar el aglutinante nuevo.

Se deben tener perfectamente analizados los modificadores que podrían ser usados para establecer su comportamiento con respecto a las especificaciones y determinar la viscosidad de los mismos, a fin de obtener un conocimiento más real de su funcionalidad.

Las combinaciones con el modificador pueden consistir de un cemento asfáltico y un suavizante, debiendo mezclarse con el asfalto recuperado y sujetarse a las pruebas de viscosidad y penetración para determinar si la mezcla fue exacta; se sugiere que se hagan dos mezclas, una de 5% arriba y otra de 5% abajo del índice necesario de agente reciclante; una tercera prueba puede requerirse para confirmar la penetración y viscosidad deseada.

Algunos modificadores reciclantes pueden no ser compatibles con el asfalto recuperado, por consiguiente, debe ejecutarse una prueba de película delgada en la mezcla de asfalto recuperado-modificador que fue seleccionada. Una relación de la viscosidad envejecida entre la viscosidad original que dé menos de 5, indicará que el agente reciclante es compatible con el asfalto recuperado.

Se deben fabricar cinco mezclas diferentes, unas de --

agregados reciclados y otras de agregados nuevos si se desea, ambas con un modificador, asimismo deben fabricarse tres especímenes de cada muestra para efectuarles las pruebas de estabilidad y contenido de vacíos; estas pruebas preliminares deben variar el (%) del cemento asfáltico nuevo y/o el tipo y cantidad de agente suavizante, aceite fluidificante y rejuvenecedor, debe tenerse en cuenta que los modificadores comúnmente tienen una reacción retardada con el objeto de suavizar la mezcla.

Las tres mejores mezclas se evalúan en detalle con respecto a las especificaciones que deben usarse en el diseño de espesores del pavimento.

El análisis anterior está dirigido principalmente hacia la aplicación de las operaciones en caliente y en planta central, ya que el reciclamiento en el lugar con los modificadores emulsificantes puede completarse usando el modificador base y las propiedades del aglutinante recuperado.

El reciclaje de pavimentos puede reducir o eliminar la necesidad de agregados adicionales en algunas áreas, este proceso de reciclaje puede incluir la adición de calor o llevarse a cabo en ausencia del mismo.

El reuso del concreto asfáltico normalmente requiere de 1 a 3% de asfalto adicional, en comparación con una mez-

cla. de concreto asfáltico nuevo que requiere de un 6%.

Existen tres formas de reciclar un pavimento y son:

1.- Reciclado superficial.

a) Proceso en caliente.

b) Proceso en frío.

2.- Reciclado en el lugar.

a) Proceso en caliente.

b) Proceso en frío.

3.- Reciclado en planta central.

a) Proceso en caliente

b) Proceso en frío.

II.1.- RECICLADO SUPERFICIAL.

Consiste en el reciclamiento de 5 cms. de espesor de la carpeta asfáltica, este sistema en el sitio es el menos caro y el mas simple, sin embargo solo es apropiado si la base y sus condiciones estructurales son adecuadas, es de esperarse que el reciclamiento superficial será mas ampliamente usado en calles y caminos secundarios.

Este proceso tiene una efectividad limitada en reparación de caminos ásperos, caminos severamente surcados por el paso constante del tránsito o en incrementos significativa--

mente grandes de la capacidad de carga del transporte, sin embargo, es actualmente la forma más adecuada de reciclaje, ya que se efectúa a un costo razonable y puede tratar una gran variedad de deterioros del pavimento incluyendo desmoronamientos de bordes, surcos, arrasado y corrugaciones; con el reciclaje superficial se tiene una desorganización mínima de tránsito.

Algunas de las técnicas usadas para el reciclaje de superficie son:

- Calentamiento-nivelado.
- Calentamiento-escarificado.
- Nivelado en frío.
- Remoción en frío.

CALENTAMIENTO - NIVELADO.

Los calentadores - niveladores son usados principalmente para el mantenimiento del nivel longitudinal del pavimento y su pendiente transversal, otros usos incluyen el retiro del pavimento de los puentes para reducir el peso muerto; -- mantener la altura apropiada en túneles, pasos a desnivel y puentes de semáforo; también retira los sellos construidos inapropiadamente; así como las irregularidades de pavimentos ásperos causadas por inestabilidad, bordes de lodo y actividad repetida de mantenimiento tales como sellados de grietas, etc.

Es una práctica común el calentar o nivelar un pavimento antes de tender la capa superpuesta, esta actividad corregirá problemas de surcos, removerá algunas de las asperezas del pavimento y hará un corte de cuneta o ranura que impedirá la producción de diminutas piedrecillas de la mezcla caliente.

Quando el arrasado o exudación representan un verdadero problema, la unidad de calentamiento eleva la temperatura del pavimento y se hace seguir por una aplanadora con rueda de acero para embutir dentro de la carpeta un agregado pétreo que es colocado en la superficie de rodamiento donde se encuentra el asfalto líquido.

CALENTAMIENTO - ESCARIFICADO.

En un pavimento asfáltico se puede soportar el incremento de cargas, simplemente colocando el espesor requerido de carpeta asfáltica del diseño de la nueva estructura sobre el pavimento existente, necesitándose en este caso tener una buena adhesión entre las dos capas de concreto asfáltico, el procedimiento de esscarificación en caliente elimina la laminación que se pudiera generar entre ambas carpetas.

Antes de iniciar la operación de esscarificación en caliente debe limpiarse el pavimento de todo material desprendido o extraño que interfiera en el trabajo, debiendo ayudar a la barredora mecánica con un barrido a mano cuando sea ne-

cesario, hasta que todo el material perjudicial sea eliminado de la superficie, asimismo los baches que existan en el pavimento deberán ser reparados.

El procedimiento de escarificación en caliente, proporciona lo siguiente:

- Da nueva vida a los pavimentos asfálticos envejecidos, siendo rápido y simple el recubrimiento.
- Reduce los costos y requerimientos de mantenimiento al mínimo.
- Transforma las superficies viejas dañadas y quebradizas en carpetas estables y flexibles.
- Retarda y minimiza las grietas normales por reflexión, extendiendo por lo tanto la vida útil de los pavimentos.

Cuando el nivel no presenta problemas, el espesor del recubrimiento puede variar dependiendo de los requerimientos estructurales del camino o de lo que sea necesario desarrollar para un nivel adecuado, sin embargo, si existen factores de control tales como cunetas, banquetas, coladeras, con sideraciones de drenaje, acotamientos de concreto asfáltico o estructuras donde el espesor del recubrimiento necesariamente deba ser mínimo, se ve que la profundidad de la escarificación en caliente es probablemente el único método que aportará un resultado satisfactorio y de larga duración.

El material escarificado debe quedar uniformemente extendido y los agregados no deben ser pulverizados, ni lajeados o quebrados; la temperatura medida inmediatamente detrás de la escarificadora no deberá ser inferior a 107°C ni superior a 138°C , debiéndose distribuir por medio de una máquina pavimentadora o cualquier otro equipo capaz de producir el mismo resultado.

Este material debe compactarse inmediatamente después de la colocación efectuada por la extendedora o pavimentadora y mientras la mezcla se encuentra caliente, requiriéndose solamente de un compactador que puede ser neumático, rodillo de acero (tándem) o rodillo vibratorio.

No menos de 58.5 Kg/m^2 de la superficie del pavimento existente deberá escarificarse y remezclarse basándose en un peso unitario de 2300 Kg/m^3 del material especificado, debiéndose ajustar los Kg/m^2 cuando las pruebas indiquen que el peso específico del material escarificado varía en más del 5%.

La escarificación se considera aceptable cuando el promedio móvil de tres pruebas consecutivas (al azar) sea igual o exceda a los 58.5 Kg/m^2 , si no se obtienen resultados satisfactorios después de la primera hora completa de operación, se suspenderá la escarificación, y el trabajo se reanudará solamente después de que se hayan hecho los ajustes y

se compruebe que pueden cumplirse los requisitos ya indicados.

Existen dos factores importantes que deben tenerse en cuenta en una obra de escarificación en caliente.

- El pavimento existente no debe tener fallas estructurales profundas.
- La escarificación debe llegar cuando menos a 2.5 cm. de profundidad.

Hay una limitación en cuanto al espesor del pavimento - por tratar de acuerdo al procedimiento de escarificación en caliente; para espesores de 10 cm. o menores este proceso es probablemente el mejor; espesores de 10 a 15 cm. requieren de un estudio y un juicio minucioso; y para espesores superiores a 15 cm. la escarificación en caliente tiene muy poca o nada de ventaja.

El procedimiento de escarificación en caliente tiene un efecto positivo sobre las grietas, y además logra erradicar las discontinuidades de la carpeta y la liga con el recubrimiento formando una carpeta continua. La limitación inherente del procedimiento es la profundidad de la escarificación, la cual depende de la cantidad de calor aplicada a la carpeta, de la configuración de los dientes de la escarificadora, y de la magnitud de la carga que se aplica sobre dichos dientes.

NIVELADO EN FRIO.

Los principales propósitos de este sistema son remover corrugaciones, sellos diseñados o contruidos inapropiadamente y otras fallas de estabilidad, así como reducir la cantidad de arresado. La apariencia y la ejecución del nivelado en frío en muchos de los casos no son tan satisfactorias como las de la técnica de calentamiento - nivelado.

REMOCIÓN EN FRIO.

Es un método donde la carpeta del pavimento existente se procesa en el lugar o bien se traslada a la planta central, este proceso de remoción en frío se efectúa regularmente en caminos que requieren para su rehabilitación una mayor estructuración que involucra aumento de espesores de capas profundas.

Estos materiales procesados y rehabilitados se mezclan en frío y pueden reusarse como agregado para base asfáltica, pudiéndose adicionar otros materiales durante el mezclado para proporcionar un material de resistencia mas alta, este proceso requiere que se use una nueva carpeta asfáltica.

El primer paso en este sistema es despedazar el pavimento viejo hasta su base en tamaños máximos de 35 cm. para pasarle después un equipo triturador con 25 martillos de 22.5-Kg. con el fin de reducir el material a tamaños menores de 5 cm.; el segundo paso consiste en aplicar al material viejo

al agente rejuvenecedor RECLAMITE, la dilución del aditivo -
varía de acuerdo con la condición del material triturado.

Los tipos de deterioro que pueden ser tratados por me-
dio de remoción en frío incluyen surcos, desmoronamiento de
bordes, descascamiento, arrasado y corrugaciones de pavi-
mentos de superficie asfáltica, por lo que el éxito de este
sistema depende de la naturaleza y grado de deterioro en que
se encuentra el pavimento.

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

Casi todas las operaciones de remoción mejoran la textu-
ra de la superficie de la carretera y comprimen la superfi-
cie expuesta del agregado.

Tanto la textura mejorada de la superficie (macrotextu-
ra) como el agregado comprimido (microtextura) favorecen la
resistencia al patinaje, sin embargo esta mejoría puede ser
solo temporal si el agregado es susceptible al pulimiento, -
esta textura también incrementará la cohesión o la resisten-
cia al corte entre la superficie vieja y la nueva capa super-
puesta.

Dentro de las desventajas que se tienen en el reciclado de superficie están las siguientes:

- Poca mejoría estructural.
- Sin pasos múltiples de equipo, el calentamiento-oscarrificado y el calentamiento-nivelado tienen una efectividad limitada sobre el pavimento áspero.
- Restauración casi nula en pavimentos severamente arrastrados o inestables.
- La vegetación cercana a la carretera puede verse dañada.
- Las mezclas con agregados de tamaño máximo mayores a 1" no pueden ser tratadas con cierto equipo.

II.2.- RECICLADO EN EL LUGAR.

Este método es el resultado de una práctica ampliamente utilizada en países como Estados Unidos, Francia, Canadá y - en los últimos años se ha iniciado esta técnica en México.

Para la remoción del material se cuenta con el equipo - de construcción adecuado para triturar el pavimento viejo y dejarlo a tamaños convenientes para su procesamiento, últimamente se han presentado refinamientos que incluyen una nueva tendencia a usar equipo pulverizador y técnicas de reducción a tamaños adecuados como una trituradora móvil de martillo.

Los estabilizadores tales como la cal, cemento, asfalto y otros productos químicos han sido utilizados en este reci-

Dentro de las desventajas que se tienen en el reciclado de superficie están las siguientes:

- Poca mejora estructural.

- Sin pesos múltiples de equipo, el calentamiento-oscarrificado y el calentamiento-nivelado tienen una efectividad limitada sobre el pavimento áspero.

- Restauración casi nula en pavimentos severamente arrastrados o inestables.

- La vegetación cercana a la carretera puede verse dañada.

- Las mezclas con agregados de tamaño máximo mayores a 1" no pueden ser tratadas con cierto equipo.

II.2.- RECICLADO EN EL LUGAR.

Este método es el resultado de una práctica ampliamente utilizada en países como Estados Unidos, Francia, Canadá y - en los últimos años se ha iniciado esta técnica en México.

Para la remoción del material se cuenta con el equipo - de construcción adecuado para triturar el pavimento viejo y dejarlo a tamaños convenientes para su procesamiento, últimamente se han presentado refinamientos que incluyen una nueva tendencia a usar equipo pulverizador y técnicas de reducción a tamaños adecuados como una trituradora móvil de martillo.

Los estabilizadores tales como la cal, cemento, asfalto y otros productos químicos han sido utilizados en este reci-

claje sin necesidad de calor adicional.

Para reciclar en el lugar se pueden utilizar dos planteamientos básicos dependiendo del espesor del pavimento a ser tratado y de la superficie de rodamiento; si la carpeta de concreto asfáltico tiene un espesor de 5 cm. o menos se puede utilizar equipo de pulverización sin necesidad de rasgadura o ruptura preliminar; para superficies de concreto asfáltico con un espesor mayor de 5 cm., se utilizan motoconformadoras con escarificadores o bulldozers con dientes desgarrantes para la ruptura inicial, si se requiere ruptura adicional antes de la pulverización se puede utilizar equipo pesado (bulldozers, rodillos, compactadores, etc.).

Entre las ventajas del reciclaje en el lugar se encuentran las siguientes:

- La habilidad para mejorar significativamente la capacidad de transporte de carga del pavimento sin cambios en la geometría horizontal o vertical de la carretera.
- Facilidad para tratar casi todos los tipos de deterioro del pavimento.
- Reducir o eliminar agrietamientos por reflexión.
- Reduce la susceptibilidad de escarcha del material reciclado.
- Mejora la resistencia al patinaje y la calidad del rodaje de la carretera.

Entre las desventajas tenemos:

- El control de calidad no es tan bueno como el de las operaciones de una planta central.
- Causa desorganización de tránsito.
- Necesita de reparación periódica del equipo de pulverización.

II.3.- RECICLADO EN PLANTA CENTRAL.

El reciclaje de superficie utilizando planta central -- consiste en mezclar el material recuperado y un agente reciclante, los cuales forman un nuevo concreto asfáltico que -- servirá posteriormente para colocar la superficie de rodamiento; el creciente interés del reciclaje en planta central -- ha conducido a desarrollar novedosas técnicas para el calentamiento de materiales reutilizables, así como nuevos conceptos en remoción y reducción de trozos de pavimento.

Se están utilizando dos procesos para reducir los materiales antes de su reciclaje en planta central.

- 1.- El pavimento es reducido de tamaño en el lugar y luego -- acarreado a la planta central.
- 2.- El pavimento puede ser transportado desde el lugar de -- la obra y luego triturado en planta central.

La remoción y reducción ya sea en planta o sobre la mar

oña del nivelado puede ser llevada a efecto con equipo normalmente destinado al reciclaje en el lugar específicamente; máquinas de remoción de agregados, equipo de calentamiento-nivelado y pulverizadoras que trabajan sobre la marcha del extendido.

La reducción en planta central puede llevarse a cabo con equipo convencional, fijo y portátil de trituración y tamizado; el pavimento es normalmente desgarrado y roto antes de su embarque al tamaño apropiado para ser recibido por el triturador primario, en algunos casos resulta económico usar rodillos aplanadores de rejilla u otros equipos de construcción para lograr el tamaño adecuado del material en la carretera antes de su acarreo a la planta central.

El más grave problema que se presenta en las obras con mezcla en caliente, es el de reducir los niveles de la emisión contaminante hasta el punto donde éstos no excedan los lineamientos para mantener el aire puro.

El asfalto viejo no puede triturarse y pasarse a través de una planta de mezcla en caliente en una manera normal como se hace con el asfalto nuevo, las temperaturas son demasiado altas en los secadores de la planta, por lo que las partículas finas tienden a la ignición y a humear.

Se han encontrado varias formas para resolver el proble

ma de polución y así volver a usar el asfalto en el mismo lugar del camino del cual se ha removido, estas formas presentan aspectos alentadores para el rendimiento del equipo y -- puede decirse que el asfalto es tan bueno como el original y que puede tenderse y compactarse usando equipo común.

En el reciclado en caliente, parte de la superficie de rodamiento se remueve, se tamiza y se mezcla en caliente con cemento asfáltico adicionado en la planta central, el proceso también incluye la adición de agregado nuevo y/o un agente suavizante.

Las técnicas de reciclaje para procesar centralmente en caliente el material reciclado pueden separarse en tres categorías generales.

- 1.- Calentamiento a flama directa.- Este calentamiento típicamente se lleva a cabo en una mezcladora circular en la que todos los materiales son mezclados simultáneamente en un tambor giratorio con una flama en un extremo, - esta mezcladora en un principio tenía problemas de contaminación, lo que condujo a diversas modificaciones tales como la adición de escudos para el calor, cargas divididas, etc.
- 2.- Calentamiento a flama indirecta.- Es efectuado con mezcladoras circulares especiales equipadas con tubos in--

tercambiables, el fin de estos tubos es transferir los gases, por lo que impiden que las mezclas tengan un contacto directo con la flama y las temperaturas extremadamente altas.

- 3.- Agregado sobrecalentado.- Puede ser empleado para elevar la temperatura del material bituminoso reciclado; - la técnica de este sistema en planta central esta limitada a cerca del 50% de materiales bituminosos reciclados.

La versión final de reciclaje en planta central es ser tratado sin adición de calor, pudiéndose obtener altas tasas de producción utilizando cal, cemento o asfalto como aglomerante. Esta operación de reciclaje en frío en planta central puede usar hasta cerca del 100% de materiales bituminosos reciclados.

Mencionaremos a continuación algunas de las ventajas -- que se obtienen en el reciclado en planta central.

- Tiene una mejoría estructural significativa.
- Buen control de calidad.
- Trata todos los tipos de fallas y grados de deterioros del pavimento.
- El agrietamiento por reflexión puede ser eliminado.
- Mejora la resistencia al patinaje.
- La susceptibilidad de escarcha puede ser mejorada.

- La geometría de la carretera puede ser fácilmente alterada.
- Se tiene un mejor control al utilizar aglomerante y/o agregados.
- Mejora la calidad del rodaje.

Dentro de las desventajas se tienen las siguientes:

- Incremento en la desorganización del tránsito.
- Se pueden tener problemas de contaminación del aire en el sitio de la planta.

CAPITULO TERCERO

MAQUINARIA USADA EN EL RECICLADO

III.-TIPOS DE MAQUINARIA.

Cuando se va a reciclar un pavimento se tiene la fortuna de contar con una cantidad ilimitada de maquinaria con la cual puede efectuarse el trabajo requerido, ya que cada país e inclusive algunos estados tienen un diseño propio o una -- preferencia a usar determinado equipo, al cual le colocan -- aditamentos especiales con el fin de adaptarlos a casos particulares.

El uso de determinadas unidades depende de la importancia del camino, de los recursos disponibles, así como de las condiciones ambientales.

Dentro de toda esta gama de maquinaria que se hace mención, describiremos la función principal de varias de ellas, siendo las de mayor importancia en el reciclado.

III.1.- PRESADORAS.

Las fresadoras desbastan o cortan las carpetas de concreto asfáltico de los caminos donde el pavimento existente va a ser restaurado, estas máquinas son de dos tipos; para -- trabajar en caliente o bien para trabajar en frío.

1.- Las que trabajan en caliente se conocen desde hace tiem

po y se diseñan para calentar el pavimento aplicando una flama directa sobre él, o bien exponiéndolo al calentamiento con rayos infrarojos, de esta manera lo suavizan para removerlo mas fácilmente. Este material desbastado se lleva a la planta para procesarlo nuevamente, obteniendo una mezcla asfáltica de buena calidad, o bien después de haberlo removido y mientras está aún caliente se compacta, proporcionando una carpeta en buenas condiciones para el tránsito.

- 2.- Las fresadoras que desbastan en frío son relativamente nuevas y se recomiendan como unidades de alta producción cuya aplicación simplemente desprende el pavimento mecánicamente sin intentar calentarlo o suavizarlo, el mayor costo de estas desbastadoras en frío se origina al reemplazar las herramientas de corte.

Las fresadoras se fabrican en varios tamaños y representan una parte fija e integral de los programas de mantenimiento y conservación de caminos, su campo de aplicación es el siguiente:

- Autopistas.
- Calles principales y caminos secundarios.
- Pistas en aeropuertos.
- Estacionamientos.

Estas operaciones tienen un mínimo desequilibrio de

tránsito, producen poca formación de humo, polvo o ruido, su rendimiento es de 1000 a 12000 m²/día dependiendo del tipo de fresadora que se use y el deterioro en que se encuentre la superficie de rodamiento.

III.2.- UNIDAD CALENTADORA - ESCARIFICADORA.

Esta unidad emplea un elemento calefactor montado en la unidad para elevar la temperatura del pavimento asfáltico viejo, antes de que los rastrillos montados en resortes escarifiquen completamente todo el material calentado.

La unidad calentadora - escarificadora consta de una cámara grande de combustión y una escarificadora montada sobre el mismo chasis, la cámara está cubierta por paneles en todos lados, exceptuando la parte inferior, con objeto de dirigir el calor sobre el pavimento; el avance es de 4.5 a 10.5 m/min., dependiendo de la dureza, contenido de asfalto y temperatura ambiental del pavimento, el calor penetra a una profundidad de aproximadamente 2.6 cms. con una temperatura que alcanza de 107 a 120°C, la escarificadora entonces mezcla el material completamente.

III.3.- UNIDAD REMIXER.

Esta unidad es un equipo completo para el procedimiento de reciclado y está dedicado a la rehabilitación de carpetas asfálticas, dispone de un sistema con el cual se abren nuevas perspectivas, ya que en el lugar de la obra modifica la-

composición del material de la carpeta mediante la incorporación de mezcla asfáltica de acuerdo a las características -- exigidas por el proyecto y revuelve y tiende en la misma operación la mezcla resultante.

Debido a la reutilización del material existente, se -- puede efectuar con este equipo la rehabilitación de la superficie de rodamiento de las carreteras, con un gasto de materias primas, de energía y en general de costos sustancialmente inferiores al de los métodos utilizados hasta ahora.

La unidad REMIXER es un equipo de trabajo autónomo que efectúa parte de los procesos térmicos y todos los procesos mecánicos; excepto la compactación final, que se realiza con un rodillo apisonador convencional.

La máquina precalentadora que va separada de la unidad REMIXER calienta la carpeta asfáltica, la cual es replastificada completamente por los grupos de radiadores que contiene el equipo REMIXER.

La capa escarificada por varios dientes hasta la profundidad requerida, es levantada por una cuchilla y transportada al centro de la máquina por un tornillo sinfin, al mismo tiempo se perfila la rasante; el material escarificado es recogido por el tambor mezclador de circulación forzada y mezclado con el material complementario, que se incorpora por -

la parte superior.

La mezcla adicional se vacía directamente del camión a la tolva que se encuentra al frente del REMIXER; un transportador inclinado alimenta un depósito dosificador que envía - la cantidad correspondiente de material nuevo al transportador horizontal, el túnel transportador está calentado por rayos infrarojos y la mezcla adicional cae del transportador - directamente al tambor mezclador, el cual está diseñado como mezclador de circulación forzada de dos ejes.

Durante el tiempo de tratamiento en el tambor, que depende de la velocidad de avance y del largo del tambor, son mezclados íntimamente el material existente y la mezcla nueva por medio de la propulsión de todo el sistema, por lo que se produce continuamente una mezcla homogénea con las características requeridas.

La mezcla resultante se descarga en la unidad de tendido, distribuyéndose por medio de un tornillo sinfin, sobre la rasante calentada, con lo cual se logra una liga por fusión térmica; la unidad de tendido cuenta con una planta vibratoria que dá una alta precompactación, con lo cual se garantiza la sección transversal y debido a lo largo de la máquina el perfil longitudinal queda dentro de las mas estrictas especificaciones.

Después de la compactación final, se da por terminada -- la rehabilitación de la superficie de rodamiento, tanto en -- lo que se refiere a las características del material, como a la compactación de la carpeta.

La unidad REMIXER puede ser usada para el tendido de -- una carpeta asfáltica normal, para tal caso, se levanta el -- tambor mezclador y la mezcla asfáltica nueva es transportada directamente a la unidad de tendido.

Para el tendido de una sobrecarpeta, la capacidad térmi-- ca total instalada en el equipo de precalentamiento y en el-- REMIXER tiene en cuenta un amplio alcance de temperatura, pa-- ra varias profundidades de trabajo y las posibles viscosida-- des del aglomerante.

Por la disposición de las superficies radiadoras, el -- efecto térmico queda uniformemente distribuido, de tal forma que no existen sobrecalentamientos locales y la temperatura-- es siempre la adecuada para el proceso; los radiadores infra-- rojos son alimentados con gas propano, que procede del evapo-- rador que se surte de los depósitos de gas líquido.

La regulación de la temperatura de la carpeta, se reali-- za en función de la velocidad de la unidad REMIXER y median-- te el ascenso y descenso de los recuadros de calefacción, -- así como mediante conexión o desconexión de filas de radia--

dores.

III.4.- PLANTAS DE MEZCLA ASFALTICA.

Estas plantas deberán estar equipadas y operadas para que el proporcionamiento, el calentamiento y el mezclado de los materiales escarificados junto con el aditivo produzcan una mezcla uniforme, la capacidad de producción de estas plantas varía dependiendo de la compañía que las diseña.

Las plantas deben tener controles para cierre entre el flujo de cada alimentador de agregados y el flujo del asfalto; el control de cierre deberá producir una señal visible y audible cuando el nivel de flujo alcance la capacidad indicada de los alimentadores, asimismo tienen un dispositivo de mezclado capaz de producir homogeneidad y cubrimiento uniforme, esta producción de mezcla no debe exceder de la capacidad indicada por el fabricante, además deben estar equipadas con un depósito de agitado aprobado en la descarga, el cual tendrá una capacidad superior a 20 Tons., este depósito tiene un separador de porciones también con agitado aprobado u otro método satisfactorio para evitar segregación de la mezcla asfáltica mientras se descarga en los vehículos de acarreo. El material asfáltico debe introducirse en la mezcladora por un dispositivo de entrada con desplazamiento, el cual está equipado para variar las velocidades de entrega.

Las líneas de alimentación del asfalto y del derivado -

aromático (hidrocarburo) deberán tener termómetros blindados de rango y aproximación adecuados; por otro lado en los canales de descarga del calentador deberán instalarse pirómetros eléctricos o indicadores de carátula y otros instrumentos -- termométricos para determinar la temperatura de los agregados asfálticos, asimismo se deben instalar dispositivos satisfactorios de precipitación o usar otros tipos de aparatos para el control de emisiones contaminantes excesivas durante las operaciones de mezclado de la planta, es aquí en donde se debe tener especial atención por el calentamiento de los materiales asfálticos utilizados en la mezcla.

La temperatura de mezclado de las carpetas asfálticas -- recicladas deberá estar en el intervalo de 85 a 100°C, se mezcla aproximadamente con 1% de agente reciclante como porcentaje del peso total de la mezcla (el porcentaje real se determina con la fórmula del mezclado en obra) y se debe adicionar uniformemente de 5 a 7% de agua en peso al agregado, inmediatamente antes del mezclado, con objeto de retardar la inflamación del agente reciclante y reducir la contaminación del aire.

En el caso de que la adición de agua junto con otros -- controles de emisiones no reduzcan la cantidad de contaminantes hasta un nivel satisfactorio, puede adicionarse un agregado con la siguiente granulometría y en una cantidad que no exceda del 10% de la mezcla total.

Pasa malla	%
1/4"	100
Núm. 8	70 - 90
Núm. 200	0 - 8

En la colocación y acabado la temperatura del concreto-asfáltico reciclado, justamente antes de compactar, no debe ser menor a 77°C, sin embargo, la temperatura deberá ser tal que el material reciclado pueda ser colocado, terminado y -- compactado según lo requerido, esta compactación será de -- cuando menos el 95% del Peso Específico Máximo Marshall.

Existen dos tipos de plantas centrales para llevar a ca bo el proceso de elaboración de mezclas en caliente y son:

1.- Planta tipo bacha.- Es la mas convencional para mezclas de asfalto y su funcionamiento es el siguiente:

Los agregados recuperados se colocan en las tolvas y -- son transportados por una banda al tambor rotatorio -- para ser secados y transportados hacia la torre de mezclado en donde forman un conjunto con el asfalto líquido caliente.

El proceso de mezclado debe ser ejecutado a temperatu-- ras elevadas para cumplir con la uniformidad de la mezcla de los agregados y del asfalto, por lo que se re-- quiere de suficiente flujo de aire para destinarlo al -

tambor secador y abastecer de oxígeno a la mezcla manteniendo la combustión.

El tambor secador existe en varios tamaños y tiene una producción de 566 a 2265 m³/min., se utiliza para realizar el proceso de transferencia de flujo de aire, además se destina para separar los polvos de los agregados y llevarlos fuera del tambor de baja humedad, también la estructura del filtro se usa para detener y remover las partículas finas sin obstruir la salida de los gases.

2.- Planta de tambor mezclador.- Este tipo de plantas pueden utilizarse para realizar la mezcla de los materiales recuperados, las unidades son instaladas para tener flujos paralelos en orden, con el cual minimizan la evaporación de volátiles incluyendo la del asfalto líquido ocasionada por las grandes temperaturas en las cercanías de la flama.

a) La mezcladora circular estándar con escudo de calor y aire de enfriamiento adicional es usada para reducir los gases calientes a una temperatura menor que 425 a 650°C, lo cual reduce la formación de humo azul.

b) En la mezcladora circular en tándem, el primer tambor es empleado para sobrecalentar el agregado nuevo, en el segundo se calienta la mezcla reciclada ya

sea sola o con la adición de materiales nuevos.

La diferencia que existe para ocupar una u otra planta central, es mínima, solo basta con escoger cualquiera de ellas para ejecutar el mezclado de los materiales recuperados y el agente reciclante de acuerdo a sus ventajas y desventajas que tengan cada una para realizar la mezcla.

La mezcla asfáltica reciclada debe ser homogénea y capaz de tener un cubrimiento uniforme de la obra, cumpliendo esto y tomando en cuenta las pruebas que se le aplican para verificar los resultados que de ella se van a obtener, se procede a su transportación al lugar en donde se va a utilizar.

III.4.1.- PLANTA BARBER GREENE.

Es una unidad móvil que se remolca a varios lugares, proporciona un volumen continuo triturado 100% a 1.7 cms. de tamaño máximo con cemento asfáltico que tiene una penetración de 85-100 (9% de la mezcla total), estas plantas mezcladoras móviles se remolcan de una obra a otra y tienen una producción entre 350 a 500 m³/día.

III.4.2.- PLANTA CEDARAPIDS.

Esta planta es de tambor mezclador de asfalto, permite la producción de un pavimento de buena calidad, proveniente de una mezcla de pavimento asfáltico recuperado y un agrega-

do virgen; el asfalto recuperado se tritura en una quebradora de quijadas primarias y luego se reduce y tamiza en una unidad secundaria.

El secreto del sistema de reciclamiento del asfalto en la unidad CEDARAPIDS, es el concepto de "tambor dentro de un tambor", en donde un pequeño tambor se inserta en el extremo de entrada de una planta común portátil CEDARAPIDS de tambor mezclador de asfalto, el agregado nuevo es introducido en el tambor interior donde es sobrecalentado a una temperatura de 150 a 260°C, el material recuperado se transporta hasta el extremo de alimentación del tambor exterior para que se caliente y se seque pero sin exponerlo al intenso calor del quemador de secado; esto elimina que se causen problemas de polución.

Aproximadamente a la mitad del tambor principal y mientras descienden, el material bituminoso reciclado es introducido y calentado por los gases que ahí se producen, así como por la transferencia de calor del agregado nuevo sobrecalentado, los dos materiales se alimentan en los tambores en relaciones de aproximadamente 75% de recuperado y 25% del nuevo.

La mezcla se trata con una cantidad mínima de asfalto líquido, emitiendo la chimenea de la planta vapores benígnos, este sistema es capaz de producir de 135 a más de 360

tons./hora dependiendo de la humedad y de las proporciones del material.

III.4.3.- PLANTA PYROCONE.

Esta planta de tambor mezclador está equipada con un nuevo sistema de control de combustión, el cual tiene un cilindro de una alta aleación de metal instalado en el extremo del quemador del tambor mezclador (se encuentra entre la entrada del tambor y el quemador), su trabajo es controlar la intensidad de la cantidad de calor que entra al tambor mezclador en el reciclamiento, esto permite el procesamiento directo del asfalto viejo triturado sin necesidad de equipo de manejo extra o sistema para el control de producción; el sistema PYROCONE actúa como cubierta contra la radiación entre la flama del quemador y el agregado que se introduce en el tambor, en el reciclamiento se controla la cantidad de los gases de combustión y el aire secundario en tal forma que reduce la temperatura del chorro de gas que entra al tambor, esto es para prevenir el quemado de las partículas de asfalto y del agregado recubierto, con lo cual se eliminan las causas principales del humo en el proceso de recubrimiento.

III.4.4.- PLANTA RECTOCYCLE.

Esta planta tiene una alta producción en su capacidad de reciclamiento sin afectar los niveles de producción para la operación estándar, no restringe la característica de portátil a la planta y no incrementa las emisiones gaseosas.

Esta planta tiene líneas de unidades de tambor mezclador, siendo opcional para producir una nueva mezcla de pavimento recuperado mezclado y un nuevo material, esto se hace posible a través de un multialimentador especial que proporciona entradas separadas al tambor del material nuevo y el recuperado. El material nuevo se introduce por la boca del tambor mezclador estándar, en tanto al material recuperado se introduce hacia abajo de la corriente justa atrás de la flama del secador.

La planta ROTCYCLE se puede accionar para una producción de mezcla asfáltica hasta de 70% del material recuperado y 30% del nuevo, estas plantas alcanzan capacidades de producción desde 100 a 750 Tons/hora.

En el reciclamiento de mezcla en caliente puede efectuarse un tratamiento de la grava vieja triturada a través de un secador, en donde el material se calienta a temperaturas mas altas que las normales, la mezcla vieja de la carpeta se adiciona al agregado nuevo calentado en el molino, eliminando por consiguiente cualquier contacto entre la flama y el pavimento viejo; el calentamiento extra hace que la grava recuperada suavice la mezcla del pavimento para que requiera solamente 3% de asfalto nuevo para producir la mezcla final.

La modificación para la bachada estándar de la planta -

usada aquí, es la adición de una banda transportadora para llevar el material del pavimento viejo triturado desde el almacén a la entrada, donde se descarga en la sección para pesár.

La relación del material nuevo al material de la carpeta recuperado es aproximadamente del 50%; el material se mezcla y seca aproximadamente durante 20 min., enseguida se adiciona cemento asfáltico nuevo (aproximadamente 3%), y se continúa mezclando durante otros 30 min.; la bachada de nueva mezcla se descarga entonces en un camión para entregarse en el sitio de la obra; entre los beneficios logrados está el hecho de que solamente se necesita un 3% de asfalto nuevo en lugar del "normal" en la mezcla que es de 5 a 6%.

III.5.- CALIONES DISTRIBUIDORES DEL ADITIVO.

Para regar mejor el agente rejuvenecedor RECLAMITE, se puede usar un distribuidor convencional de asfalto, el cual debe estar limpio, sin remanentes de asfalto o disolventes - en el tanque, es aconsejable probar con una pequeña cantidad del material a través de la barra distribuidora fuera del camino, para asegurarse de que la barra está limpia y bien - ajustada, los orificios de la regadora deben ser pequeños, - aproximadamente de 3.2 mm. de diámetro.

III.6.- CALIONES DISTRIBUIDORES DE MEZCLA ASFALTICA.

Estas unidades deberán ser limpiadas previamente, procu

rando que no quede arcilla adherida, polvo o materia suelta; una vez perfectamente limpios deben lubricarse las cajas con aceites delgados que no sean disolventes del asfalto, el -- cual se distribuye con una escoba o cepillo, levantando después la caja para que escurra y no quede acumulado en las de formaciones del fondo.

Estando listos los camiones se procede a su cargado, -- los cuales se colocarán en el lugar destinado por la planta -- para la descarga por gravedad de la mezcla reciclada, no debe pasarse por alto el cubrir la caja del camión una vez car gada la mezcla con una lona de protección con objeto de que no se contamine con polvo o cualquier otra materia extraña, -- esto ayuda también a conservar la temperatura en el curso de su transporte hasta el lugar de la obra.

CAPITULO CUARTO

MATERIALES USADOS EN EL RECICLADO

IV.- ADITIVO RECLAMITE.

Es una emulsión catiónica de color rosa, fabricado por la Golden Bear División de Witco Chemical Corporation de Bakersfield, California, E.U.A., comúnmente se usa como disolvente en el tratamiento del material de la carpeta, convirtiéndose realmente en una parte integral del aglutinante asfáltico, éste rejuvenecedor restaura en buena parte las características de penetración y ductilidad que el cemento asfáltico pierde durante el mezclado y la colocación, además reemplaza las partes mas volátiles del asfalto, que se evaporan al calentarlo en planta o a través del envejecimiento, proporcionándole una vida adicional al pavimento.

Este aditivo está compuesto por resinas y aceites derivados del petróleo, que acondicionan y sellan los pavimentos asfálticos contra los efectos del intemperismo, uso y envejecimiento; los pavimentos tratados con RECLAMITE parecen nuevos y permanecen nuevos durante mas años, este agente proporciona los ingredientes químicos necesarios para reconstituir el asfalto envejecido y restaurar su flexibilidad.

Este agente rejuvenecedor es muy estable y puede almacenarse por largos periodos de tiempo sin que se afecten sus componentes químicos, se proporciona en forma concentrada en

frío y se diluye en el sitio de la obra con cualquier tipo de agua disponible (inclusiva agua de mar), en una dilución a base de dos partes de concentrado por una parte de agua, además requiere un mínimo de agitación y está listo para una eficiente aplicación sin calentamiento.

El aditivo mencionado puede regarse bajo un amplio intervalo de temperatura desde 0°C hasta la más alta que se pueda manejar; debe ser aplicado en el pavimento seco en un tiempo en que se estime que la lluvia no es inminente, ya que la penetración ocurre más rápidamente si el trabajo se ejecuta durante un día caluroso.

Las aplicaciones de RECLAMITE pueden hacerse con equipo convencional (cañón distribuidor o regado a mano) por lo que su manejo es práctico, estas aplicaciones cuestan poco, se efectúan fácilmente y son usadas tanto en climas cálidos como fríos.

Para determinar en el campo la velocidad de aplicación del RECLAMITE, en el laboratorio se prueba el aglutinante con diferentes cantidades de aditivo, lo cual nos proporciona un índice del volumen que se debe adicionar, el método es muy simple:

- 1.- Primero se separan mecánicamente los materiales de la superficie para simular la operación de remezclado por escarificación.

2.- A continuación se obtiene el cemento asfáltico y se le determina su valor de penetración.

3.- Al cemento asfáltico recuperado se le adiciona RECLAMITE en diferentes cantidades para incrementar los valores de penetración hasta la condición mas deseable.

Otro índice para determinar la velocidad de aplicación del aditivo, es la granulometría aparente y la relación de vacíos en muestras inalteradas (para determinar el espacio disponible para el aditivo).

La composición de los agentes rejuvenecedores puede especificarse, con el fin de asegurar la compatibilidad deseada con el asfalto envejecido y un alto grado de durabilidad del asfalto nuevamente formado.

El agente rejuvenecedor del asfalto, deberá cumplir con los siguientes requerimientos físicos y químicos.

ESPECIFICACION	METODO DE PRUEBA	REQUERIMIENTOS.
Viscosidad, SF a 25°C (en seg).	ASTM D244-60	15 - 40
Resíduo Mín.(%) (1)	ASTM D244-60 (mod)	60 - 65
Miscibilidad (2)	ASTM D244-60 (mod)	0
Retenido en la malla 200 (% Máx.) (3)	ASTM D244-60 (mod)	0.10
Carga de la partícula	ASTM D244-60	Positiva.

Pruebas sobre el resíduo de ASTM D244-60 (mod)

Viscosidad cs. 60°C	ASTM D445	100 - 200
Asfaltenos (% máx)	ASTM D2006-65-T	0.75
Relación de distribución de maltenos.	ASTM D2006-65-T	0.3-0.5

$$\frac{PC + A_1}{S + A_2} \cdot (4)$$

Punto de inflamación CAC, Mín. 177°C

Separación por destilación.

N/P Mín. (5) 0.5

$(N + A_1)$ Mín. 0.4

$(P + A_2)$ Máx. 1.2

(1).--La prueba de evaporación ASTM D244-60, para el (%) de residuo, se hace calentando una muestra de 50 gramos a 149°C, hasta que cesa de espumar, enfriándose inmediatamente a continuación para calcular los resultados.

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

(3).--El procedimiento de prueba es idéntico al ASTM D244-60, excepto que se deberá usar agua destilada en lugar de la solución de Oleato de Sodio al 2%

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

PC = Compuestos polares.

A₁ = Primeros acidoafines o hidrocarburos insaturados,

Grupo I solvente para A, peptizada.

A₂ = Segundos acidoafines o hidrocarburos insaturados, --
Grupo II solvente para A, peptizada.

S. = Saturados.

A = Asfaltenos que producen consistencia.

(5).-N = Bases de nitrogeno o compuestos polares insatura--
dos-peptizados (solventes) para A.

P = Parafinas o hidrocarburos saturados-agente gelizan--
te (floculante) para A.

Miscibilidad.- Es cuando se tiene la posibilidad de po--
der mezclarse.

Peptización.- Disolución en agua de un gel.

Gel.- Masa que resulta de la floculación y coagulación--
de una disolución coloidal.

Gelificar.- Transformar en gel.

La relación N/P, cantidad de peptizador (solvente) para
el agente gelizante (floculante), regula la compa--
tibilidad de las fracciones.

Un asfalto está compuesto principalmente por dos compo--
nentes (asfaltenos y maltenos)

- Los asfaltenos son los hidrocarburos no solubles o --
carbón negro.

- Los maltenos incluyen varios aceites y resinas en el--
asfalto.

Los principios químicos pertinentes que gobiernan el --
comportamiento de un asfalto pueden explicarse y entenderse--

fácilmente con unos cuantos hechos fundamentales.

Los asfaltos consisten de cinco grupos de fracciones:

A (Asfaltenos)

N (Bases de nitrógeno)

A₁ (Primeros acidoafines)

A₂ (Segundos acidoafines)

P (Parafinas o hidrocarburos)

El hecho de que los grupos individuales de fracciones - contengan una multitud de compuestos químicos es independiente, ya que cada grupo químicamente identificable se comporta de una manera predecible y tiene propiedades específicas genéricas.

Es importante sin embargo, que los cinco grupos estén - presentes en un asfalto debidamente balanceados para asegurar el comportamiento satisfactorio durante un periodo largo de tiempo.

Los componentes N, A₁, A₂ y P, también 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 en N puede ser diluida con las otras fracciones de maltenos (A_1 , A_2 y P) sin que se produzca la floculación de A, para ello deben mantenerse las relaciones balanceadas de A a N y de N a P.

Las fracciones de maltenos N y A_1 son las componentes químicas más activas del asfalto, por lo tanto son más susceptibles al envejecimiento que las otras dos.

En la viscosidad de los maltenos la mezcla de N, A_1 , A_2 y P tiene un papel significativo en la formación de 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 y causa un desequilibrio de estos componentes, resultando en un incremento de asfaltenos a expensas de la fracción de maltenos; ya que los maltenos se convierten gradualmente en asfaltenos (Fig. UNO).

* Reología.- Estudio de la deformación y flujo de la materia.

La manifestación sobre los pavimentos por escasez de -- maltenos es de endurecimiento, pérdida de cohesión, desprendimiento, agrietamiento y desgarramiento, estos efectos son progresivamente mas severos cuando se tiene un contenido de -- vacíos significativo en la carpeta.

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

Antes de iniciar cualquier operación se debe conocer la condición del pavimento que va a ser reciclado, las cantidades de material involucradas, y el uso específico final del material reciclado, por ejemplo, si va a 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 revoltura para incrementar el volumen de una mezcla que contiene -- esencialmente cemento asfáltico y agregado.

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

- Los porcentajes de agregado y de asfalto viejo.
- La granulometría de los agregados.

- La consistencia (penetración o viscosidad del asfalto viejo extraído).

Con esta información se puede establecer la cantidad necesaria de agente rejuvenecedor para la mezcla; una simple fórmula matemática puede usarse para calcular la cantidad de asfalto necesaria, lo mismo que la cantidad de agente rejuvenecedor que debe agregarse, la cual igualará a la demanda de asfalto menos la cantidad de asfalto contenida en la mezcla vieja, esta fórmula en función de la superficie específica del agregado pétreo resulta ser:

$$P = \frac{4R + 7S + 12F}{100} \quad (1.1)$$

donde:

P = % total de asfalto requerido en la mezcla reciclada (asfalto viejo más agente rejuvenecedor)

R = Grava (retenida en la malla No. 8)

S = Arena (pasa la malla No. 8 y se retiene en la malla No. 200)

F = Finos (pasa la malla No. 200)

La cantidad de aplicación de RECLAMITE, generalmente varía de 0.32 a 0.45 Lt/m², pero depende en gran parte de la edad de los pavimentos y de su peso específico (densidad).

El efecto de la emulsión en la tracción de los vehículos que circulan en el camino, depende de las condiciones y de la textura superficial del pavimento antes del tratamiento.

to, ya que después puede existir un peligro temporal en ciertos casos, éste, se debe a la penetración incompleta de la emulsión como consecuencia del exceso de aditivo, de la aplicación no uniforme o bien de las variaciones de la permeabilidad del pavimento.

No deberá usarse este agente rejuvenecedor en un pavimento asfáltico donde existan o vayan a existir después del tratamiento contaminaciones de combustible, aceite, grasas o asfalto; o cuando existan remanentes de recubrimientos asfálticos previos del tipo de sellado sobre el pavimento.

Jamás deberá usarse RECLAMITE en pavimentos asfálticos, viejos o nuevos que tengan en la superficie el asfalto suelto o cuando la nueva mezcla contenga exceso de asfalto o menos del 5% de vacíos; asimismo no debe usarse donde haya un previo sellado fino, o en zonas brillosas o vidriadas por el tránsito, ya que el agregado que ha sido pulido por el paso de vehículos hasta lograr una superficie lisa, impide la penetración del aditivo.

Con el uso de este agente puede abrirse la carretera al tránsito en un lapso de tiempo mas corto, el empleo de esta emulsión durante las inclemencias del tiempo requiere precauciones especiales para evitar una pérdida sustancial de la tracción superficial, este aditivo no debe usarse durante las heladas o en días húmedos, y su aplicación en climas - -

tríos debe determinarse partiendo de experimentos cuidadosos que definan la cantidad que puede aplicarse en forma segura y efectiva.

Si se notan condiciones de resbalamiento después del tratamiento, debido a que alguna cantidad de agente permanece en la superficie por no haber penetrado en el asfalto, la aplicación de 0.5 a 1.0 Lt/m² de arena seca o polvo de roca (antes de abrir al tránsito) proporciona la tracción necesaria para reducir el derrapamiento a un mínimo.

Durante cualquier tipo de trabajo en las carreteras, -- incluyendo tratamientos con emulsión, se deben usar barricadas, señalamientos preventivos y sistemas de control de tránsito (luces, carros pilotos y hombres con bandera); donde se haga necesario el tratamiento con arena, dicho trabajo no deberá considerarse terminado hasta que el agente haya sido -- absorbido por la carpeta asfáltica completamente.

Entre los trabajos específicos en que se está aplicando el RECLAMITE están los siguientes:

- Restaura o mejora grandemente la flexibilidad y ductilidad de los pavimentos asfálticos viejos que han sido atacados por el intemperismo.
- En construcciones nuevas, para restaurar las cualidades originales del asfalto, que han sido parcialmente perdidas debido al envejecimiento artificial ocurrido

durante la operación de calentamiento en la planta, -
esta acción de rejuvenecimiento ocurre solamente en -
la parte superficial de la carpeta, por consiguiente -
no provoca algún efecto adverso en la estabilidad de -
las carpetas.

- Reduce la intrucción de aire y agua proporcionando un
sello profundo y duradero que no puede ser removido -
por el tránsito o el intemperismo.

- Ayuda a reducir la permeabilidad donde las densidades
deseadas no se lograron debido a las bajas temperatu-
ras ambientales o a las mezclas empleadas durante el -
acarreo ocasionadas por las largas distancias desde -
la planta hasta la obra.

IV.1.- USO DEL ADITIVO EN LA ESCARIFICACION EN CALIENTE.

Ahora se pueden revitalizar los pavimentos asfálticos -
envejecidos y mantenerlos como el "primer día de nuevos" por
años; las propiedades excepcionales para rejuvenecer de RE--
CLAMITE combinadas con un procedimiento adecuado de calenta-
miento y escaificación convierten los recubrimientos asfál-
ticos envejecidos en flexibles y cómodos al tránsito.

La económica preparación de los pavimentos asfálticos -
viejos, seguida por un tratamiento con RECLAMITE en el mate-
rial escaificado y un nuevo recubrimiento asfáltico fresco--
transforma los caminos peligrosos y fuera de uso en cómoda--
mente transitables durante años.

Cuando el asfalto residual en la carpeta es adecuado, - el agente rejuvenecedor debe aplicarse en menor proporción - para restaurar en el asfalto la viscosidad deseada. Una apli- cación en demasía del aditivo puede conducir al llorado de - la carpeta debido a que reaccionará con cualquier asfalto -- que esté disponible. Las carpetas que presentan serias defi- ciencias de asfalto deben ser tratadas con riegos de liga u- otros medios, debido a que los agentes rejuvenecedores no -- son aglutinantes. La total erradicación de las grietas en -- los pavimentos por medio de esta técnica es obviamente impo- sible.

En la escarificación en caliente se ha desarrollado un- método para determinar la cantidad de aditivo que debe apli- carse y el efecto que tendrá en el pavimento existente. El - procedimiento consiste en remitir al laboratorio de prueba - tres muestras de corazones del pavimento cuando menos de 15- cms. de diámetro. Un corazón se prueba para determinar el va- lór de penetración del asfalto de la superficie del pavimen- to (2.0 cms. de espesor). Los otros dos corazones se calien- tan y escarifican hasta una profundidad de 2.0 cms., enton- ces se aplica 0.5 lts/m² de RECLAMITE concentrado sobre uno- de dichos corazones y 1.0 lts/m² sobre el otro, estos corazo- nes se colocan en un horno a la temperatura de 60°C durante- un tiempo mínimo de tres días, después de lo cual se extrae- el asfalto de los 2.0 cms. superficiales de cada corazón y - se prueban, determinándose la cantidad de agente necesario.

En el campo inmediatamente después de terminar la compactación, y mientras el concreto asfáltico está todavía caliente, se debe aplicar la resina del petróleo emulsificada, asimismo debe hacerse lo posible para obtener el mayor peso específico y el mejor acabado de la superficie; si se considera que ha ocurrido desprendimiento excesivo, se deberá aplicar un sellado utilizando el tipo de asfalto especificado para el riego de liga.

El RECLAMITE en combinación con los procedimientos de escarificación en caliente tiene las siguientes funciones:

- Restaura la plasticidad de los pavimentos asfálticos envejecidos, después de que éstos han perdido densidad y han sido suavizados por el calor.
- Reabastece los componentes perdidos durante el envejecimiento.
- Mejora la adhesión entre asfalto-agregado y la cohesión de la mezcla, facilitando así la recompactación del material suelto.

El procedimiento de escarificación en caliente y aplicación de RECLAMITE para el recubrimiento de pavimentos asfálticos ha ganado una amplia popularidad en todos los tipos de obra de pavimentación, incluyendo calles, estacionamientos y similares.

Basándose en las propiedades excepcionales del rejuvene

amiento de la emulsión, el proceso ofrece tres ventajas sobre los recubrimientos convencionales:

- 1.- Asegura la trabazón entre las capas asfálticas vieja y nueva.
- 2.- Rejuvenece el pavimento viejo escarificado, desarrollando cuando menos 2.54 cms. adicionales de pavimento flexible.
- 3.- El agrietamiento superficial en el pavimento existente queda eliminado y por consiguiente, retarda el agrietamiento por reflexión.

Existen dos procedimientos para la escarificación en caliente, el método en serie que se usa cuando el recubrimiento va a ser de una mezcla de graduación densa y el método de pavimentación retardada que se usa para recubrimiento de granulometría abierta, slurry seal o riego de sello. Usándose en ocasiones el de serie después del de pavimentación retardada.

El método en serie de la escarificación en caliente con aplicación de RECLAMITE para rejuvenecer el asfalto, se puede realizar en los siguientes pasos:

- Se calienta y escarifica la parte superficial (1.5 a 2.0 cms. de espesor) del pavimento, usando una unidad convencional de calentamiento superficial con dispositivos para la escarificación y desprendimiento en la parte de atrás.

Se riega de 0.5 a 1.0 lts/m² de RECLAMITE concentrado, después de la operación de desprendimiento para rejuvenecer el material viejo.

Se coloca un recubrimiento asfáltico nuevo sobre el pavimento rejuvenecido, éste se efectúa de una manera convencional, inmediatamente después del tratamiento con RECLAMITE, usándose una extendidora mecánica para colocar un espesor de 2 a 4 cms. de concreto asfáltico o bien de mayor espesor, dependiendo de los requerimientos estructurales del pavimento terminado, esta operación debe llevarse a cabo tan pronto como la aplicación de RECLAMITE sea práctica.

Por último se compacta el recubrimiento usando rodillos convencionales de acero y neumáticos, con el fin de compactar simultáneamente el material asfáltico remezclado y el nuevo y así formar una sola capa.

Un tratamiento subsecuente en la sobrecapa con aproximadamente 0.25 a 0.35 lts/m² de aditivo diluido en una relación de dos partes de concentrado por una de agua prolongará aún mas la vida útil del pavimento.

El método de pavimentación retardada con aplicación de RECLAMITE para rejuvenecer el asfalto es el siguiente:

- Se calienta y se desprende el concreto asfáltico viejo.
- Se pasa inmediatamente detrás de la escarificadora --

- con el equipo de compactación de acero y neumáticos.
- Se riega el RECLAMITE sobre el área compactada, la relación de la aplicación puede variar de 0.7 a 1.12 -- lts/m² de aditivo, y es recomendable que se diluya -- antes de la aplicación.
 - El nuevo pavimento asfáltico puede tenderse cuando -- toda el área ha sido escarificada, compactada y trata da con el agente rejuvenecedor.

Se tiene también el método que usa un slurry seal o un riego de sello como recubrimiento en lugar de una sobrecapa con el fin de rebajar el costo, este se ha realizado satisfactoriamente pero solo debe considerarse para caminos con volumen bajo de tránsito, tales como calles residenciales o aeropistas pequeñas usadas por aviones ligeros.

El proceso de recubrimiento en tres fases como son: escarificación en caliente, reclamite y slurry seal, se hace cuando el asfalto está envejecido y se tienen algunas pequeñas grietas por contracción, pero la estructura se encuentra en buenas condiciones.

Antes de que se aplique el slurry seal debe barrerse y recojarse el material desprendido por el tránsito que se encuentra sobre la carpeta.

Un beneficio con la escarificación en caliente es que --

Las contaminaciones de aceite, derrame de combustible y de pinturas para señales se oxidan por el calentamiento. La eliminación de estas fuentes de problemas futuros resulta en una mayor adhesión para el recubrimiento con el slurry seal.

El calentamiento y remezclado con RECLAMITE como tratamiento previo debe mantenerse adelante del slurry seal el tiempo de dilatación adecuado para que el RECLAMITE penetre en el pavimento, evitando así la interferencia con la operación de la colocación del slurry seal.

Se hace necesario una doble aplicación de slurry seal; la primera actuando como riego de liga, sellador y nivelador, debido a la textura dejada por el tratamiento previo del calentamiento-remezclado; la segunda proporciona una superficie de rodamiento nivelada y uniforme con buena resistencia al derrapamiento.

IV.2.- EL RECLAMITE EMPLEADO EN EL SELLADO DE LOS PAVIMENTOS VIEJOS.

Los agentes rejuvenecedores son usados ampliamente para extender la vida de los pavimentos viejos, con el fin de mejorar las propiedades del asfalto en el proceso de escarificación en caliente, las operaciones de calentamiento en la repavimentación, así como para ayudar a rellenar y sellar las pequeñas grietas del pavimento (0.6 cms. de ancho o menos); como tales tratamientos se están usando mucho, es muy-

Importante entender cuando pueden ser mas efectivos y cuando deben ser aplicados.

En el campo se prueban los pavimentos para determinar la cantidad de aditivo que penetrará en una hora, los pavimentos viejos y densos, generalmente requieren 0.36 lts/m^2 , en cambio los pavimentos nuevos necesitan aproximadamente 0.55 lts/m^2 ; el agente rejuvenecedor sin calentar se aplica en un carril a la vez.

Siempre que sea posible, el carril tratado se cierra durante 30 min. después de aplicar el RECLAMITE, agregándose a continuación arena y permitiendo el paso del tránsito nuevamente; dicho tránsito remueve la arena dentro del día siguiente en que fué absorbido el agente rejuvenecedor; asimismo cuando es necesario circular a una velocidad mayor de 50 km/hr. es indispensable darle un tiempo adicional para permitir la penetración de los agentes líquidos de la emulsión.

Los pavimentos viejos requieren un examen cuidadoso antes de darles el tratamiento preventivo con el agente, este tratamiento será efectivo solamente si el agente rejuvenecedor puede penetrar debidamente. El pavimento no debe exhibir asfalto libre en su superficie; y la absorbencia del pavimento, su disponibilidad para el tratamiento con rejuvenecedores y la aplicación correcta, es por medio de la prueba del anillo de grasa; esta prueba consiste en formar un

anillo con diámetro de 15.0 cms. sobre el pavimento de pruebas, con un tubo de grasa para formar un recipiente sellado para la aplicación gradual y decreciente de la cantidad de emulsión, los estuches de prueba están provistos de un frasco y un tubo marcador para observar varias proporciones de aplicación.

La cantidad del agente rejuvenecedor disminuye en forma gradual basándose en un análisis preliminar de las condiciones del asfalto, y se mide vaciando en el anillo el aditivo y extendiéndolo rápido y uniformemente sobre el área circular con un cepillo pequeño; se registra entonces el tiempo requerido para que el agente penetre en la superficie, los datos que deben registrarse en la mencionada prueba incluyen:

- Descripción de la superficie de prueba.
- Localización del anillo de grasa.
- Tiempo de penetración de la cantidad usada.
- La proporción de aplicación, la cual debe ser la mayor cantidad que penetre en la superficie en un lapso de 15 a 20 min.

La prueba deberá realizarse en las partes mas transitadas marcadas por las rodaduras, que es donde el pavimento es mas denso comúnmente (mayor dificultad para penetrar) para asegurar los resultados mas confiables; y debido a que las condiciones varían en la superficie, la prueba deberá repe-

tirse en diferentes áreas.

Si el área superficial aparece con un residuo grueso del material aplicado después de un intervalo de 15 min., indica que se usó mucho agente rejuvenecedor para la prueba o bien que el pavimento no requiere tratamiento.

Se deben analizar ciertas condiciones que hacen a los pavimentos viejos inadecuados para el tratamiento con RECLAMITE:

- Los pavimentos recientemente sellados con compuestos a base de asfalto, emulsión asfáltica o asfaltos rebajados.
- Las superficies inestables (indicadas por surcos de rodaduras, desplazamiento o grietas).
- Las superficies mas dañadas por el tránsito o por acumulaciones espesas de materiales extraños que pudieran evitar la absorción del agente.

El efecto del aditivo en los pavimentos mas viejos que han alcanzado un estado donde se hace deseable el mantenimiento preventivo para extender su vida, ha probado ser muy efectivo.

Debe tenerse en cuenta que si están involucrados problemas estructurales o el pavimento ha llegado al estado donde se hace necesario el mantenimiento correctivo, un tratamien-

to superficial con RECLAMITE será de poco o ningún valor, -- estas condiciones requerirán otros métodos o procedimientos para corregir la situación, pero solamente con un pavimento asfáltico se tienen disponibles varios métodos para enfrentarse a la corrección de las condiciones que han llevado a un estado mas allá del mantenimiento preventivo.

IV.3.- EL RECLAMITE EMPLEADO EN EL SELLADO DE LOS PAVIMENTOS NUEVOS.

El uso de un agente rejuvenecedor como sellador, es de gran valor para los pavimentos nuevos de concreto asfáltico, porque prolonga la vida útil del pavimento.

En el nuevo pavimento la aplicación del agente se hace tan pronto sea posible después de la pavimentación; al día siguiente de preferencia o dentro de 30 días cuando mas, ya que si interviene un periodo mas largo, el tránsito afectará la superficie y se obstruye la penetración.

Los pavimentos nuevos que pueden cerrarse al tránsito por varias horas después del tratamiento, generalmente no necesitan areneo, ya que para entonces se estableció la resistencia normal al derrapamiento.

Se tienen beneficios evidentes en el sellado con el uso continuo del agente rejuvenecedor en los pavimentos nuevos, mencionando los siguientes:

- Restaura el valor de penetración perdido durante la construcción (por endurecimiento del asfalto).
- Contrarresta los efectos del sobrecalentamiento accidental en la planta, que resulta en un pavimento quebradizo prematuro, restaurando las fracciones más reactivas y la calidad original del asfalto que comúnmente se pierden por dicho sobrecalentamiento.
- Sella las grietas finas en la superficie minimizando la introducción de aire y agua, por lo que proporciona un "sello profundo" y duradero que no puede deteriorarse por el tránsito o el intemperismo (oxidación del aglutinante asfáltico), deteniendo la pérdida de la ductilidad y la plasticidad, por lo que se incrementa el peso específico de la mezcla asfáltica y ayuda a retener los finos.
- Si la mezcla de diseño resulta en un contenido bajo de asfalto, el agente rejuvenecedor parará el desprendimiento y el desgarramiento de la carpeta que se desarrolla por falta de cementante.
- Ayuda a reducir la permeabilidad donde las densidades deseadas no pueden alcanzarse debido a las bajas temperaturas ambientales o al enfriamiento de las mezclas durante el acarreo a largas distancias de la planta de calentamiento.
- Se extiende la vida útil efectiva de un pavimento asfáltico, generalmente al doble antes de que sea necesario el mantenimiento normal.

- Reduce el mantenimiento de la carpeta a tal grado que no lo necesita durante 6 u 8 años.
- La textura superficial no se afecta apreciablemente por la aplicación de este aditivo, por lo que las características antiderrapantes del pavimento ya sea húmedo o seco no se decreentan.
- Se obtiene un espesor adicional de carpeta flexible cuando se aplica en pavimentos que han sido calentados y escarificados antes del recubrimiento, por lo que se asegura la adhesión, se retardan las grietas por reflexión y se elimina la tendencia a la laminación.
- La superficie de rodamiento puede ser abierta al tránsito mas prontamente.
- Si resulta la compactación inadecuada debido al uso indebido del equipo de compactación, temperaturas ambientales frías o mezclas frías, debido a las largas distancias de acarreo, el RECLAMITE sellará la superficie.

Los resultados benéficos del RECLAMITE como construcción de sello en los pavimentos asfálticos nuevos son muchos, pero el mas importante es el de incrementar el valor de penetración del asfalto en el pavimento mismo, esto sucede solamente en la parte superficial de la carpeta hasta la profundidad de 1.5 a 2.0 cms.

Quando se considera la aplicación del agente rejuvenecedor en pavimentos nuevos, la proporción recomendada varía de 0.3 a 0.6 lts/m² y comúnmente estarán en el intervalo de 0.3 a 0.5 lts/m². Jamás deberá excederse de 0.75 lts/m² la dilución de 2 a 1. Si la cantidad de 0.3 lts/m² del agente no penetra completamente en un pavimento nuevo, entonces no debe ser usado.

Las características del pavimento nuevo indicarán no solamente la cantidad de aditivo que debe aplicarse, sino también si es que el tratamiento debe realizarse completamente.

Los pavimentos asfálticos deben tener un contenido de vacíos de cuando menos 5% para que la aplicación resulte práctica y benéfica, los pavimentos con menor porcentaje o alto contenido de asfalto tienen pocos vacíos y por consiguiente están sujetos a inestabilidad, marcas de rodamiento y llorado, ya sea que se traten o no con rejuvenecedor, por lo que el tratamiento de tales pavimentos es contraindicado; mas aún, si la calidad de los agregados es tal que rápidamente van a degradarse o a pulirse, la extralongevidad que un tratamiento le pudiera proporcionar, se nulifica.

IV.4.- LLENADO DE GRIETAS (CALAFATEO)

El llenado de las grietas con el agente es comúnmente una operación libre de peligros, sin embargo, siempre debe aplicarse arena para ayudar en el llenado de las grietas y

en la absorción de cualquier material asfáltico derramado en exceso sobre el pavimento.

En algunas áreas, las variaciones en la densidad del pavimento o los residuos dejados por un sello anterior, pueden provocar manchas debidas a la penetración incompleta del RECLAMITE, en estos casos se tiende una capa ligera de arena para proteger la superficie de rodamiento contra el derrapamiento en las zonas aceitosas.

El RECLAMITE usado en el llenado de las grietas ha probado ser de mucho éxito si se usa en grietas de 0.6 cms. de espesor o menores, este tamaño de grietas es difícil de llenar con los componentes normales para tal efecto, mientras que la viscosidad muy baja del RECLAMITE lo hace que se introduzca en las grietas fácilmente, a continuación se riega arena sobre el área agrietada y se abre el camino nuevamente al tránsito.

Las ventajas de esta técnica son:

- Las grietas no necesitan limpiarse.
- El RECLAMITE restaura la flexibilidad en el área agrietada, eliminando así el descantillamiento.
- Debido a que el RECLAMITE no requiere calentamiento, se simplifica toda la operación.

Cuando una calle va a ser sellada, primero deben tratar

se las grietas usando una emulsión concentrada y arena, a --
continuación ya se puede efectuar el recubrimiento de sella-
do del pavimento.

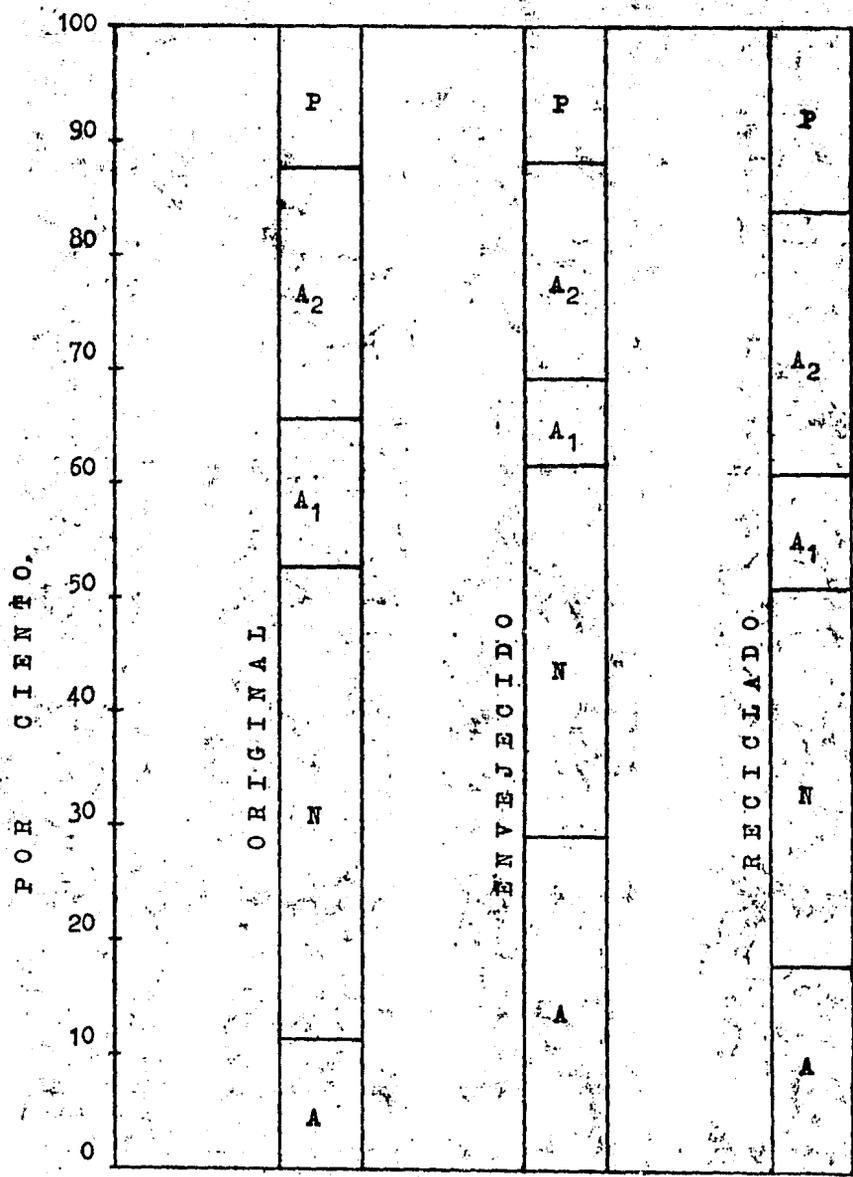


FIGURA UNO.- CAMBIOS EN LA COMPOSICION QUIMICA DE UN ASFALTO.

CAPITULO QUINTO.

COSTO DE UN RECICLADO COMPARANDOLO CON LA COLOCACION DE UNA NUEVA CARPETA.

V.- ESTUDIO EFECTUADO EN EL TRAMO CD.VALLES-EBANO, S.L.P.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes pretende reconstruir el pavimento de la carretera CD.VALLES-TAMPICO en el tramo CD.VALLES-EBANO, proporcionándole además un ancho de corona de 10.0 m.

El tramo de referencia se localiza en el extremo oriente del Estado de San Luis Potosí, tiene origen de cadenamiento en CD.VALLES, S.L.P. y termina en EBANO, S.L.P., su longitud es de 79 Km. con un promedio de ancho de corona de 9.80m. y de carpeta de 7.10 m., el TDPA es de 3600 vehículos diarios de los cuales el 40% corresponde a tránsito pesado, la tasa de crecimiento considerada aplicable es del 8% anual. (Se anexa un croquis con la ubicación del tramo en estudio al final de este capítulo).

La superficie de rodamiento presenta condiciones muy variables, ya que existen subtramos en buen estado, los cuales han recibido tratamientos en fecha reciente, en tanto que hay otros con un grado de deterioro que va de regular a fuerte que representan un 50% de la longitud total del tramo.

Con el fin de conocer la estructuración del pavimento existente y determinar los grados de compactación y humedad-

de las capas que lo constituyen, se efectuaron sondeos del tipo pozo a cielo abierto, tomándose muestras de las capas para ensayarlas en el laboratorio y conocer sus características físicas y mecánicas, obteniéndose lo siguiente:

El cuerpo del terraplén y capa subrasante están constituidos prácticamente por el mismo material, en el que predominan las arcillas de alta plasticidad (65%), arenas arcillosas (17%) y arcillas de baja plasticidad (18%); según pruebas de laboratorio estos materiales son inadecuados para construir la capa subrasante.

La subbase está formada por grava arcillosa y de acuerdo a su composición granulométrica y especificaciones se considera aceptable para su propósito, su espesor es de 17 cm.

La base hidráulica tiene un espesor de 13 cm., está compuesta por grava arcillosa y de acuerdo a datos de laboratorio no cumple especificaciones.

La carpeta asfáltica está integrada por mezclas elaboradas en el lugar y su espesor es de 18 cm, incluyendo las sobrecarpetas que se han venido construyendo para reforzar el pavimento, así como los bacheos efectuados para mejorar la superficie de rodamiento; no obstante este mantenimiento se siguen presentando fallas.

Los datos del proyecto para hacer la revisión del pavimento y proceder a su reconstrucción son:

- Volumen de tránsito = 3600 vehículos diarios.
- Porcentaje de tránsito pesado = 40%
(Autobuses = 10% Camiones = 30%)
- Tasa de crecimiento anual = 8%
- Carga máxima por eje sencillo = 10 Tons.
- Peso promedio de los vehículos pesados = 18 Tons.
- Periodo de diseño = 10 años.
- VRS de diseño de la capa subrasante = 3%

Tomando en consideración el VRS mencionado y aplicando el método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. (para diseño de pavimentos), encontramos que requiere a partir de la capa subrasante de 80 cm. de grava equivalente. Ahora, si comparamos los espesores promedio existentes en el pavimento tomando en cuenta su calidad, con el espesor requerido obtenido por el método, encontramos que requiere de un refuerzo de 15 cm. de concreto asfáltico o un índice de espesor de -- aproximadamente 30 cm.

Las sobrecarpetas que se vienen construyendo presentan fallas en periodos relativamente cortos, debido a que las -- mezclas se han colocado sobre superficies bastante falladas -- que no proporcionan un apoyo estable y, a que el pavimento -- tiene una insuficiencia estructural. Si consideramos que el -- espesor faltante pudiera proporcionarse a base de mezcla --

asfáltica en algunos tramos, tendríamos el inconveniente de estar reformando con una capa relativamente rígida, que estaría muy próxima a las terracerías formadas por un suelo de malas características; o sea que no habría una transición -- adecuada de rigideces o módulos de elasticidad entre capas, -- necesaria en estos casos; además, hay que tomar en cuenta -- las características de expansividad (de las arcillas) que -- presenta en algunas zonas el citado suelo, lo cual es muy -- desfavorable.

El procedimiento constructivo para la reconstrucción -- del pavimento de acuerdo con los datos obtenidos al revisar -- el pavimento, puede efectuarse con dos alternativas en cuan -- to a estructuración, las cuales implican procedimientos cons -- tructivos diferentes. En ambas alternativas se consideran -- dos variantes, una trabajando con el tránsito sobre la coro -- na del camino y otra canalizándolo a desviaciones construi -- das expreso en las zonas donde sean factibles de realizar.

V.1.-PRIMERA ALTERNATIVA.

a).- Ampliación de terracerías.

Tomando en cuenta que sólo existe pavimento en el área -- que cubre actualmente la carpeta, es conveniente que el nue -- vo ancho de corona se considere a partir de la orilla de di -- cha capa, en el lado opuesto al de la ampliación de terrace -- rías.

Bajo las condiciones anteriores y tomando en cuenta que

el ancho de carpeta actual tiene un promedio de 7.0 m., la ampliación de terracerías deberá ser de 3.0 m., lo cual es congruente con las necesidades de espacio para la operación del equipo de construcción.

b).- Cuerpo del terraplén.

Primeramente se eliminará el material de despalle del acotamiento, talud y zona de terreno natural de la ampliación, en un orden de los 30 cm. compactando el suelo descubierto al 85% del PVSM. A continuación se realizarán los escalones de liga necesarios de acuerdo con la altura del terraplén y llegando hasta la orilla de la carpeta (Fig. DOS).

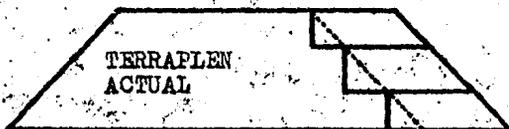


FIGURA DOS.- CONSTRUCCION DE LOS ESCALONES DE LIGA.

c).- Capa subrasante.

Una vez terminada la construcción del cuerpo del terraplén se proseguirá con la integración de la capa subrasante cuyo espesor será de 30 cm. y se compactará al 95% del PVSM, el nivel superior de esta capa deberá quedar al nivel inferior de la carpeta actual.

d). Estructura del pavimento.

El pavimento quedará integrado por una subbase de 23 -- cm., una base hidráulica de 20 cm. y una carpeta asfáltica -- de 8 cm. de espesor, trabajando primeramente el ala corres-- pondiente a la zona de ampliación, según se indica a conti-- nuación:

- Se procederá a escarificar y disgregar la carpeta asfáltica acamellonando el material producto de esta -- operación, eliminándole el agregado pétreo de tamaño superior a 5.08 cm. (2").
- El material de la superficie descubierta o sea la base hidráulica antigua, que en lo sucesivo funcionará como mejoramiento de terracería, se afinará proporcionándole el bombeo adecuado de acuerdo con la nueva -- sección transversal de proyecto del camino, compactándolo en un espesor de 20 cm. al 95% del PVSM.
- A continuación se construirá una capa de subbase de -- 23 cm. de espesor, compactada al 95% del PVSM, utilizando el material de la carpeta asfáltica disgregada, complementando el volumen necesario con material de -- bancos adecuados.
- La base hidráulica se construirá con material de bancos, tendrá un espesor de 20 cm. y se compactará al -- 100% del PVSM. Sobre esta capa terminada superficialmente seca y barrida se aplicará un riego de impregnación con producto asfáltico tipo EM-1, a razón de -- 1.5 lts/m².

Posteriormente se continuará con la reconstrucción del pavimento de la otra ala, siguiéndole las mismas etapas descritas, previo despalle y afinamiento del acotamiento y talud existentes.

- Una vez terminada la base hidráulica en todo el ancho de corona, se construirá la carpeta asfáltica de 8 cm. de espesor, por el sistema de mezcla en planta y en caliente, empleando material pétreo de tamaño máximo de $3/4"$ y cemento asfáltico No.6, la mezcla deberá compactarse al 95% mínimo del PVM determinado por el método Marshall.

- Previamente al tendido de la carpeta asfáltica, se dará un riego de liga con asfalto FR-3 a razón de 0.4 lbs/m², dejándolo expuesto el tiempo necesario para favorecer la pérdida de los solventes.

- Después de colocada la carpeta se aplicará un riego de sello con producto asfáltico FR-3 a razón de 1.2 lbs/m² y material pétreo 3-A (tamaño máximo de $3/8"$) en proporción de 10 lbs/m².

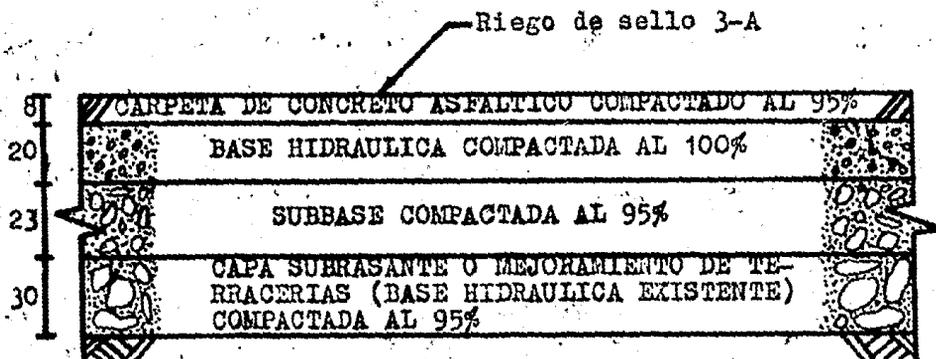
- En la figura No. TRES se hace un corte esquemático de la sección tipo del pavimento propuesto para esta alternativa.

V.2.-SEGUNDA ALTERNATIVA.

En ésta se plantea la introducción de equipo de construcción mas moderno, que implica el reciclado de materiales, para obtener un mejor aprovechamiento de los mismos, so

ALTERNATIVA No. UNO

Sección tipo del pavimento que se propone para el tramo
CD. VALLES - EBANO de la carretera CD. VALLES - TAMPICO.



Acotaciones en cm.

NOTA:-La capa subrasante en la zona de ampliación se --
construirá con espesor de 30 cm., en tanto que en
el área correspondiente al pavimento actual, la -
base hidráulica existente funcionará como mejora-
miento de terracerias y se tratará en un espesor-
de 20 cm., compactando en ambos casos al 95% del-
P.V.S.M.

Figura No. 3.

bre todo en las zonas donde los acarrees son largos y en los que en la estructura del pavimento se tienen volúmenes fuertes de carpeta.

Para el efecto, independientemente de construir las ampliaciones con el procedimiento desarrollado en la primera alternativa, se deberá construir un pavimento con igual equivalencia estructural al propuesto anteriormente pero con diferente estructuración, misma que se integrará con una sub base de 20 cm., una base asfáltica de 15 cm. y una carpeta asfáltica de 8 cm. de espesor.

- Contando con la ampliación de terracerías terminadas hasta el nivel superior de la capa subrasante y mediante pasadas sucesivas del equipo, de tal manera que se obtengan cortes con espesores de 5 a 7 cm. se escarifica la carpeta, teniendo cuidado de no penetrar en la capa de base antigua para evitar contaminaciones.
- El material así obtenido se colocará en los almacenes que se vayan ubicando a un lado del camino y cuya separación podrá ser de 2 a 3 Km.
- La superficie de la base antigua descubierta se compactará con equipo neumático con peso no menor de 25 Tons., hasta obtener el 95% del PVSU en un espesor de 20 cm.
- Los baches que se detecten se tratarán eliminando el material inestable en una profundidad máxima de 60

cm., sustituyéndolo por material con calidad de subbase.

- La subbase de 20 cm. de espesor se construirá en todo el ancho de corona empleando material de banco, el cual se compactará al 95% del PVS_M; terminando esta capa y estando superficialmente seca y barrida se dará un riego de impregnación con producto asfáltico FM-1 en proporción de 1.5 lts/m².

- Con el material fresado y almacenado que ya cuenta con asfalto, se procederá a integrar la base asfáltica, acarreándolo al camino en el volumen necesario para obtener el espesor propuesto; en caso de que en algunas zonas llegué a faltar material, podrá utilizarse agregado pétreo de banco con tamaño máximo de 1½".

- Debido a que el material que se utilizará cuenta ya con asfalto, solamente se le adicionará un producto asfáltico FR-3 o una emulsión asfáltica en una cantidad que se estima será de 40 lts/m³.

- Después de incorporado el asfalto y homogeneizada la mezcla, contando además con una proporción de solventes adecuada, se procederá a su tendido y compactación al 95% del Peso Volumétrico Máximo.

- Para la construcción de la carpeta asfáltica y riego de sello es necesario apegarse a las normas y procedimientos ya señalados con anterioridad en la primera alternativa.

- En la figura No. CUATRO se hace un corte esquemático de la sección tipo del pavimento propuesto para esta alternativa.

Aún cuando las dos alternativas de proyecto estructuralmente tienen una equivalencia semejante, se estima que la segunda, o sea en la que se aprovecha el material de la carpeta actual para construir la base asfáltica, puede proporcionar una mejor transmisión de esfuerzos, tomando en cuenta -- los módulos de elasticidad en las diferentes capas.

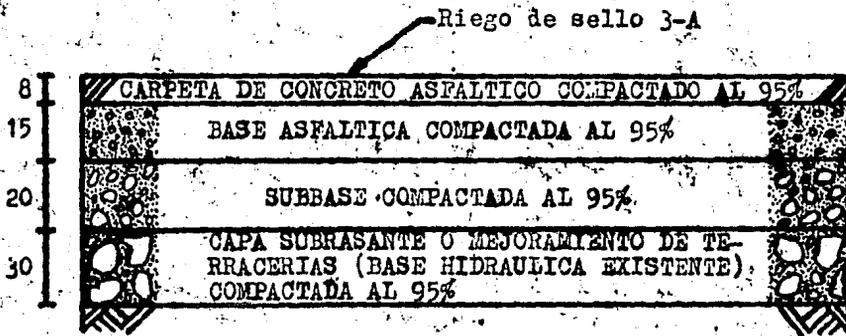
V.3.-ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE LA PRIMERA Y SEGUNDA ALTERNATIVA.

Para los presupuestos estudiados, se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los precios unitarios de la zona correspondientes al mes de septiembre de 1985.
- Un 25% adicional para trabajos de camino en operación con mas de 2000 vehículos diarios.
- El costo de adquisición de cada banco para los materiales de base, subbase y carpeta, y no los precios de tabulador en virtud de ser bancos de explotación.
- Los costos anotados en estos presupuestos están calculados por metro lineal.
- Los trabajos en terracerías, obras de drenaje y subdrenaje no son presupuestados, en virtud de ser los mismos para las dos alternativas.

ALTERNATIVA No. DOS

Sección tipo de pavimento que se propone para el tramo
CD.VALLES - EBANÓ de la carretera CD.VALLES - TAMPICO.



Acotaciones en cm.

NOTA:--La capa subrasante en la zona de ampliación se --
construirá con espesor de 30 cm. en tanto que en
el área correspondiente al pavimento actual, la
base hidráulica existente funcionará como mejora-
miento de terracerias y se tratará en un espesor
de 20 cm., compactando en ambos casos al 95% del
P.V.S.M.

Figura No. 4.

V.3.1.- PRIMERA ALTERNATIVA.

- Disgregado de la carpeta

Espesor de 18 cm., ancho de 7.00 m.

Material de clasificación "C"

a) Disgregado

Precio unitario = \$1,030.00

b) Extracción

Precio unitario = \$1,610.00

Costo:

Disgregado = \$1,030 x 0.18 x 7.00 x 1.25 = \$ 1,622.25

Extracción = \$1,610 x 0.18 x 7.00 x 1.25 = \$ 2,535.75

Costo por metro lineal: \$ 4,158.00

- Subbase hidráulica de 23 cm.

Material recuperado = 10 cm.

Material de banco = 13 cm.

a) Volumen por ml. = $0.23 \frac{11.23 + 10.60}{2} = 2.51 \text{ m}^3 \text{ (Comp.)}$

Material de banco = $\frac{2.51 \times 0.13}{0.23} = 1.42 \text{ m}^3 \text{ (Comp.)}$

Material de carpeta = $\frac{2.51 \times 0.10}{0.23} = 1.09 \text{ m}^3 \text{ (Comp.)}$

b) Costo del material de Banco.

Material cribado con 35% de desperdicio.

Precio de Banco = \$280.00/m³ (suelto)

Peso volumétrico = 1450 kg/m³

a) Acarreo a una distancia de 22 km.

Precio unitario = \$53.00/m³ - km

d) Mezclado, tendido y compactación al 95% de dos materiales.

Precio unitario = \$210.00/m³ (compacto)

e) Agua para compactación.

Precio unitario = \$190.00/m³

f) Acarreo de agua a una distancia de 10 km.

Precio unitario = \$53.00/m³ - km.

g) Cantidad de agua necesaria = 120 lts/m³

h) Coeficiente de abundamiento.

Peso volumétrico compacto al 95% = 2050 kg/m³

Peso volumétrico seco suelto = 1450 kg/m³

Coeficiente de abundamiento = $\frac{2050}{1450} = 1.41$

Costo:

Material de banco = \$280.00 x 1.35 x 1.42 x

1.41 x 1.25 = \$ 946.04

Acarreo de material = \$53.00 x 22.0 x 1.42 x

1.41 x 1.25 = \$ 2,918.20

Mezclado, tendido y compactación = \$210.00 x
2.51 x 1.25 = \$ 658.87

Agua para mezcla = \$190.00 x 2.51 x 0.12 x
2.05 x 1.25 = \$ 146.65

Acarreo de agua = \$53.00 x 10.0 x 2.51 x
0.12 x 2.05 x 1.25 = \$ 409.07

Costo por metro lineal: \$ 5,078.83

- Base hidráulica.

a) Volumen por metro lineal extraído el 100% de material de Banco = $0.20 \frac{10.00}{2} \frac{10.60}{2} = 2.06 \text{ m}^3 (\text{Comp.})$

b) Material de Banco.

Precio unitario = \$600.00/m³ (suelto)

c) Acarreo a una distancia de 22 km.

Precio unitario = \$53.00/m³ - km

d) Mezclado, tendido y compactación al 100% de dos materiales.

Precio unitario = \$260.00/m³ (compacto)

e) Agua para compactación.

Precio unitario = \$190.00/m³

f) Acarreo de agua a una distancia de 10 km.

Precio unitario = \$53.00/m³ - km

g) Coeficiente de abundamiento.

Peso volumétrico compactado al 100% = 2150 kg/m³

Peso volumétrico seco suelto = 1450 kg/m³

Coeficiente de abundamiento = $\frac{2150}{1450} = 1.48$

Costo:

Material de banco = \$600.00 x 1.35 x 2.06 x

1.48 x 1.25 = \$ 3,086.91

Acarreo de material = 353.00 x 22.0 x 2.06 x

1.48 x 1.25 = \$ 4,443.63

Mezclado, tendido y compactación = \$260.00 x

2.06 x 1.25 = \$ 669.50

Agua para mezcla = \$190.00 x 0.12 x 2.15 x

2.06 x 1.25 = \$ 126.23

Acarreo de agua = \$53.00 x 10.0 x 0.12 x

2.15 x 2.06 x 1.25 = \$ 352.10

Costo por metro lineal: \$ 8,678.37

- Riego de impregnación con FM-0

a) Cantidad de asfalto = 1.5 lts/m²

Asfalto por metro lineal = 1.5 x 10 = 15 lts/ml

b) Costo del asfalto.

Precio unitario = \$40.60/lt.

c) Acarreo del asfalto a una distancia de 110 km.

Precio unitario = \$49.00/m³ - km

d) Riego de asfalto

Precio unitario = \$91.00/lt.

e) Barrido de la base

Precio unitario = \$16,500.00/km

Costo:

Barrido de la base = \$16,500.00 x 0.001 x

1.25 = \$ 20.63

Asfalto rebajado EM-0 = \$40.60 x 1.35 x 15.0 x

1.25 = \$ 1,027.68

Acarreo de asfalto = \$49.00 x 0.015 x 110.0 x

1.25 = \$ 101.06

Riego de asfalto = \$91.00 x 15.0 x 1.25 = \$ 1,706.25

Costo por metro lineal: \$ 2,855.62

- Riego de liga con ER-3

a) Cantidad de asfalto = 0.5 lts/m²

Asfalto por metro lineal = 7.00 x 0.5 = 3.5 lts/ml.

b) Costo del asfalto

Precio unitario = \$40.60/lt.

c) Acarreo del asfalto a una distancia de 110 km.

Precio unitario = \$49.00/m³ - km

d) Riego de asfalto

Precio unitario = \$91.00/lt

Cósto:

Asfalto FR-3 = \$40.60 x 1.35 x 3.5 x 1.25 = \$ 239.79

Acarreo de asfalto = \$49.00 x 0.0035 x 110.0 x
1.25 = \$ 23.58

Riego de asfalto = \$91.00 x 3.5 x 1.25 = \$ 398.13

Cósto por metro lineal: \$ 661.50

- Carpeta asfáltica de mezcla en planta.

Espesor de la carpeta = 0.08 m. ancho = 7.00 m.

a) Volumen por metro lineal.

0.08 x 7.00 = 0.56 m³ (compacto)

b) Material de mezcla asfáltica, trituración total.

Precio unitario = \$690.00/m³

c) Acarreo a una distancia de 32 km.

Precio unitario = \$53.00/m³

d) Elaboración de mezcla asfáltica, tendido y compactación al 95% del P.V.N.

Precio unitario = \$6,800.00/m³ (compacto)

e) Cemento asfáltico No. 6

Precio unitario = \$40.60/lt

f) Cantidad de asfalto = 130 lts/m³

g) Acarreo a una distancia de 140 km.

Precio unitario = \$49.00/m³ - km

h) Carga del material en el almacén.

Precio unitario = \$260.00/m³ (seco suelto)

i) Acarreo local.

Precio unitario = \$53.00/m³ (seco suelto)

j) Coeficiente de abundamiento = 1.48

Costo:

Material = \$690.00 x 1.48 x 0.94 x 1.35 x
0.56 x 1.25 = \$ 907.13

Acarreo local = \$53.00 x 2 x 1.48 x 0.94 x
0.56 x 1.25 = \$ 103.22

Carga = \$260.00 x 1.48 x 0.94 x 0.56 x 1.25 =
\$ 253.20

Mezclado, tendido y compactación = \$6,800.00 x
0.56 x 1.25 = \$ 4,760.00

Asfalto para mezcla = \$40.60 x 130.0 x 1.35 x
0.56 x 1.25 = \$ 4,987.71

Acarreo de asfalto = \$49.00 x 0.13 x 140.0 x
0.56 x 1.25 = \$ 624.26

Acarreo de la mezcla = $53.00 \times 32.0 \times 1.48 \times$

$0.56 \times 1.25 =$ \$ 1,757.06

Costo por metro lineal: \$13,392.58

- Riego de sello con FR-3 y material 3-A

a) Ancho = 10.0 m., incluyendo acotamientos.

b) Asfalto FR-3 = 1.5 lts/m²

Precio unitario = \$40.60/lt.

c) Acarreo del asfalto a una distancia de 110 km.

Precio unitario = \$49.00/m³ - km

d) Material pétreo 3-A

Precio unitario = \$1,060/m³ (suelto)

Cantidad por m² = 12 litros.

e) Acarreo de sello a una distancia de 32 km.

Precio unitario = \$53.00/m³ - km

f) Tendido, planchado y retiro del material excedente.

Precio unitario = \$230.00/m³

g) Riego de asfalto.

Precio unitario = \$91.00/lt.

Costo:

Material pétreo =	$\$1,060.00 \times 0.12 \times 1.35 \times$	
	1.25 =	\$ 214.65
Acarreo del pétreo =	$\$53.00 \times 0.12 \times 32.0 \times$	
	1.25 =	\$ 254.40
Asfalto EM-3 =	$\$40.60 \times 1.35 \times 15.0 \times 1.25 =$	
		\$ 1,027.68
Acarreo del asfalto =	$\$49.00 \times 0.015 \times 110.0 \times$	
	1.35 x 1.25 =	\$ 136.44
Riego de asfalto =	$\$91.00 \times 15.0 \times 1.25 =$	\$ 1,706.25
Tendido, planchado y retiro del material excedente =	$\$230.00 \times 0.12 \times 1.25 =$	\$ 34.50

Costo por metro lineal: \$ 3,373.92

Costo total por metro lineal: \$38,198.82

Costo total por kilometro: \$ 38,198,820.00

W.3.2.- SEGUNDA ALTERNATIVA.

- Corte de material de carpeta con cortadora en frío de tambor con dientes de tungsteno, tipo Roto Mill (CMI - Barber Greene).

Area de corte = 7.00 m. espesor = 0.20 m.

a) Volumen de corte.

$$7.00 \times 0.20 = 1.40 \text{ m}^3$$

Precio unitario = \$1,350.00/m³

b) Acarreo a una distancia de 2 km al almacén.

Precio unitario = \$53.00/m³ - km

c) Abundamiento = 1.48

Costo:

Corte = \$1,350.00 x 1.40 = \$ 1,890.00

Acarreo al almacén = \$53.00 x 2 x 1.48 x 1.40 x
1.25 = \$ 274.54

Costo por metro lineal: \$ 2,164.54

- Subbase hidráulica de 20 cm. compactos.

a) Se utilizará 100% de material de banco.

b) Volumen por ml. = $0.20 \frac{10.15 + 10.75}{2} = 2.09 \text{ m}^3$

c) Costo del material de banco.

Precio unitario = \$280.00/m³ (suelto)

d) Acarreo a una distancia de 22 km.

Precio unitario = \$53.00/m³ - km.

e) Mezclado, tendido y compactación al 95% de dos materiales.

Precio unitario = \$210.00/m³ (compacto)

f) Agua para compactación.

$$\text{Precio unitario} = \$190.00/\text{m}^3$$

g) Cantidad de agua necesaria = 120 lts/m³

h) Peso volumétrico compacto al 95% = 2,050 kg/m³

i) Acarreo de agua a una distancia de 10 km.

$$\text{Precio unitario} = \$53.00/\text{m}^3 - \text{km}$$

Costo:

$$\text{Material de banco} = \$280.00 \times 1.35 \times 2.09 \times$$

$$1.25 = \quad \quad \quad \$ \quad 987.53$$

$$\text{Acarreo del material} = \$53.00 \times 22.0 \times 2.09 \times$$

$$1.25 = \quad \quad \quad \$ \quad 3,046.17$$

$$\text{Mezclado, tendido y compactación} = \$210.00 \times$$

$$2.09 \times 1.25 = \quad \quad \quad \$ \quad 548.63$$

$$\text{Agua para mezcla} = \$190.00 \times 0.12 \times 2.05 \times$$

$$2.09 \times 1.25 = \quad \quad \quad \$ \quad 122.11$$

$$\text{Acarreo de agua} = \$53.00 \times 10.0 \times 0.12 \times$$

$$2.05 \times 2.09 \times 1.25 = \quad \quad \quad \$ \quad 340.61$$

$$\text{Costo por metro lineal:} \quad \quad \quad \$ \quad 5,045.05$$

- Base asfáltica de 15 cm. compactados al 95%.

$$\text{a) Volumen} = 0.15 \frac{10.00 + 10.15}{2} = 1.50 \text{ m}^3 \text{ (compacto)}$$

b) Carga del material en el almagón.

Precio unitario = \$260.00/m³ (seco suelto)

c) Abundamiento = 1.40

d) Material de banco = 1.42 m³ (compacto)

e) Acarreo del material.

Precio unitario = \$53.00/m³ - km

f) Mezclado, tendido y compactación al 95%.

Precio unitario = \$880.00/m³ (compacto)

g) Costo del asfalto.

Precio unitario = \$40.60/lt.

h) Asfalto necesario = 56 lts/m³

i) Acarreo del asfalto a una distancia de 110 km.

Precio unitario = \$49.00/m³ - km

Costo:

Carga del material recuperado = \$260.00 x 1.40 x

1.42 x 1.25 = \$ 646.10

Acarreo del material recuperado = \$ 53.00 x 2.0 x

1.40 x 1.42 x 1.25 = \$ 263.41

Mezclado, tendido y compactación = \$880.00 x

1.50 x 1.25 = \$ 1,650.00

Asfalto MR-3 = \$40.60 x 56.0 x 1.50 x 1.25 =

\$ 4,263.00

Acarreo del asfalto = 449.00 x 0.056 x 1.50 x

110.0 x 1.25 = \$ 565.95

Costo por metro lineal: \$ 7,368.46

- Riego de impregnación.

Igual a la primera alternativa.

Costo por metro lineal: \$ 2,855.62

- Riego de liga.

Igual a la primera alternativa con un ancho de 10m.

\$661.50 x 10.0 =

Costo por metro lineal: \$ 945.00

- Carpeta asfáltica.

Igual a la primera alternativa.

Costo por metro lineal: \$13,392.58

- Riego de sello.

Igual a la primera alternativa con un ancho de 7.00m.

$$\frac{\$3,373.92 \times 7-2}{10}$$

Costo por metro lineal: \$ 2,361.74

Costo total por metro lineal: \$34,152.99

Costo total por kilometro: \$ 34,152,990.00

4.- RESUMEN DEL ANALISIS DE GASTOS.

Longitud del tramo OD.VAILLES - EBANO = 79 km.

Costo total de la primera alternativa:

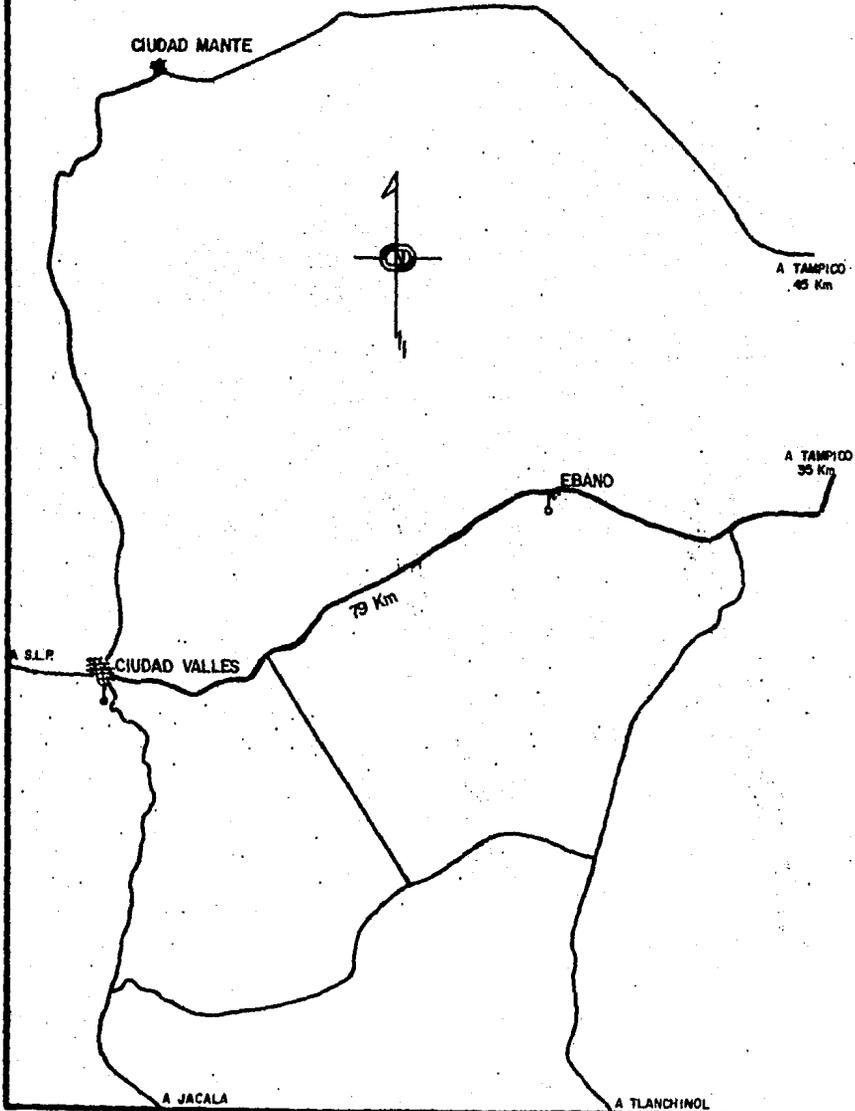
$$\$38,138,820.00 \times 79 = \$ 3,017,700,000.00 \quad (100\%)$$

Costo total de la segunda alternativa:

$$\$34,152,990.00 \times 79 = \$ 2,698,080,000.00 \quad (89.41\%)$$

$$\text{Diferencia:} \quad 319,620,000.00 \quad (10.59\%)$$

CROQUIS DE LOCALIZACION DEL TRAMO CD. VALLES-EBANO DE LA
CARRETERA CD. VALLES-TAMPICO.



CONCLUSIONES.

El reciclado de un concreto asfáltico, consiste en incrementar la utilidad de un pavimento que se encuentra en mal estado, salvando la materia prima (agregado pétreo y asfalto) contenida en el material descartado, haciéndole que la superficie de rodamiento sea nuevamente transitable, con lo cual se resuelve el problema de reposición.

Con el fin de determinar si el proceso de reciclado resulta adecuado para la rehabilitación de pavimentos asfálticos, es necesario analizar las fallas que presenta la superficie de la carpeta y efectuar en caso necesario, sondeos para obtener el espesor y la calidad del material que componen las capas de la estructura, con lo que se determina si las fallas que se observan se deben a una insuficiencia estructural, a defectos constructivos o a fallas por fatiga.

Cuando se tienen fallas por insuficiencia estructural es conveniente efectuar un esparificado, que consiste en la recuperación de material de la carpeta actual sin pulverizar o quebrar los agregados, este sistema elimina la laminación que se genera entre la carpeta y la colocación de una sobrecarpeta.

Cuando la falla sea por defectos constructivos en alguna de las capas del pavimento, es necesario levantar el mate

rial de la estructura hasta llegar a la capa que se encuentra en mal estado y reconstruir el pavimento nuevamente; -- por lo que el reciclado tiene su importancia al volver a utilizar el concreto asfáltico removido de la carpeta.

Si la falla se debe al agrietamiento de la superficie de rodamiento por la pérdida de los solventes del asfalto debido a los agentes del intemperismo (oxidación del asfalto), un reciclado con la adición de un aditivo le devuelve a la carpeta la plasticidad perdida.

Las fallas por defectos en la construcción de la carpeta asfáltica como son agrietamientos, disgregación, corrugaciones y sangrado o llorado del asfalto, pueden ser eliminadas con un adecuado proceso de reciclado, ya que se toma en cuenta que el material que se escarifica se procesa nuevamente, por lo que adquiere la granulometría y asfalto necesario para tener un concreto asfáltico en buenas condiciones.

El procedimiento que se sigue para efectuar un reciclado, consiste en desbastar el pavimento viejo, analizar su composición granulométrica, determinar la cantidad requerida de agente rejuvenecedor o aditivo, mezclar los ingredientes, lo cual en algunos casos puede incluir pequeñas cantidades de agregado pétreo y asfalto nuevo, tender el pavimento reciclado y compactar la nueva carpeta asfáltica.

En el proceso de reciclado se usan varios métodos; el superficial, que se refiere al reciclamiento de 5 cm. de carpeta asfáltica regularmente, y que solo es apropiado si la base y sus condiciones estructurales son adecuadas, por lo general se emplea en calles y caminos secundarios, este sistema da nueva vida a los pavimentos asfálticos envejecidos, transforma las superficies viejas dañadas y quebradizas en carpetas estables y flexibles, reduce las grietas normales por reflexión y disminuye los requerimientos de mantenimiento al mínimo.

El reciclado en el lugar mejora significativamente la capacidad de carga del pavimento, elimina los agrietamientos por reflexión, mejora la resistencia al patinaje y reduce la susceptibilidad de laminación que se genera entre la carpeta y el nuevo refuerzo asfáltico.

El reciclado en planta central, consiste en mezclar en una planta el material recuperado, un agente reciclante y -- agregado pétreo nuevo y/o asfalto, según se requiera, para formar un concreto asfáltico de óptimas características, --- este proceso permite una mejoría estructural excelente por el buen control que se puede llevar en la planta.

Los diferentes sistemas de reciclado pueden efectuarse en frío o en caliente, cuidando del cumplimiento de las etapas que intervienen en este proceso en cadena como son: El -

calentamiento, que ayuda grandemente desde el desbastado del pavimento hasta la etapa final del tendido de la nueva carpeta asfáltica; la cantidad de aditivo que se debe adicionar -- de acuerdo al grado de deterioro del pavimento y el proceso de reciclamiento que va a ser empleado, a fin de que se logre un alto grado de resistencia.

El reciclamiento que se lleva a cabo en la rehabilitación de las carreteras es muy importante, ya que permite mantener los niveles de algunas obras complementarias de drenaje (cunetas, bordillos, lavaderos) y los acotamientos de concreto asfáltico; dentro de las ciudades su uso es indispensable para conservar los niveles de banquetas y coladeras, -- además de que no incrementa el peso muerto de los puentes y mantiene la altura apropiada en túneles y pasos a desnivel.

Para el reciclado del concreto asfáltico, en la actualidad se dispone de una cantidad ilimitada de maquinaria con la cual puede efectuarse el trabajo requerido, el uso de determinadas unidades depende de la importancia del camino, de los recursos disponibles y de las condiciones climatológicas prevalentes.

Los diferentes procesos de reciclado pueden tener gran desarrollo en el futuro dentro del sistema carretero mexicano a medida que los productos asfálticos (que en la actualidad son muy baratos por estar subsidiados) incrementen sus --

precios.

Es importante el aditivo en cada sistema de reciclado, ya que éste, proporciona los ingredientes químicos necesarios para reconstituir el asfalto envejecido y restaurar la flexibilidad de la carpeta.

Para determinar en el campo la velocidad de aplicación del agente rejuvenecedor, se extraen corazones del material de carpeta, que posteriormente en el laboratorio se prueban para diferentes cantidades de aditivo, además deberán considerarse parámetros como granulometría aparente y la relación de vacíos de las muestras inalteradas, con el fin de determinar el espacio disponible para el agente reciclante.

El aditivo no debe emplearse cuando se tengan evidencias de exceso de asfalto en la superficie de rodamiento, en carpetas asfálticas que contengan menos del 5% de vacíos, -- exista un sellado fino, la zona este brillante o vidriada por el tránsito o en un pavimento donde existan o vayan a existir derrames de combustible, aceite, grasas o asfalto.

Si después del tratamiento del agente rejuvenecedor permanece alguna cantidad de aditivo en la superficie de rodamiento, la aplicación (antes de abrir al tránsito) de arena seca o polvo de roca proporciona la tracción necesaria para reducir al mínimo el derrapamiento.

El uso de un agente reciclante mejora la flexibilidad y ductilidad de los pavimentos asfálticos viejos que han sido atacados por el intemperismo; en los pavimentos nuevos restaura las cualidades originales del asfalto que se perdieron por el envejecimiento prematuro por una mala operación de calentamiento en planta; proporciona un sello profundo y duradero evitando la filtración de aire y agua a la carpeta asfáltica.

Los agentes rejuvenecedores es conveniente emplearlos en las operaciones de escarificación en caliente, sellado de carpetas (viejas o nuevas) y en el calafateo de grietas.

Para obtener un costo comparativo entre un reciclado y el sistema tradicional de sobrecarpetas, deberán tenerse presentes los volúmenes y manejo de los materiales, los costos que ocasiona el traslado y operación del equipo, el acarreo y almacenaje del producto asfáltico y los desvíos necesarios si uno u otro método imposibilita el manejo del tránsito sobre el camino.

El análisis efectuado para la comparación de costos en este trabajo, toma en cuenta dos alternativas, una usando el material de carpeta como una capa normal, y la otra procesándolo para que funcione como una base asfáltica, lo cual reduce los espesores de la estructura, produciéndose un ahorro del 10.59%.

Para que se alargue la vida útil del pavimento es necesario que la estructura funcione adecuadamente, por lo que deben programarse los trabajos normales de conservación del camino, esto hace que la vía terrestre sea mas cómoda y segura.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- WHITE, C.L.
UN SELLADO QUE RESTAURA LA DUCTILIDAD DEL PAVIMENTO.
Reimpreso de "Municipal south", junio de 1973.

- 2.- WHITE, C.L. y BAXENDALE, J.E.
MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS EN ABILENE.
Reimpreso de "Municipal south", junio de 1973.

- 3.- VAN, D.H.
TRES MANERAS DE HACER RENDIR EL DINERO DESTINADO AL MANTENIMIENTO DE LAS CALLES.
Reimpreso de "The american city", febrero de 1975.

- 4.- EARL, M.E. y LAMPP, E.R.
COMO EVITAR EL MANTENIMIENTO COSTOSO DE LAS CALLES.
Reimpreso de "The american city", mayo de 1975.

- 5.- STILLWELL, J.
LA CIUDAD DE WESTMINSTER EVALUA SU PLAN DE MANTENIMIENTO DE 8 AÑOS.
Reimpreso de "Better roads", diciembre de 1975.

- 6.- STILLWELL, J.
REHABILITACION.
Reimpreso de "Better roads", octubre de 1976.

7.- RONSKO, J. y BALTZER, G.

REJUVENECER LOS PAVIMENTOS ECONOMIZA EL DINERO DE LOS
IMPUESTOS.

Reimpreso de "Public works", julio de 1976.

8.- CANESSA, W.

RECLAMITE.

Trabajo presentado en la onceava conferencia de manteni-
miento de pavimentos en el Departamento de Carreteras -
de Phoenix, Arizona, abril de 1969.

9.- CANESSA, W.

EMPLEO DEL RECLAMITE.

Artículo presentado en la Sesión Especial del Comité --
del Consejo de Investigación de Carreteras en Washing--
ton, D.C., enero de 1973.

10.- CANESSA, W.

REJUVENECIMIENTO Y RECICLAMIENTO DEL ASFALTO.

Artículo presentado en el Instituto Técnico de Recicla-
miento de Pavimentos en Nueva York, N.Y., octubre de --
1978.

11.- CANESSA, W.

INFLUENCIA DEL AGENTE REJUVENECEDOR DEL ASFALTO COMO --
CONSTRUCCION DE SELLO EN LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS.

Trabajo presentado a la "Asociación Americana" de obras

públicas en la Conferencia Regional del Oeste en las --
Vegas, Nevada, mayo de 1978.

12.- CANESSA, W.

PROLONGACION DE LA VIDA UTIL DE LOS PAVIMENTOS DE CON--
CRETO ASFALTICO.

Reimpreso de "Public works", noviembre de 1968.

13.- CANESSA, W.

LOS ASPECTOS QUIMICOS DEL RECICLAMIENTO DE LOS PAVIMEN--
TOS ASFALTICOS QUE DEBE CONOCER EL INGENIERO.

Artículo presentado en la Junta Anual de la Asociación
de Tecnólogos en Pavimentación Asfáltica en Denver, Co-
lorado, febrero de 1979.

14.- CANESSA, W.

FUNCION DE RECLANITE Y DE LA ESCARIFICACION EN CALIEN---
TE.

Artículo presentado en el Quinto Curso Anual de Obras -
Públicas en Texas, febrero de 1976.

15.- CANESSA, W.

PONIENDO NUEVA VIDA A LOS PAVIMENTOS VIEJOS.

Reimpreso de "Public works", febrero de 1973.

16.- EPFS, J.A.

LINIAMIENTOS PARA EL RECICLAMIENTO DE LOS MATERIALES DE

PAVIMENTACION (RECUPERACION DE LOS MATERIALES).

Artículo presentado en la Reunión Anual de Reciclado de Pavimentos en Nueva York, octubre de 1978.

17.- KENNEDY, T.W.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MATERIALES ASFALTICOS RECICLADOS.

Artículo presentado en el Quinto Ciclo de Conferencias sobre Ingeniería del Transporte en Austin, Texas, septiembre de 1978.

18.- BENEDICT, R.C.

CRITERIO DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES PARA EL SELLADO CON "SLURRY SEAL" DE LAS CARPETAS RECICLADAS.

Artículo presentado en el Instituto Técnico y en el Seminario sobre Reciclamiento de Pavimentos en Wisconsin, N.Y., octubre de 1976.

19.- ESCOBAR, S.J. y DAVIDSON, D.D.

LA FUNCION DE LOS AGENTES REJUVENECEDORES EN LA RESTAURACION DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS ENVEJECIDOS.

Artículo presentado en la Junta Anual de la Asociación de Tecnólogos en Pavimentación Asfáltica en Denver, Colorado, febrero de 1979.

20.- JONES, G.M.

RECICLAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS SOBRE EL CA-

MINO (EN EL LUGAR)

Artículo presentado en la Junta Anual de la Asociación de Tecnólogos en Pavimentación Asfáltica en Denver, Colorado, febrero de 1979.

21.- DAVIDSON, D.D., CANESSA, W. y ESCOBAR, S.J.

RECICLAMIENTO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS DETERIORADOS O ENVEJECIDOS.

Artículo presentado en la Junta Anual de la Asociación de Tecnólogos en Pavimentación Asfáltica en San Antonio, Texas, febrero de 1977.

22.- RYAN, A.E.

EXPERIENCIA DE CAMPO-PRODUCTOS DISEÑADOS PARA PROLONGAR LA VIDA UTIL DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS.

Boletín de la Universidad del Pacífico, volumen 54, número 11, septiembre de 1966.

23.- HVEEM, N.F.

TIPOS Y CAUSAS DE FALLA EN LAS PAVIMENTACIONES DE CAMINOS.

Trabajo presentado en el treinta y sieteavo Congreso Anual de la Dirección de Investigación de Carreteras en Washington, D.C., enero de 1958.

24.- RICO, R.A. y DEL CASTILLO, M.H.

LA INGENIERIA DE SUELOS.

Volumen II

Editorial Limusa

Primera edición en 1977.

25.- BERNAL, M.J.A. y MEZA, H.J.

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION EN PAVIMENTOS.

Tesis No. 2467 de la U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.

en 1983.

I N D I C E

INTRODUCCION.....	01
CAPITULO PRIMERO	
GENERALIDADES	
I.- TIPOS DE FALLA DE UN PAVIMENTO.....	09
I.1.- FALLAS DE CARPETA.....	12
I.2.- FALLAS POR ESTRUCTURA.....	14
CAPITULO SEGUNDO	
SISTEMAS DE RECICLADO	
II.- OBJETIVO DEL RECICLADO.....	19
II.1.- RECICLADO SUPERFICIAL.....	30
II.2.- RECICLADO EN EL LUGAR.....	38
II.3.- RECICLADO EN PLANTA CENTRAL.....	40
CAPITULO TERCERO	
MAQUINARIA USADA EN EL RECICLADO	
III.- TIPOS DE MAQUINARIA.....	45
III.1.- FRESADORAS.....	45
III.2.- UNIDAD CALENTADORA-ESCARIFICADORA.....	47
III.3.- UNIDAD REMIXER.....	47
III.4.- PLANTAS DE MEZCLA ASFALTICA.....	51
III.4.1.- PLANTA BARBER GREENE.....	55
III.4.2.- PLANTA CEDARAPIDS.....	55
III.4.3.- PLANTA PYROCONE.....	57
III.4.4.- PLANTA ROTOCYCLE.....	57
III.5.- CAMIONES DISTRIBUIDORES DEL ADITIVO....	59
III.6.- CAMIONES DISTRIBUIDORES DE MEZCLA ASFAL TICA.....	59

CAPITULO CUARTO

MATERIALES USADOS EN EL RECICLADO

IV.-	ADITIVO RECLAMITE.....	61
IV.1.-	USO DEL ADITIVO EN LA ESCARIFICACION EN CALIENTE.....	72
IV.2.-	EL RECLAMITE EMPLEADO EN EL SELLADO DE- LOS PAVIMENTOS VIEJOS.....	78
IV.3.-	EL RECLAMITE EMPLEADO EN EL SELLADO DE- LOS PAVIMENTOS NUEVOS.....	82
IV.4.-	LLENADO DE GRIETAS.....	85

CAPITULO QUINTO

COSTO DE UN RECICLADO COMPARANDOLO CON- LA COLOCACION DE UNA NUEVA CARPETA

V.-	ESTUDIO EFECTUADO EN EL TRAMO CD.VALLER EBANO, S.L.P.....	89
V.1.-	PRIMERA ALTERNATIVA.....	92
V.2.-	SEGUNDA ALTERNATIVA.....	95
V.3.-	ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE LA PRIMERA Y SEGUNDA ALTERNATIVA.....	99
V.3.1.-	PRIMERA ALTERNATIVA.....	101
V.3.2.-	SEGUNDA ALTERNATIVA.....	109
V.4.-	RESUMEN DEL ANALISIS DE COSTOS.....	114

	CONCLUSIONES.....	116
--	-------------------	-----

	BIBLIOGRAFIA.....	123
--	-------------------	-----