



300615
UNIVERSIDAD LA SALLE 3

ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U. N. A. M. 2ej

"REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N :

DIAZ MENA JOSE CESAR

SANCHEZ BRETON JESUS FRANCISCO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México, D.F.

1991

UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

INTRODUCCION. PRIMERA PARTE

CAPITULO I.- GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

- 1.- DEFINICION.
- 2.- FUNCION Y CARACTERISTICAS DE LAS DIFERENTES CAPAS DE UN PAVIMENTO.
- 3.- VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS.
- 4.- FALLAS QUE SE PRESENTAN EN LOS PAVIMENTOS Y CAUSAS QUE LOS ORIGINAN.
- 5.- CLASIFICACION DE FALLAS.

CAPITULO II.- REHABILITACION DE PAVIMENTOS.

- 1.- PROCEDIMIENTOS NO DESTRUCTIVOS.
 - A.- EQUIPO.
 - B.- PROCEDIMIENTO PRELIMINAR.
 - C.- CUATRO METODOS DE RECOPIACION DE DATOS.
 - D.- ANALISIS DE LOS DATOS Y SELECCION DE LA SOBRECARPETA.
 - E.- DETERMINACION DEL INDICE DE TRANSITO.
- 2.- PROCEDIMIENTOS DESTRUCTIVOS.
 - A.- METODO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DESARROLLADO POR EL INSTITUTO DEL ASFALTO.
 - B.- METODO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DESARROLLADO POR EL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M.

SEGUNDA PARTE

CAPITULO I.- GENERALIDADES

CAPITULO II.- NECESIDAD DE REJUVENECER EL ASFALTO.

- 1.- NATURALEZA DEL ENVEJECIMIENTO.
- 2.- TIPOS DE FALLAS MAS COMUNES Y SU REPARACION.
- 3.- COMPOSICION DEL ASFALTO Y CAUSA DE SU ENVEJECIMIENTO.

CAPITULO III.- REVITALIZACION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS.

- 1.- FUNCIONES Y PROPIEDADES DEL AGENTE REJUVENECEDOR.
- 2.- PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION (APLICACION DE RECLAMITE).
- 3.- PREPARACION Y ESPECIFICACIONES DEL PAVIMENTO.
- 4.- APLICACIONES Y USOS DEL SISTEMA.
- 5.- USOS DEL RECLAMITE.
 - a.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO.
 - b.- CONSTRUCCIONES NUEVAS.
 - c.- MANTENIMIENTO CORRECTIVO.
 - d.- RECONSTRUCCION.
- 6.- REACONDICIONAMIENTO DE MEZCLAS EN CAMINOS VIEJOS.
 - A.- PRUEBAS DE LABORATORIO.
 - B.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS.
 - C.- METODO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE RECLAMITE POR EMPLEAR.
 - D.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CAPITULO IV.- SISTEMA DE CORTE DE PAVIMENTOS.

- 1.- INTRODUCCION AL SISTEMA.
- 2.- METODO DE CONSTRUCCION.
- 3.- APLICACIONES.
- 4.- RECICLADO EN PLANTA DE MEZCLAS ASFALTICAS

CAPITULO V.- COSTOS DE LAS OPERACIONES.

- 1.- COSTOS HORARIOS DEL EQUIPO.
- 2.- ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS.
- 3.- ANALISIS DE FACTOR SALARIO REAL.
- 4.- ANALISIS DEL COSTO INDIRECTO.

BIBLIOGRAFIA.-

INTRODUCCION .-

El comportamiento de un pavimento durante su vida útil, sometido a la acción del tránsito y a los agentes climáticos, dependerán de gran parte de la conservación que se le dé, es decir, una conservación oportuna y correcta aumentará la vida del pavimento, manteniéndolo por encima del nivel de rechazo prefijado.

Siendo la finalidad de un pavimento dar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la acción climatológica y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

El problema básico que se presenta en la elaboración de programas de reconstrucción de pavimentos, es la falta de un nivel de referencia uniforme, en cuanto a la calidad de la superficie de rodamiento requerida para permitir un tránsito adecuado, ya que las variables de construcción se basan en diferentes criterios. En México la rehabilitación de pavimentos se hace sin un programa establecido, ya que se realiza cuando la superficie de rodamiento presenta graves fallas estructurales, por lo cual, se ha requerido de nuevas técnicas para su conservación como son las mencionadas en la presente tesis, las cuales representan un ahorro en los costos de conservación y operación, ya que permiten una mayor rapidez en la ejecución de la obra y suprimen las molestias de las desviaciones totales de tránsito por espacios prolongados de tiempo, puesto que es posible la circulación de vehículos una vez terminada la jornada de trabajo. Así mismo se logra evitar la pérdida de horas hombre, un gasto mayor en combustible y partes de los vehículos, así como la disminución de la contaminación ambiental al no obstaculizar la circulación de vialidades con gran afluencia.

El presente trabajo denominado "REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES", consta de dos parte; en la primera de ellas se exponen las generalidades del pavimento flexible y en la segunda parte se presentan las nuevas técnicas para la rehabilitación de pavimentos.

PRIMERA PARTE

CAPITULO I.- GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES;

I.1. DEFINICION; Pavimento es una estructura consistente en una o más capas de material tratado; mediante la cual deslizarse un tránsito de vehículos rá pido, seguro y cómodo; ofreciendo una superficie de rodamiento capaz de soportar la carga de los vehículos, de los agentes del intemperismo y - cualquier otro agente perjudicial; así como la fricción superficial suficiente para darle seguridad al deslizamiento de los vehículos.

También, pavimento es la capa o conjunto de capas comprendidas entre el terreno natural y la superficie de rodamiento, cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir a las capas inferiores los esfuerzos que producen, distribuyéndolos en tal forma que no se originen deformaciones permanentes y perjudiciales en ellas. Actualmente se le ha denominado sección estructural tanto al pavimento propiamente dicho, como a las terracerías y el terreno natural, ya que el diseño es rígido por to do el conjunto de capas.

I.2. FUNCION Y CARACTERISTICAS DE LAS DIFERENTES CAPAS DE UN PAVIMENTO;

A.- Debe tener una resistencia y un espesor total suficiente, tanto para soportar las cargas de los vehículos como para trasmismitir adecuadamente - los esfuerzos a las capas inferiores, de modo que estas no se deformen de manera perjudicial,

B.- Debe prevenir la penetración o la acumulación de agua en el interior

C.- Debe tener una capa superior que sea adecuada para el rodamiento y sea ra resistente tanto a las cargas de los vehículos, como a los agentes del in temperismo.

Como conclusión, el objetivo primario de la construcción de un pavimento - es, como se dijo anteriormente, proporcionar una superficie para permitir la operación de un tipo específico de vehículos, para lo cual pueden clasificarse en tres importantes requisitos funcionales:

A.- El vehículo debe operarse dentro de un rango de velocidad definido.

B.- La rugosidad de la superficie del pavimento no debe generar una vibración en el vehículo arriba de cierto nivel de tolerancia.

C.- Debe garantizar una operación segura de los vehículos.

Además de estos requisitos funcionales, el costo total y la vida de servicio son también factores gobernantes. Un diseño óptimo es el que balancea el costo total incluyendo la inversión de capital y la conservación, contra el comportamiento del pavimento dentro de su vida útil.

CARPETA.- Es la capa o conjunto de capas que se colocan sobre la base, constituidas por material pétreo y un producto asfáltico.

La carpeta debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada, con textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

Además debe ser una capa prácticamente impermeable, constituyendo una protección para la base, cuando está hecha de concreto asfáltico, colabora a la resistencia estructural del pavimento. Desde el punto de vista del objetivo funcional del pavimento, es el elemento más importante.

Las carpetas pueden ser de mezclas asfálticas (en el lugar o en planta) o de riegos (1, 2 o 3 riegos). Las carpetas de mezcla en planta en caliente, con cemento asfáltico, son las de más alta calidad y se emplean en carreteras con elevada intensidad de tránsito o con tránsito pesado y en pistas de Aeropuertos, para aeronaves de más de 20 toneladas de peso.

BASE HIDRAULICA.- Es la capa de materiales seleccionados que se construye sobre la sub-base y ocasionalmente sobre la sub-rasante, limitada, en su parte superior por la carpeta.

La base es un elemento fundamental desde el punto de vista estructural, su función consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a las capas inferiores, los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada. La base, en muchos casos, debe también drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los scotamientos del pavimento, así como impedir la ascensión capilar. Las bases pueden construirse de diferentes materiales, como:

- I.- Piedra triturada o grava arena de depósitos de aluvión (Base Hidráulica), o bien, este tipo de materiales con un tratamiento de trituración parcial.
- II.- Materiales estabilizados con cemento, asfalto o cal
- III.- Macadam
- IV.- Concreto Hidráulico

Desde el punto de vista económico, la base permite reducir el espesor de la carpeta, que es más costosa.

SUB-BASE.- Sub-base es la capa de materiales seleccionados comprendida entre la sub-rasante y la base.

Una de las funciones principales de la sub-base es de carácter económico, ya que se usa para disminuir el espesor de material de base (material más costoso). Su función desde el punto de vista estructural es similar a la base.

Otra función consiste en servir de transición entre el material de base, generalmente granular más o menos grueso y la propia sub-rasante, generalmente formada por materiales finos. La sub-base más fina que la base, actúa como filtro de ésta o impide su incrustación en la sub-rasante.

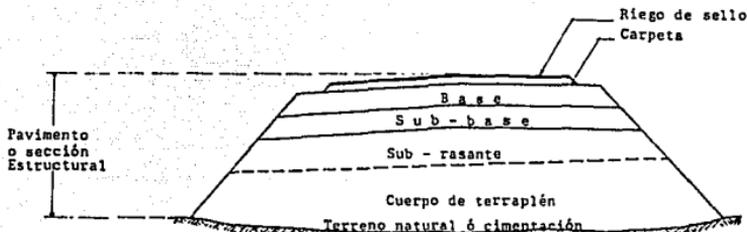
La sub-base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de las terracerías, por ejemplo: cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento.

Otra función de la sub-base es la de actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre al pavimento y, para impedir la ascensión capilar hacia la base de agua procedente de las terracerías.

RIEGO DE SELLO.- Es de importancia hacer notar que sobre la carpeta asfáltica se aplique un riego de sello, el cual tiene varias funciones importantes, entre las que son de destacarse las siguientes:

- a.- Impermeabilizar la carpeta
- b.- Protege la carpeta asfáltica contra los agentes del intemperismo, principalmente del sol y del agua, evitando su envejecimiento prematuro y la consecuente rigidez de la mezcla, la cual propicia su falla por fatiga.
- c.- Mejora la visibilidad del conductor durante las noches, por su color en general más claro que el de la carpeta.
- d.- Favorece la rugosidad de la superficie de rodamiento, haciéndola antiderrapante y evitando accidentes sobre todo en época de lluvias, etc.

Cuando se usan pavimentos flexibles en pistas de aeropuertos, es común protegerlos colocando sobre la carpeta un mortero asfáltico, que es una mezcla semifluida formada con una arena (pasando 100% la malla No.8), una emulsión asfáltica y agua adicional para darle la consistencia necesaria. Generalmente no se emplea el riego de sello en este caso, por lo problemas que se han presentado en los reactores de los aviones de turbinas, cuando éstas succionan hacia su interior, las partículas de material pétreo que se desprenden de dicho riego.



Sección típica de un camino con pavimento flexible en terraplén

I.3. VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS;

Refiriéndonos principalmente a carreteras y calles, las principales variables que influyen en el diseño de los espesores de pavimentos y en la estructuración de sus capas son:

- A.- El tránsito: que incluye su intensidad diaria (promedio anual), peso, distribución de los vehículos y tasa anual de crecimiento.
- B.- Período de diseño: que permite calcular el número de repeticiones de las cargas (transformadas a cargas equivalentes de 8.2 ton/eje sencillo), que soportará el pavimento durante su vida útil. Los pavimentos flexibles en muchos casos, es conveniente diseñarlos en una construcción por etapas, que puede ser de cinco años, de forma de irlos reforzando con sobrecarpetas, a medida que la intensidad del tránsito lo vaya requiriendo.
- C.- Resistencia de la capa Sub-rasante: es en la que se apoyará el pavimento. En el diseño de pavimentos flexibles, la resistencia de la capa sub-rasante puede determinarse, según el propio método de diseño, mediante pruebas de CBR, pruebas de estabilómetro de Hveem (valor de R) o pruebas de placa de doce pulgadas (valor soporte).
- D.- Del clima y condiciones regionales: las características geológicas de los materiales que constituyen la carretera dependen de la temperatura, régimen de precipitación media anual, nivel freático, geología y topografía de la región.
- E.- Número de carriles de la carretera o calles: el cual intervienen para fijar la cantidad de camiones o de cargas pesadas que transitarán por el carril exterior (de baja velocidad), que es el que se considera como carril de diseño; en una carretera de dos carriles este número de camiones lógicamente es de 50% del total de ellos que transitan...

en ambos sentidos. En una carretera de cuatro carriles se estima en 45% y, en una de seis o más carriles es 40% del total.

En el diseño de pavimentos flexibles para pista de aeropuerto, influyen también en forma importante, los factores señalados en los puntos C y D anteriores, pero, en vez de lo indicado en el punto A, interviene aquí el peso de las aeronaves, el arreglo de las ruedas y ejes de sus trenes de aterrizaje, así como la presión de inflado de las llantas, y en vez del punto B, se toma en cuenta el número de cubrimientos, entendiendo por cubrimiento el paso de las cargas de diseño por cada uno de los puntos de la pista. El punto E anterior, está representado en este caso por lo que se llama canalización del tránsito, o sea, como se mueven o estacionan las aeronaves en las áreas pavimentadas del aeropuerto.

I.4 FALLAS QUE SE PRESENTAN EN LOS PAVIMENTOS Y CAUSAS QUE LOS ORIGINAN.-

El diagnóstico de una falla en los pavimentos, constituye en lo general un problema en extremo difícil, que exige al ingeniero un cuidadoso examen de los diferentes factores y circunstancias que median en cada caso particular, para llegar a conclusiones realistas en su dictámen:

Por desgracia, no es posible establecer reglas o criterios simples que conduzcan a conclusiones definitivas. La inspección visual realizada en forma acuciosa y detallada, nos permite establecer ciertas hipótesis preliminares que deberán verificarse posteriormente con mediciones más precisas y constituye, desde luego, la primera etapa del estudio.

Mediante ella podemos acumular una valiosa información, tanto en el aspecto cualitativo que conduzca a una descripción general de los diversos tipos de fallas y deterioros que muestra el pavimento, como a proporcionar una idea cuantitativa de la extensión y proporción del área afectada por dichos defectos.

Es necesario aclarar que en la práctica, la causa o causas que motivaron la falla deben precisarse por medio de estudios de laboratorio, con objeto de estar en condiciones de fijar con base más técnica, la solución adecuada para su reparación tomando en cuenta las condiciones de tránsito, materiales y clima de la región, así como todos aquellos factores que influyen para llegar a la solución más aconsejable, económicamente; por lo común, ésta no es la que corresponde a la inversión inicial más baja.

Según en criterio de la AASHO (American Association of States Highways Officials), falla es la condición que se presenta en un pavimento cuando éste llega a perder las características de servicio para las que fue diseñado.

Entre las finalidades más importantes de la prueba ASSHO, realizadas en la ciudad de Ottawa, Illinois, E.U., puede citarse el tratar de definir en qué consiste la falla de un pavimento y de relacionar las variables de diseño (tránsito, clima, materiales, etc.), con el comportamiento del propio pavimento.

Se estableció el principio que la función básica del pavimento, la constituye el permitir un tránsito adecuado de vehículos sobre la carretera. Se adoptó el concepto de índice de servicio actual para representar la capacidad del pavimento para dar servicio al tránsito en un momento dado, de tal manera, que el comportamiento de un pavimento puede representarse por su historia de índice de servicio, contra aplicaciones de carga equivalentes o contra sus años de servicio.

El término falla se ha venido usando indistintamente para designar los daños que presenta un pavimento, aunque éstos hayan sido ocasionados tanto por defectos de construcción como por el tránsito y por las condiciones climatológicas a que ha estado sometida la superficie de rodamiento. Este término se conserva a lo largo de este tema por considerarse que corresponde a la idea existente de los deterioros que presenta un pavimento.

Al estudiar el comportamiento de un pavimento, es necesario hacer la distinción entre lo que es una falla funcional y una falla estructural.

A.- FALLA FUNCIONAL.-

Es la deficiencia superficial del pavimento, a la que se asocia precisamente el índice de servicio, no necesariamente implica una falla estructural inmediata, ya que la primera puede deberse a defectos de acabado al término de la construcción. En términos generales, puede decirse que es un defecto del pavimento, que se refleja en la superficie de rodamiento y que afecta, en mayor o en menor grado, la capacidad del camino para proporcionar al usuario un tránsito cómodo y expedito.

B.- FALLA ESTRUCTURAL.-

Implica la capacidad del pavimento para resistir los efectos de las cargas aplicadas, en tanto que, la falla funcional se traduce en una incomodidad para el usuario. También se dice que falla estructural es una deficiencia del pavimento que ocasiona, de inmediato o posteriormente una reducción en la capacidad de carga de éstas. En su etapa más avanzada, la falla estructural se manifiesta en la destrucción generalizada del pavimento, como consecuencia de su incapacidad para soportar las cargas de proyecto.

En su última etapa los dos tipos de fallas coinciden, lo cual no ocurre necesariamente en las etapas anteriores, es decir, que durante la evolución de la falla, ésta puede permanecer dentro del rango correspondiente a uno de los dos tipos definitivos. Es evidente, que las fallas de un pavimento disminuyen la capacidad del camino para proporcionar al usuario un tránsito expedito, y por ende su calificación actual.

La experiencia ha demostrado una calificación actual comprendida entre 1.5 y 2.5 de acuerdo a la importancia del camino, corresponde a las fallas de tipo funcional. Los dos tipos de fallas no están necesariamente relacionados, pero puede establecerse que, cuando se presenta una falla estructural también ocurrirá en un plazo más o menos corto, la falla funcional; en ocasiones una falla funcional que no es atendida en su debido tiempo puede también conducir a una falla estructural.

Las fallas funcionales o estructurales de un pavimento, se manifiestan de muy diversas maneras, pero se pueden clasificar en tres grandes grupos: distorsiones (cambios en la superficie o nivel original del pavimento), agrietamientos y desintegraciones. Las fallas en los pavimentos las originan desde luego las acciones, que ejercen directa o indirectamente sobre de ellos, los factores siguientes:

- A.- La repetición de las cargas
- B.- Los agentes del clima
- C.- El peso propio de las capas que constituyen la estructura de la obra.

Las fallas se producen o se inician en los puntos débiles o deficientes de alguna de las cuatro partes fundamentales de la estructura general de la carretera, calle o pista de aeropuerto, los cuales no pueden soportar eficientemente los efectos destructivos de alguno o varios de los factores señalados anteriormente, siendo a su vez éstas zonas potenciales de falla, la consecuencia de diseños inadecuados, mala calidad de los materiales utilizados, procedimientos de construcción defectuosos, falta de conservación eficaz y oportuna, etc. De tal manera que las fallas en los pavimentos pueden tener su origen en el terreno de cimentación, en las tarracofas, en las obras de drenaje o en los elementos constitutivos del propio pavimento.

A continuación se presentan cuatro gráficas que indican el comportamiento de un camino en cuatro condiciones distintas.

La gráfica No. I.4.1 muestra el comportamiento de un pavimento al que podríamos llamar normal, es decir, inicia su vida útil con una calificación elevada y la va perdiendo paulatinamente conforme se acerca su vida de proyecto, lo que coincide con el nivel de rechazo prefijado. Este diseño será el más económico y permitirá un tránsito expedito durante la mayor parte de su vida útil.

I.4.2.-

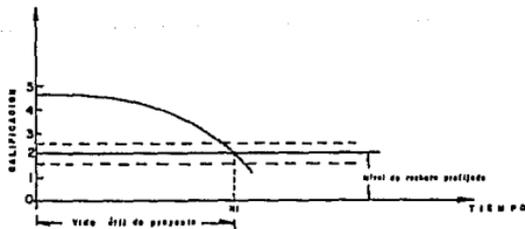
La gráfica No. I.4.2 se refiere a un pavimento con fuertes fallas funcionales iniciales, originadas por defectos de construcción, sin que su comportamiento indique falla estructural. Aunque este pavimento llegara al término de su vida útil de proyecto coincidiendo con el nivel de rechazo prefijado, su calificación ha sido inferior a la especificada durante casi toda su vida útil, y consecuentemente ha prestado un servicio deficiente al proporcionar a los vehículos menos expedito que el proyectado. Por lo tanto se trata de un pavimento antieconómico.

I.4.3 .-

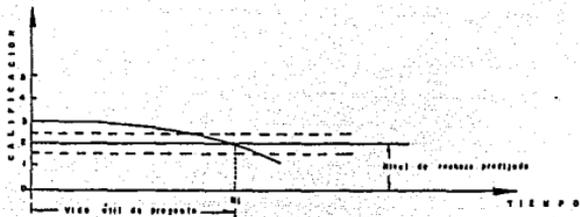
La gráfica No. I.4.3 se refiere a un pavimento con una falla estructural que rápidamente ha pasado a ser falla funcional; consecuentemente el nivel de rechazo prefijado se ha alcanzado antes de la terminación de la vida útil de proyecto, y por lo tanto, se tiene un pavimento antieconómico.

I.4.4 .-

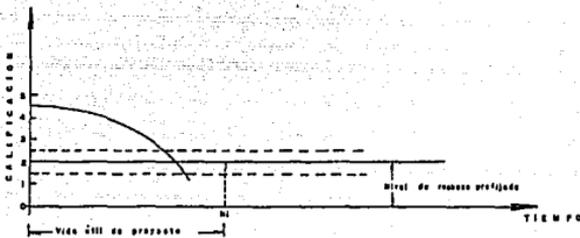
La gráfica No. I.4.4. se refiere a un pavimento con una vida útil mayor que la del proyecto. Esto también nos indica un pavimento antieconómico, pues pudo reducirse su costo inicial de construcción para lograr una vida útil que coincidiera con el proyecto.



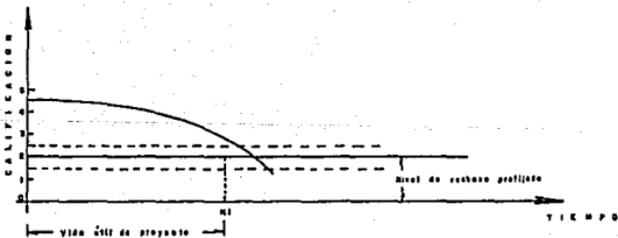
GRAFICA I-4-1



GRAFICA I-4-2



GRAFICA I-4-3



GRAFICA I-4-4

El comportamiento de un pavimento durante su vida útil, sometido a la acción del tránsito y a la de los agentes climatológicos dependerá gran parte de la conservación que se le dé, es decir, una conservación oportuna y correcta aumentará la vida útil del pavimento, manteniéndolo sobre el nivel de rechazo prefijado. Una reconstrucción elevará la calificación del camino, pasando a ser su comportamiento, dependiendo en la forma que se reconstruyó, el correspondiente a una de las cuatro gráficas indicadas. Deberán tomarse en cuenta los defectos que presentaba originalmente el pavimento al proyectarse su reconstrucción.

De acuerdo al criterio de clasificación, un pavimento está formado por carpeta, base y sub-base, iniciándose la terracería inmediatamente abajo de la sub-base, en la llamada capa sub-rasante. Por lo tanto, al presentarse una falla, es fundamental determinar la capa del pavimento en que ésta se origina, para lograr su corrección.

1.5.- CLASIFICACION DE FALLAS;

Se puede hacer la siguiente clasificación de fallas, si tomamos en cuenta el elemento estructural en que estas se originan:

- 1.- Fallas atribuibles a la carpeta
 - 2.- Fallas originadas en la interfase carpeta-base como consecuencia de una interacción inadecuada.
 - 3.- Fallas originadas en la base, sub-base o terracería, como consecuencia de la inevitabilidad de una o varias de estas capas.
 - 4.- Fallas originadas por causas totalmente ajenas a la estructura.
- Otra clasificación podría ser la que se basa en las causas que las originan tales como:
- 1.- Fallas originadas por la repetición de cargas
 - 2.- Fallas ocasionadas por los agentes climatológicos
 - 3.- Fallas atribuibles al peso propio y deformación de los elementos del camino.

Así mismo, las fallas de los pavimentos pueden también clasificarse en tres grupos fundamentales, de origen bien diferenciado:

- 1.- Fallas por insuficiencia estructural. Se trata de pavimentos construidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia, o con materiales de buena calidad, pero con espesor insuficiente. En términos generales, ésta es la falla que se produce cuando las combinaciones de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y los respectivos espesores no son los adecuados para que se establezca una mecanismo de resistencia apropiado.

- 2.- Fallas por defectos constructivos. Se trata de pavimentos quizá bien proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes, en cuya construcción se han producido errores o defectos que comprometen el comportamiento conjunto.
- 3.- Fallas por fatiga. Se trata de pavimentos que originalmente estuvieron quizá en condiciones apropiadas, pero que por la continuada repetición de las cargas del tránsito sufrieron efectos de fatiga, degradación estructural y en general pérdida de resistencia y deformación acumulada. Como quiera que estos fenómenos están grandemente asociados al número de repeticiones de la carga, las fallas de fatiga resultan claramente influenciadas por el tiempo de servicio; son las fallas típicas que, durante mucho tiempo trabajó sin problemas un pavimento.

Además de la anterior clasificación, por su origen, conviene agrupar las fallas de los pavimentos flexibles por el modo que suceden y se manifiestan.

La tabla 1 presenta una clasificación en este sentido, con todas las fallas primeramente referidas a tres tipos: fracturamiento, deformación y desintegración. Dicha tabla, presenta también una diferenciación posterior de estos tres tipos en otros varios en que pueden subdividirse, según la gravedad del defecto asociando a estos las causas mecánicas más comunes, y en algunas ocasiones, los orígenes típicos.

En general, las causas últimas son las mismas para los tres tipos de fallas principales, y se relacionan siempre con el defecto del tránsito, las características y estructuración del pavimento y la naturaleza del apoyo que proporciona la terracería, pero las variables específicas principales que más influyen en cada tipo de falla, si pueden ser algo diferentes.

La tabla 2 es un intento para agrupar qué características de las tres causas finales, influyen más en cada uno de los tres tipos principales de fallas.

Puede verse como conclusión, que las fallas por insuficiencia estructural, defecto constructivo o fatiga, pueden ser a fin de cuentas de los tres tipos fundamentales (fracturamiento, deformación o desintegración), y el que una determinada deficiencia dé origen, a uno u otro tipo de falla, dependerá de cómo se conjuguen en el caso todas las variables que genéricamente se agrupan bajo los encabezados: Efectos del tránsito, características mecánicas y estructuración de los materiales en el pavimento y apoyo de capas superiores, de la terracería o en última instancia, del terreno de cimentación.

En épocas recientes, han surgido intentos de introducir todas estas variables en modelos matemáticos de deterioro, representando los efectos de carga y los de ambiente por métodos estocásticos.

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

Se describen a continuación en forma muy somera algunas de las fallas más comunes en los pavimentos flexibles:

1.- Agrietamiento en piel de cocodrilo.

Se trata de un agrietamiento que se extiende sobre toda la superficie de rodamiento o, por lo menos, sobre una parte muy substancial de ella, por lo cual, dicha superficie adquiere el aspecto que da nombre al fenómeno.

Esta condición es indicativa de movimiento excesivo de una o más de las capas del pavimento o de fatiga, muchas veces, en la propia carpeta. El agrietamiento en piel de cocodrilo es común en pavimentos flexibles constituidos sobre terracerías resilientes o dentro de los cuales la sub-rasante muestre resiliencia. También es típico de bases débiles o insuficientemente compactadas.

El fenómeno puede o no, ser 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 el fenómeno alcanza estos grados destructivos puede decirse casi con seguridad que está ligado a deficiencias estructurales de la base.

Al estudiar este tipo de agrietamiento resulta esencial determinar si se trata de un fenómeno evolutivo. En general, los procesos asociados a envejecimiento y fatiga de la carpeta progresan muy lentamente; en cambio, son muy rápidas las evoluciones del fenómeno asociadas a deficiencias estructurales o exceso de agua. En consecuencia, para definir la evolución futura de un proceso detectado suelen ser precisos estudios de detalle en el pavimento.

2.- Deformación permanente en la superficie del pavimento (surcos)

Frecuentemente está asociada a aumento de compacidad en las capas granulares de base o de sub-base, debido a su vez, a carga excesiva, carga rebetida (aumento de compacidad por vibración) o a rotura de granos. También puede deberse a consolidación en la sub-rasante o aún en el cuerpo de la terracería.

El ancho del surco excede al de la llanta y tiende a ser mayor en comparación a éste, cuando más profunda sea la cedencia que provoca el fenómeno.

TABLA 1

Tipos y manifestaciones de las fallas de los pavimentos flexibles

TÍPO	MANIFESTACION	CAUSAS
Fracturamiento	Agratamiento	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Repelición de carga (fatiga) Cambios de temperatura Cambios de humedad (defecto constructivo) Ondulamiento por fuerzas horizontales (deficiencia estructural o defecto constructivo) Contracción
	Dstrucción por agrietamiento	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Repelición de carga (fatiga) Cambios de temperatura Cambios de humedad (defecto constructivo)
Deformación	Deformación permanente	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Proceso de deformación viscosa (fatiga, insuficiencia estructural y defecto constructivo) Aumento de compacidad (defecto constructivo, Rótura de granos) Consolidación Expansión
	Falla	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Aumento de compacidad (defecto constructivo, Rótura de granos) Consolidación Expansión
Desintegración (falta de carpeta)	Remoción	Pérdida de adherencia en la carpeta Reactividad química Abrasión por efecto del tránsito
	Desprendimiento	Pérdida de adherencia en la carpeta Reactividad química Abrasión por efecto del tránsito Degradación de los agregados

TABELA 2 .

Principales factores que afectan a los tres tipos básicos de fallas de un pavimento flexible

TIPO DE FALLA	CAUSA ÚLTIMA		
	TRANSÍTO	PAVIMENTO	CIMENTACION (APOYO)
Fracturamiento	Carga por rueda(magnitud) Repeticiones Area de influencia de la carga Velocidad Arreglo y disposición de ruedas y ejes	Rigidez de las diversas capas Flexibilidad (adaptabilidad a la fatiga) Durabilidad Deformación plástica Deformación elástica	Rigidez en base y sub-base Deformación plástica Deformación elástica
Deformación	Carga por rueda (magnitud) Repeticiones Area de influencia de la carga Velocidad Arreglo y disposición de ruedas y ejes	Espesor Resistencia Compresibilidad Susceptibilidad a cambios de volumen Deformación plástica Deformación elástica	Susceptibilidad a los cambios de volumen Deformación plástica Deformación elástica
Desintegración (fallas de carpetas)	Presión de la llanta Repeticiones Velocidad	Características del asfalto Características del agregado (porosidad, falta de adherencia con el asfalto)	Resiliencia en las capas de pavimento Infiltración de agua Cambios de temperatura

La deformación a la que se está haciendo referencia, debe distinguirse del surco que se produce por simple desplazamiento lateral en una carpeta defectuosa; la señal distintiva es que en este último caso el material se eleva a los dos lados del surco, en tanto que en un surco de origen profundo éste se produce sin dichas ondulaciones.

3.- Fallas por Cortante.

Están típicamente asociadas a falta de resistencia al esfuerzo cortante en la base o sub-base del pavimento, y más raramente en la sub-rasante. Consiste generalmente en surcos profundos, nítidos y bien marcados cuyo ancho no excede mucho el de la llanta. En este caso suele haber también elevación del material de carpeta a ambos lados del surco, pero la falla se distingue fácilmente de un simple desplazamiento de carpeta por la mayor profundidad a que estaba.

4.- Agrietamiento Longitudinal.

Consiste en la aparición de grietas longitudinales de no gran abertura (en el orden de 0.5 cms.) en toda el área, que corresponde a las de circulación de las cargas más pesadas.

Agrietamientos de este tipo son debido a movimientos de las capas del pavimento, que tienen lugar predominantemente en dirección horizontal; el fenómeno puede ocurrir en la base, en la sub-base, o, en cierta frecuencia en la sub-rasante. Son indicativos de fenómenos de congelamiento y deshielo o de cambios volumétricos por variación de contenido de agua, sobre todo en la sub-rasante.

5.- Consolidación del terreno de cimentación.

La consolidación del terreno de cimentación blando puede producir distorsión de pavimento, independientemente de los espesores o de la condición estructural del mismo. Las deformaciones de la sección transversal pueden producir agrietamientos longitudinales. Cuando por falta de resistencia en el terreno de cimentación, se compromete la estabilidad de los terraplenes, también se producen agrietamientos típicos con trayectoria circular, marcando lo que podría llegar a ser la cabeza de la falla eventual; estas grietas perjudican como es natural, al pavimento.

CAPITULO II.-

REHABILITACION DE PAVIMENTOS.

Una vez obtenido, que la calificación o el índice de servicio del pavimento se encuentra bajo el nivel de rechazo, además que los deterioros que presenta afectan zonas amplias o de bastante longitud del mismo, de tal manera que ya no puede hablarse de fallas locales, es necesario hacer una reconstrucción más a fondo del mismo, para restaurar sus condiciones de buen servicio. Para definir con mayor precisión las causas de las fallas que presentan, y poder reforzarlo o rehabilitarlo convenientemente, se requiere llevar a cabo una evaluación del citado pavimento.

Los procedimientos que se emplean para conocer las causas de falla en los pavimentos y definir su reconstrucción, cuando dichas fallas son más o menos generalizadas son de dos tipos: no destructivos y destructivos. En cualquier caso, son los resultados de los estudios, el costo de las distintas alternativas de solución y los recursos disponibles, lo que al final de cuentas permitirá decidir la forma más conveniente de llevar a cabo la rehabilitación del pavimento. Es conveniente hacer notar que es por todos motivos preferible tratar siempre de solucionar definitivamente el problema de un pavimento deteriorado, que darle continuos paleativos o arreglos provisionales que a la larga resultan más costosos, más molestos para los usuarios y que sólo conducen a retardar la solución básica y quizás a agravarla.

Procedimientos No destructivos:

Los procedimientos no destructivos para evaluar las condiciones estructurales de un pavimento y determinar el refuerzo que requiere, son aplicables sólo cuando las condiciones del pavimento no son muy adversas y además, siempre es aconsejable complementar estos procedimientos con algunos sondeos a cielo abierto, sobre todo en nuestro medio, en el cual no contamos con la suficiente experiencia para usar en forma exclusiva estos métodos.

Los procedimientos de evaluación no destructivos se basan principalmente, en mediciones de las deflexiones que sufre un pavimento flexible bajo la acción de la carga de un camión de determinadas características y peso, previamente especificados. Las citadas mediciones de deflexión utilizando un camión cargado, se llevan a cabo generalmente por medio de la viga Benkelman, sin embargo, se utilizan otros tipos de aparatos cuyos registros se traducen a deflexiones como la mencionada viga, basándose en gráficas que correlacionan unas lecturas con otras. En función de estas deflexiones y de las condiciones de tránsito y clima a las que estará sujeto el pavimento, se determina el espesor de refuerzo necesario, valiéndose de otras gráficas, derivadas de las experiencias y estudios realizados por las instituciones que las aplican. Más adelante se describirán estos procedimientos.

Procedimientos destructivos:

En los procedimientos destructivos se practican en el pavimento sondeos a cielo abierto con espaciamientos apropiados, de acuerdo con la longitud del tramo afectado o la magnitud de la zona fallada, para conocer: calidad y compactación de los materiales de terracería, incluyendo de manera importante, los que constituyen la capa sub-rasante; calidad y compactación de la sub-base, base y carpeta, y espesores de las distintas capas del pavimento; condiciones de humedad de los materiales, etc. Estos datos permitirán definir si el espesor del pavimento es o no suficiente para las condiciones en que se encuentran trabajando los materiales de terracería, así como para los requerimientos del tránsito que soporta el pavimento (o el peso de las aeronaves si se trata de la pista de un aeropuerto), y las condiciones climatológicas de la región; es decir, se rediseña el pavimento como si fuera a construirse de nuevo y se determina si se requiere o no mayor espesor, calculándose, en su caso, el espesor de refuerzo.

El estudio de los materiales extraídos de los sondeos, revelará también si los que forman la capa sub-rasante y las distintas capas del pavimento, reúnen los requisitos de calidad fijados por las especificaciones correspondientes, si se les proporcionarán los tratamientos adecuados, y si fueron trabajados correctamente, con lo que podrá recomendarse si es factible aprovecharlos o no en la reconstrucción del pavimento y bajo que condiciones.

Con los datos de espesores requeridos (determinados por lo métodos de diseño de pavimentos flexibles destructivos que se describirán posteriormente) y existentes del pavimento, y con los resultados de todos los estudios de laboratorio y campo y el conocimiento del tipo de fallas que presenta el citado pavimento, se estará en posibilidad de precisar los procedimientos de reconstrucción o rehabilitación a seguir, que pueden ir desde levantar el pavimento, dar tratamiento o sustituir el material de la capa sub-rasante y rehacer la estructura y el pavimento, hasta colocar un refuerzo a base de sobre carpeta de mezcla asfáltica en planta en caliente o de mezcla elaborada en el lugar, de acuerdo, este último, con la importancia de la obra.

Cuando los estudios revelan por ejemplo, que el material de la base no satisface los requisitos fijados por las especificaciones, se le puede aprovechar como sub-base o como parte de la sub-rasante; si la sub-base es la inadecuada, es factible utilizarla dejándola como parte de la capa sub-rasante. En ambos casos, es necesario completar el espesor del pavimento, hay ocasiones en que puede aprovecharse, por ser fácil su desintegración y casos en que tiene que desecharse y reponerse por otra de espesor y características adecuadas. A veces, también es posible aprovechar los materiales deficientes de calidad de la sub-base o la base, mejorándolos con otros materiales de banco o estabilizándolos con un agente químico, de manera que prácticamente pueden quedar formando, en esas nuevas condiciones, las capas originales del pavimento. En cualquiera de los procedimientos empleados para la evaluación de las condiciones estructurales de un pavimento, debe hacerse un recorrido minucioso del tramo o del área afectada para detectar situaciones ajenas al propio pavimento, que están coadyuvando o propiciando su deterioro, como son: problemas o deficiencias en el terreno de cimentación, en las terracerías o en las obras de drenaje. Si el caso lo amerita, será necesario hacer estudios de laboratorio y campo, para precisar mejor estos problemas y darle la solución adecuada.

II.1 PROCEDIMIENTOS NO DESTRUCTIVOS.

A. Equipo

1. Viga Benkelman. Este instrumento opera basado en el principio sencillo de un brazo de palanca. Una pieza larga de 2.44 m (8pies), se inserta entre las ruedas dual de un camión (11.00 X 22.5, 12 ply y presión de 70 lb/pulgada²). Este camión debe estar cargado con 6.8 tons. (15,000 lbs) de carga de eje sencillo. Como el pavimento es presionado, una parte de la viga pivotea alrededor de un punto de rotación que se encuentra en la otra parte de la viga y que sirve de referencia; esta segunda parte de la viga descansa en el pavimento, atrás del área de influencia, es de 1.22 m (4 pies) de largo y cuenta con un extensómetro del tipo Ames, el cual registra deflexiones con aproximación de 0.001 pulgadas.

Este apartado tiene ventajas muy importantes, como, simplicidad en la prueba, versatilidad y rapidez de mediciones, ya que se pueden efectuar entre 300 y 400 en un día de trabajo, pero también tiene limitaciones, como por ejemplo, nos da el valor de la deflexión total, solamente para los vehículos de prueba operando a velocidades pequeñas.

2. Deflectómetro Viajero. Este instrumento es un rodador automático de deflexiones, basado en el principio de la Viga de Benkelman. Es la combinación de un camión trailer y una pieza para medir las deflexiones, la cual está colocada abajo de las ruedas traseras. El camión deberá estar cargado con 6.8 tons. (15,000 lbs.), para cada eje sencillo, las características de las llantas (11.00 X 22.5, 12 ply y 70 lb/pulgada² de presión) son idénticas a la prueba de Viga Benkelman y la pieza que mide las deflexiones deberá estar abajo de las llantas.

El deflectómetro es un instrumento electromecánico, capaz de medir deflexiones en el pavimento en intervalos de 6.1 m (20 pies) de una manera uniforme y continua, mientras que el vehículo circula por el camino, con una velocidad de 2.41 Km/hr (1.5 millas /hr.)

Las deflexiones se miden en milésimas de pulgada, mediante un brazo de prueba que descansa en el pavimento y registra permanentemente, estas deflexiones en un papel especial para este fin. En un día de trabajo normal, se pueden efectuar como promedio entre 1,500 y 2,000 mediciones.

3. Lane-Wells Dynaflect. Este aparato es un sistema electromecánico que mide las deflexiones dinámicas que se producen en la superficie de un camino, por la aplicación de una fuerza oscilatoria.

El sistema consiste de un generador de la fuerza oscilatoria, junto con un instrumento móvil de medición, una unidad de calibración y una serie de cinco geófonos sensibles, montados en un trailer pequeño. El trailer, en la posición de reposo, ejerce una fuerza oscilatoria de 451.6 Kg (1,000 libras) (de un pico a otro) sobre la superficie del pavimento, mediante dos ruedas de prueba, las cuales son de acero y están cubiertas con hule macizo. Las deflexiones así producidas, son registradas por los geófonos y pueden leerse en el medidor que se encuentra en el vehículo remolcador.

- 4.- Curvímeter Dehlen. Este instrumento consiste de una barra de aluminio de 13mm (1/2 pulgada) de espesor, 38.1 mm (1.5 pulgada) de ancho y 33 cm (13 pulgadas) de largo, con soporte de 30.5 cms. (1 pie) en las 12 pulgadas centrales y un medidor de 0.0005 pulgadas de aproximación y 0.05 pulgadas de carrera, el cual está fijo en el centro de la placa.

El aparato se coloca entre las ruedas dual de un vehículo de prueba (cargado de la misma manera que el vehículo de prueba de la Viga Benkelman y con las mismas características de las llantas del citado vehículo), pudiéndose efectuar la medición de la ordenada media de una curva, la que tiene 12 pulgadas de cuerda y con esto, también será posible el cálculo del radio de curvatura, estimándose una medida de deflexión.

B. Procedimiento Preliminar.

1. Recopilación de datos pertinentes respecto al tramo que será probado.
 - a.- Determinación de la sección estructural actual, ya sea con los datos del proyecto o mediante otras fuentes, anotando todas las variaciones.
 - b.- Determinar el índice de tránsito. (ver párrafo II.1.E)
 - c.- Estudiar la documentación que forma la memoria de construcción del camino, para determinar las condiciones de drenaje, de la cimentación y/o causas poco comunes que pudieron ocurrir durante la construcción, las cuales pudieran tener efecto en el comportamiento del pavimento.

2. Trabajo preliminar de campo.

a.- Determinar la naturaleza, extensión, límites de los diversos niveles de destrucción y cualquier restricción vertical que se tenga. Todo esto se debe registrar en las hojas adecuadas para este fin.

b.- Seleccionar una o más secciones representativas de prueba, para cada cambio de las condiciones existentes del pavimento o, para algún cambio conocido en la estructura del mismo.

Se debe referenciar cada sección de prueba, con algún punto conocido o fácilmente identificable en el campo. Todas las secciones de prueba deben contar con buena visibilidad en ambas direcciones; por lo que, si es posible, debe suprimirse la localización de estas en curvas horizontales o verticales. Cada sección de prueba normalmente debe tener una longitud que varíe de 2.44 hm. (800 pies) a 305 m (1,000 pies) y será representativa de un sub-tramo de una longitud igual a 1,609 Km(1 milla).

c.- Obtener fotografías representativas de cada sección de prueba, las que deben estar localizadas en las áreas de mayor deterioro del pavimento.

C. Cuatro métodos de recopilación de datos.

1. Viga Benkelman.

a.- Método WASHO. Para la obtención de deflexiones en el pavimento, de magnitudes menores de 0.050 pulgadas.

a.1 Estacione el camión en el origen de la sección de prueba.

a.2 Coloque la viga entre las ruedas dual, de tal manera que el extremo de la viga de pruebas se localice a 1.37 m (4.5 pies) adelante de las ruedas traseras del vehículo, tal como se muestra en la figura II.1.2.

a.3 Active el vibrador y ajuste el extensómetro Ames a una lectura de 0.000 pulgadas.

a.4 Póngase en movimiento el vehículo hacia adelante, aproximadamente 7.62 m (25 pies) de distancia, a una velocidad mínima y regístrese la máxima lectura en el extensómetro (D_1) en milésimas de pulgada.

a.5 Una vez que la aguja del marcador se ha estabilizado, regístrese la lectura final (D_f).

a.6 La deflexión del pavimento será igual a:

$$\delta = 2D_1 - D_f$$

- a.7 Repita este procedimiento en intervalos de 7.62 m (25 pies) longitudinalmente, alternando las mediciones entre las dos líneas de paso de las llantas de los vehículos, de tal manera que se obtengan dos mediciones en la línea exterior, por cada una de la línea interior, a lo ancho de la sección transversal de prueba; esto es para una carretera de dos carriles, pero se seguirá el mismo criterio cuando se tengan dos o más carriles.
- a.8 Se reporta el promedio (media) de las deflexiones y se calcula el 80 percentil; es decir, el 20% de las mediciones son mayores que el valor calculado y el 80% son más bajas que éste, esto se hace para cada línea y para cada carril.
- b.- Método de rebote (con Viga Denkelman) para obtener deflexiones mayores de 0.050 pulgadas en un pavimento.
- b.1 Estacione el vehículo en el origen de la sección de prueba.
- b.2 Coloque la viga entre las ruedas dual y directamente abajo del eje, con la viga perpendicular al mismo.
- b.3 Active el vibrador y ajuste el marcador a la lectura de 0.100 pulgadas (D_0), una vez que la aguja se ha estabilizado.
- b.4 Se pone en movimiento el vehículo hacia adelante, aproximadamente 7.62 m (25 pies) de distancia y a una velocidad mínima y se registra la mínima lectura de rebote (D_1) que marque el extensómetro.
- b.5 Una vez que la aguja del marcador se ha estabilizado, registre la lectura final (D_f).
- b.6 La deflexión del pavimento será igual a:

$$\delta = 2(D_0 - D_1) - (D_1 - D_f)$$

- b.7 Repita este procedimiento en intervalos de 7.62 m (25 pies) longitudinalmente, alternando las mediciones entre las dos líneas de paso de las llantas de los vehículos, de tal manera que se obtengan dos mediciones en la línea exterior, por cada una de la línea interior, a lo ancho de la sección transversal; esto es para una carretera de dos carriles, pero se seguirá el mismo criterio cuando se tengan dos o más carriles.

b.8 Se reporta el promedio (media) y se calcula el 80 percentil para cada línea y para carril, en la misma forma que se citó en el método anterior.

2. Deflectómetro Viajero.

- a.- Prepare la unidad de prueba para medir las deflexiones y calíbrala.
- b.- Obtenga las deflexiones en el pavimento, producidas por el paso de cada rueda (huella), en intervalos de 6.1 m (20 pies) a lo largo de cada sección de prueba, en una gráfica continua.
- c.- Utilizando un plumón y escribiendo a mano, señale en la gráfica de las deflexiones el principio y el final de cada sección de prueba, la localización de cortes y terraplenes, entronques con otros caminos, postes indicadores del kilometraje, puentes, alcantarillas y otras restricciones que nos puedan señalar los límites y la extensión de los deterioros del pavimento.
- d.- Lea las mediciones de las deflexiones que están en el perfil dibujado por el aparato, en milésimas de pulgada y tabule estos datos, mencionando también las notas escritas a mano.
- e.- Calcule y reporte el promedio (media) y el 80 percentil (tal como se ha descrito anteriormente) para ambas ruedas.

3.- Lane-Wells, Dynaflect .

- a.- Levante y prepare la unidad de prueba. (Consulte el "Lane Wells Operations Manual for Dynamic Deflection Determination System).
- b.- Obtenga un mínimo de 20 mediciones por cada sección de prueba.
- c.- Calibre la unidad.
- d.- Obtenga una medida cada 16.1 m (0.01 milla) (aproximadamente 53 pies) en la llanta que paze por donde se vea mayor deterioro. Es suficiente emplear el geófono no. 1, para obtener mayor cantidad de deflexiones en una jornada de trabajo.
- e.- Registre las mediciones en el papel de datos del Dynaflect, con múltiples adecuados. Anote toda la información que se refiera a observaciones visuales de las condiciones del pavimento, así como sobre intersecciones de caminos o calles, localización de secciones en corte o terraplén, postes marcadores de kilometraje y las restricciones verticales que existan.

- f.- Calcule el promedio (media) y el 80 percentil de las deflexiones medidas con el Dynaflect y conviértalas en medidas equivalentes del deflectómetro viajero (son las mismas que para la Viga Benkelman), usando para este fin la figura II.1.b.

4.- Curvómetro Dehlen.

- a.- Coloque el vehículo de prueba en posición de reposo, este vehículo deberá estar cargado de la manera que se indicó anteriormente.
- b.- Inserte y centre el medidor Dehlen entre un juego de ruedas dual, con la barra paralela a las ruedas y directamente abajo del eje.
- c.- Registre la medición inicial que marca el medidor tipo Ames (d_1) aproximándola a 0.0005 de pulgada.
- d.- Mueva el vehículo hacia adelante a una distancia de 7.62 m. (25 pies) aproximadamente, con una velocidad mínima y registre la medida máxima de rebote (d_2), también aproximándola a 0.0005 de pulgada.
- e.- Calcule el radio de curvatura (R) debido a la influencia de la carga producida por las ruedas Dual, como sigue:

$$R = \frac{1.5}{d_1 - d_2}$$

Donde:

R = Radio de curvatura en pies.

d_1 = Lectura inicial del extensómetro, en pulgadas.

d_2 = Lectura final del extensómetro, en pulgadas.

O bien:

$$R = \frac{1.16}{d_1 - d_2}$$

Donde:

R = Radio de curvatura en metros.

d_1 = Lectura inicial del extensómetro, en centímetros.

d_2 = Lectura final del extensómetro, en centímetros.

- f.- Repita este procedimiento en intervalos de 7.62 m (25 pies) longitudinalmente, alternando las mediciones entre las dos líneas de paso de las llantas de los vehículos, de tal manera que se obtengan dos mediciones en la línea exterior, por cada una de la línea interior, a lo ancho de la sección transversal; esto es para una carretera de dos carriles, pero se seguirá en mismo criterio cuando se tengan dos o más carriles .
- g.- Calcule el promedio (media) y el 80 percentil de los datos de los radios de curvatura y conviértalos a una deflexión equivalente de Viga Benkelman, utilizando la figura II.1.c.
- h.- Reporte el promedio (media) y el 80 percentil equivalentes a deflexiones de Viga Benkelman.

D.- ANALISIS DE LOS DATOS Y SELECCION DE LA SOBRE CARPETA.

Reparación o tratamiento de mantenimiento.

- 1.- Compare el 80 percentil calculado con las mediciones de campo, con el nivel de deflexión permisible, determinado este último por medio de la fig II.1.d para el espesor del pavimento actual y el índice de tránsito de diseño (TI); se debe tener en cuenta que el límite máximo de deflexión permisible es de 0.04 pulgadas.
- a.- Si el 80 percentil calculado es menor que la deflexión permisible, no se necesita ningún tratamiento o sobre carpeta y será suficiente con un riego de sello o una capa delgada de concreto asfáltico, los cuales únicamente mejorarán la apariencia o sellarán las grietas del camino.
- b.- Si el 80 percentil calculado es mayor que la deflexión permisible, síganse los pasos que se citan a continuación:
- b.1.- Con los datos de la deflexión permisible y el 80 percentil de la deflexión encontrada en el camino, se determina el porcentaje requerido de reducción de la deflexión, empleando la siguiente fórmula:

$$PRD = \frac{80 \text{ percentil} - \text{Deflexión Permisible}}{80 \text{ percentil}} \times 100$$

Donde:

PRD = Porcentaje de reducción de la deflexión.

b.2.- Entrando a la gráfica de la fig.II.1.E con el porcentaje de reducción requerido, se encuentra el espesor necesario de grava equivalente (G.E.); dicho espesor se puede estructurar de la manera más adecuada, utilizando los factores de conversión que están anotados en la misma gráfica.

b.3.- Para dar una idea más clara del método, a continuación se citan algunos ejemplos que se consideran representativos y prácticos.

PROBLEMA 1

Datos.

Índice de tránsito (TI): 6.5

Sección estructural existente:

0.17 pies de concreto asfáltico (5.2 cms)

0.33 pies de base hidráulica (10.1 cms)

0.33 pies de sub-base (10.1 cms.)

Sección de Prueba: 1.

Deflexión al 80 percentil (pulgadas): 0.057

Apariencia del pavimento: Grietas en forma de piel de cocodrilo, de intermitente a continua.

No existen restricciones verticales. Entrando a la fig.II.1.D con 5.2 cms (0.17 pies) de concreto asfáltico y 6.5 de índice de tránsito, se determina la deflexión permisible ($\$P$) $\$P = 0.040$ pulgadas, que es más baja que el nivel actual. Dado que la superficie existente presenta grietas en forma de piel de cocodrilo de intermitente a continua, puede suponerse que ésta actuará de manera independiente para cualquier capa superficial nueva que se coloque, con un comportamiento muy parecido al de una base hidráulica.

Diseño Tentativo

Supongamos que se colocará una capa de concreto asfáltico de 3.05 cms. (0.10 pies). Empleando la figura II.1.d., el nivel de la deflexión permisible es igual a 0.040 pulgadas. El porcentaje de reducción de la deflexión necesaria será igual a:

$$PRD = \frac{0.057 - 0.040}{0.057} \times 100 = 30\%$$

Entrando a la figura II.1.e., con 30% de reducción de la deflexión, se encuentra que el espesor requerido de grava equivalente es de 7.62 cms. (0.25 pies). Como habíamos supuesto 0.10 pies de concreto asfáltico, que equivalen a 0.19 pies de grava equivalente, no se alcanza a cubrir lo necesario, por lo que en un segundo tanteo suponemos ahora 0.20 pies de concreto asfáltico. En la figura II.1.d. vemos que el nivel de deflexión permisible es igual a 0.035 pulgadas. El porcentaje de reducción de la deflexión vale:

$$PRD = \frac{0.057 - 0.035}{0.57} \times 100 = 39\%$$

Entrando a la figura II.1.e. con 39% de reducción, se encuentra que el espesor requerido es aproximadamente de 0.40 pies de grava equivalente. Como 0.20 pies de concreto asfáltico son aproximadamente igual a 0.38 pies de grava equivalente, se estima como aproximación suficiente el valor calculado.

Por lo anterior, se recomienda 6.1 cms. (0.20 pies) de concreto asfáltico, lo cual representa una sobre-carpeta.

PROBLEMA 2.

Datos

Índice de tránsito: 9.0

Sección estructural existente:

0.25 pies de concreto asfáltico (7.2 cms.)

0.50 pies de base tratada con cemento de la clase "A" (15.2 cms.).

1.00 pies de sub-base hidráulica (30.5 cms.)

Sección de prueba: 3.

Deflexión al 80 percentil (pulgadas): 0.021

Apariencia del pavimento: bloques intermitentes grandes y grietas en forma de mapa.

No existen restricciones verticales. Entrando a la figura II.1.d, con 0.50 pies de base tratada con cemento de clase "A", que es el elemento más rígido en la sección estructural, se encuentra un nivel de deflexión permisible de 0.012 pulgadas, para un índice de tránsito de 9.0. Esta deflexión es más baja que el nivel actual e indica que se necesita un refuerzo.

Las condiciones superficiales hacen pensar que la capa existente, probablemente actuará como parte integral de una nueva capa de concreto asfáltico.

Diseño Tentativo

El nivel permisible es igual a 0.012 pulgadas para la actual base tratada con cemento, con espesor de 0.50 pies. El porcentaje de reducción requerido es igual a:

$$\text{PRD} = \frac{0.021 - 0.012}{0.021} \times 100 = 43\%$$

Usando la figura II.1.e., se ve que se necesitan 0.50 pies de grava equivalente (G.E.) como refuerzo, por lo tanto, utilizando el factor de equivalencia que se señala en esa misma figura, se obtiene:

$$\frac{0.50}{1.9} = 0.26 \text{ pies de concreto asfáltico.}$$

Recomendación:

0.25 pies de concreto asfáltico, que equivalen a 7.5 cms. aproximadamente.

PROBLEMA 3

Datos.

Índice de tránsito: 7.5

Sección estructural existente:

0.21 pies de concreto asfáltico

0.50 pies de base hidráulica

Sección de prueba: 5.

Deflexión al 80 percentil (pulgadas): 0.069

Apariencia del pavimento: grietas pequeñas en forma de piel de cocodrilo, de intermitente a continua y desprendimientos aislados.

No hay restricciones verticales. Es obvio que el nivel de deflexión actual es excesivo y que se requiere un refuerzo considerable.

Supóngase que las condiciones de drenaje pueden ser mejoradas, para permitir el empleo de una capa de amortiguamiento. Usando la II.1.d. y una capa de concreto

asfáltico de 0.25 pies en la nueva construcción, obtendremos un nivel tolerable de deflexión de 0.025 pulgadas, para un índice de tráfico igual a 7.5. El porcentaje de reducción será igual a:

$$PRD = \frac{0.069 - 0.025}{0.069} \times 100 = 64\%$$

De la figura II.1.e., con 64% de reducción, determinamos que se necesitan aproximadamente 1.2 pies de grava equivalente (G.E.), de refuerzo.

Utilizando el factor de equivalencia en el concreto asfáltico y la grava equivalente, se obtiene:

$$0.25 \times 1.9 = 0.48 \text{ pies de grava equivalente}$$

Como el método nos dice que se requieren 1.2 pies, pero habíamos propuesto 0.48, nos faltarían:

$$1.2 - 0.48 = 0.72 \text{ pies de grava equivalente.}$$

Estos 0.72 pies faltantes, los vamos a proporcionar por medio de una base hidráulica de clase 2; por lo que, estimando un factor de equivalencia entre la base hidráulica de clase 2 y la grava equivalente igual a :

$$1.10 \text{ pies de grava equivalente} = 1.00 \text{ pie de una base hidráulica.}$$

Nos queda:

$$\frac{0.72}{1.10} = 0.65 \text{ pies de base hidráulica.}$$

Recomendación:

0.25 pies de concreto asfáltico sobre 0.65 pies de una base hidráulica de clase 2.

PROBLEMA 4

Datos.

Índice de tránsito: 8.0

Sección estructural existente;

0.25 pies de concreto asfáltico.

0.50 pies de base hidráulica

0.75 pies de sub-base

El camino presenta guarniciones y banquetas que nos impiden elevar la rasante.

Sección de prueba: 4

Deflexión al 80 percentil (pulgadas): 0.033

Apariencia del pavimento: Agrietamiento intermitente, en forma de piel de cocodrilo.

La figura II.1.d indica una deflexión permisible de 0.023 pulgadas, por lo que al ser menor que la deflexión medida, nos sugiere que se efectúe un trabajo de refuerzo. Debido a las restricciones verticales, causadas por la presencia de guarniciones y banquetas, no se puede aplicar una sobre-carpeta para reparación.

Probando con una base tratada con cemento de clase "D", de 0.50 pies de espesor, tenemos un nivel de deflexión permisible igual a 0.015 pulgadas. El porcentaje de reducción de la deflexión será entonces:

$$PRD = \frac{0.033 - 0.015}{0.033} \times 100 = 55\%$$

Usando la figura II.1.e., con un 55% de reducción, se ve que se necesita un incremento neto de grava equivalente igual a 0.90 pies aproximadamente'

Solución tentativa.

Escarifique y desperdicie una capa igual a 0.30 pies de espesor, de la sección estructural actual.

Escarifique una capa de 0.50 pies del pavimento existente, adicionándoles cemento y tendiéndolo nuevamente, para formar una base tratada con cemento de clase "D". Sobre esta base, coloque una carpeta de concreto asfáltico de 0.30 pies de espesor.

El incremento en grava equivalente que resulte de esta operación será igual a:

0.50 pies de base tratada con cemento de clase "D" X 1.22.....	0.61
0.30 pies de carpeta de concreto asfáltico X 1.9	<u>0.57</u>
	1.18

Menos 0.30 pies de material removido

0.30 pies de una base hidráulica X 1.0	<u>0.30</u>
Incremento total en grava equivalente	0.88 pies

El resultado es comparativo con el que se obtuvo por medio del análisis de las deflexiones, por lo que se considera adecuado; por lo tanto, se recomienda una carpeta de concreto asfáltico de 0.30 pies de espesor, sobre una base tratada con cemento de clase "D", de 0.50 pies de espesor, sin que se tenga incremento en la elevación de la rasante.

E.- PRECAUCIONES

- 1.- En los casos en que se presente una inestabilidad evidente en la sección estructural, manifestada por una canalización grave en el pavimento, desprendimientos o la presencia de deformaciones permanentes importantes, el diseño de los métodos correctivos se basará en el procedimiento de Hveem, o bien, en algún otro del cual se tenga suficiente información para su empleo; esto se debe a que los mencionados casos están fuera del alcance del método de deflexiones.
- 2.- Dado que se cuenta con pocos datos en caminos de tránsito bajo, se sugiere un nivel de deflexión permisible igual a 0.040 pulgadas, como máximo.

FIGURA II.1 a. POSICION DE ENSAYE PARA DETERMINAR DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

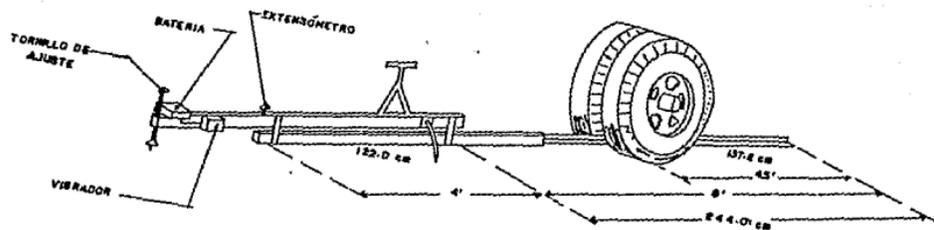


FIGURA II.1. b.
RELACION DE DEFLEXIONES DE DYNAFLECT
CON VIGA BENKELMAN

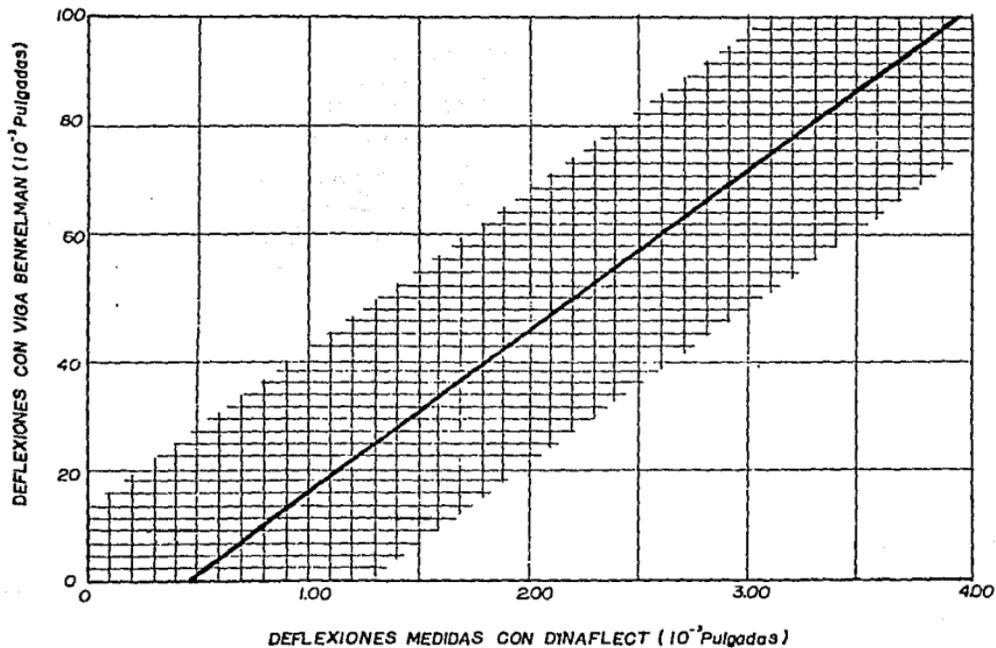


FIGURA II.1.C. RADIO DE CURVATURA (CURVIMETRO DEHLEN)
V.S.

DEFLEXION (VIGA BENKELMAN)

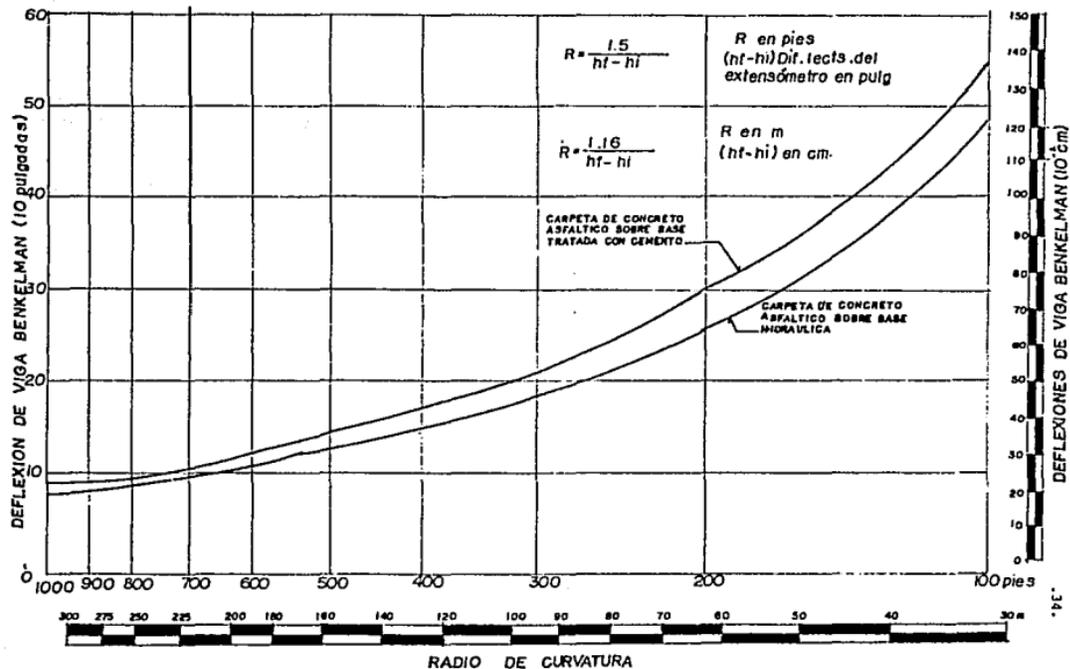
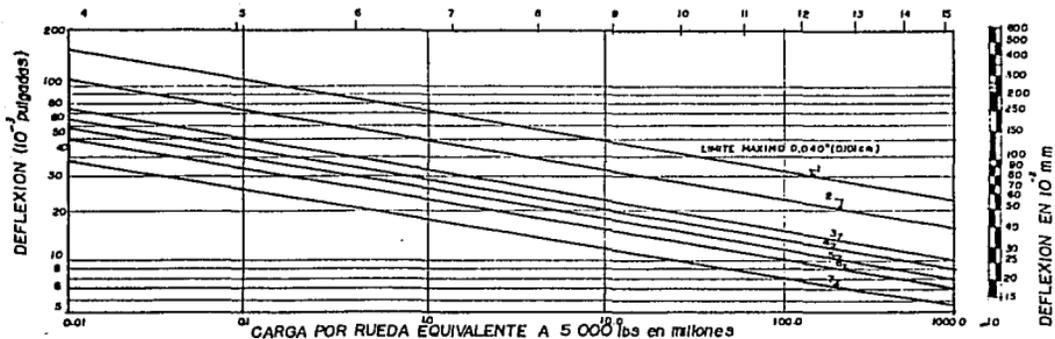
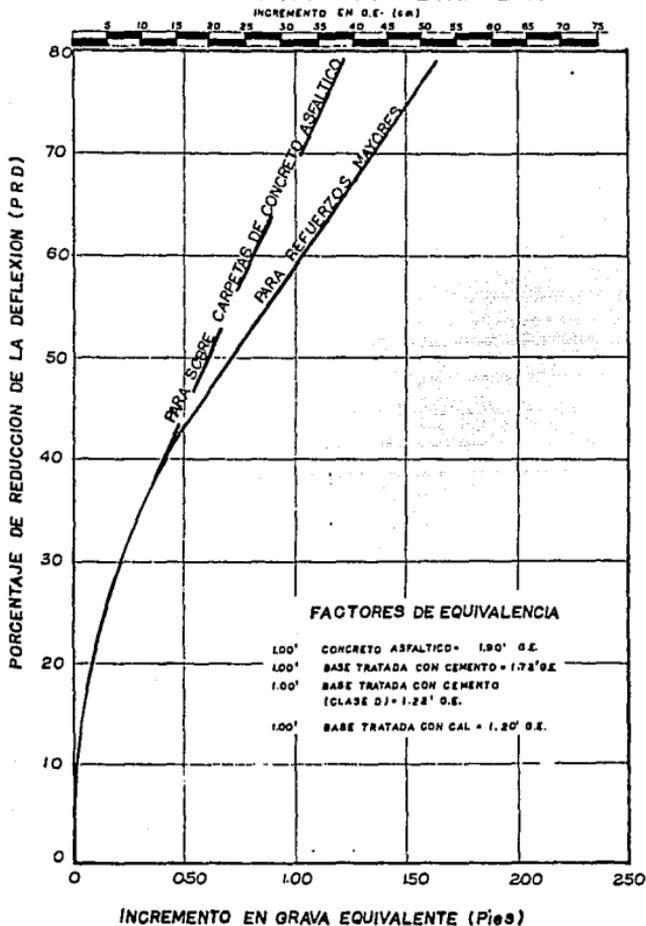


FIGURA II.1.d.
 VARIACION DE LAS DEFLEXIONES TOLERABLES
 (CRITERIO DEL DEPTO. DE CARRETERAS DE CALIFORNIA)
 INDICE DE TRANSITO



TIPOS DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO	ESPESOR	
	CM	PIES
1 TRATAMIENTO SUPERFICIAL	1.2	0.04
2 CONCRETO ASFALTICO	3	0.10
3 CONCRETO ASFALTICO	6	0.20
4 CONCRETO ASFALTICO	7.5	0.25
5 CONCRETO ASFALTICO	9	0.30
6 CONCRETO ASFALTICO	10	0.40
7 CONCRETO ASFALTICO	15	0.50
8 BASE TRATADA CON CEMENTO	15	0.50

FIGURA II.1.e,
REDUCCION DE LA DEFLEXION COMO RESULTADO
DE LA RECONSTRUCCION DEL PAVIMENTO



E.- DETERMINACION DEL INDICE DE TRANSITO (T I).

El índice de tránsito generalmente es proporcionado por un ingeniero de la especialidad; sin embargo, con el fin de que se entienda su significado, desarrollaremos un ejemplo de su cálculo. El tránsito se expresa en términos del número de ruedas sencillas equivalentes de 5,000 lb (EWL), que se espera circulen por el carril de diseño, durante el período de vida de la obra, en años. El cálculo empieza con la multiplicación de las constantes listadas en la tabla II.1.A por el tránsito diario promedio anual para cada tipo de vehículo (TDPA), en un sólo sentido.

El resultado de este producto se multiplica por un factor, el cual se calcula para cada tipo de vehículo, tomando en cuenta el incremento que pueda tener a lo largo del período de diseño. A este factor lo denominaremos factor del futuro e indicaremos más adelante como se obtiene.

Con estos productos, hemos calculado el EWL promedio anual, en una dirección. Sumando dichos productos, se obtiene el EWL total, el cual a su vez se multiplica por el número de años del período de diseño, para tener como resultado el EWL de diseño.

El EWL se puede convertir a Índice de tránsito por medio de la ecuación (1), o bien, por medio de la gráfica de la figura II.1.f

$$TI = 6.7 \left(\frac{EWL}{10^6} \right) 0.119 \dots\dots\dots \text{ecuación (1)}$$

en donde:

TI = Índice de tránsito

EWL = EWL de diseño, calculado como se indicó en párrafos anteriores.

Obtención del factor del futuro.

Este factor convierte el tránsito diario promedio anual de un determinado tipo de camiones, al que se supone circulará en el año promedio, tomando en cuenta el aforo del principio de la etapa de vida de la obra y su variación con el tiempo. Por ejemplo, si la información de los aforos de tránsito indica que el paso diario de vehículos de 6 ejes se duplicará durante el período de diseño y se espera que el incremento sea lineal, entonces su factor del futuro se calculará como sigue:

$$A_{20} = \frac{1 + a_2/a_1}{2} = \frac{1 + 2/1}{2} = 1.5$$

En donde:

A_{20} = A factor del futuro para un período de diseño de 20 años.

a^1 = Volúmen de vehículos de 6 ejes en el principio del período de diseño.

a^2 = Volúmen de vehículos de 6 ejes al final del período de diseño.

TABLA II.1.A

Constantes para calcular el EWL	
Número de ejes	Constantes
2	280
3	930
4	1,320
5	3,190
6	1,950

Ejemplo de aplicación:

Supóngase un camino con dos carriles, el cual tiene un tránsito diario promedio anual igual a 360 vehículos, con la siguiente composición en porcentaje:

Clasificación	%
A	14.5
B	16
C ₂	44.5
C ₃	10
C ₄	4
C ₅	10
C ₆	1

De acuerdo con estos datos, el tránsito diario promedio anual de camiones, en el carril de diseño, sería igual a:

$$\begin{aligned}
 C_2 &= 360 \times 0.445 = 160/2 = 80 \\
 C_3 &= 360 \times 0.10 = 36/2 = 18 \\
 C_4 &= 360 \times 0.04 = 14/2 = 7 \\
 C_5 &= 360 \times 0.10 = 36/2 = 18 \\
 C_6 &= 360 \times 0.01 = 4/2 = 2
 \end{aligned}$$

Cálculo del EWL:

Número de ejes	Constantes EWL	TDPA. para cada vehículo	Factores del futuro	EWL para cada vehículo
2	280	80	2.00	44,800
3	930	18	1.80	30,100
4	1,320	7	1.50	13,900
5	3,190	18	1.85	106,200
6	1,950	2	1.50	5,800

$$\text{EWL promedio anual} = 200,800$$

Multiplicando el EWL promedio anual por el número de años del período de diseño, en este caso 20 años:

$$\text{EWL de diseño} = 20 \times 200,800 = 4'016,000$$

Aplicando la ecuación (1) con el EWL de diseño:

$$TI = 6.7 \left(\frac{4'016,000}{10^6} \right)^{0.119}$$

$$TI = 7.9$$

Redondeando siempre al valor más cercano, con una aproximación de 0.5:

$$TI = 8$$

Nota.-

En los Estados Unidos de Norteamérica, en donde fue desarrollado este método, para el cálculo del índice de tránsito, no se toma en cuenta el porcentaje de autobuses que circulan por sus carreteras, debido a que se trata de un porcentaje tan bajo que puede despreciarse; sin embargo, para las condiciones de nuestro país, en donde se tiene un alto porcentaje de vehículos de este tipo circulando por nuestra red de caminos, se sugiere que sean tomados en cuenta estos autobuses en el cálculo del índice de tránsito, como si se tratara de vehículos tipo C₂, es decir, de dos ejes.

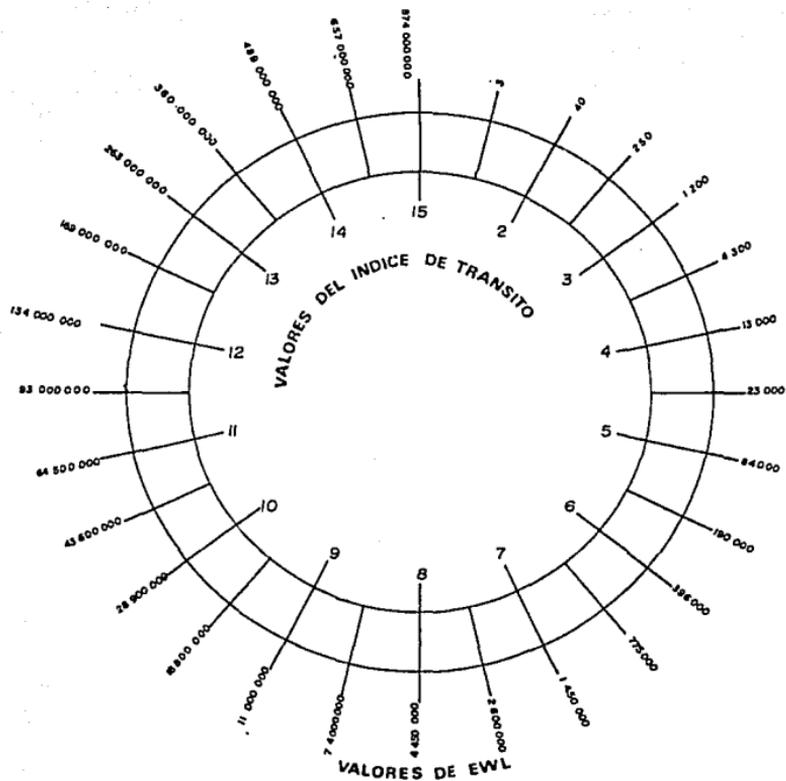


FIGURA II.1.1. DETERMINACION DEL INDICE DE TRANSITO POR MEDIO DEL EWL DE DISEÑO

11.2. PROCEDIMIENTOS DESTRUCTIVOS (ANÁLISIS POR CAPAS).

Evaluación de las condiciones estructurales y diseño del refuerzo de un pavimento.

Estos métodos usan los procedimientos convencionales de diseño de pavimentos flexibles. La premisa general de estos métodos se basa en:

$$T_o = T - T_e$$

En donde:

T_o = espesor de sobrecarpeta

T = espesor de pavimento requerido por análisis convencional

T_e = espesor efectivo del pavimento existente.

Los factores para convertir los espesores reales de pavimento existente en espesores efectivos, toman en cuenta la pérdida de capacidad de carga en las repeticiones de cargas.

El método de refuerzo de pavimentos flexibles de que trataremos en este capítulo es el siguiente:

METODO DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DESARROLLADO POR EL INSTITUTO DEL ASFALTO

Para el Instituto del Asfalto, la estructura de los pavimentos asfálticos se compone de una carpeta de concreto asfáltico y una o más capas de base asfáltica, soportadas por el suelo natural de lugar (sub-rasante). Algunas veces se incluyen en la estructura del pavimento capas denominadas sub-base o mejoramiento de sub-rasante, o ambas. Estas estructuras pueden ser diseñadas y construidas para soportar volúmenes de tránsito pesado, ya que incrementando el espesor, las cargas por ruedas se propagan en áreas más grandes, lo que reduce la intensidad de las cargas al llegar a la sub-rasante que la soporta sin dañarla.

El Instituto del Asfalto considera muy ventajoso el empleo de concretos asfálticos tanto para carpetas como para bases, una de las ventajas más importantes es la capacidad para resistir los esfuerzos provocados por las cargas.

Ventajas importantes de las bases de concreto asfáltico:

- 1.- Con el procedimiento de construcción adecuado, resulta un pavimento de calidad.
- 2.- Se pueden usar en bases asfálticas los agregados que no son convenientes para su empleo en carpetas de concreto asfáltico.
- 3.- Proporcionan un medio excelente para llevar a cabo una construcción por etapas.

- 4.- Los atrasos por causas de inclemencias del tiempo son mínimos.
- 5.- Pueden ser transitadas las bases asfálticas por el equipo de acarreo, antes de la colocación de la carpeta haciendo más expedita la construcción.

El Instituto del asfalto llama "Pavimentos Asfálticos en todo su espesor" a aquellos que para todas las capas arriba de la sub-rasante o mejoramiento de la sub-rasante, se emplea la mezcla asfáltica.

Las ventajas que estos pavimentos presentan, según el propio Instituto, son las siguientes:

- 1.- No tienen capas de material granular permeable y no queda agua atrapada que perjudique su comportamiento.
- 2.- No requiere una capa inferior para drenaje.
- 3.- Se elimina la necesidad de contar con una base granular en los acotamientos, permitiendo una sustancial reducción en la cantidad de material granular de alta calidad.
4. Se reduce el tiempo requerido para su construcción.
- 5.- Cuando se colocan espesores elevados (4" o más), puede prolongarse el período de construcción.
- 6.- Se tiene menos interferencia con los servicios municipales cuando se utiliza en calles de ciudades, ya que su construcción requiere estructuras más delgadas que las que se emplearían con bases no tratadas.
- 7.- Proporcionan y conservan uniformabilidad de la estructura del pavimento.
- 8.- Son prácticamente inafectables por la humedad o por las heladas.
- 9.- No se reduce la resistencia de la capa sub-rasante que algunas veces puede incrementarse, ya que esta capa no es afectada por la humedad.

Procedimiento de diseño.-

Los principales factores que deben tomarse en cuenta para el diseño estructural de los pavimentos asfálticos son:

- 1.- Condiciones de tránsito dentro del período de diseño.

- 2.- Disponibilidad de materiales de construcción para la capa sub-rasante y el pavimento.
- 3.- Factores regionales que puedan afectar al pavimento durante su operación o servicio.
- 4.- Evaluación de los parámetros de resistencia de materiales que forman la capa sub-rasante.
- 5.- Cálculo de espesores e integración de la estructura del pavimento.

Análisis de Tránsito:

El tránsito en las carreteras y calles varía de acuerdo al número de vehículos y a la magnitud de las cargas.

Los efectos acumulativos de las cargas del tránsito son factores muy importantes para el diseño estructural de un pavimento. Las condiciones del tránsito inicial y como puede cambiar, es conveniente evaluarlas. Debido a la variación infinita de las condiciones de tránsito, los efectos acumulativos pueden ser expresados mediante un común denominador para su uso práctico en el diseño de los pavimentos.

El Instituto del Asfalto llama a este común denominador: Número de tránsito para diseño (DTN).

La estimación de los volúmenes de tránsito inicial y futuro, así como las cargas para precisar el diseño, requieren de un estudio y análisis sustancial. Las dependencias autorizadas para tal fin podrán proporcionar esta valiosa información.

A continuación se definen términos especiales que el Instituto del Asfalto emplea en la determinación del número de tránsito para diseño (DTN):

- a.- CARRIL DE DISEÑO.- El carril en que se presenta el máximo número de ejes equivalentes de 18,000 libras, normalmente este es cualquiera de los dos carriles de una carretera de dos carriles, o el carril exterior de una carretera de varios carriles.
- b.- PERIODO DE DISEÑO.- Es el número de años desde la aplicación inicial del tránsito, hasta el primer mejoramiento o sobre-carpeta necesaria. Este término no se debe confundir con el de "VIDA DEL PAVIMENTO". Agregando nuevas capas o sobre-carpetas según se vaya requiriendo, la vida del pavimento puede prolongarse indefinidamente, hasta que las consideraciones geométricas y otros factores puedan hacer obsoleto al pavimento.

- c.- NUMERO DE TRANSITO PARA DISEÑO (DTN).- El número promedio diario de ejes equivalentes de 18,000 libras estimado para el carril de diseño, durante el periodo de diseño.
- d.- EJE EQUIVALENTE DE 18,000 LIBRAS.- El efecto en el comportamiento del pavimento bajo cualquier combinación de cargas por eje de diferentes magnitudes, igualado al número de ejes de 18,000 libras que se requieren para producir un efecto semejante.
- e.- TRANSITO DIARIO INICIAL (IDT).- El número promedio diario de vehículos esperado en el uso de la carretera en ambas direcciones, durante el primer año.
- f.- NUMERO DE TRANSITO INICIAL (ITN).- El número promedio de ejes equivalentes de 18,000 libras esperado en el carril de diseño, durante el primer año.
- g.- CLASIFICACION DEL TRANSITO.-

*LIGERO: Condiciones del tránsito en las que resulta un número de tránsito para diseño (DTN) menor de 10.

*MEDIO: Condiciones del tránsito en las que resulta un número de tránsito para diseño (DTN) entre 10 y 100.

*PESADO: Condiciones del tránsito en las que resulta un número de tránsito para diseño (DTN) superior a 100.

A continuación se expondrá el criterio del Instituto del Asfalto para el cálculo del número de tránsito para diseño (DTN) y el número de tránsito inicial (ITN):

- 1.- Estimar el número promedio diario de vehículos esperado durante el primer año en que se abra al tránsito la carretera después de terminada. Este valor es llamado el tránsito inicial (IDT).
- 2.- Estimar el porcentaje de camiones pesados, (A), en los datos de conteo y clasificación del tránsito proporcionado.
- 3.- Determinar el porcentaje de camiones pesados, (B), en el carril de diseño (vehículos comerciales, normalmente de dos ejes; vehículos de 6 llantas o más. Se excluyen vehículos ligeros como panel, camiones pequeños, etc.). Este porcentaje puede ser estimado en la siguiente tabla:

PORCENTAJE DEL TOTAL DE TRANSITO DE CAMIONES (EN DOS DIRECCIONES) EN EL CARRIL DE DISEÑO:

Número de carriles de tránsito (dos direcciones)	Porcentaje de camiones en carril de diseño
2	50
4	45 (35-48) #
6 o más	40 (25-48) #

= Rango probable

- 4.- Estimar el número diario de camiones pesados esperados en el carril de diseño (Una sola dirección), por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Número de camiones pesados en el carril de diseño} = (\text{IDT}) \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100}$$

Donde:

(IDT) = A y B están definidos en los puntos 1, 2 y 3 anteriores.

- 5.- Estimar el promedio del peso bruto de los camiones pesados, del estudio de pesadas.
- 6.- Determinar la carga máxima legal por eje, establecida por las dependencias oficiales correspondientes.
- 7.- Con información anterior, establecer el número de tránsito inicial (ITN) usando el nomograma de análisis del tránsito de la figura II.2.2. de la siguiente manera:
- Entrar al nomograma con el dato de la escala "D".
 - Localizar el dato de camiones en la escala "C"
 - Unir estos dos puntos por una recta prolongándola hasta cortar con la línea pivote.
 - Localizar la carga máxima por eje permisible en la escala "E"
 - Unir con una recta el punto de la línea pivote con el de la escala "E" prolongándola hasta cortar con la línea "A" y el valor obtenido es el número de tránsito inicial (ITN).

- 8.- Cuando el resultado del (ITN) es igual o menor de 10 y, cuando el número de automóviles y camiones ligeros esperados para el uso de la carretera es relativamente grande, el (ITN) requiere una corrección; esta corrección se hace usando la figura II.2.3. de la siguiente manera:
- a.- Entrar a la gráfica en la escala horizontal, en un punto que represente el volumen diario de automóviles y camiones ligeros en el carril de diseño.
 - b.- Por el punto anterior, levantar una vertical hasta cortar la curva que represente el valor de (ITN) no corregido.
 - c.- A partir del punto anterior, trazar una paralela al eje horizontal hasta cortar eje vertical, donde se leerá el (ITN) corregido.
- 9.- Establecer el período de diseño. El Instituto del Asfalto considera para construcciones nuevas, un período de diseño normal de 20 años.
- 10.- Estimar el incremento anual del tránsito. En los E.U. este incremento es del orden del 3 al 5%; en otros países especialmente Europa, este incremento es de más de 5%. En México se estima un incremento anual entre el 5 y 10%.
- 11.- Con el período de diseño y el incremento anual del tránsito en la figura II.2.4. se encuentra un factor de corrección para el (ITN).
- 12.- Multiplicando el número de tránsito inicial (ITN), por el factor de corrección, se obtiene el número de tránsito para diseño (DTN).

$$DTN = ITN \times \text{Factor de corrección.}$$

EVALUACION DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA DEL MATERIAL QUE FORMA LA CAPA SUB-RASANTE

Para evaluar los parámetros de resistencia de material que forma la capa sub-rasante, el Instituto del Asfalto utiliza cualquiera de los siguientes métodos de prueba:

- 1.- Valor soporte de California (CBR).
- 2.- Valor de resistencia (R)
- 3.- Prueba de placa (Módulo de reacción de la capa sub-rasante)

CALCULO DE ESPESORES.

El Instituto del Asfalto para el cálculo de espesores de pavimentos utiliza los nomogramas que se muestran en la figura II.2.5. Los espesores así obtenidos son exclusivamente de concreto asfáltico, es decir, un pavimento en que el concreto asfáltico se apoye directamente sobre la capa sub-rasante o mejoramiento de la sub-rasante.

Los espesores mínimos de concreto asfáltico que el Instituto del Asfalto recomienda de acuerdo al número de tránsito para diseño (DTN) son:

DTN	T_A MINIMO (PULGADAS)
Menor de 10	4
de 10 a 100	5
de 100 a 1000	6
Más de 1000	7

Ahora bien, es posible convertir este espesor total de pavimento de concreto asfáltico a espesor de un pavimento flexible comunmente conocido, formado por carpeta asfáltica, base hidráulica y sub-base.

El procedimiento es el siguiente:

- a.- Al espesor total de concreto asfáltico T_A se le resta el espesor de carpeta T_C , que varía según la clase de tránsito para el cual se proyecta. Son recomendables para los tres tipos de tránsito los siguientes espesores:

TIPO DE TRANSITO	ESPESOR T_C
Ligero	2" (5.08 cm)
Medio	3" (7.68 cm)
Pesado	4" (10.16 cm)

Así tendremos:

$$T_A - T_C = T_{BA}$$

Donde:

T_{BA} = espesor de base de concreto asfáltico

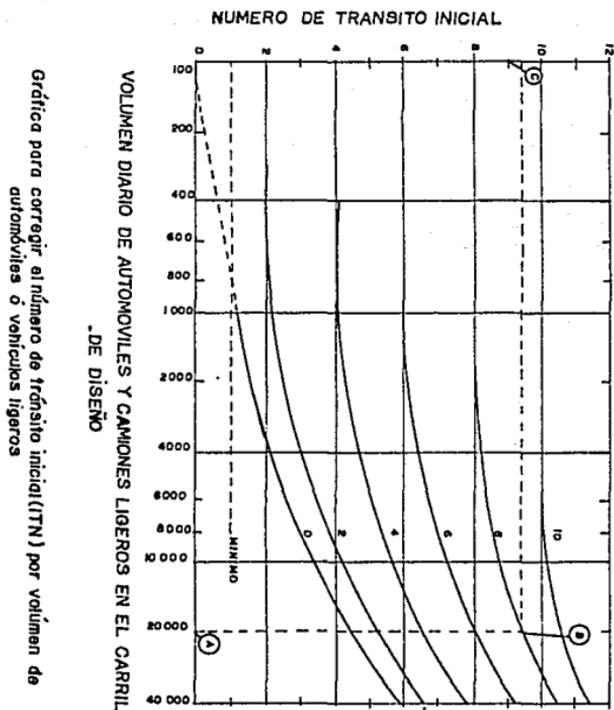


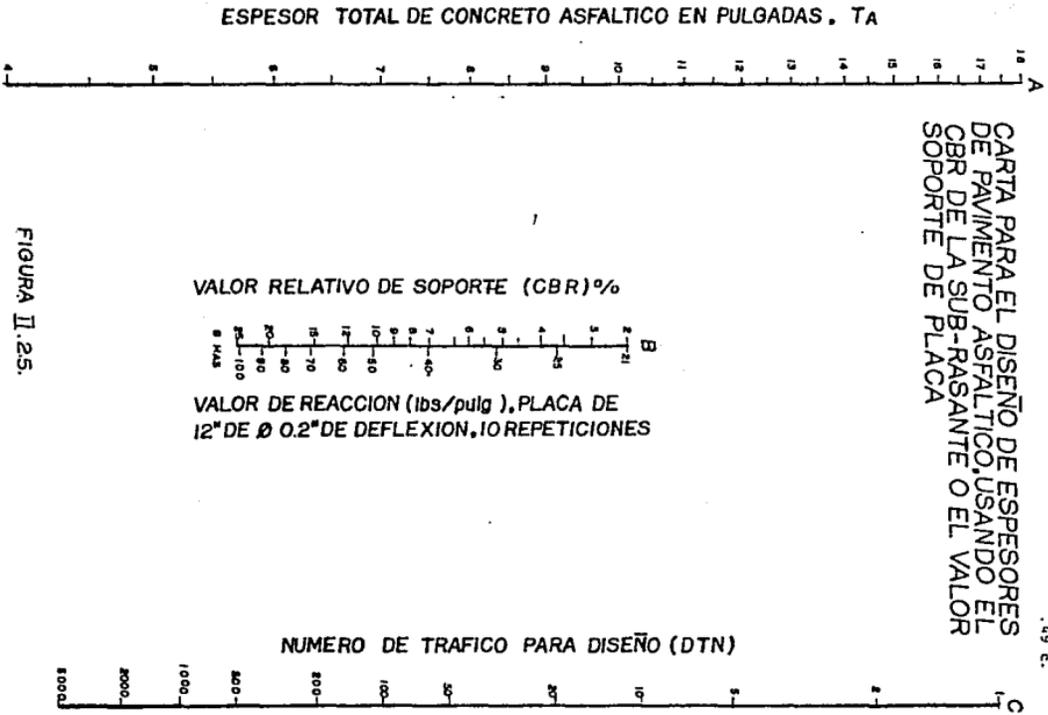
FIGURA II.2.3.

TABLA No. 1

FACTORES DE CORRECCION DEL
NUMERO DE TRAFICO INICIAL (ITN)

PERIODO DE DISEÑO (años)	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL, POR CIENTO					
	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23
6	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10	0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12	0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16	0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18	0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1.00	1.21	1.49	1.84	2.29	2.86
25	1.25	1.60	2.08	2.74	3.66	4.92
30	1.50	2.03	2.80	3.95	5.66	8.22
35	1.75	2.50	3.68	5.57	8.62	13.55

FIGURA II.2.4.



CARTA PARA EL DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO ASFALTICO, USANDO EL CBR DE LA SUB-RASANTE O EL VALOR SOPORTE DE PLACA

FIGURA II.25.

- b.- Para convertir este espesor de base de concreto asfáltico a espesor de base hidráulica y sub-base, se recomienda los siguientes coeficientes de equivalencia:

C A P A	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA (S _r)
Base granular de buena calidad (base hidráulica)	2.0
Base granular de baja calidad (sub-base)	2.7

De esta manera tendremos que:

$$T_{BH} = T_{DA} \times S_r$$

Donde:

$$T_{BH} = \text{espesor de base hidráulica.}$$

Ejemplo del método del Instituto del asfalto para el diseño de espesores en pavimento flexible.

Supongamos una carretera interestatal e interurbana propuesta para 6 carriles de tránsito, la cual tiene un tránsito diario anual estimado de 38,000 vehículos. La tasa de crecimiento anual se supone de 4%. La carga límite permisible en eje simple es de 18,000 libras y el peso promedio aproximado que se espera es de 40,000 libras. El número de camiones pesados en el flujo de tránsito, se estima del 11% respecto al volumen total de tráfico. El número de camiones pesados en el carril de diseño se estima de 40% del número total de camiones pesados. Encuentre el número de tránsito diario para un período de diseño de 20 años.

- 1.- Tránsito diario inicial = 38,000 por día
- 2.- Por ciento de camiones pesados en ambas direcciones A = 11
- 3.- Por ciento de camiones pesados en el carril de diseño, B = 40
- 4.- El número de camiones pesados en el carril de diseño sera:

$$38,000 \times \frac{11}{100} \times \frac{40}{100} = 1,672$$

Este valor corresponde a la línea C de la Carta de Análisis de Tráfico.

- 5.- Utilizando la carta de Análisis de Tráfico, se dibuja una línea recta entre los nomogramas D y C, con los valores de 40,000 y 1,672 respectivamente y

proyectarla hasta cruzar la línea pivote B.

- 6.- Fije el valor de la carga límite permisible de un eje simple en la línea E, este valor es de 18,000 libras, de acuerdo con los datos de proyecto.
- 7.- Dibuje una línea uniendo los puntos de los nomogramas E y B y proyectarla hasta cruzar la línea A.
- 8.- Lea sobre la línea A un número de tráfico inicial (ITN) de 1,400 .
- 9.- Cuando el ITN sea mayor de 10, no es necesario hacer corrección por automóviles y camiones ligeros.
- 10.- Período de diseño = 20 años
- 11.- Tasa de crecimiento anual = 4%
- 12.- Con los valores de los incisos 10 y 11, encuentre el factor de corrección utilizando la tabla No. 1, el cual es de 1.49 en este ejemplo.
- 13.- El número de tránsito diario para un período de diseño de 20 años será:

$$DTN_{20} = 1400 \times 1.49 = 2086, \text{ o sea, al rededor de } 2100$$
- 14.- Supongámos un CBR de la sub-rasante de 10%
- 15.- Utilizando la carta de diseño de espesores de pavimento asfáltico, dibuje una línea con los valores del DTN_{20} y el C.B.R., uniendo los puntos correspondientes en los monogramas C y B de dicha carta, prolongue la línea dibujada hasta cortar el monograma A y lea el espesor de pavimento asfáltico necesario (T_A), en el presente ejemplo será de 8.8 pulgadas.
- 16.- Los factores de conversión de pavimento asfáltico a pavimento hidráulico, son los siguientes:
 - Una pulgada de concreto asfáltico = 2.7 pulgadas de sub-base
 - Una pulgada de concreto asfáltico = 2 pulgadas de base

B.- Método de diseño para pavimentos flexibles desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

En el método destacan los conceptos de comportamiento a fatiga de las diferentes capas que constituyen la carretera, el criterio de sección estructural de resistencia relativa uniforme, y el tratamiento probabilístico para establecer niveles de confianza respecto a la falla.

En el método de diseño se relacionan resistencias críticas en el lugar con tra aplicaciones de carga estándar esperadas en la vida de proyecto de la carretera.

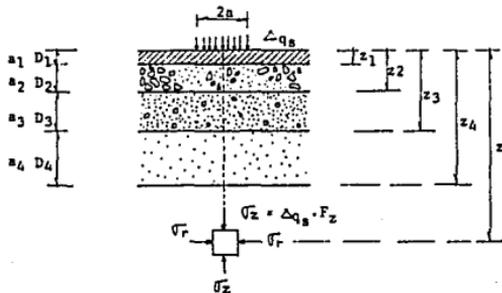
El criterio de diseño está limitado al caso típico de las estructuras empleadas en México, donde el espesor de proyecto de las carpetas de concreto asfáltico rara vez excede de 7.5 cm., y las demás capas de carretera están constituidas por materiales granulares o suelos finos estabilizados mecánicamente por compactación.

Se supone que la carretera tiene una resistencia relativa uniforme en todas las capas de su estructura y llega a la falla funcional cuando ha soportado el número de cargas estándar especificado para la vida de proyecto. Si la resistencia relativa no es uniforme, la capa con resistencia relativa mínima determina la vida de servicio de la carretera.

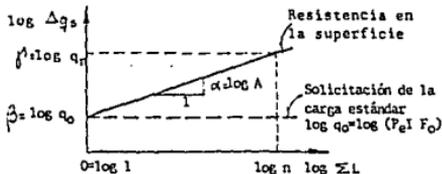
Se emplean los conceptos de capacidad de carga en suelos cohesivos y la teoría de distribución de esfuerzos verticales (σ_z) de Boussinesq deducida para una placa circular flexible de radio a .

Se supone que las carpetas asfálticas son delgadas y que su duración a la falla depende de la resistencia a tensión; en carpetas de riegos se desprecia tal resistencia.

Cada capa (i) tiene un espesor equivalente $a_i D_i$, donde D_i es el espesor real y a_i es un coeficiente de equivalencia estructural que toma en cuenta la capacidad de repartición de carga del material.



La falla por fatiga de una capa en la superficie de la carretera se analiza bajo la hipótesis de que existe una relación Lineal entre el logaritmo de la resistencia ($\text{Log } \Delta q_s$) y el logaritmo del número acumulado de cargas estándar ($\text{Log } \Sigma L$). La carga estándar o eje equivalente se define como la sollicitación de un eje sencillo de 8.2 Ton. y llantas con presión - de contacto de 5.8 Kg/cm².



En la gráfica anterior, I y F_0 son constantes experimentales.

La ordenada al origen β representa el logaritmo de la resistencia de un material débil que falla a la primera aplicación de la carga estándar, que numéricamente es igual al logaritmo de la sollicitación de dicha carga (q_0). Así mismo, la ordenada γ , representa el logaritmo de la resistencia de otro material que falla a n aplicaciones de la carga estándar; también puede interpretarse como el logaritmo de una sollicitación q_n producida por una carga mayor que la estándar, con la cual ocurre la falla a la primera aplicación.

Para un material cualquiera, la relación entre resistencia y número de aplicaciones de carga estándar es:

$$\text{Log } \Delta q_s = \alpha \text{ Log } \Sigma L + \beta \quad (1a)$$

$$\text{o sea: } \Delta q_s = q_0 (A) \text{ Log } \Sigma L \quad (1b)$$

Para una capa a la profundidad Z , el concepto se generaliza multiplicando la resistencia a esa profundidad por el coeficiente de influencia de Boussinesq (F_z):

$$\sigma_z = q_0 (A) \text{ Log } \Sigma L F_z \quad (2)$$

Donde A es una constante que debe determinarse experimentalmente.

El coeficiente de Boussinesq para la profundidad Z , es:

Para carga estándar:

$$F_z = 1 - \frac{z^3}{(15z^2 + z^2)^{3/2}} = 1 - (1 + 225/z^2)^{-3/2} \quad (3)$$

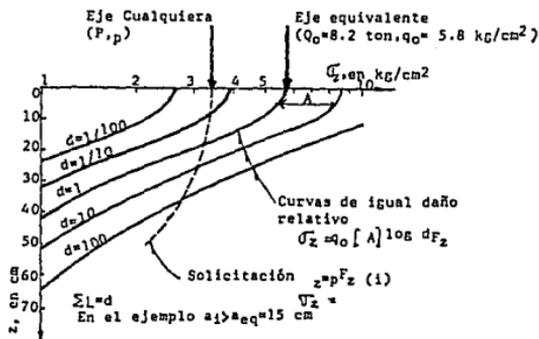
Para una carga i cualquiera de radio a_i :

$$F_z(i) = 1 - \frac{z^3}{(a_i^2 + z^2)^{3/2}} = 1 - (1 + a_i^2/z^2)^{-3/2} \quad (3a)$$

Dado que las carreteras están sujetas a la acción de cargas diferentes en cuanto a magnitud y presión de contacto, es necesario ponderar su efecto -- multiplicando el número de cargas de cada tipo por su correspondiente coeficiente de daño, con objeto de establecer un patrón de referencia en términos de cargas estándar o equivalentes. De acuerdo con el modelo desarrollado, dos cargas producen el mismo daño a la profundidad Z cuando sus esfuerzos verticales a esa profundidad son iguales. Para obtener el coeficiente de daño d_i producido por un eje cualquiera de peso P y presión p con relación al eje equivalente, se aplica la ecuación 2 igualando los esfuerzos -- verticales a la profundidad Z. La expresión que resulta es:

$$\text{Log } d_i = \frac{\text{Log } \sigma_z(i) - \text{Log } \sigma_z(eq)}{\text{Log } A} = \frac{\text{Log } (p F_z(i)) - \text{Log } (5.8 F_z)}{\text{Log } A} \quad (4)$$

Es importante hacer notar que el coeficiente de daño varía con la profundidad, variación que depende de las características del eje considerado. Para ejes sencillos, la carga puede caracterizarse por una placa circular de radio a_i :



$$a_1 = \sqrt{1000 P / 2\pi p} \quad (5a)$$

Para ejes dobles (tándem) o triples, la ecuación anterior es válida para -- las capas superficiales, donde se supone que cada uno de los ejes del conjunto doble o triple actúa independientemente; pero para las capas profundas, donde existe interacción entre los esfuerzos producidos por dichos -- ejes. En este caso, se ha determinado empíricamente que el radio equivalente para los ejes dobles es:

$$a_2 = \sqrt{1111 P / 4\pi p} \quad (5b)$$

Para ejes triples, el radio equivalente para capas profundas se establece tentativamente como:

$$a_3 = \sqrt{1333 P / 6\pi p} \quad (5c)$$

En las ecuaciones 5a, b y c, P es la carga total, en ton. del conjunto de -- ejes (sencillos, dobles o triples), p es la presión de inflado (o de contacto) en Kg/cm², y a₁ el radio, en cm.

Entre las variables que intervienen en un pavimento flexible se pueden mencionar las siguientes:

a) Estructurales. Incluyen características relativas a cada una de las capas que constituyen la carretera, como espesores, resistencia y de formabilidad en las condiciones esperadas de servicio.

b) De carga. Se refieren a los efectos producidos por el tránsito mezclado al circular por la carretera. En este caso son importantes los datos relacionados con el tránsito diario medio anual, tasa de crecimiento anual, ca gas por eje sencillo o múltiple, histograma de distribución del tránsito en la sección transversal del camino, y la vida de proyecto del pavimento antes que la carretera requiera una reconstrucción, en cuyo caso debe definir se de antemano el criterio de falla del pavimento. Para simplificar esta in formación, y poderla presentar en gráficas de diseño, generalmente el tránsito mezclado se transforma en tránsito equivalente en ejes sencillos, mediante factores teóricos o empíricos.

c) De clima y condiciones regionales. Las características reológicas de los materiales que constituyen la carretera dependen de la temperatura, régimen de precipitación, precipitación media anual, nivel frático, geología y topografía de la región.

d) De conservación. Un buen mantenimiento garantiza que las variaciones en las características constructivas de los materiales sean mínimas, no obstante, el costo puede ser excesivo. La ausencia de conservación implica cambios fuertes y normalmente un deterioro acelerado del camino.

e) Comportamiento. Un pavimento adecuado es el que llega a la falla funcional después de haber resistido el tránsito de proyecto a la calificación más alta posible y al menos costo relativo.

La falla funcional ocurre cuando el índice de servicio actual, o la estimación de la calificación media de los usuarios del camino, es menor de 2.5 en la escala de cero a cinco.

f) Criterios de decisión. Incluye numeros factores que van desde la disponibilidad de fondos, costos, contabilidad y economía de la obra, seguridad y calidad de operación, hasta tipos de conservación deseables.

El criterio de diseño permite considerar explícitamente tres variables:

resistencia esperada en el campo (\widehat{VRS}_2), número de aplicaciones de carga producidas por el tránsito (EL) y nivel de confianza

(Qu) deseado por el analista; al fijarse este nivel de confianza, queda definido el valor de \widehat{VRS}_0 .

A continuación se dan algunos lineamientos generales para determinar los parámetros de diseño:

I.- Resistencia.

Según se indicó para bases, sub-bases y terracerías estabilizadas mecánicamente por compactación, la resistencia se mide en términos del valor relativo soporte crítico esperado en el campo durante la vida útil de la carretera (\widehat{VRS}_2). Por tanto, la resistencia es una variable que depende de las características del suelo, condiciones climatológicas, drenaje, procedimientos de construcción y conservación, así como de las variaciones de dichos factores a lo largo de la carretera y de su vida de servicio.

El Valor Relativo Soporte crítico para diseño (\widehat{VRS}_2) se determina mediante:

$$\widehat{VRS}_2 = \overline{VRS} (1 - 0.84 V) \quad (6)$$

donde:

\overline{VRS} = Valor relativo soporte esperado en el campo bajo condiciones medias

V = coeficiente de variación que incluye la incertidumbre debida a los factores mencionados.

0.84 = coeficiente para un nivel de confianza de 80 por ciento en la estimación del \widehat{VRS}_2

Conviene emplear el sistema Koppen-Geiger (figura II.2.1)

para regionalizar la República y estimar adecuadamente los factores de diversidad debido a condiciones climatológicas.

La tabla^a es una adaptación de la que recomienda el TRRL (Transport And - - Road Research Laboratory) para diseño de pavimentos en climas tropicales - cuando no se cuenta con datos de laboratorio. * II.2.A; pag. 55 - e.

Esta tabla es compatible con el criterio de diseño del Instituto de Ingeniería, UNAM, y se presenta exclusivamente con carácter cualitativo para - mostrar tendencias en los valores críticos esperados en subrasantes compactadas al 95% de la prueba próctor estándar.

Para bases estabilizadas mecánicamente por compactación, su coeficiente de equivalencia estructural es igual a 1 ($a_2 = 1$).

Para fines de diseño, el \widehat{VRS}_2 no debe exceder de 120, ya que da espesores equivalentes de carpeta (D_1) muy delgados.

Para fines de diseño estructural del pavimento, el \widehat{VRS}_2 de la sub-base se limita a 20, de manera que esto garantice un espesor equivalente de carpeta más base (Z_2) adecuado.

El coeficiente de equivalencia estructural de las sub-bases estabilizadas-mecánicamente por compactación es igual a 1 ($a_3 = 1$).

Para terracerías el intervalo de resistencias utilizado para diseño de espesores fluctúa entre 2 y 20 por ciento del valor relativo de soporte crítico

Para \widehat{VRS}_2 menores de 2, se sugiere analizar el proyecto tomando en cuenta - aspectos complementarios a los considerados en el modelo teórico, a fin de establecer requisitos que eviten problemas de consolidación, expansión o de flexiones excesivas. En cambio, cuando el valor relativo soporte crítico es mayor de 20, el método utiliza este valor como máximo admisible para calcular el espesor mínimo equivalente de base más carpeta (Z_2).

El coeficiente de equivalencia estructural de las capas de terracerías es - igual a 1 ($a_4 = 1$, donde $i \geq 4$).

Para carpetas asfálticas debido a las altas temperaturas que se presentan - en el país, se recomienda un coeficiente de equivalencia estructural igual - o menor de 2 ($a_1 \leq 2$), ya que el módulo de rigidez de estos materiales disminuye considerablemente a las temperaturas usuales registradas. En carpetas de uno a dos riegos se considera un coeficiente de equivalencia estructural cero ($a_1 = 0$).

II.- Transito.

Está caracterizado por la variable ΣL o número de aplicaciones de carga es - tándar previsto al término del plazo de análisis; para su cálculo se em - plea:

$$\sum L = (TDPA) (C_D) (C_T) \sum_{j=1}^p C_i (W_i \sum d_m + (1-W_i) \sum d_v) \quad (7)$$

Donde:

C_i = proporción de cada tipo de vehículo (i) en la corriente del tránsito (composición)

C_D = Proporción del número de vehículos en el carril de proyecto (distribución direccional). Se recomienda emplear 0.5 para carreteras de dos carriles, 0.4 a 0.5 para cuatro carriles, y 0.3 a 0.4 para seis carriles.

C_T = coeficiente de acumulación del tránsito al cabo de n años de operación, con una tasa de incremento anual de tránsito igual a r:

$$C_T = 365 \sum_{i=1}^n (1+r)^{i-1} = 365 \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad (8)$$

d_m = coeficiente de daño del vehículo tipo i cargado

d_v = coeficiente de daño del vehículo tipo i vacío

TDPA = volúmen de tránsito diario promedio anual en ambas direcciones en el año inicial de operación

W_i = proporción de vehículos cargados por cada tipo de vehículo (i)

$\sum L$ = número de aplicaciones de carga estándar producidas por p tipos de vehículos durante n años

III. Nivel de confianza.

Aunque teóricamente el nivel de confianza puede variar en forma continua -- de 0 a 1, para fines prácticos se presentan gráficas de diseño entre 0.5 y 0.9 únicamente, las cuales cubren todas las opciones necesarias para casos usuales. A mayor nivel de confianza se tendrán mayores espesores y mejor estructura; por ejemplo, cambiar de un nivel de confianza a otro mayor -- puede significar pasar de carpeta de un riego a carpeta de concreto asfáltico.

IV. Normas de calidad y requisitos mínimos.

los materiales y procedimientos de construcción deben cumplir los requisitos mínimos de calidad especificados por la SAHOP.

Por otra parte, las diferentes capas del pavimento deben cumplir con el espesor mínimo fijado por restricciones de tipo constructivo, económico o estructural. El espesor mínimo equivalente de una capa ($a_i D_i$) considerado en este criterio de diseño es el que resulte mayor de:

- 8 cm. para carpeta de concreto asfáltico, 0 10 cm. para cualquier otra capa.
- 15 cm. para capa de base si la carpeta es de riego de sello.
- El espesor correspondiente a un $VRS_2 = 20$, para espesor combinado de base y carpeta (Z_2)
- El que fije el analista de acuerdo con las condiciones particulares de la carretera

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación por diseño gráfico del método de diseño de pavimentos del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

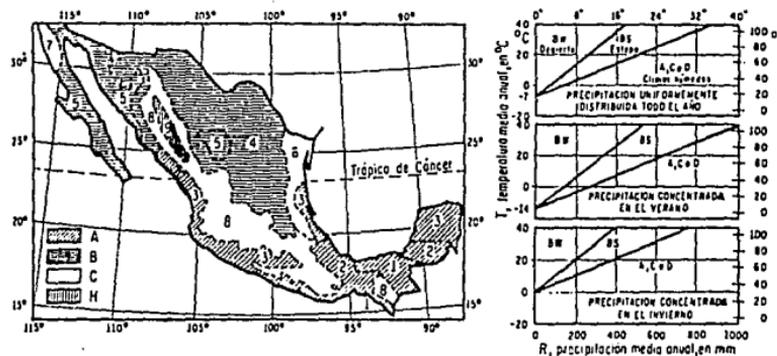
Supóngase que se va a proyectar el pavimento de un tramo de carretera de dos carriles, tipo secundario, a nueve años. La carretera está alojada en terreno plano, por lo que sus características geométricas son aceptables.

En general la altura de los terraplenes no sobrepasa un metro, con media de -- 0.75 m. El nivel freático está, en promedio, a 0.80 m. de la superficie del terreno natural. La región es de clima subtropical y la precipitación pluvial está concentrada en los meses de verano. Durante esta época se forman numerosos charcos y se eleva el nivel freático, lo que indica que las condiciones de drenaje no son del todo buenas.

El suelo es relativamente homogéneo en todo el tramo de carretera bajo análisis. Se trata de un suelo arcilloso (CL), con límite líquido de 45 por ciento e índice plástico de 20 por ciento, la capa de suelo vegetal es de 20 cm., en promedio.

Con base en la tabla II.2A., de manera cualitativa puede obtenerse una primera idea de la resistencia de la capa subrasante. En efecto, si se considera que el nivel frático estará a 1.35 m. de la superficie de las terracerías (0.75 m. de terraplén por consideraciones de diseño geométrico, más 0.80 m de profundidad del nivel freático menos 0.20 m de despalme) y que el material tiene un índice plástico de 20, se piensa que el \widehat{VRS}_2 estará comprendido entre 5 y 7 por ciento. Además, si el nivel freático oscila entre 1 y 1.5 m con relación a la superficie de la capa subrasante, el \widehat{VRS}_2 probable está comprendido entre 5 y 8 por ciento.

Los materiales para el pavimento pueden obtenerse de un banco de basalto y de un arroyo cercano. Según el tratamiento y lugar de explotación, puede disponerse de tres tipos de material: Piedra triturada, grava natural y arena arcillosa.



CLIMAS				
A	TROPICAL	Afa	1	Ecuatorial, tipo amazónica calorosa regular
		Amu	2	Subecuatorial, tipo sudanés, calorosa regular
		AwA	3	Tropical, tipo selvático calorosa húmeda
B	SECO	BSk	4	Esteparia, tipo steppático o tipo sua helado o templado medio, moderada irregular variable
		BWh	5	Desértico, tipo sahariano extrema
C	SUB TROPICAL	Cfa	6	Subfrío mediterráneo con abundancia de lluvias tipo clima caloroso medio, templado, templado
		Csb	7	templado medio, veranos secos y cálidos
		CwH	8	Subtemplado de altura, tipo mezcla templado regular
H	DE MONTAÑA	H	9	De montaña, extremosa tipo alpino

<p>A, C, D - Suficiente calor y precipitación por mes durante el año húmedo y regular</p> <p>B - Climas húmedos, todos los meses las medias mensuales mayores de 10°C</p> <p>W - Climas secos, fríos, pero con un mes mayor de 10°C</p> <p>C - Climas templados con veranos templados y inviernos más fríos entre 10° y 2°C</p> <p>D - Climas de mayor temperatura por mes que los meses mayor de 10°C, del mes más frío mayor de 2°C</p> <p>F - Climas secos, temperatura media del mes más frío mayor de 10°C</p>
<p>5 - Clima estepario*</p> <p>6 - Clima desértico*</p> <p>* Suficiente precipitación media los meses</p> <p>- Clima de selva, a pesar de una estación seca</p> <p>- Tiempo seco en verano</p> <p>- Tiempo seco en invierno</p> <p>* Fríos determinados por gráficos F y H. Suma de los meses con temperatura mayor de 10°C</p>
<p>1 - Temperatura media del mes más cálido mayor de 22°C</p> <p>2 - Temperatura media del mes más cálido, mayor de 22°C, (pero no más de cuatro meses tienen medias mayores de 10°C)</p> <p>3 - Menos de cuatro meses tienen medias mayores de 10°C</p> <p>4 - Igual que 2, pero la media del mes más frío menor de 10°C</p> <p>5 - Seco y frío, temperatura media anual mayor de 10°C</p> <p>6 - Clima de montaña, Estremosa, tipo alpino</p>

Figura II.2.1. Clasificación de climas con base en el sistema Köppen-Geiger

Tabla II.2.A. VALOR RELATIVO DE SOPORTE CRITICO ESTIMADO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS, SOBRE SUBRASANTES COMPACTADAS A 95 POR CIENTO DEL PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO PROCTOR ESTANDAR*

Profundidad del nivel freático con relación al nivel de la capa considerada**, en m	VRS _Z en porcentaje, mínimo probable***					
	Arena no plástica	Arcilla arenosa IP = 10	Arcilla arenosa IP = 20	Arcilla limosa IP = 30	Arcilla activa IP ≥ 40	Limo
0.6	8-10	5-6	4-5	3-4	2-3	1
1.0	25	6-8	5-6	4-5	3-4	2-3
1.5	25	8-10	6-8	5-6	3-4	
2.0	25	8-10	7-9	5-6	3-4	
2.5	25	8-10	8-10	6-8	4-5	
3.0	25	25	8-10	7-9	4-5	
3.5	25	25	8-10	8-10	4-5	
5.0	25	25	8-10	8-10	5-6	
7.0	25	25	8-10	8-10	7-9	

* Adaptación de la tabla 2 de "Road Note 31", tercera edición, Transport and Road Research Laboratory, Her Majesty's Stationery Office, Londres, 1977

** De acuerdo con la variación estacional debe elegirse el nivel freático más alto

*** Esta tabla se incluye únicamente con carácter cualitativo, y se refiere a VRS_Z mínimos. En todos los casos se deben realizar pruebas de campo y ensayos de laboratorio para estimar el valor de diseño. El mínimo probable corresponde al caso de subrasantes colocadas bajo pavimentos impermeables.

Se estima que el tránsito diario medio anual inicial (TDPA) será de 500 vehículos por día y se incrementará en 7.5 por ciento anualmente. La composición probable del tránsito y la proporción de vehículos cargados y vacíos es la siguiente:

Tipo de Vehículo	Composición	Proporción	
		Cargados	Vacíos
Automóviles (A2)	0.339	1.00	0.00
Camiones Ligeros (A'2)	0.144	0.60	0.40
Autobuses (B2)	0.097	0.80	0.20
Camiones de dos ejes (C2)	0.274	0.70	0.30
Camiones de tres ejes (C3)	0.072	0.90	0.10
Tractores con Semiremolques (T2.51)	0.025	0.70	0.30
Tractores con Semiremolques (T2.52)	0.049	0.90	0.10

* Tablas de coeficiente de carga en anexo No. 1.

Para realizar un proyecto adecuado deben considerarse numerosos aspectos relacionados con diseño estructural, conservación, costos y criterios de decisión. En lo que sigue, se presentan algunos de los factores más significativos que intervienen en la realización de un proyecto estructural de una carretera con pavimento flexible:

a) Determinación de las resistencias de los materiales

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, para tener una comprensión adecuada del comportamiento de las terracerías, es conveniente efectuar pruebas de compactación y resistencia en laboratorio cubriendo intervalos amplios. En la figura II.2.2. se muestran los resultados de un ensayo típico. El material empleado para formar cada uno de los especímenes utilizados en las pruebas debe obtenerse de diferentes sondeos en el tramo, para lo cual es necesario que la carretera esté bien zonificada y el material sea homogéneo. Por lo general una prueba completa de este tipo dará mejor información que numerosos ensayos de resistencia en pruebas rutinarias efectuadas a lo largo de la carretera; el trabajo de laboratorio es semejante en ambos casos.

Al analizar los resultados de los ensayos que aparecen en la fig. II.2.2, para estimar la resistencia es necesario delimitar la zona de interés con las compactaciones y humedades que se espera lograr en el campo. Así, si se preven

compactaciones del 94 al 97.5 por ciento respecto a la prueba AASHTO estándar; con humedades de 19 a 21 por ciento, se observa que se obtendrán resistencias de 5 a 17 por ciento. Como la carretera tiene condiciones de drenaje pobres, es muy probable que la humedad de las terracerías sea superior al óptimo. Si se considera, de acuerdo con la experiencia regional, que la humedad de equilibrio será 21 por ciento, se deduce que la resistencia mínima de la capa subrasante puede estimarse en 5 por ciento. Por experiencias en el lugar, se asigna un $\widehat{VRS}_z = 3$ al despalme del cuerpo del terraplén.

Para determinar la resistencia de los materiales que formarán las capas de base y sub-base pueden emplearse criterios similares a los anteriores, o bien -- pruebas de laboratorio donde se estima el VRS medio y su coeficiente de variación. Sin embargo, es necesario considerar un coeficiente de variación (V) que no solamente refleje las variaciones propias del material, sino también la incertidumbre en los cambios del comportamiento real del material, ya sea por degradación, cambios volumétricos, saturación, etc; es decir el coeficiente de variación debe fijarse de acuerdo con las condiciones esperadas en el campo, -- tomando en cuenta la experiencia regional.

En el ejemplo que se desarrolla, las resistencias son:

MATERIAL	TRATAMIENTO	\overline{VRS}_z	V	\widehat{VRS}_z
A. Piedra Triturada	Trituración	140	0.20	116 *
B. Grava Natural	Cribado	100	0.25	80 *
C. Arena Arcillosa	Ninguno	60	0.30	45 *
D. Arcilla subrasante	Mezclado	--	--	5 *
E. Arcilla cuerpo del terraplén y plantilla	Ninguno	--	--	3 **

* Valor crítico de acuerdo con la ec 16: $\widehat{VRS}_z = \overline{VRS} (1-0.84V)$

** Mínimo estimado de acuerdo con gráficas similares a la fig. II.2.2.

Los materiales A y B pueden emplearse en la capa de base, ya que tienen valores relativos de soporte críticos aceptables y cumplen con todas las normas de calidad fijadas por la SAHOP. El empleo de cada uno de esos materiales en una capa determinada, dependerá de factores económicos y/o constructivos.

b) Determinación del tránsito equivalente

El tránsito equivalente o número de cargas estándar acumulado al final del periodo de análisis (ΣL), requiere de la determinación previa de los coeficientes de daño por eje y por vehículo. Como se indicó, estos coeficientes de daño se determinan con la ec 4, pero también pueden obtenerse gráficamente del nomograma 1 siguiendo las instrucciones que en él se indican.

Para determinar ΣL en el problema propuesto, los coeficientes de daño se tomaron de Apéndice A, y se aplicó la ec 17. La tabla II.2.B. resulta conveniente para ordenar los cálculos, como se ilustra en la fig. II.2.3. El octavo renglón de esta tabla es la sumatoria de la ec 17 y en términos generales representa el número medio de ejes equivalentes por cada vehículo que circula por la carretera. En las diferentes zonas del país, sería conveniente relacionar ese número con el tipo de carretera, lo cual simplificaría en gran medida la determinación del tránsito equivalente.

El renglón 10 de la tabla de la fig. II.2.3. representa el coeficiente de acumulación del tránsito, o sea el número por el que se multiplica el tránsito diario inicial para obtener el número de vehículos que pasan por la carretera en n años, considerando una tasa de incremento anual constante. Este coeficiente puede calcularse con la ec 18 o leerse directamente del nomograma 2 como se ilustra en la pag. 55-g.

En el ejemplo propuesto para el diseño de carpetas y bases, se obtiene un tránsito equivalente (ΣL) igual a 1458 578 ejes, suponiendo $z = 0$ cm. Para el diseño de subbase y terracerías, considerando $z = 30$ cm, el tránsito estándar acumulado (ΣL) es de 767 790 ejes.

c) Asignación del nivel de confianza

Como la carretera es secundaria y se estiman buen control de construcción y -- conservación adecuada, puede elegirse un nivel de confianza relativamente bajo por ejemplo, $Q_U = 0.70$.

d) Determinación de espesores

Para establecer los espesores equivalentes (Z_1) mínimo requeridos sobre una capa de material $(i + 1)$ se utiliza el nomograma correspondiente al nivel de confianza (Q_U) elegido. Los argumentos de entrada son ΣL y \widehat{VRS}_2 . (Figura II.2.4.).

El espesor real de una capa cualquiera (D_i) se obtiene dividiendo el espesor - equivalente de dicha capa ($a_i D_i$) entre sus coeficientes de resistencia estructural (a_i).

En el ejemplo figura II.2.5. se utiliza el nomograma de diseño correspondiente al nivel de confianza de 0.70, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Material de la capa	VRS _z	Espesor equivalente Sobre la capa, en cm. BASE (XL - 1.40 x 10)	Sub-base o Terracería (XL - 0.77 x 10)
1) Carpeta			
A) Piedra triturada			
B) Grava natural	80	$z_1 = 11$	--
C) Arena arcillosa	45	--	$z_2 = 18$ *
D) Arcilla subrasante	5	--	$z_3 = 47$
E) arcilla cuerpo del terraplén y planti lla	5	--	$z_4 = 63$

* Para lograr una estructuración adecuada, el criterio de diseño fija un \widehat{VRS}_z - máximo de 20 por ciento para calcular z_2 .

Cuando se utiliza base tipo A, se observa que basta un tratamiento superficial puede optar por colocar una carpeta de concreto asfáltico, si por razones de acabado superficial, costo o conservación así lo juzga conveniente.

Para la base B, con menor valor relativo de soporte, es necesario colocar una carpeta con espesor equivalente mínimo de 11 cm ($z_1 = 11$ cm).

Por razones constructivas, cuando se coloca carpeta de concreto asfáltico se recomienda como mínimo un espesor equivalente de 8 cm (4 cm de espesor real si $a_1 = 2$).

En el instructivo se sugiere emplear carpetas de concreto asfáltico o tratamientos superficiales bien controlados durante todas las etapas de la construcción. Las mezclas hechas en el lugar, frecuentemente presentan baja estabilidad y acabado superficial inadecuado debido a problemas constructivos; cuando

se decida emplear mezclas en el lugar, debe controlarse cuidadosamente el proceso de construcción y asignar un coeficiente de resistencia ($a_1 \leq 2$) compatible con la calidad esperada.

El espesor equivalente de la capa base es igual a la diferencia $z_1 - z_2$. En el ejemplo, la subbase tiene un $\widehat{VRS}_z = 45$, el cual se limita a 20 para fines de diseño, según se indicó. Así, $z_2 = 18$ cm y por tanto, el espesor de base será:

$z_2 - z_1 = 18$ cm, si se utiliza base A y tratamiento superficial

$z_2 - z_1 = 10$ cm, cuando se construye una carpeta de concreto asfáltico de 8 cm de espesor equivalente (4 cm de espesor real si $a_1 = 2$), utilizando base tipo A

$z_2 - z_1 = 7$ cm, si se emplea base B, la cual requiere un espesor equivalente de carpeta igual a 11 cm. Por razones constructivas, el espesor mínimo usual es 10 cm, que corresponde al espesor real, ya que $a_2 = 1$.

Para el caso de base tipo B no es posible utilizar tratamientos superficiales; ya que el \widehat{VRS}_z de la base no resiste el tránsito de proyecto bajo esas condiciones.

Para la capa de subbase el espesor equivalente es igual a la diferencia $z_3 - z_2$ (fig 7); por tanto, cuando se emplea base A, el espesor de subbase es $z_3 - z_2 = 47 - 18 = 29$ cm; para el caso de base tipo B, $z_3 - z_2 = 47 - 21 = 26$ cm.

De acuerdo con lo anterior, el proyectista puede analizar alternativas, como las que aparecen a continuación; y elegir la más adecuada con base en las diferentes variables de diseño.

	Espesores reales, en cm					
Diseño	1	2	3	4	5	6*
Carpeta	0	4**	6**	0	4**	0
Base	18A	10A	10B	47A	39A	18B
Subbase	29C	29C	25C	--	--	29C
Subrasante	16D	16D	16D	16D	16D	16D

* Diseño no factible

** Coeficiente de resistencia estructural del concreto asfáltico $a_1 = 2$

NOTA: Los números indican espesores reales de cada una de las capas; las letras, el tipo de material

El material B no tiene suficiente resistencia para emplearse con carpetas de riegos, sino solo como base, siempre que se use carpeta de concreto asfáltico.

El espesor de la capa subrasante es de 16 cm, con lo que se logra la duración requerida, sin embargo, es práctica común diseñar la capa subrasante por especificaciones construyéndola de 30 cm como mínimo. Teóricamente, esto no agrega ninguna resistencia al pavimento de acuerdo con el criterio de resistencia relativa uniforme, lo único que se logra es transferir la capa crítica de la terracería a otras capas superiores, lo cual puede resultar ventajoso en el caso de terracerías de mala calidad, donde la incertidumbre es alta.

Para ilustrar lo anterior, puede analizarse la duración a la falla del diseño-2, en el cual se colocó una carpeta de 4 cm de concreto asfáltico (8 cm equivalentes) para mejorar la calidad de rodamiento y reducir la conservación rutinaria, aumentando el espesor de la capa subrasante de 16 a 30 cm. Utilizando el nomograma de la fig. II.2.6., se tiene:

Capa	Espesor equivalente sobre la capa, en cm	\widehat{VRS}_z	$\bar{E}L^*$
Base A	8	116	6.7×10^6
Subbase	18	20	0.7×10^6
Subrasante	47	5	0.7×10^6
Terracería	77	3	6.8×10^6

* Nivel de confianza, $Q_{ij} = 0.7$

Aquí las capas críticas son la subbase y la subrasante, con duración probable del orden de 0.7×10^6 ejes estándar. La capa de base que no requiere carpeta para soportar el tránsito de proyecto ($E_L = 1.5 \times 10^6$) resiste un tránsito de 6.7×10^6 ejes equivalentes cuando se incluye carpeta con 4 cm de espesor real de la misma manera, la terracería al incrementarse el espesor requerido para la capa subrasante, resiste 6.8×10^6 ejes estándar en vez de los ejes equivalentes de proyecto que son 0.8×10^6 , aproximadamente.

Si el nivel de confianza se incrementa, fijando $Q_U = 0.9$ y las demás condiciones iguales a las del ejemplo anterior, el diseño resultante corresponde a - - (fig. II.2.7.)

BASE A $z_1 = 6 \text{ cm}; 8 \text{ cm, mínimo constructivo}$

BASE B $z_1 = 15 \text{ cm}$

CARPETA

MAS BASE $z_2 = 23 \text{ cm, mínimo estructural}$

$z_3 = 55 \text{ cm}$

$z_4 = 73 \text{ cm}$

Los espesores anteriores son equivalentes; para obtener los reales, deben dividirse entre el coeficiente de resistencia estructural (e_1).

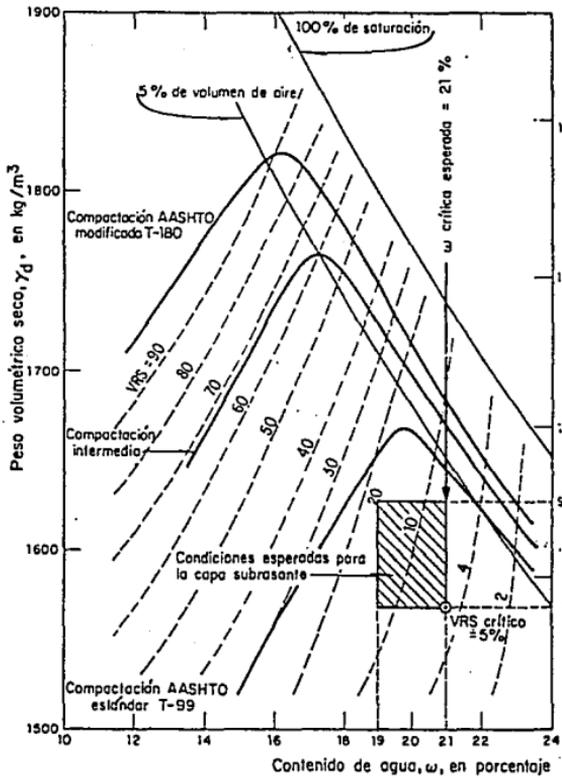
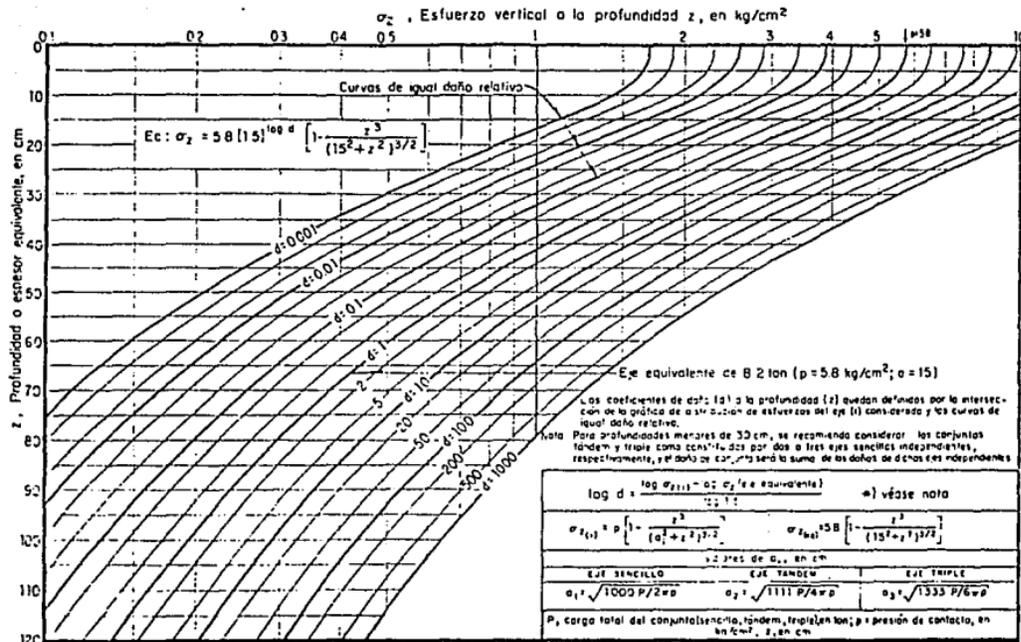
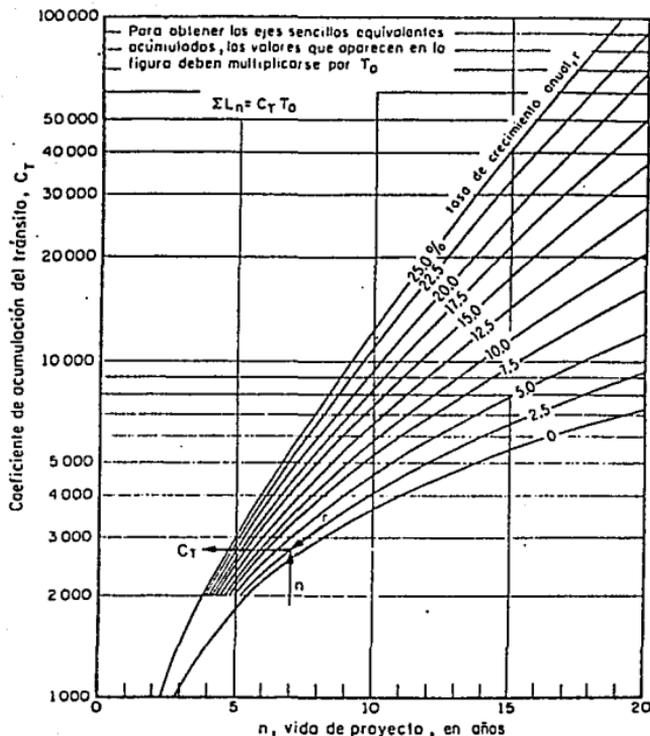


Figura II.2.2. Ejemplo: relaciones peso volumétrico seco - contenido de agua - VRS, para un suelo arcilloso

Figura II.2.2. Ejemplo: relaciones peso volumétrico seco - contenido de agua - VRS, para un suelo arcilloso



Nomograma 1'. Coeficientes de daño por fatiga



$$C_T = 365 \sum_{j=1}^n (1+r)^{j-1} = 365 \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$$

C_T	coeficiente de acumulación del tránsito, para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r
T_0	tránsito equivalente medio diario en el carril de proyecto, durante el primer año de servicio, ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton
ΣL_n	tránsito acumulado al cabo de n años de servicio, ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton

Tabla II.2.B Gráfica para estimar el coeficiente de acumulación del tránsito (Nomograma 2)

TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION DEL TRANSITO (1)	COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DE VEHICULOS CARGADOS O VACIOS (2)	COMPOSICION DEL TRANSITO CARGADOS O VACIOS (3) = (1) x (2)	COEFICIENTES DE DAÑO		NUMERO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 Ton	
				CARPETA Y BASE Z ¹ 0	SUB-BASE Y TERRACERIAS Z ² 30	CARPETA Y BASE (6) = (3) x (4)	SUB-BASE Y TERRACERIAS (7) = (3) x (5)
A2	0.339	CARGADOS 1.0	0.339	0.004	0.000	0.001	0.000
		VACIOS 0.0	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
A'2	0.144	CARGADOS 0.6	0.086	0.536	0.023	0.046	0.002
		VACIOS 0.1	0.058	0.536	0.000	0.031	0.000
B2	0.097	CARGADOS 0.8	0.078	2.000	1.589	0.156	0.124
		VACIOS 0.2	0.019	2.000	0.360	0.038	0.007
C2	0.274	CARGADOS 0.7	0.192	2.000	1.589	0.384	0.305
		VACIOS 0.3	0.082	2.000	0.018	0.164	0.001
C3	0.072	CARGADOS 0.9	0.065	3.000	1.178	0.195	0.077
		VACIOS 0.1	0.007	3.000	0.030	0.021	0.000
T2-S1	0.025	CARGADOS 0.7	0.018	3.000	3.072	0.054	0.055
		VACIOS 0.3	0.007	3.000	0.027	0.021	0.000
T2-S2	0.049	CARGADOS 0.9	0.044	4.000	2.661	0.176	0.117
		VACIOS 0.1	0.005	4.000	0.033	0.020	0.000
SUMAS	1.000	7.0	1.000			1.307	0.688
COEFICIENTE DE ACUMULACION DEL TRANSITO, $C_T = \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] 365$				EJES EQUIVALENTES PARA TRANSITO UNITARIO (8)			
n = AÑOS DE SERVICIO = 9				TOPA INICIAL EN EL CARRIL DE PROYECTO (9)		250	250
T = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANSITO = 7.5%				C _T (10)		4463.89	4463.89
TDPA = TRANSITO DIARIO MEDIO ANUAL = 500 CD CARRIL PROYECTO = 0.5				EL (11) = (8) x (9) x (10)		1458578	767790

Figura II.2.3. Ejemplo: cálculo del tránsito equivalente acumulado (EL)

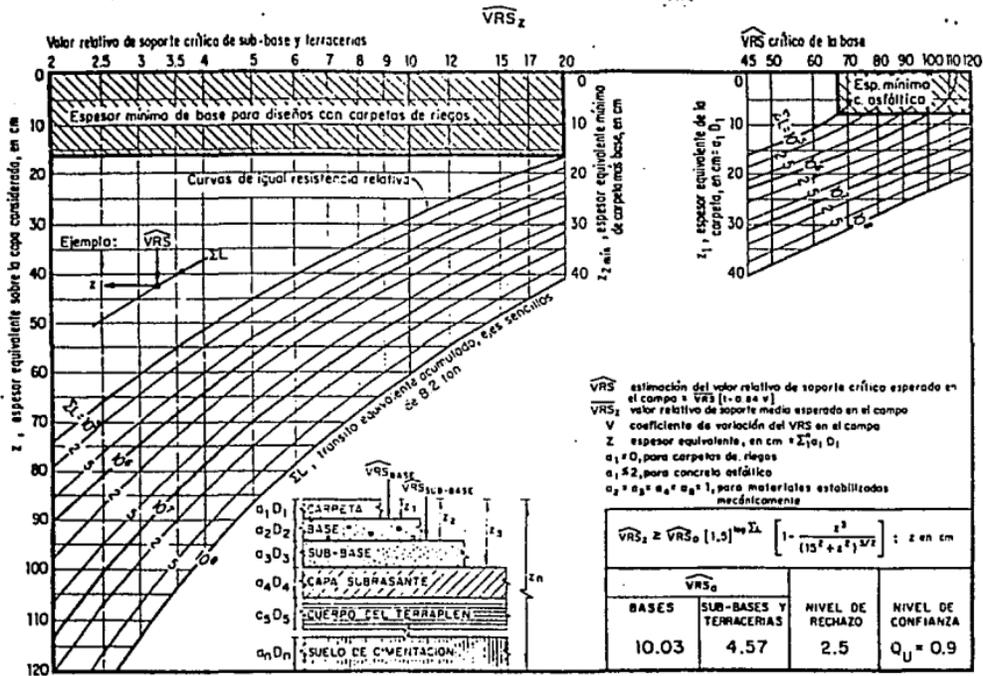


Figura II.2.4. Guía para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

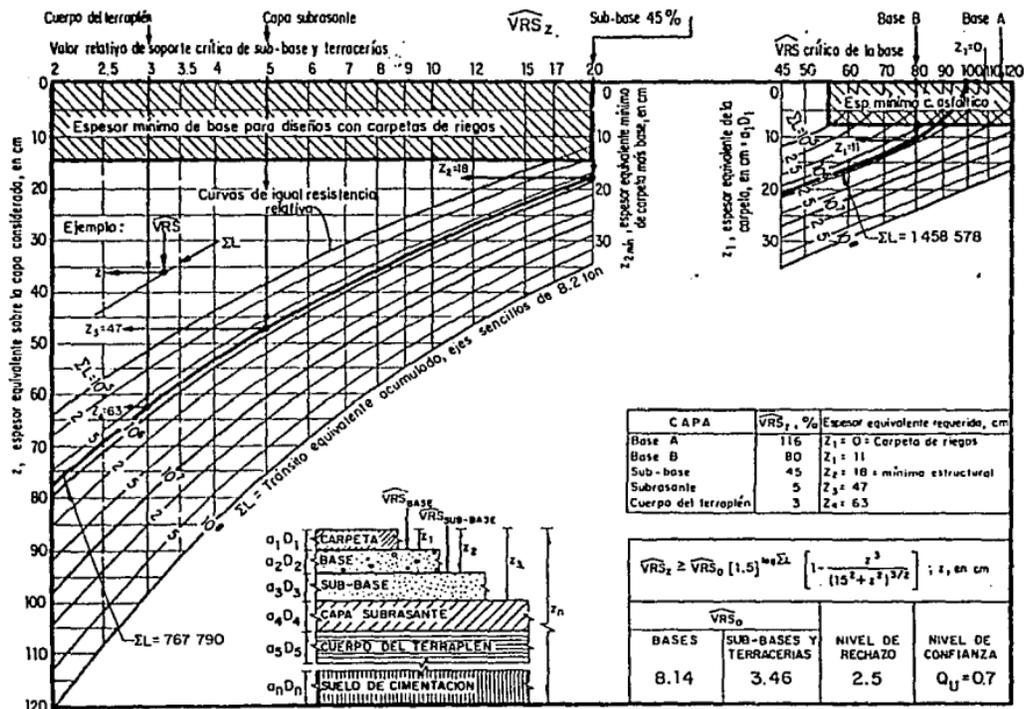


Figura II.2.5. Ejemplo: gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

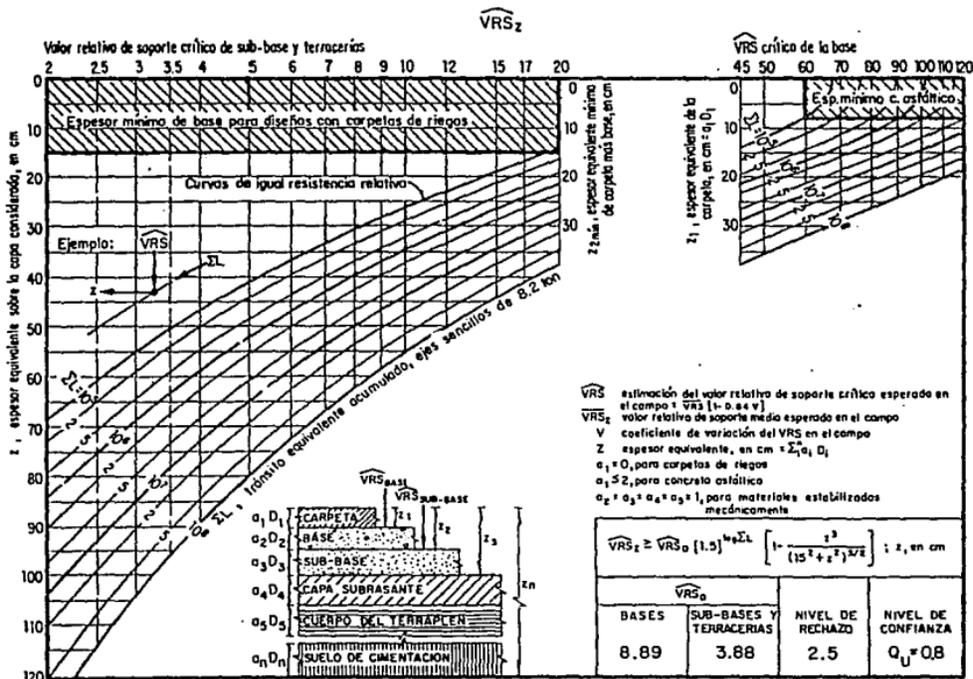


Figura II.2.6. Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

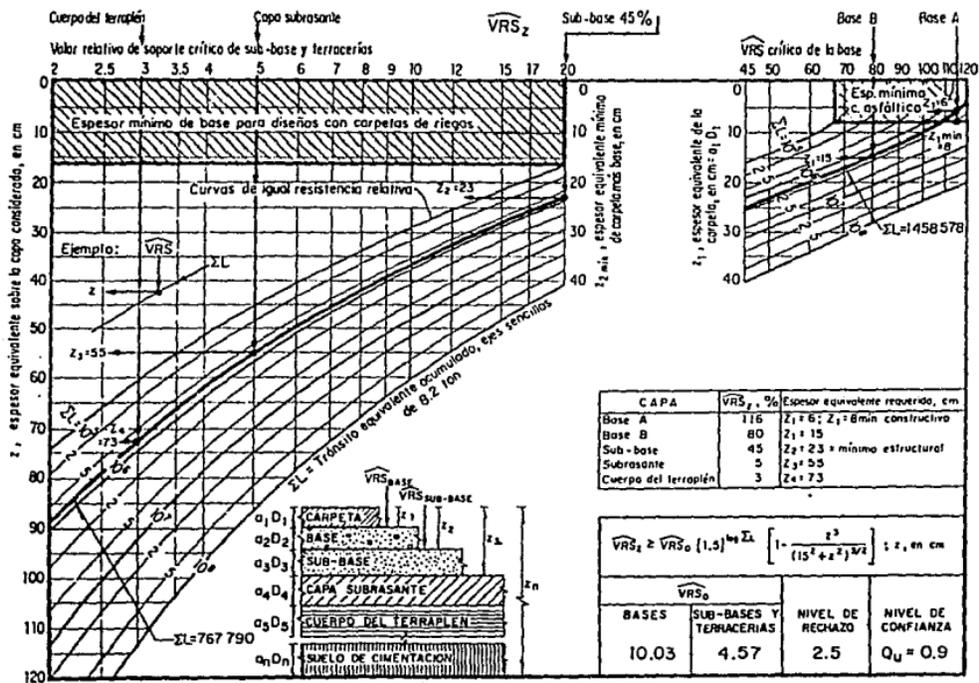


Figura II.2.7. Ejemplo: gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

(*) ANEXO No. 1



A2 Automóvil

Camino A,B,C	Conjunto	Peso, en ton		p , kg/cm ²	$+d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima				d_v = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
		1 ^a	1,0		0,8	2,0	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
2 ^a	1,0	0,8	2,0	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	
Σ	2,0	1,6		0,004	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- * EJE SENCILLO
- ** EJE TANDEM
- *** EJE TRIPLE



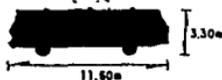
A'2

Camión ligero, con capacidad de carga hasta de 3 ton

Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm ²	+ d _m = Coeficiente daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío			
	+Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
	1*	1.7		1.3	4.6	0.268	0.003	0.000	0.000	0.268	0.001
2*	3.8	1.2	4.6	0.268	0.061	0.023	0.015	0.268	0.001	0.000	0.000
Σ	5.5	2.5		0.536	0.064	0.023	0.015	0.536	0.002	0.000	0.000

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- * EJE SENCILLO
- ** EJE TANDEM
- *** EJE TRIPLE

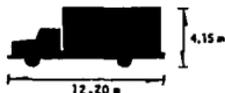


B2 Autobús de dos ejes

Camino	Conjunto	Peso, en ton		P_0 , kg/cm ²	d_m = Coeficiente daño bajo carga máxima				d_v = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
					Σ							
Camino A	1 ^a	5,5	3,5	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,079	0,001	0,010
	2 ^a	10,0	7,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,679	0,501	0,433
	Σ	15,5	10,5		2,000	1,890	2,457	2,939	2,000	0,757	0,502	0,443
Camino B	1 ^a	5,0	3,5	5,8	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,079	0,001	0,010
	2 ^a	9,0	6,5	5,8	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,558	0,359	0,292
	Σ	14,0	10,0		2,000	1,495	1,589	1,701	2,000	0,637	0,360	0,302
Camino C	1 ^a	4,0	3,0	5,8	1,000	0,126	0,002	0,021	1,000	0,044	0,009	0,004
	2 ^a	8,0	6,0	5,8	1,000	0,944	0,300	0,878	1,000	0,448	0,249	0,190
	Σ	12,0	9,0		2,000	1,010	0,902	0,899	2,000	0,492	0,258	0,194

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- * EJE SENCILLO
- ** EJE TANDEM
- *** EJE TRIPLE

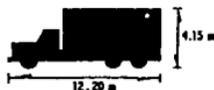


C2 Camión de dos ejes

	Conjunto	Peso, en ton			+ d_m = Coeficiente daño bajo carga máxima				d_v = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío	$p, \text{kg/cm}^2$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
Camino A	1 ^a	5,5	3,5	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,079	0,019	0,010
	2 ^a	10,0	3,0	5,0	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,044	0,009	0,004
	Σ	15,5	6,5		2,000	1,890	2,457	2,939	2,000	0,123	0,028	0,014
Camino B	1 ^a	5,0	3,0	5,8	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,044	0,009	0,004
	2 ^a	9,0	3,0	5,8	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,044	0,009	0,004
	Σ	14,0	6,0		2,000	1,495	1,589	1,701	2,000	0,088	0,018	0,008
Camino C	1 ^a	4,0	2,5	5,8	1,000	0,126	0,036	0,021	1,000	0,022	0,003	0,002
	2 ^a	8,0	2,5	5,8	1,000	0,944	0,900	0,878	1,000	0,022	0,003	0,002
	Σ	12,0	5,0		2,000	1,070	0,936	0,899	2,000	0,044	0,006	0,004

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- * EJE SENCILLO
- ** EJE TANDEM
- *** EJE TRIPLE

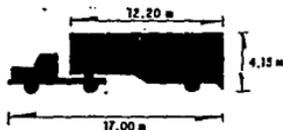


C3 Camión de tres ejes

Camión	Conjunto	Peso, en ton			$p, \text{kg/cm}^2$	$+d_m =$ Coeficiente daño bajo carga máxima				$d_v =$ Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima		Vacío		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
Camión A	1*	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021	
	2**	10,0	4,5	5,8	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,028	0,003	0,002	
	Σ	23,5	8,5		3,000	2,817	2,457	2,940	3,000	0,154	0,039	0,023	
Camión B	1*	5,0	3,8	5,8	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,106	0,028	0,016	
	2**	15,0	4,2	5,8	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,021	0,002	0,001	
	Σ	20,0	8,0		3,000	1,876	1,178	1,160	3,000	0,127	0,030	0,017	
Camión C	1*	4,0	3,5	5,4	0,666	0,107	0,034	0,021	0,666	0,068	0,018	0,010	
	2**	14,0	4,0	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,015	0,002	0,001	
									1,999	0,083	0,020	0,011	

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- * EJE SENCILLO
- ** EJE TANDEM
- *** EJE TRIPLE



T2-S1

Tractor de dos ejes con
semirremolque de un eje

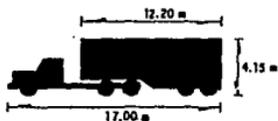
Camino	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm ²	+ d _m = Coeficiente daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
Camino A	1*	5,5	3,2	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,057	0,012	0,006
	2*	10,0	3,4	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,071	0,016	0,009
	3*	10,0	3,4	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,071	0,016	0,009
	Σ	25,5	10,0		3,000	3,431	4,747	5,759	3,000	0,199	0,044	0,024
Camino B	1*	5,0	3,0	5,8	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,044	0,009	0,004
	2*	9,0	3,0	5,8	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,044	0,009	0,004
	3*	9,0	3,0	5,8	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,044	0,009	0,004
	Σ	23,0	9,0		3,000	2,729	3,072	3,331	3,000	0,132	0,027	0,012

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

* EJE SENCILLO

** EJE TANDEM

*** EJE TRIPLE



T3 - S2

Tractor de tres ejes con
semirremolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton		$p, \text{kg/cm}^2$	$+d_m =$ Coeficiente daño bajo carga máxima				$d_v =$ Coeficiente de daño vacío				
	+Carga máxima	Vacío		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	
Camino A	1*	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
	2**	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
	3**	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
	Σ	41.50	12.0		5.000	5.285	4.747	5.761	5.000	0.160	0.040	0.023
Camino B	1*	5.0	3.5	5.8	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.079	0.019	0.010
	2**	15.0	4.0	5.8	2.000	1.615	1.072	1.089	2.000	0.017	0.002	0.001
	3**	15.0	4.0	5.8	2.000	1.615	1.072	1.089	2.000	0.017	0.002	0.001
	Σ	35.0	11.5		5.000	3.491	2.250	2.249	5.000	0.113	0.023	0.012

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- * EJE SENCILLO
- ** EJE TANDEM
- *** EJE TRIPLE

SEGUNDA PARTE

Capítulo I.- GENERALIDADES.

A medida que transcurre el tiempo, se va reduciendo el poder económico de construcción de carreteras debido a procesos inflacionarios, escasez de energéticos, carencia de fondos, lapsos relativamente cortos de duración de las administraciones, efectos en el medio ambiente y características de seguridad, de tal manera que la velocidad de desarrollo de daños en nuestras carreteras es mucho más rápido que la reparación de las mismas.

En la labor de conservación de carreteras, el factor más importante y trascendental es el mantenimiento oportuno de la carpeta para que esté en buenas condiciones de funcionalidad y estructurales, y que además preste el servicio referido, de no efectuar esto a tiempo se pueden dañar también las capas inferiores, a tal grado que en algunos casos pueden requerirse reconstrucciones totales, no sirviendo prácticamente de nada los paleativos que comunmente se aplican, cuyo efecto prácticamente desaparece.

Desde hace más de cincuenta años, tradicionalmente se ha dado mantenimiento a los pavimentos mediante bacheo, sellado de grietas, riegos y tratamientos de diferentes tipos y en muchos casos construcciones de sobre-carpetas.

Sin embargo, el procedimiento de encarpetao presenta serias desventajas, entre las que se podrían citar las siguientes:

- a.- Se coloca la sobre-carpeta sobre una superficie irregular, lo que afecta tanto a los espesores como a la uniformidad en la compactación.
- b.- En muchos casos se crean problemas muy serios, no se diga en ciudades; esos problemas son de drenaje, bombeo, escalonamiento en los acotamientos, elevación de la resante, el muy serio problema de la reducción del galibo en los puentes, peso adicional sobre suelos blandos, dificultad en la limpieza y operación en las calles de las ciudades, etc.
- c.- Problemas de adherencia o liga entre carpetas debido a la frecuencia de impurezas, aceites, arcilla, hule- etc; factores estos, que influyen en que se manifiesten desprendimientos o corrimientos en la carpeta, situación que es aún más crítica en las zonas de frenaje y arranque.

Tomando en cuenta lo anterior y, como la mayor parte de los fondos para la conservación de las carreteras se aplica a la reparación de la superficie del pavimento, se han hecho considerables esfuerzos en el desarrollo de técnicas que

económicamente y en forma práctica, resuelvan el problema.

Debido a lo antes mencionado, se puede pensar que cuando se vaya a conservar un pavimento se debe primero verificar cuáles son las causas y principios que están provocando la falla o la destrucción del mismo, para posteriormente aplicar un pavimento que realmente venga a corregir, no únicamente aplicar un procedimiento que sólo sea una solución temporal.

Es decir, si la falla es del terreno de cimentación por falta de capacidad de carga, debido a un incremento en el contenido de agua, pensar en una solución de sub-drenaje o preconsolidación, etc. y no colocar una sobre-carpeta ya que rápidamente sufriría deformaciones permanentes.

Si la falla es estructural, o sea, deficiencia en el espesor del pavimento debido a un incremento en el volumen de tránsito, quizá la solución más adecuada sea reforzar por medio de sobre-carpeta.

Si la falla es únicamente de la carpeta debido a la falta de adherencia del material con el asfalto, superficie lisa, falta de asfalto en la mezcla, agrietamiento de la misma debido a envejecimiento normal o prematuro en el asfalto, puede pensarse en otro procedimiento de conservación que mejore el comportamiento mecánico de la carpeta e incremente su nivel de servicio, con la utilización de los mismos materiales ya existentes en la carpeta, como es el procedimiento de reciclado.

Capítulo II.- NECESIDAD DE REJUVENECER EL ASFALTO.-

El asfalto es un material plástico, orgánico en origen, flexible y de aplicación versátil, pero sufre cambios con el tiempo. Conocemos estos cambios como envejecimiento, un fenómeno químico manifestado por un cambio en sus propiedades físicas. Las señales son: desprendimientos, desgranamientos, aparición de aridez y grietas de contracción. Estos avisos graduales en el asfalto, de deterioración inminente, son claros y constituyen una ventaja definitiva sobre otros materiales de pavimentación. Otra ventaja del asfalto es la rápida y económica manera de corregir el deterioro incipiente en su funcionamiento. La corrección lograda con la aplicación de un producto rejuvenecedor, no es solamente evitar deficiencias obvias en su comportamiento, sino también una mejora en calidad.

1.- Naturaleza del envejecimiento.

El envejecimiento es un proceso gradual en las mezclas asfálticas para pavimentación, con una velocidad de evolución que depende en forma muy importante de la composición

química del asfalto original y del medio ambiente del sitio de aplicación.

En el caso de mezclas hechas en planta y en caliente, el envejecimiento empieza desde antes de la construcción del pavimento, ya que durante la operación de mezclado, el asfalto se expone en delgadas películas a altas temperaturas, el resultado es una pérdida significativa en el período en la vida potencial de servicio de un asfalto desde antes de llegar al sitio de su aplicación.

La realidad es que eventualmente el asfalto alcanza un estado quebradizo, caracterizado por desprendimientos y desgranamientos en la superficie o grietas de contracción, grietas de fractura, descarnamientos, o combinaciones de estos efectos, repercutiendo en el deterioro eventual del pavimento. Es por lo tanto, una ventaja para el usuario de asfaltos, tener a su disposición los medios para retardar y hacer reversible el proceso de envejecimiento.

2.- Tipos de fallas más comunes y su reparación.

Podría decirse en términos generales que los tipos de falla más comunes son:

- Agrietamiento
- Distorsiones
- Desprendimientos o desintegraciones
- Superficie lisa

Son muy numerosas las diferentes causas que pueden originar estos tipos de fallas, pudiendo deberse a deficiencias en el diseño (presencia de condiciones no previstas en el diseño, como, drenaje, tránsito, clima, etc.), defectos en la construcción, control de calidad inadecuado o mala calidad de los materiales.

a.- Agrietamiento: el agrietamiento puede deberse a defectos en la composición de la carpeta asfáltica, como podrían ser el endurecimiento del asfalto, temperaturas bajas y baja ductibilidad del residuo. También se puede deber a que las cargas aplicadas por el tránsito y sus repeticiones sean superiores a las contempladas en el diseño, lo que obviamente produce la fatiga de los materiales.

Pudiera ser que el mismo diseño no sea adecuado para manipular la información existente, y los pavimentos diseñados en tal forma quedaran desde su nacimiento condenados a sufrir este tipo de fallas.

El agrietamiento también puede ocurrir por deformaciones elásticas en suelos resilientes que constituyen las capas del pavimento o por deformaciones plásticas en las capas inferiores de la carpeta, o aún fallas por falta de capacidad de carga en alguna o algunas de las capas que constituyen el pavimento.

La forma de reparar este tipo de fallas ha sido perfectamente estandarizada y varfa, desde el simple sellado de las fisuras, hasta el bacheo en caja en zonas muy dañadas y, la posterior construcción de una sobre-carpeta en las zonas menos dañadas en un pavimento muy agrietado.

El aspecto del agrietamiento en carpetas asfálticas ha sido profusamente estudiado proponiéndose lo siguiente para evitarlo:

Cuidar el contenido de finos en los materiales.

Utilizar asfaltos blandos, poco susceptibles al envejecimiento y a cambios de temperatura.

Contenidos adecuados de asfalto.

Capas subyacentes estables con altos valores de soporte y resistencia al desgaste.

Diseñar en forma especial para climas severos.

Diseñar para probables incrementos en el tránsito.

Realizar la construcción en épocas adecuadas y con personal experimentado.

Cuidar el fraguado en asfaltos rebajados, la aplicación de calor en cementos asfálticos y el rompimiento en los emulsiones.

Un buen control de calidad representativo y efectivo.

b.- Distorsiones

Son este tipo de daños, por desgracia muy frecuente, que generalmente se debe a cargas y repeticiones no previstas en el diseño, contenidos elevados de asfaltos y/o solventes, mala calidad de las capas que subyacen a la carpeta debido a problemas de compactación, exceso de finos, plasticidad de los suelos, etc. También se puede deber este problema, a defectos de construcción como podría ser una nivelación inadecuada, construcción en época lluviosa, personal inexperto, limpieza inadecuada entre las capas sucesivas y deficiencia en el control. El tránsito también puede ocasionar este daño debido a fugas de combustible o por frenado o arranque bruscos. Los asfaltos suaves, agregados redondeados y el diseño inadecuado de la mezcla también pueden colaborar a este tipo de daños.

Se ha recomendado tomar las siguientes providencias para evitar este tipo de daños:

- Usar agregados limpios y triturados en las capas superiores
- Emplear asfaltos duros en la carpeta
- Contenido óptimo en cuanto a estabilidad
- Capas subyacentes estables y de buena calidad
- Tomar en cuenta en el diseño las altas temperaturas que puede alcanzar la carpeta, así como el probable incremento en el tránsito, o bien la circulación eventual de cargas muy pesadas.
- Construir en épocas adecuadas empleando personal eficiente y experimentado, que cuide mucho de la compactación, nivelación, contenidos de agua, etc..
- Buen control en la construcción

Para la reparación de este tipo de fallas es común renivelar y colocar sobre-carpetas, llegándose algunas veces a la remoción de la carpeta inestable y su posterior reposición. Estas prácticas, sin embargo, pueden resultar inadecuadas si la falla es de tipo estructural, y no se toman providencias para eliminar el origen de la falla (tránsito, drenaje, recompactación, consolidación).

c.- DESPRENDIMIENTOS:

Este tipo de fallas también común, aunque no tan molesto para el usuario como el caso de las deformaciones, se debe también a un gran número de causas entre las que se podrían citar:

- Construcción y control inapropiados.
- Contenidos deficientes de asfalto.
- Humedad excesiva de las capas subyacentes.
- Carpeta muy delgada.
- Tránsito muy pesado o permitir su circulación durante el sellado en períodos inadecuados.
- Falta de sello o su aplicación tardía.
- Asfaltos muy duros.
- Agregados inapropiados.
- Presencia de agua en la mezcla.
- Factores climatológicos.
- Mal diseño de la mezcla.

Entre las recomendaciones que generalmente se dan para no incurrir en este tipo de daños se encuentran las siguientes:

- Agregados limpios y con buena adherencia, duros, de baja absorción y equidimensionales aunque con la granulometría adecuada.
- Asfaltos con alto poder adhesivo y duros.
- Diseño adecuado de la mezcla o del tratamiento superficial.
- Construir en época adecuada, con personal experimentado y cuidar mucho la compactación de la carpeta, así como los riegos que la unen a la base.
- Realizar un buen control de calidad.

Se tienen algunas recomendaciones adicionales referentes a los diferentes productos empleados en la mezcla asfáltica.

La reparación de este tipo de daños puede variar, desde el bacheo y construcción de carpetas hasta la simple aplicación de riego de sellos, con o sin agregados, dependiendo de la magnitud del daño.

d.- SUPERFICIES LISAS:

Las superficies resbalosas es uno de los problemas más serios en pavimentos en lo que concierne a la pérdida de vidas e inmuebles en carreteras debido a accidentes.

Este daño puede deberse en carpetas a:

- Pulimiento de los agregados.
- Llorado del asfalto.
- Desprendimiento de los agregados.
- Mal drenaje superficial.

Resulta un tanto obvia la manera de evitar este tipo de fallas, pues la solución está simplemente en: Realizar un diseño correcto, cuidar el proceso de construcción y emplear agregados duros y afines al asfalto.

La reparación que generalmente se recomienda consiste en:

- Aplicar arena caliente en pavimentos llorados.
- Ranurar la carpeta.
- Construir una sobre-carpeta empleando agregados duros y con suficiente asfalto para que no se presente su oxidación, ni se desprenda el agregado, pero en tal cantidad que no sea susceptible de sufrir el efecto conocido como llorado.

Posteriormente se verá el proceso de corte de la carpeta, el cual ha demostrado ser uno de los mejores y más efectivos medios de evitar el derrapamiento.

3.- COMPOSICION DEL ASFALTO Y CAUSA DE SU ENVEJECIMIENTO:

El asfalto es el residuo de la destilación del petróleo, cuya composición química según el manual de Reclamite de la Colden Bear es la siguiente:

a.- Asfaltenos, insolubles en solventes parafínicos de hervor bajo.

b.- Maltenos, solubles en pentano.

Los maltenos consisten en sub-fracciones que son aceitosos o resinos y en un grado reactivo químicamente. En el análisis Rostler se determinan 4 fracciones principales de los maltenos, que son:

- BASES DE NITROGENO.....N
- ACIDAFINES PRIMARIOS.....A₁
- ACIDAFINES SECUNDARIOS.....A₂
- PARAFINAS.....P

Como material de pavimentación, el asfalto es usado extensivamente en carreteras, aeropuertos, calles, estacionamientos, etc., principalmente por su manejabilidad, duración y economía.

Su desventaja principal es el envejecimiento que puede ser normal o prematuro; dicho envejecimiento y oxidación es un proceso químico debido al ataque del oxígeno, que modifica la composición original y las propiedades del asfalto en forma gradual, transformándolo de un material plástico y flexible a uno rígido y quebradizo.

Las señales que presenta un asfalto envejecido son picaduras, desmoronamientos, apariencia de aridez, grietas de contracción, etc. Estos avisos graduales de deterioro inminente son claros y sirven como una ventaja definitiva sobre otros materiales de pavimentación.

La influencia de los maltenos en la durabilidad de los asfaltos, es decir, en el envejecimiento u oxidación, depende principalmente de las proporciones en que intervienen las 4 fracciones que componen a los maltenos. En la figura II.1 se puede apreciar los componentes de un asfalto nuevo y uno viejo.

Al reaccionar químicamente los componentes que constituyen los maltenos estando sometidos al ataque del oxígeno, el asfalto pierde sus propiedades físicas iniciales debido a lo siguiente:

- El asfalto originalmente se encuentra formado por una cierta cantidad de asfaltenos y maltenos. Los asfaltenos son duros pero bastante resistentes, mientras que los maltenos se encuentran formados por resinas y aceites. Las resinas son menos duras que los asfaltenos y se adhieren a éstos formando micelos, mientras los

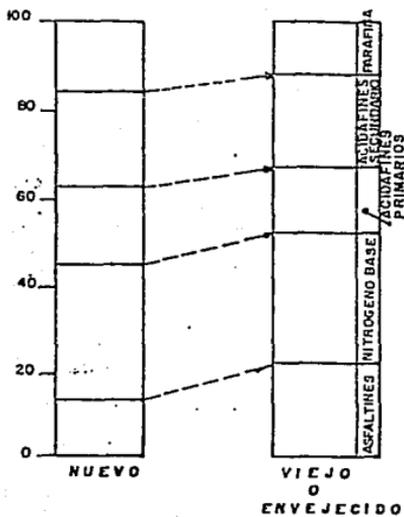


FIGURA II-1.

aceites son bastante blandos y sirven de lubricantes entre los micelos, quedando el asfalto formado por partes duras y blandas que le proporcionan al asfalto sus propiedades de resistencia y flexibilidad.

Al modificarse las proporciones originales de los asfaltenos y los componentes de los maltenos, incrementándose los asfaltenos y la fracción resinosa de los maltenos y, con pérdida por evaporación y arrastre de los aceites quedando como resultado final un asfalto muy duro, rígido y quebradizo, que acelera la falla o destrucción de la carpeta. Por lo cual, es necesario corregir a la carpeta, antes de que ocurra la falla, devolviéndole su flexibilidad al asfalto mediante la adición de algun agente rejuvenecedor de asfaltos, como el Reclamite.

Reclamite es el agente rejuvenecedor de asfaltos y se encuentra formado por aceites y resinas emulsificados en agua, cuya finalidad principal es adicionarle al asfalto envejecido los maltenos que perdió debido al ataque del oxígeno, y que éste recupere sus propiedades físicas, para mejorar el comportamiento mecánico de la carpeta. La función esencial del Reclamite es depositar la mezcla de maltenos en la película de asfalto envejecido sin desordenar la estructura existente de asfalto y agregado en relación a la adhesión, coesión, y estabilidad.

Tabla II.3.1 RESUMEN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO EXISTENTE

Características	Valor	Comentario
Localización		
Tamaño de la obra (long. en km.)		
Clase de camino		
Sección recta del pavimento existente (incluye información, espesor y tipo de las capas del pavimento original; fecha, espesor y tipo de las rehabilitaciones subsecuentes y de las actividades de mantenimiento.		
Geométricas (num. de carriles, ancho, extensión vertical , otras restricciones.		
Características de tránsito (PDT) promedio diario de cargas por eje equivalente de 18 Kip		
Características de la sub-base		
Condiciones superficiales (tipo de clasificación del pavimento "PRS")		

Características	Valor	Comentario
Condiciones estructurales (deflexión, recubrimiento requerido de 0.01 cm)		
Textura (Índice de servicio)		
Resistencia al derrapamiento		
Otros factores: distancia a la fuente de los agregados y el aglutinante, equipo disponible y experiencia del contratista		

CAPITULO III.- REVITALIZACION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS.

1.- Funciones y propiedades del agente rejuvenecedor:

El rejuvenecimiento de pavimentos asfálticos mediante unos agentes químicos es un método que, día a día se va imponiendo en razón de lo práctico que resulta su aplicación, así como su relativo bajo costo. Entre los agente más comunes se encuentra el que ha sido designado como "Reclamite", que es una emulsión especial patentada, color rosa, constituida por maltenos (aceites de petróleo y resinas) en agua. Puede considerarse como una emulsión catiónica, sin asfaltenos o hidrocarburos no solubles en tetracloruro de carbono. Este producto penetra en las mezclas asfálticas viejas transformándose en parte de ligantes, revitalizándolas.

Puede decirse que sus funciones son:

Devolver su plasticidad al asfalto anvejecido y endurecido.

Restaurar los componentes perdidos en el asfalto

Mejorar la cohesión de la mezcla y la adherencia del asfalto con el agregado

Entre las propiedades que se le han determinado al producto referido pueden citarse las siguientes:

Viscosidad Saybolt-Furol-----15 a 40 seg.

Residuo de-----60 a 65% mínimo

Miscibilidad-----No coagulos

Carga-----Positiva

Asfaltenos-----0.75 max.

Debe tenerse muy presente que los efectos anteriormente referidos ocurren, por regla general, en los 20 o 25 mm. superiores de una carpeta que es "la parte de la carpeta que más se oxida y envejece"

2.- Procedimiento de construcción: (aplicación de "Reclamita").

Son varios los procedimientos empleados para la aplicación de agentes rejuvenecedores y varían, desde su simple rociado en mezclas en caliente recién tendidas, cuyo objeto es restituir componentes perdidos debido al calentamiento, hasta su empleo como parte del procedimiento de sobreencarpetao.

El método más comunmente empleado es el que se describe a continuación:

a.- En primer lugar se debe determinar la dosificación que se debe emplear en la carpeta, la cual generalmente está comprendida entre 0.45 y 0.90 lts/m² de una solución presentada con una parte de "Reclamita" en dos de agua. Para determinar la dosificación correcta, se ha procedido a relacionar ésta con el porcentaje de vacíos llenos de aire o la permeabilidad que tenga la mezcla asfáltica. En otras ocasiones, se ha acudido a efectuar en el laboratorio pruebas de penetración en el residuo obtenido de especímenes con agente rejuvenecedor y sin él, empleando desde luego diferentes porcentajes de éste y, seleccionando como contenido más adecuado aquel que provoque en el residuo la penetración deseada, siempre y cuando la permeabilidad de la carpeta permita su aplicación. El procedimiento que ha resultado más práctico y en consecuencia el más usual, consiste en utilizar aquella dosificación que penetre totalmente en 15 o 20 mín. en la carpeta y en la zona de las rodadas, que es donde el pavimento se encuentra más denso. Generalmente la solución a aplicar se forma diluyendo una parte del agente rejuvenecedor en dos de agua, pero se sabe de casos en donde la relación es de 1:1 o hasta 1:4 en casos muy especiales.

b.- Una vez definida la dosificación del agente, se debe proceder a la limpieza del pavimento a reparar, el cual deberá haber sido bacheado previamente.

c.- En seguida se procede al calentamiento de la superficie del pavimento, para ello se aplica sobre ésta una especie de horno, una de cuyas paredes es la carpeta. El calor se aplica mediante calentadores de gas, aunque se sabe de la aplicación de rayos infrarrojos; se vigila que las llamas no sean aplicadas directamente a la mezcla asfáltica. La temperatura que debe alcanzar debe estar comprendida entre 110 y 120°C en 25 mm. de espesor, para esto, generalmente el avance del

equipo de calentamiento es del orden de 1.5 a 15 mts. por minuto, dependiendo esta velocidad obviamente de la dureza y contenidos de asfaltos en la mezcla, así como de la temperatura ambiente. A veces pudiera resultar más efectivo el empleo de dos calentadores para alcanzar la temperatura deseada sobre todo en climas fríos.

- d.- La siguiente etapa en el método clásico, consiste en el escarificado de la superficie calentada mediante líneas de pernos montadas en el mismo equipo de calentamiento, con el objeto de aprovechar su peso. Estos pernos o uñas se encuentran en forma traslapada para lograr un escarificado más efectivo y su montaje permite que, al encontrar dichos dispositivos un objeto duro, se produzca una especie de muelleo o resorteo que permiten que se salve el obstáculo. Todo el sistema de escarificado está controlado por gatos hidráulicos. La profundidad de escarificado efectiva es del orden de 12 a 19 mm. y depende de la temperatura del asfalto, su dureza, así como de la configuración de las uñas y la presión aplicada sobre éstas.
- e.- La siguiente operación consiste en restituir en el pavimento escarificado, la geometría original mediante gusanos distribuidores o algún otro equipo que realice esta operación con eficiencia y de ser posible a bajo costo.
- f.- A continuación se aplica una ligera compactación con un rodillo Tandem de acero de 8 a 10 ton. y a toda rueda, con el objeto de permitir el tránsito sobre la superficie recientemente escarificada. Esta operación puede juzgarse como no necesaria, si el programa de la obra considera más conveniente la aplicación de una sobrecarpeta directamente sobre la superficie recién escarificada.
- g.- Se aplica el riego del agente rejuvenecedor en la proporción adecuada empleando para ello una petrolizadora tradicional. Durante el período de absorción, y si la superficie ha sido compactada, es recomendable rociar arena muy dura y angulosa, la cual proporciona una fricción aceptable y no interfiere en el proceso de absorción, sin embargo no debe permitirse el tránsito antes de que transcurran 30 minutos a partir de la aplicación del agente. Con toda seguridad, al otro día la arena ha sido removida o asimilada por la carpeta, lo cual no es nocivo.

- h.- La etapa final puede presentar variaciones pudiendo éstas consistir en:
- Dejar la superficie únicamente con el tratamiento del agente rejuvenecedor, compactando el espesor tratado. Esto se hace si estructuralmente no se requiera refuerzo y la superficie de rodamiento obtenida es adecuada.
 - Aplicar un riego de asfalto rebajado a la superficie, cuando no se requiere refuerzo estructural, si existe insuficiencia de éste en la carpeta original.
 - Construcción de un riego de sello, en cuya compactación se completa la del material subyacente.
 - Construcción de una sobre-carpeta de concreto asfáltico cuando se requiera refuerzo estructural.

Finalmente, conviene decir que para evitar fracasos en este procedimiento es necesario que se fijen y respeten especificaciones en cuanto a:

- La preparación del pavimento a reparar como es la limpieza, señalización de obras de toma, bocas de tormenta, bacheo preliminar, etc..
- La temperatura mínima y forma de medirla.
- La profundidad que se deberá alcanzar y forma de medirla.
- El tipo y dosificación de agente rejuvenecedor.
- Tipo de sobre-carpeta y materiales a emplear.
- Forma de medición y pago.

3.- Preparación y especificaciones del pavimento.

La preparación para el proceso de escarificación en caliente y recubrimiento es similar a la requerida para un recubrimiento convencional. Si hay áreas que les falte un drenaje adecuado, debe corregirse dicha condición antes de proceder con la obra. Similarmente, si existen fallas aisladas que necesiten un bacheo profundo, esto debe realizarse antes de comenzar con el proceso de calentamiento superficial. También, al igual que con un recubrimiento convencional si los bordos o guarniciones de concreto van a ser removidas y recolocadas; este trabajo y cualquier otro ajuste debe preceder al tratamiento del pavimento. Finalmente, la buena trabazón entre un asfalto viejo y uno nuevo depende de la limpieza de la superficie. La preparación debe incluir la limpieza de la superficie del pavimento por medio de barrido o algún otro medio. Si hay cunetas también deben limpiarse.

Un detalle importante de la preparación, que no se requiere normalmente en conexión con el recubrimiento convencional, pero necesario por algunos tipos de equipos de escarificación en caliente, es la localización de las estructuras de servicio que sobresalen.

Los dientes escarificadores son frecuentemente montados en resortes y simplemente ceden y pasan sobre un objeto inmóvil tal como una estructura de boca de alcantarilla. Los dientes en algunos otros equipos, sin embargo, son controlados manualmente y deben ser retraídos por el operador de la máquina cuando pasen sobre tales estructuras. Consecuentemente, cuando sea necesario, la localización de todas las estructuras de utilidad sobre la superficie debe hacerse a todo lo largo de la obra. Otra diferencia en la preparación es que si el recubrimiento no se retarda demasiado un riego de liga convencional no es necesario, algunas veces, el aditivo líquido sirve para el mismo propósito.

Las especificaciones para el proceso de recubrimiento en caliente no deben excluir ninguno de los métodos, es decir, el método de tren de pavimentación o el integral. Esto puede hacerse, ya sea estableciendo especificaciones lo suficientemente generales para adaptarse a ambos métodos, o estableciendo especificaciones alternativas que cubran los detalles técnicos de cada proceso y además obteniendo aplicaciones alternativas.

Las siguientes son algunas de las previsiones técnicas más importantes para cubrir cualquier especificación para el proceso de recubrimiento en caliente:

- La especificación debe definir la preparación debida. Debe fijar la responsabilidad del trabajo, tales como el ajuste de las estructuras de utilidad y el bacheo preliminar.
- La temperatura mínima y el método de medición deben estar anotados.
- Profundidad promedio de la escarificación y como medirla.
- Tipo de mezcla y velocidad de aplicación.
- Tipo de superficie asfáltica. Especificaciones detalladas que pueden referirse comúnmente a los materiales y a las especificaciones de construcción.
- Medida y pago. Usualmente, la limpieza normal del pavimento y la escarificación en caliente se pagan en base a los metros cuadrados del área de la superficie cubierta, sin importar el número de operaciones requeridas para obtener un trabajo satisfactorio. El método de pago para el aditivo rejuvenecedor y el recubrimiento asfáltico deben describirse. Frecuentemente ambos se pagan al volumen peso o área.
- Control de la polución. Las especificaciones deben contener estipulaciones para el efecto de que, todos los procedimientos de trabajo se realicen en estricto cumplimiento con la aplicabilidad de los requerimientos para la polución del aire, ya sean federales, estatales o legales.

- Protección de la vegetación. Las especificaciones deben prevenir contra el quemado de las hojas de los árboles adyacentes o de la vegetación, con extinguidores. Algunas especificaciones requirieron equipo para regar agua y humedecer la vegetación evitando de esta manera el posible quemado.

4.- Aplicaciones y Usos del sistema

En la tabla III.4.1. se sintetiza la aplicabilidad de este sistema, pudiéndose citar entre las ventajas inherentes al método, las siguientes:

- Asegura una mejor liga entre la carpeta antigua y la sobre-carpeta .
- Se rejuvenecen de 12 a 19 mm. de carpeta antigua. Esto ha hecho que el fabricante proclame que se gana aproximadamente una pulgada de espesor adicional.
- Se eliminan las fisuras y aún las grietas considerables o, cuando menos, se incrementa notablemente el período de su reflejo en la nueva sobrecarpeta.
- Se evitan o reducen los desprendimientos por bajo contenido de asfalto, ya sea porque el agregado sea muy absorbente o porque originalmente se empleó una dosificación baja de asfalto.
- Se logran pesos volumétricos más altos cuando las bajas temperaturas en la mezcla lo impiden.

No obstante lo anterior, la prudencia aconseja que también se tomen en cuenta las limitaciones que estos procedimientos tienen, ya que por no decirlo, este sistema no es una panacea que resuelva todos los problemas de mantenimiento de pavimentos, pues existen limitaciones, de las cuales, las más importantes son las siguientes:

- No se debe aplicar este sistema si la superficie a tratar contiene solventes, combustibles, grasas o aceites.
- Estos métodos no se deben aplicar en carpetas con exceso de asfalto o inestabilidad.
- Si la textura de la carpeta es muy cerrada, el agente rejuvenecedor no penetrará, se ha fijado que no se empleen estos procedimientos si en 15 min. no penetran cierta cantidad del aditivo como se mencionara en la parte III.6.c., tampoco se deben usar si la mezcla tiene menos de 5% de vacíos llenos de aire.
- Si existe una falla estructural, la sola aplicación del agente y una delgada sobrecarpeta puede no resolver el problema, tal es el caso de fallas por drenaje, fatiga, tránsito muy pesado, etc. en cuyo caso, la solución es muy distinta.

TABLA III.4.1.

USOS DEL RECLAMITE EN PAVIMENTOS ASFALTICOS

METODO	FUNCION	TIEMPO DE APLICACION
Calentamiento y escarificado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rejuvenecer el asfalto 2. Mejor liga con la sobre-carpeta 3. Aumentar la durabilidad 	Inmediatamente después del escarificado.
Riegos de Sello	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sello profundo 2. Restituir propiedades al asfalto 3. Aumentar la durabilidad 	Tan pronto como sea práctica
Mantenimiento Preventivo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rejuvenecer asfalto envejecido 2. Evitar desprendimientos 3. Reducir el agrietamiento por contracción 4. Evitar el descascarnamiento en grietas 5. Disminuir la permeabilidad 6. Aumentar la durabilidad 	Cuando aparezcan los primeros síntomas de envejecimiento.
Revitalización de mezclas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Facilitar el escarificado y mezclado 2. Plastificar al asfalto 3. Mejorar la durabilidad 	Cuando se empiece a notar que la mezcla está intemperizada.
Planchado mediante el calentado de la carpeta.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sellar la superficie 2. Restaurar las propiedades perdidas durante el calentamiento 3. Mejorar la durabilidad 	Después del calentamiento
Impregnación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rejuvenecer al asfalto original 2. Mejorar la liga entre el pavimento original y la sobrecarpeta 	Das semanas antes del riego de liga.

"VENTAJAS Y DESVENTAJAS PRINCIPALES DE LAS TECNICAS DE RECICLAMIENTO"

Técnicas de
Reciclamiento

Superficial

Ventajas

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

Desventajas

- Mejora estructural limitada
- La desbastación en caliente y la escurificación en caliente tienen una efectividad limitada sobre la textura del pavimento sin pasadas múltiples del equipo.
- Reparación limitada de los pavimentos inestables o que fluyen notoriamente
- Algunos problemas de contaminación del aire
- La vegetación cercana a la carretera puede ser dañada
- Mezclas con agregados de tamaño máximo igual o mayor a una pulgada, no pueden tratarse con cualquier equipo.

En el lugar

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

- El control de calidad no es tan bueno como en planta central
- Interrupciones de tránsito
- El equipo de pulverización requiere reparaciones
- Costoso
- No puede realizarse fácilmente en los pavimentos de concreto hidráulico

Central

- Mejoras estructurales significantes
- Buen control de calidad
- Trata todos los tipos y grados de desperfectos del pavimento

- Incrementa las interrupciones
- Puede haber problemas de contaminación del aire en el lugar de la planta

**Técnicas de
Reciclamiento**

Central

Ventajas

- Las grietas por reflexión pueden ser eliminadas
- Mejora la resistencia al derrapamiento
- Mejora la resistencia a los efectos del congelamiento
- Los problemas geométricos pueden resolverse fácilmente
- Mejor control si debe aplicarse la adición de aglutinante y/o agregados
- Mejora la calidad de la superficie de rodamiento

Desventajas

SELECCION DE LAS TECNICAS DE RECICLAMIENTO PARA MEJORAR LA
RESISTENCIA ESTRUCTURAL BASANDOSE EN LA DEFLACION
DEL PAVIMENTO

Métodos de Reciclamiento		Espesor de la sobrecapa requerida		
		Ninguno	Menor a 2 pulgadas	Mayor a 2 pulgadas
Desbastado en caliente	A1 Sin agregado adicional		X	X
	A2 Con agregado adicional		X	X
Escarificación en caliente	A3 Escarificación en caliente solamente		X	X
	A4 Escarificación en caliente más sobrecapa delgada de concreto asfáltico 1.5 cms. compactos			X
	A5 Escarificación en caliente más recubrimiento grueso 8 cms. compactos			
Método o triturado superficial	A6 Moler la parte superficial solamente		X	X
	A7 Molido superficial en capa delgada nueva			X
	A8 Molido superficial en capa gruesa nueva			
Concreto asfáltico menor a 2 pulgadas	B1 Menores mejoras estructurales sin nuevo aglutinante			X
	B2 Menores mejoras estructurales con nuevo aglutinante			X
	B3 Mejoras estructurales sin nuevo aglutinante			
	B4 Mejoras estructurales con nuevo aglutinante			
Concreto asfáltico mayor a 2 pulgadas	B5 Mejoras estructurales menores sin aglutinante nuevo			X
	B6 Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo			X
	B7 Mejoras estructurales importantes sin aglutinante nuevo			
	B8 Mejoras estructurales importantes con aglutinante nuevo			

Proceso de mezcla en frío	C1	Mejoras estructurales menores sin aglutinante nuevo	X
	C2	Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo	X
	C3	Mejoras estructurales importantes sin aglutinante nuevo	
	C4	Mejoras estructurales importantes con aglutinante nuevo	
Proceso de mezcla en caliente	C5	Mejoras estructurales menores sin aglutinante nuevo	X
	C6	Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo	X
	C7	Mejoras estructurales importantes sin aglutinante nuevo	
	C8	Mejoras estructurales importantes con aglutinante nuevo	

SELECCION DE LAS TECNICAS DE RECICLAMIENTO, BASANDOSE EN LA TEXTURA DEL PAVIMENTO

TIPO DE CAMINO	Carretera urbana Interestatal				Primaria				Secundaria				Calles Urbanas			
	Indice de servicio				Indice de servicio				Indice de servicio				Indice de servicio			
Método de Reciclamiento	+3.0	2.5 - 2.9	2.0 - 2.4	-2.0	+3.0	2.5 - 2.9	2.0 - 2.4	-2.0	+3.0	2.5 - 2.9	2.0 - 2.4	-2.0	+3.0	2.5 - 2.9	2.0 - 2.4	-2.0
Desbastado en caliente sin agregado adicional A1	X	X	X			X	X					X			X	X
Desbastado en caliente con agregado adicional A2	X	X	X			X	X					X			X	X
Escarificación en caliente A3	X	X	X			X	X					X			X	X
Escarificación en caliente y recubrimiento delgado A4		X	X				X									X
Escarificación en caliente y recubrimiento grueso A5																
Molido de la parte superficial A6		X	X				X									
Molido de la parte superficial y recubrimiento delgado A7			X													
Molido de la parte superficial y recubrimiento grueso A8																

- En el caso de que se tengan en el pavimento original problemas de agregados friables, bajo valor de desgaste, partículas no equidimensionales, etc., la aplicación del agente no tiene nada que hacer.
- No se debe utilizar en el caso de que existan riegos de sellos recientes.
- La carpeta antigua debe tener por lo menos un espesor superior a los 5 cms.

Ahora bien, pueden existir condiciones que haga que se modifiquen los métodos tradicionales de construcción entre las que se pueden citar las siguientes:

- En donde haya poco tránsito y solamente se presenten fisuras en la carpeta puede aplicarse el agente rejuvenecedor; después de dos semanas, pero antes de dos meses aplicar un rodillo neumático.
- En pavimentos con fisuras de contracción se recomienda calentar, aplicar el agente, compactar y colocar arena.
- En pavimentos nuevos elaborados con mezclas asfálticas densas, en caliente, se puede aplicar el agente con el objeto de restituir los componentes perdidos o alterados durante el calentamiento.
- En pavimentos seriamente dañados, podría aplicarse el agente revitalizador, escarificarse con arado de disco, remover el material, adicionar agregado, asfalto y más agentes según se juzgue conveniente para lograr una buena mezcla que posteriormente se tiende y compacte.
- En el sellado de grandes grietas se ha llegado a aplicar el agente rejuvenecedor sin diluir en la grieta y un poco de arena en la superficie. Lo anterior según se reporta en la literatura, ha dado buenos resultados.

Debe tenerse presente que algunas veces existen riegos de sello antiguos sobre la carpeta, lógicamente más antigua o aún de la misma edad que el sello, cosa muy común en nuestro medio. En este caso, al aplicar el calor puede formarse un colchón de disipación de temperatura entre ambas capas, lo que puede ser necesario pasar hasta dos veces más con el equipo para lograr una buena escarificación.

Es muy importante no tratar de escarificar más allá de lo que el gradiente de temperatura lo permita, para no destruir las capas inferiores, en cuyo caso podría requerirse una reparación difícil y costosa. Así mismo, es conveniente no aplicar estos sistemas en tiempo de frios o con mucho viento.

Finalmente, es recomendable no confiar totalmente en la prueba de laboratorio, sino que se deben complementar con observaciones de campo, y es conveniente que las operaciones se realicen en tiempo caluroso y seco.

5.- USOS DEL RECLAMITE

Todas las propiedades del Reclamite están incorporadas al producto para eficiencia funcional óptima; propiedades tales como un color distintivo, transparencia o falta de afinidad para las superficies tersas, tiene un diseño muy especial. Su color distintivo es un valioso indicador y es una buena ayuda para observar el grado de penetración. La transparencia y la falta de adhesión a las superficies tersas o vidriadas ayuda a que se película, si bien se depósita en en marcas dejadas por el tránsito no borra la pintura, esta última propiedad facilita el remarcado de áreas de estacionamiento tan solo repintando, si fuese necesario, las rayas anteriores, las cuales son visibles después de la aplicación del Reclamite.

a.- Mantenimiento Preventivo.-

En mantenimiento preventivo, se aplica a un pavimento asfáltico tan pronto como empiece a mostrar señales de envejecimiento o grietas de contracción. Generalmente, estas condiciones se desarrollan en un período de dos a diez años después de su construcción, dependiendo de factores tales como diseño de la mezcla, durabilidad del asfalto, permeabilidad del pavimento, tránsito y condiciones climatológicas. El uso de Reclamite en estos casos replastificará el asfalto antes de la deterioración del pavimento.

El requisito principal para un tratamiento eficiente, es que el pavimento tenga suficiente permeabilidad para permitir al agente rejuvenecedor penetrar al pavimento; como los pavimentos asfálticos envejecen de la superficie hacia abajo y la permeabilidad aumenta con el tiempo; se recomienda un tratamiento de absorción, el que es auto regulado en cierto sentido. La aplicación del agente se vuelve muy simple, ya que el tratamiento con las cantidades requeridas consiste esencialmente en aplicar la cantidad que sea absorbida por el pavimento.

Excepciones a este principio auto regulador son esos pavimentos asfálticos, que han recibido tratamiento de superficie que inhiben la absorción y pavimentos que han desarrollado un "vidriado", ya sea por alto volumen de tránsito o por derrames de grasa. En dichos casos, se requiere la escarificación, raspado o quemado para remover este sello de la superficie y permitir la penetración adecuada.

b.- Construcciones Nuevas.-

En la construcción de pavimentos nuevos, el objetivo del Reclamite es asegurar plasticidad y mejorar las características de duración de la mezcla recién aplicada además de sellar para reducir la permeabilidad. Aplicado después de que la mezcla ha sido tendida y compactada sirve para dos propósitos: penetrar en la superficie y combinarse con el asfalto para restaurar la durabilidad perdida en la operación de mezclado en la plantay hacer que el asfalto se expanda para tapar los poros, sellando así el pavimento.

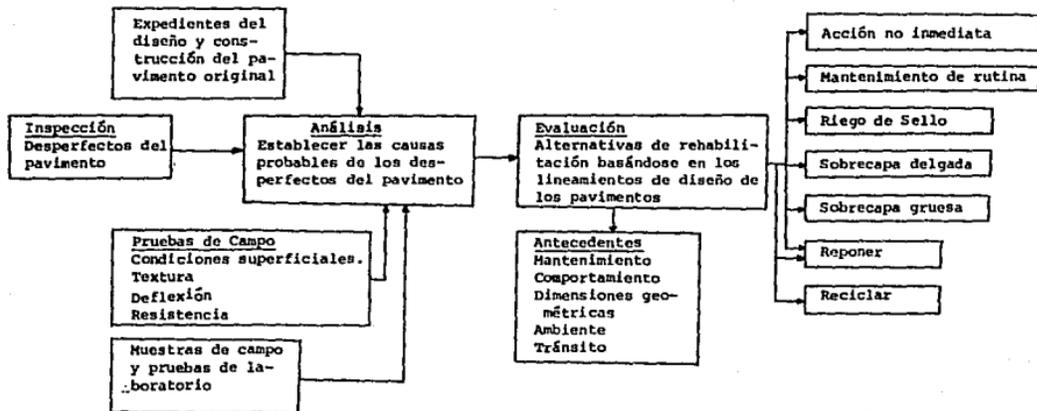
Durante la construcción de un pavimento asfáltico por capas, una rociada ligera del agente entre éstas, nos sirve como una excelente liga; al fusionarse con el asfalto en ambas caras nos dá una unión adecuada entre las capas del asfalto.

c.- Mantenimiento Correctivo.-

El uso del Reclamite en combinación con otros materiales o su aplicación combinada con otros procedimientos, es definido como mantenimiento correctivo. Al reparar un pavimento desgranado o agrietado pero no dañado severamente, usualmente es suficiente raspar o escarificar la superficie, rociar con agente rejuvenecedor y compactar. En algunos casos es deseable agregar una mezcla adecuada de agregado y asfalto. Si el pavimento existente requiere una capa de sello o una sobrecarpeta delgada de concreto asfáltico, el Reclamite se aplica para rejuvenecer el asfalto y dar una mejor liga con la capa nueva, cuando menos una semana antes de la aplicación de la carpeta nueva. El Reclamite no debe considerarse nunca ni ser usado como material para liga en la aplicación de una capa nueva sobre un pavimento viejo.

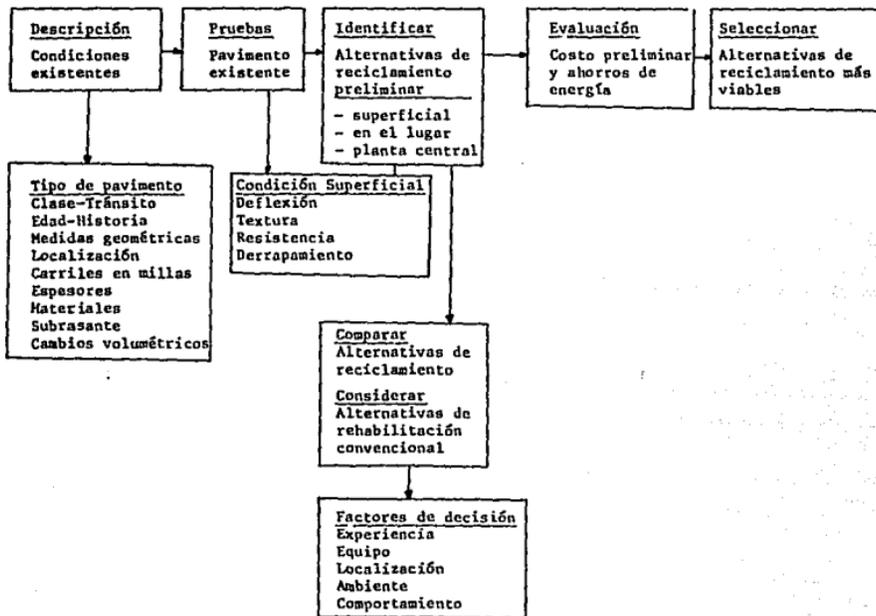
d.- Reconstrucción.-

En la reconstrucción, Reclamite puede ser usado como una capa de impregnación para replastificar las superficies repavimentadas con asfalto antes de recubrirlas, o como ayuda para desmenuzar y reconstruir un pavimento asfáltico viejo e intemperizado, al ablandar la superficie y replastificar el asfalto en la mezcla. Cuando se usa suficiente aditivo al reciclar un pavimento viejo, la mezcla se pueda volver a usar como material de carpeta como una mezcla nueva.



EL RECICLAMIENTO COMO UNA ALTERNATIVA DE REHABILITACION

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



ANALISIS PRELIMINAR Y SELECCION DE LAS ALTERNATIVAS MAS ADECUADAS

6.- Reacondicionamiento de mezclas en caminos viejos.-

A.-Pruebas de Laboratorio.- Para verificar de una manera clara y precisa, el grado de oxidación que han alcanzado los asfaltos al estar expuestos al ataque del oxígeno y a los efectos abrasivos del tránsito, así como la recuperación de sus propiedades al incorporarles el agente rejuvenecedor y la resistencia a la tensión que han alcanzado las carpetas asfálticas envejecidas, fue necesario recurrir a pruebas de laboratorio.

Las pruebas efectuadas y los resultados que de ella se obtuvieron, se describen a continuación.

a.- Recuperación del asfalto oxidado.

Para poder determinar el grado de oxidación que han alcanzado los asfaltos, con diferentes vidas de servicio, fue necesario tomar muestras de carpetas envejecidas, para posteriormente separar el asfalto del agregado pétreo mediante el siguiente procedimiento:

+ Se tomaron cuatro muestras de carpeta asfáltica, cuya edad de servicio se conocía en forma aproximada, siendo ésta de tres, ocho, quince y veinte años respectivamente. Los espesores de las muestras variaron entre cuatro y cinco cms. aproximadamente.

++ De cada una de las muestras se separó el agregado pétreo del asfalto, incorporándole a la carpeta tetracloruro de carbono (CCl_4); para recuperar el asfalto envejecido, se utilizó el método convencional, en el cual se aplica tetracloruro de carbono a la mezcla asfáltica y la solución obtenida se pasa a través de un papel filtro, quedando ésta formada únicamente por tetracloruro de carbono y asfalto oxidado. Posteriormente, se separan evaporizando el tetracloruro a base de temperatura, quedando en la parte inferior de la jarra de destilación el asfalto oxidado.

+++ Estas muestras de carpeta fueron cortadas a la mitad para separar la parte superior e inferior.

B.-Agente Rejuvenecedor.-

El agente rejuvenecedor Reclamite, que se utilizó para la ejecución de las pruebas se encontraba diluido en agua, en proporción de 1 a uno y se enseñó en el laboratorio para enseñar sus características, las cuales se resumen en la siguiente tabla:

TIPO DE PRUEBAS	RECLAMITE EN ESTUDIO	ESCARIFICACIONES
Viscosidad Sayvolt Furol (seg)	19	15-40
Residuo de la destilación Σ en peso	63.2	60-65
Retenido en malla núm. 0.85 mm	0.00	0.10 más
Miscibilidad con cemento Portland (%)	0.00	0.00
Carga de Partícula	positiva	positiva
Densidad	0.99	-----

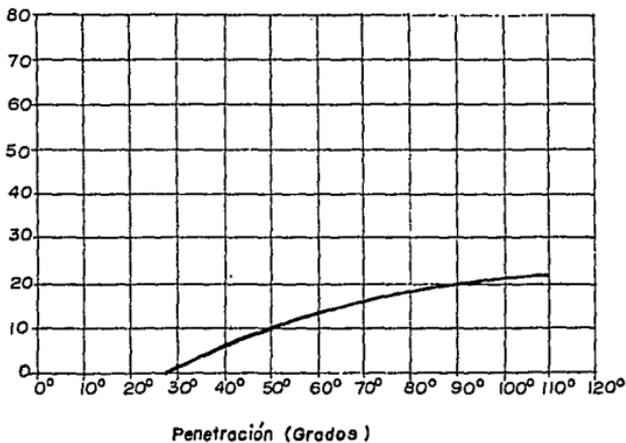
C.- Prueba de penetración

A las muestras que se recuperaron de asfaltos oxidados se les efectuó la prueba de penetración, para determinar la dureza que presentaban los asfaltos y, de esta manera estimar el grado de oxidación que habían alcanzado.

Posteriormente, a las muestras de asfalto se le incorporó Reclamite en pequeños incrementos, dejando un cierto tiempo para permitir que reaccionara y se mezclara con el asfalto. Una vez ocurrido esto, se verificó la penetración que alcanzaba el asfalto en estas nuevas condiciones. Los resultados se graficaron para observar la recuperación de la penetración para diversos porcentajes del agente.

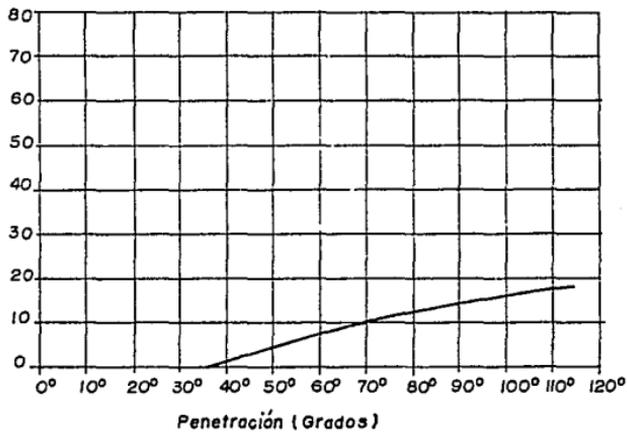
En cada una de las gráficas siguientes se indica la vida de servicio del asfalto, así como la procedencia de las muestras de la parte superior o inferior de la carpeta.

% de Reclamante con respecto al cemento asfáltico en volúmen



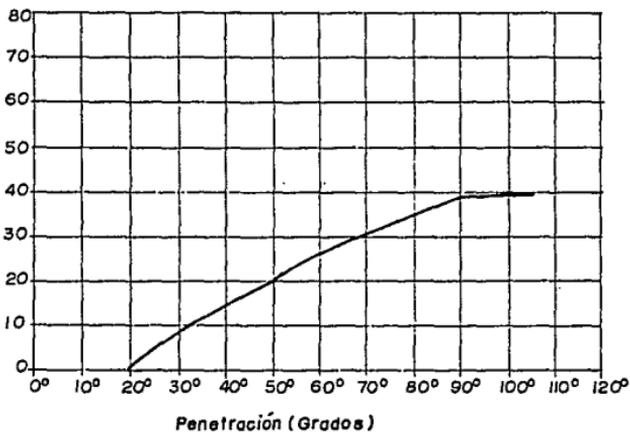
Asfalto recuperado con una edad aproximada de 3 años (parte superior de la carpeta)

% de Reclamante con respecto al cemento asfáltico en volumen



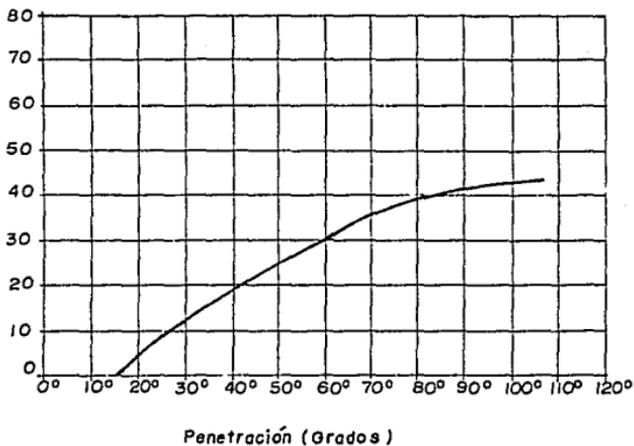
Astfalo recuperado con una edad aproximada de 3 años (parte inferior de la carpeta)

% de Reclamante con respecto al cemento asfáltico en volúmen



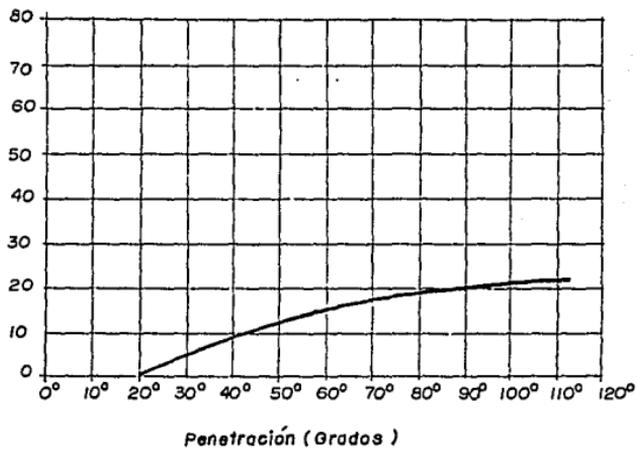
Asfalto recuperado con una edad aproximada de 8 años (parte superior de la carpeta)

% de Reclamaite con respecto al cemento asfáltico en volúmen



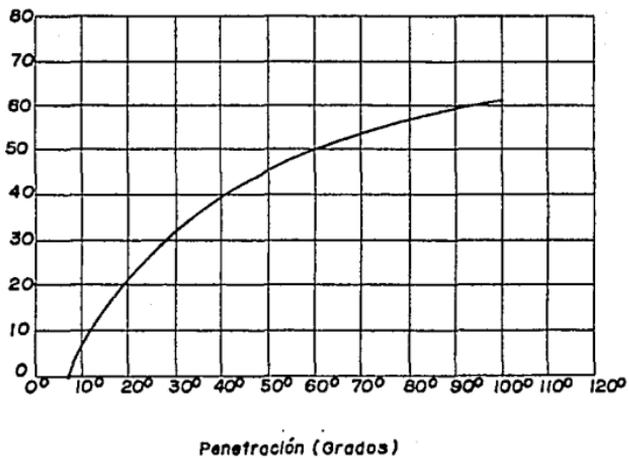
Asfalto recuperado con una edad aproximada de 15 años (parte superior de la carpeta)

% de Reclamante con respecto al cemento asfáltico en volumen



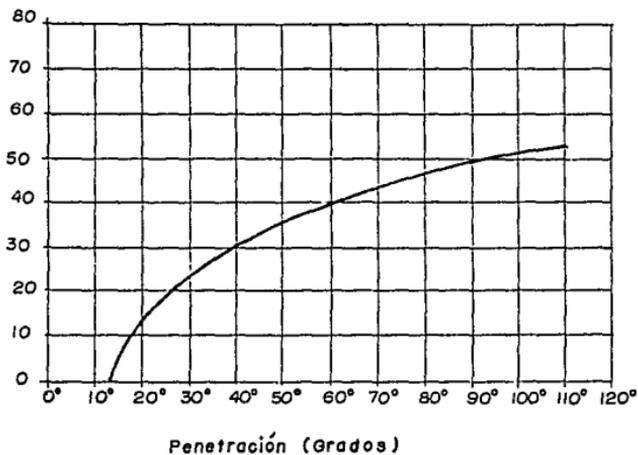
Asfalto recuperado con una edad aproximada de 15 años (parte inferior de la carpeta)

% de Reclamante con respecto al cemento estalfico en volúmen



Asfalto recuperado con una edad aproximada
de 20 años (parte superior de la carpeta)

(% de Reclamante con respecto al cemento asfáltico en volumen



Asfalto recuperado con una edad aproximada
de 20 años (parte inferior de la carpeta)

Las vidas en servicio de los asfaltos oxidados en estudio se escogieron de 3,8, 15 y 20 años; este intervalo de eligió debido a que una carpeta con menos de tres años de servicio posiblemente no requiera que se le aplique el procedimiento de reciclado, ya que su oxidación es baja, mientras que muy difícilmente se encontrarían carpetas con más de veinte años de servicio, ya que a esta edad probablemente se les habría aplicado algún tratamiento superficial.

d.- Prueba de Tensión por Flexión.-

El fin de utilizar esta prueba, era encontrar alguna correlación con los resultados obtenidos en la prueba de penetración; para ello fue necesario obtener muestras de la carpeta envejecida, sin alterar las condiciones en que se encontraba en el lugar. De ella se recuperó el asfalto y posteriormente se efectuaron las pruebas de penetración.

Para la elaboración de las probetas de prueba, fue necesario que las muestras de carpeta obtenidas tuvieran las siguientes dimensiones: 40 cms. de largo por 40 cms. de ancho y por el espesor que tuviera la carpeta. Se cortaron las probetas por medio de una sierra, las cuales deberían tener una relación de uno de ancho por uno de altura y cuatro de largo, es decir, las mismas proporciones con las que se elaboran las vigas de concreto para la prueba de módulo de ruptura. La resistencia a la tensión por flexión se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$R = \frac{P L}{b d^2} \quad (\text{Para falla dentro del tercio medio})$$

En donde:

R = resistencia a la tensión por flexión (Kg/cm²)

P = Carga Máxima (Kg)

L = Separación entre los apoyos (cm)

b = Ancho de la probeta (cm)

d = Peralte de la probeta

Por cada una de las edades de servicio de las carpetas analizadas se elaboraron seis probetas, cuyos resultados promedio se presentan en la siguiente tabla, así como su coeficiente de variación:

Edad aproximada de la carpeta (años)	Resistencia a la tensión por flexión (promedio de las seis muestras Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)
3	20.4	16.9
8	23.4	11.9
15	29.4	5.3
20	34.9	13.9

Cabe mencionar que las probetas ensayadas, cuya edad aproximada era de 20 años, presentaron una resistencia bastante grande y muy poca deformación en la falla, aunque ésta no fue posible cuantificarla, en forma visual se observó que su magnitud era pequeña. Mientras tanto, en las probetas de tres años de edad aproximada, la resistencia fue menor, pero la deformación en el instante de la falla fue bastante grande, también estimada esta ésta en forma visual. Las probetas con edades de 8 y 15 años de servicio mostraron un comportamiento intermedio.

e.- Otras Pruebas Adicionales

Cuando se programó el experimento, se pensó ejecutar a los asfaltos oxidados todas las pruebas usuales pero esto no fue posible, ya que sólo en determinadas condiciones se efectuaron algunas de ellas.

+ Viscosidad Sayvolt Furol.-

El asfalto en las condiciones en que se recuperó, es decir, con un alto grado de oxidación, presentaba tal consistencia que no fue posible determinar su viscosidad.

Una vez que se le adicionó cierta cantidad de Reclamite, de tal forma que su penetración quedara comprendida entre 80 y 100 grados, si fue posible ejecutar la prueba y los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Edad aprox. del asfalto recuperado (años)	Viscosidad Sayvolt Furol (seg)	Reclamite empleado en volumen (%)	Especificación de viscosidad para cemento asfáltico No.6 (seg)	Penetración (%)
3	266	21	85 min	80-100
8	298	36	85 min	80-100
15	315	42	85 min	80-100
20	335	59	85 min	80-100

++ Prueba de Ductilidad.-

Al igual que en la prueba de viscosidad, ésta únicamente se pudo efectuar cuando el asfalto oxidado tenía mezclado un alto porcentaje de Reclamite, y había alcanzado valores en la prueba de penetración entre 80 y 100 grados. Para estas condiciones de oxidación del asfalto, es decir, cuando ya había recuperado en parte sus propiedades, los resultados que se obtuvieron se muestran en la siguiente tabla:

Edad aproximada del asfalto recuperado (años)	ductilidad (cm)	Reclamite empleado en volumen (%)	Especificaciones de ductilidad para cemento asfáltico No. 6 (cm)	Penetración (% en grados)
3	89	21	100 mín.	80-100
8	71	36	100 mín.	80-100
15	45	42	100 mín.	80-100
20	42	59	100 mín.	80-100

En estos resultados se observa que al adicionarle Reclamite en los porcentajes mostrados en la tabla, los asfaltos oxidados no recuperan totalmente la ductilidad, siendo menor la recuperación cuanto mayor sea el grado de oxidación que ha alcanzado el asfalto. Para un asfalto de 20 años de servicio, con el 59% del agente alcanzó una penetración entre 80-100 grados y una ductilidad de 42 cms., mientras que uno con 3 años de servicio, con el 21% de Reclamite alcanzó una penetración entre 80-100 grados y una ductilidad de 89 cms.

Pudiera pensarse que, si se incrementa el porcentaje del agente probablemente logrará un aumento en ductilidad, aunque esto no fuera cierto, se disminuiría gran parte de la resistencia del asfalto de la carpeta, ya que de acuerdo a la forma de la curva obtenida en la gráfica Reclamite contra penetración, cuando ésta última es mayor de 100 grados, la curva se torna horizontal. Es decir, hasta aquellos incrementos de Reclamite aumentaría de una manera muy grande la penetración, además que la viscosidad probablemente disminuiría.

Se considera difícil que un asfalto con grado de oxidación alto, al incorporarle el Reclamite, alcance una ductilidad de acuerdo con los resultados obtenidos en esta prueba sobre los asfaltos oxidados, su adhesividad no será muy buena, pero sí será poco susceptible a cambios volumétricos. Cabe recordar que la ductilidad es un índice de la adherencia entre asfalto y material pétreo.

+++ Prueba del Punto de Reblandecimiento.-

Esta prueba fue posible efectuarla en los asfaltos oxidados que se recuperaron, y a los que posteriormente se les incorporó el agente; los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (III.6.A.1.)

Edad aproximada del asfalto recuperado (años)	Punto de reblandecimiento (°C)	"Reclamite" empleado en volumen (%)	Especificación de reblandecimiento para cemento as- fáltico No. 6 (°C)
3	59	0	45 a 52
	54	5	
	49	10	
	46	15	
	42	20	
8	62	0	45 a 52
	57	5	
	51	10	
	47	15	
	44	20	
15	73	0	45 a 52
	68	5	
	65	10	
	58	15	
	52	20	
	47	30	
	45	40	
42	45		

TABLA III.6.A.1.

Los resultados muestran que el asfalto recuperó esta propiedad al incorporarle el Reclamite, hasta alcanzar valores inclusive menores que los especificados para cemento asfáltico No. 6

++++ Asfaltos envejecidos en Laboratorio -

Con el fin de observar de manera más amplia el proceso de envejecimiento en los asfaltos, y poder estimar en forma aproximada la posible vida útil de una carpeta tratada con el procedimiento de reciclado, se utilizaron cemento asfáltico No. 6 nuevo y asfaltos envejecidos con diferentes grados de oxidación, procedentes de carpetas que tenían una vida de servicio de 20, 15, 8 y 3 años y, que previamente fueron rejuvenecidos con la incorporación del mencionado agente, adicionándoles un porcentaje tal de este producto que alcanzara una penetración entre 80 y 100 grados. Tanto el asfalto nuevo, como los rejuvenecidos fueron sometidos a envejecimiento acelerado, colorándolos en horno de rayos infrarrojos durante períodos de 4, 6 y 8 días.

Una vez que los asfaltos estuvieron sometidos a rayos infrarrojos durante estos períodos, se extrajeron las muestras del horno y se le determinó su nueva penetración. Los resultados obtenidos en esta prueba se presentan en la tabla III.6.A.2., de ésta se puede estimar en forma aproximada la rapidez de la oxidación relativa al comparar los asfaltos nuevos con los asfaltos rejuvenecidos; aunque este proceso de oxidación sea diferente al que realmente ocurre en el campo, puede dar una idea de la vida útil que puede alcanzar una carpeta reciclada. Esta resulta similar a la vida útil de los asfaltos nuevos.

++++ Prueba Marshall en mezclas asfálticas oxidadas -

Esta prueba se modificó en algunas partes respecto al método tradicional, es decir, mientras que en la prueba Marshall lo único que se hace variar para determinar el contenido óptimo de asfalto, es precisamente dicho contenido de cemento asfáltico, en este caso se tomó una carpeta oxidada con granulometría y contenido de asfalto constante y se hizo variar la cantidad de agente rejuvenecedor para observar la variación en el comportamiento de la mezcla.

Los pasos a efectuarse son los siguientes:

- Se tomó muestra de carpeta oxidada con una vida de servicio de 11 años aproximadamente, en una cantidad de 50 Kg. para evitar una degradación del agregado pétreo y lograr una buena homogenización de la mezcla; se extrajo ésta de una calle donde se estaba efectuando el procedimiento de reciclado, cuando éste iba en la etapa de escarificación, o sea, sin habérsele aplicado el agente.

- En el laboratorio se homogenizó la muestra y se fraccionó en seis partes iguales, tratando que en cada una se obtuvieran granulometrías y contenido de cemento asfáltico iguales.
- A cada una de esas partes se les incorporó Reclamite en diferentes porcentajes comprendidos entre 0 y 40.5%.
- Se elaboraron tres pastillas Marshall para cada por ciento del agente adicional, procurando que la temperatura de prueba fuera constante (120°C) y 50 golpes por cara.
- La granulometría de la muestra de prueba se ve en la tabla III.6.A.3.

MALLA	% QUE PASA
3/4"	100
1/2"	85
3/8"	67
1/4"	46
No. 4	38
No. 10	30
No. 20	18
No. 40	15
No. 60	9
No. 100	6
No. 200	3

TABLA. III.6.A.3.

- El contenido de cemento asfáltico que presentó la mezcla de prueba fue de 3.7% con respecto al peso seco del agregado pétreo, mismo que se determinó por medio del foto colorímetro. En la tabla III.6.A.4. se muestran los resultados de la prueba Marshall.

T A B L A I I I . 6 . A . 2 .

El procedimiento que se utilizó para la realización de esta prueba fue el siguiente:

Tipo de Asfaltos	Días de prueba en horno de rayos infrarrojos	Penetración (grados)
	0	87
	4	24
Cemento asfáltico	6	20
No. 6	8	10
Nuevo		
	0	80-100
Asfalto recuperado con edad de 20 años y rejuvenecido con Reclamite	4	18
hasta alcanzar una penetración entre 80 y 100 grados	6	17
	8	15
Asfalto recuperado con edad de 15 años y rejuvenecido con Reclamite, hasta alcanzar una penetración entre 80 y 100 *	0	80-100
	8	16
Asfalto recuperado con edad de 8 años y rejuvenecido con Reclamite hasta alcanzar una penetración entre 80 y 100 *	0	80-100
	8	18

T A B L A III.6.A-4.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA MARSHALL

No. de ensaye	Reclamite empleado con respecto al cemento asfáltico inicial	Cemento asfáltico que se obtuvo una vez que se incorporó Reclamite	Estabilidad Marshall (Kg)	Flujo (mm)	Vacios (%)	Peso Vol. Kg/m ³	V. An (%)
1	0	3.70	481	2.40	14.6	1979	21.5
2	6.75	3.86	540	3.00	15.2	1923	20.5
3	13.5	4.02	612	3.25	12.5	2030	19.5
4	20.25	4.19	860	4.30	13.3	1962	21.5
5	27.00	4.34	755	3.30	11.2	1986	21.5
6	40.50	4.67	562	3.15	9.4	2080	18.2

B.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

1.- Prueba de Penetración en Asfaltos Oxidados.

Esta prueba se efectuó tanto en asfaltos recuperados de la parte superior, como en asfaltos recuperados de la parte inferior de las carpetas envejecidas, ya que se acepta que la parte inferior de la carpeta, al no estar en contacto directo con el oxígeno, su grado de oxidación será menor que el correspondiente al del asfalto en la parte superior, aspecto que se logró comprobar en las pruebas de laboratorio que se efectuaron, cuyos resultados se presentaron en las tablas anteriores.

En dichas tablas se observa que la tendencia en todas las curvas es similar, es decir, en un principio para incrementos pequeños de la penetración se requiere incorporar gran cantidad de Reclamite, sobre todo en asfaltos con mayor grado de oxidación; posteriormente, para altos incrementos en la penetración, se requieren pequeños porcentajes de Reclamite, ya que dichas curvas tienden a volverse asíntóticas a un cierto valor del porcentaje de agente añadido.

De lo anterior se puede deducir, que un asfalto con un grado de oxidación alto ya perdió sus aceites y gran parte de las resinas; entonces al incorporarle bajos contenidos del agente, éste reacciona químicamente con el asfalto oxidado y forma resinas, que vienen a sustituir a las que en un principio contenía el asfalto y como dichas resinas son duras, ya que están cerca del asfalto, no recupera mucho la penetración.

Una vez que el asfalto oxidado satisface lo referente a resinas, todo el agente que se incorpora reacciona formando los aceites faltantes, y estos aceites vienen a servir de lubricante entre las micelas, por lo que la penetración se incrementa rápidamente.

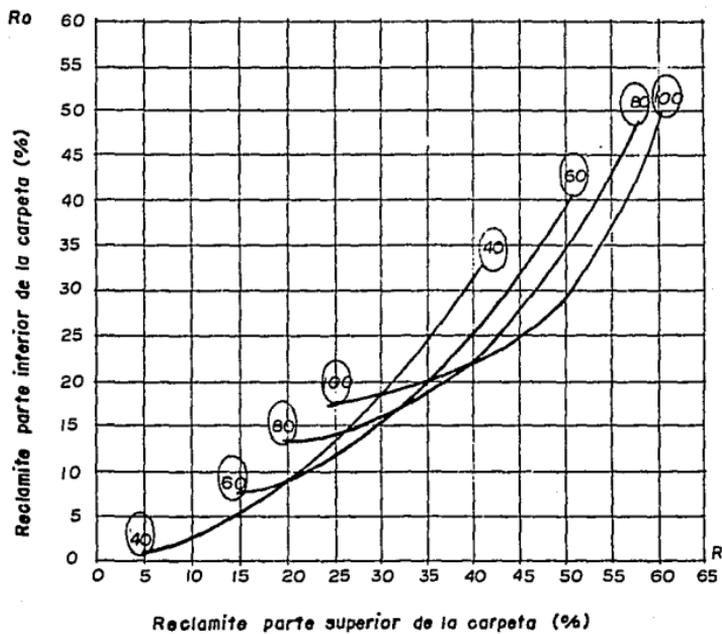
A su vez, en las tablas correspondientes a los asfaltos recuperados con poca vida de servicio, donde el grado de oxidación alcanzado no es grande, puede suponerse que en el proceso de oxidación de dichos asfaltos, éste únicamente ha perdido sus aceites, que son los más fáciles de atacar por el oxígeno y los más susceptibles a evaporación al producir la mezcla en la planta, por lo que la curva rápidamente se vuelve asíntótica, es decir, para pequeños porcentajes del agente, se logra un gran aumento importante en la penetración.

Otro aspecto interesante es que en el asfalto recuperado de la parte superior de la carpeta que presenta mayor grado de oxidación, o sea, el que tiene una vida de servicio de 20 años aproximadamente, cuando se le agregó un 60% del agente en volumen con respecto al asfalto, se logró una penetración aproximada de 100 grados y en estas condiciones, la cantidad del agente queda dentro del rango recomendado por la Golden Bear.

Con los resultados obtenidos en la prueba de penetración al incorporarle el agente al cemento asfáltico oxidado, se elaboró la gráfica mostrada posteriormente (III.6.B.1), en la cual las ordenadas representan el porcentaje de Reclamite necesario para lograr, en el asfalto recuperado de la parte inferior de la carpeta diferentes grados de penetración, a esta cantidad de agente se le llama Ro. En las abcisas se representa el porcentaje necesario para lograr en el asfalto recuperado de la parte superior de la carpeta los diferentes grados de penetración, al cual se le llama R.

Esta gráfica se elaboró para correlacionar el grado de oxidación que tiene el asfalto recuperado de la parte inferior con el de la parte superior, por medio de la penetración para diferentes cantidades de Reclamite. Los rangos de penetración que se escogieron fueron de 40, 60, 80 y 100 grados, ya que no necesariamente al rejuvenecer un asfalto, éste debe alcanzar una penetración que quede dentro de especificaciones.

El número dentro del círculo indica la penetración que se desea alcanzar en el asfalto oxidado



GRAFICA III. 6.B.1.

En esta gráfica se observan aspectos interesantes que a continuación se comentan.

a.- En todos los asfaltos recuperados, el grado de oxidación fue mayor en las muestras obtenidas de la parte superior de la carpeta que el obtenido de la parte inferior, ya que para todos los resultados obtenidos la relación $\frac{R_o}{R}$ fue menor que 1, con lo que se verificó la hipótesis su-puesta $\frac{R_o}{R}$ de que en la parte superior de la carpeta, al estar en contacto con el oxígeno, su grado de oxidación sería mayor que en la parte inferior.

b.- Se puede pensar que al momento de tender la carpeta elaborada con concreto asfáltico, el grado de oxidación del asfalto es el mismo en la parte superior que en la parte inferior de la carpeta, es decir, en un principio el grado de oxidación es constante en todo el espesor de la carpeta.

Los asfaltos ensayados con una edad aproximada de 20 años, mostraron un valor de la relación R_o/R más cercano a la unidad que los correspondientes a vidas de servicio menores. Aunque en este asfalto se encontró el mayor grado de oxidación, puede pensarse que con una gran vida de servicio tiende a uniformizarse en todo el espesor de la carpeta dicho grado de oxidación.

De igual manera, se observa para los asfaltos ensayados con poca vida de servicio, por ejemplo el correspondiente a 3 años de edad aproximada, que la relación R_o/R también alcanzó valores cercanos a la unidad, aunque un poco menores que los determinados en el asfalto recuperado con 20 años de servicio, mientras que los valores más bajos de la relación R_o/R se obtuvieron para los asfaltos recuperados con una vida de servicio intermedio entre los 2 anteriores, es decir, para 8 y 15 años de edad aproximada.

Estas variaciones probablemente obedezcan a lo siguiente:

b.1. En el asfalto recuperado con una edad aproximada de 3 años, gran parte de su oxidación se debe al envejecimiento prematuro, ocasionado por el calentamiento que sufrió al ser elaborada la mezcla en la planta, perdiendo aceites, y la pequeña diferencia en la oxidación entre la parte superior e inferior se debe a los 3 años que ha estado expuesto.

- b.2. En el asfalto recuperado con 20 años de servicio, la oxidación tiende a igualarse en todo el espesor de la carpeta, debido a que los aceites que contiene el asfalto están expuestos a una oxidación más rápida que la correspondiente a resinas.

Por lo tanto, se supone que la velocidad de oxidación en el asfalto es variable, siendo mayor en un principio y disminuye con el tiempo, o sea, que acabada de colocar la carpeta, la velocidad de oxidación es rápida en todo el espesor de la misma, pero un poco mayor en la parte superior, ya que está expuesto a mayor ataque del oxígeno. Después de un cierto tiempo, la velocidad de oxidación comienza a disminuir en la parte inferior, dicha disminución es más lenta. Una vez que la carpeta asfáltica ha estado expuesta al ataque del oxígeno durante grandes períodos, el grado de oxidación tiende a uniformarse en todo el espesor. Cabe recordar que los espesores de las carpetas asfálticas estudiadas fueron del orden de 5 cms.

- c.- Puesto que las gráficas (y tablas) se construyeron utilizando resultados obtenidos en pruebas efectuadas sobre carpetas de edades diferentes, para un mismo porcentaje de agente adicionado, la gráfica muestra diversas penetraciones alcanzadas. En realidad estas curvas han de interpretarse pensando que los puntos más cercanos al origen de coordenadas corresponden a carpetas jóvenes y que las más alejadas a carpetas más viejas, por lo que, al trazar una vertical cercana al origen, se interpretarán primero las curvas de menor penetración, correspondientes a muestras más viejas.

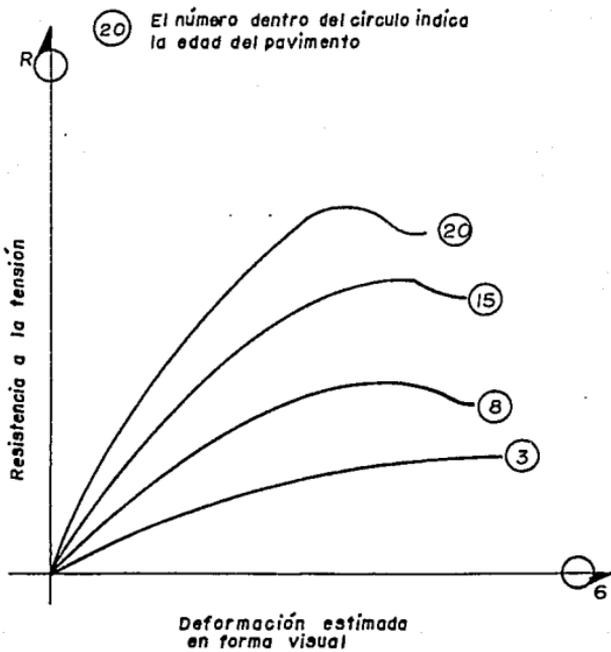
Si dicha vertical se corre hacia la derecha en la gráfica, para un porcentaje fijo de Reclamite, se alcanzarían mayores penetraciones para las muestras más jóvenes, lo cual es lógico y explica también el entrelazamiento de las curvas.

Por ejemplo, al agregarle el 25% de agente (R), el asfalto puede alcanzar una penetración de 60 grados, si inicialmente tenía una oxidación similar a la correspondiente al asfalto en estudio entre 3 y 8 años de vida de servicio, mientras otro asfalto con el mismo porcentaje de agente (25%) alcanza una penetración de 40 grados, si tiene una oxidación inicial similar a la del asfalto estudio entre 15 y 20 años de vida de servicio.

2.- Prueba de Tensión por Flexión en Carpetas Oxidadas.-

Los resultados obtenidos en esta prueba se comportan de acuerdo a lo esperado, es decir, las carpetas ensayadas con mayor grado de oxidación mostraron mayor resistencia a la tensión por flexión.

Del comportamiento de los especímenes en la prueba de tensión por flexión se observa que, a mayor grado de oxidación del asfalto, más rigidez de la carpeta y a menor grado de oxidación, mayor deformabilidad, pues, aunque no fue posible determinar las deflexiones que mostraron los especímenes en el instante de la falla de manera cuantitativa, sí fue posible estimarla en forma cualitativa mediante la observación visual. En función de estos resultados se contruyó la gráfica III.B.2. que es de tipo cualitativo.



GRAFICA III. 6.B.2.

De este comportamiento pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- a.- Cuando el comportamiento de la carpeta asfáltica tiene a ser rígido, estructuralmente trabajará en forma similar a un pavimento construido con una losa de concreto hidráulico, es decir, la carpeta trata de repartir la carga de los vehículos en áreas a zonas muy grandes, transmitiendo esfuerzos muy pequeños a la capa que le subyace. Lo que puede provocar la falla de la carpeta, ya que el espesor de ésta resulta insuficiente, aunque su resistencia sea más o menos alta. Además, debido a esta nueva forma de trabajo sufrirá agrietamientos por contracción, ya que la carpeta inicialmente se tiende en forma continua y siendo muy rígida no soporta las contracciones por cambios de temperatura.
- b.- Cuando el comportamiento de la carpeta es poco rígido, similar al que presenta la carpeta con un grado de oxidación similar al que obruvo para una vida de servicio de 3 años, sí estará trabajando de acuerdo al diseño distribuyendo los esfuerzos en áreas menores y soportando esfuerzos de flexión también menores.

Vida de servicio años	Resistencia a la tensión por flexión Kg/cm ²	R para penetraciones de (grados)			
		100	80	60	40
20	34.9	60.0	56.5	50.0	40.0
15	29.4	43.0	39.0	30.0	20.0
8	23.4	38.0	34.0	25.0	15.0
3	20.4	21.0	18.0	14.0	7.0

Posteriormente, con estos resultados de resistencia a la tensión por flexión y R para diferentes grados de penetración, se formó la gráfica III.6.B.3, en la cual se correlaciona la resistencia a la tensión por flexión con la cantidad de Reclamite (R), para diferentes grados de penetración.

3.- Método para determinar la cantidad de agente por emplear.

En una carpeta que se va a reciclar se deben elaborar unos especímenes para ensayarlos a la tensión por flexión.

4.- Prueba de Viscosidad y Ductilidad en Asfaltos Oxidados.

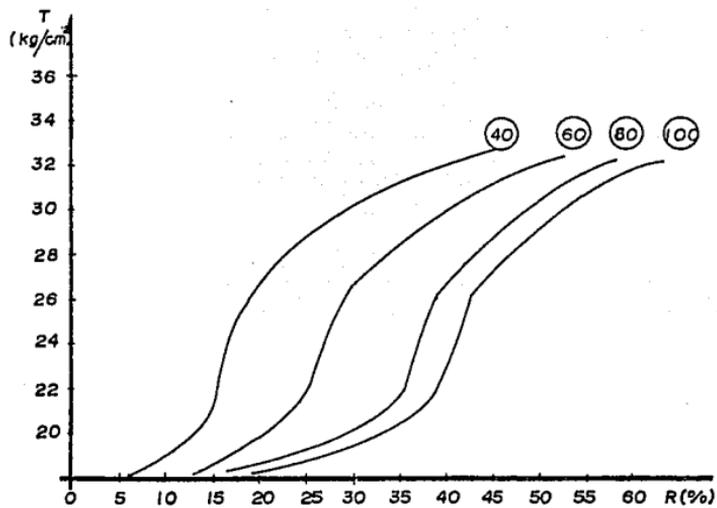
Estas pruebas se efectuaron, con el fin de tener información adicional sobre la recuperación de las propiedades en los asfaltos oxidados al incorporarles Reclamite. Únicamente fue posible la ejecución de estas pruebas, cuando al asfalto oxidado se le había adicionado una cantidad de Reclamite tal, que le provocó una penetración entre 80 y 100 grados.

a.- Prueba de Viscosidad:

De los resultados obtenidos en esta prueba se observó que, cuando el asfalto recuperado tenía mayor grado de oxidación antes de incorporarle el agente, el valor obtenido en esta prueba fue mayor que el que se obtuvo para asfaltos oxidados con menor grado de oxidación. De lo que puede pensarse que al reaccionar el Reclamite con el asfalto, éste sí recupera esta propiedad en parte y, es mayor la recuperación mientras menor sea el grado de oxidación inicial en el asfalto.

b.- Prueba de Ductilidad:

En los resultados obtenidos de esta prueba se observa algo similar a lo sucedido con la prueba anterior, es decir, al incorporarle el agente al asfalto oxidado, éste reacciona, pero únicamente recupera en parte esta propiedad, siendo más notoria la recuperación cuando el asfalto tiene menor grado de oxidación. En asfaltos oxidados con edades de servicio entre 15 y 20 años aproximadamente, los valores que se obtuvieron en esta prueba fueron menores que la mitad del mínimo especificado, porque puede pensarse, que en estas condiciones de rejuvenecimiento del asfalto, éste no tendrá gran adhesividad.

GRAFICA III.6.B.3.

Debido a la baja adhesividad que tendrá el asfalto, una vez que le sea incorporado el agente, no se considera conveniente dejar la carpeta reciclada sin ninguna protección como superficie de rodamiento, ya que el tránsito provocaría su rápida destrucción por efectos abrasivos.

5.- Pruebas en Asfaltos Oxidados en el Laboratorio.

En el laboratorio se provocó el envejecimiento prematuro en el asfalto por medio de un horno de rayos infrarrojos, con el fin de comparar este proceso de oxidación en asfaltos nuevos y asfaltos oxidados, que previamente fueron rejuvenecidos al incorporarles el agente, en tal porcentaje, que estos alcanzaron una penetración entre 80 y 100 grados. De los resultados obtenidos se infiere lo siguiente:

a.- En los primeros días de prueba, correspondientes a 4 y 6 días sometidos a rayos infrarrojos, la velocidad de oxidación fue mayor en los asfaltos rejuvenecidos con Reclamite que en los asfaltos nuevos, esta velocidad de oxidación se estimó en base a los resultados obtenidos en la prueba de penetración.

b.- A 8 días de aplicación de rayos infrarrojos, se obtuvo mayor penetración en los asfaltos rejuvenecidos con el agente que en los asfaltos nuevos, es decir, la velocidad de oxidación fue mayor en los asfaltos nuevos para este tiempo final de prueba.

De los puntos anteriormente comentados se puede deducir que un asfalto oxidado y posteriormente rejuvenecido con Reclamite, se oxidará más rápido que uno nuevo, pero una vez que alcance cierto grado de oxidación, la velocidad de oxidación tenderá a valores muy pequeños, mientras que en uno nuevo la velocidad disminuirá, pero menos rápido que en el asfalto rejuvenecido.

Probablemente esta rapidez en la oxidación del asfalto se deba a que, al reaccionar químicamente el agente con el asfalto produce aceites más susceptibles a la oxidación y resinas menos susceptibles.

Estas pruebas se efectuaron con el fin de determinar la posible vida útil de una carpeta reciclada, es decir, el tiempo en que se debe volver a reciclar la carpeta para que ésta no alcance un grado de oxidación alto y no se comporte en forma rígida. Es conveniente hacer la aclaración que estos resultados se obtuvieron en el laboratorio, es decir, con diferentes condiciones de oxidación a los que realmente se tendrán en el campo.

6.- Prueba Marshall.

De los resultados obtenidos en esta prueba se puede comentar lo siguiente:

a.- En la actualidad, el por ciento de asfalto con respecto al agregado pétreo que tiene la mezcla es de 3.73%, e inicialmente se elaboró con el 6.2% aparentemente perdió en estos 11 años de servicio el 2.5% aproximadamente, quizá debido a evaporación de los aceites que forman el asfalto en el proceso de oxidación, a la falta de adherencia del agregado pétreo con el asfalto, éste se separó de la carpeta por efectos abrasivos del tránsito e intemperismo.

b.- Se obtuvo la estabilidad máxima en la mezcla para un por ciento de Reclamite de 22, mismo con el cual se puede obtener una penetración muy cercana a 80 grados.

c.- Al incorporarle Reclamite a la mezcla de prueba se observó que se incrementó el por ciento de cemento asfáltico en forma que tiende a ser lineal; tomando en consideración que el agente rejuvenecedor utilizado viene diluido en agua en la proporción 2 partes de Reclamite por una parte de agua, se incrementa el por ciento de asfalto en igual forma en que se le incorpora el agente o sea, que toda la cantidad de agente se convierte en asfalto, mientras que el agua se evaporó al calentar la mezcla.

d.- En los resultados obtenidos en el flujo y vacíos, se observan valores que no presentan un comportamiento lógico, probablemente debido a la granulometría del material ya que se presentan muchos huecos. El flujo sí se incrementa conforme se le incorpora el agente, aunque en el último valor observado, éste disminuye. En cuanto a los vacíos sí se reducen al adicionárselo, aunque los valores obtenidos son altos, quizá debido a su granulometría abierta.

C.- Método para determinar la cantidad de Reclamite por emplear.

Para definir esta cantidad han de tomarse en cuenta los siguientes aspectos importantes:

- a.- El grado de oxidación en que se encuentra el asfalto, ya que a mayor grado necesitará mayor cantidad de agente rejuvenecedor.
- b.- La cantidad de cemento asfáltico que contiene la mezcla
- c.- El espesor de la carpeta que se requiere tratar.

Estos factores son los que en forma directa rigen la cantidad de agente rejuvenecedor que se debe emplear, aunque pudiera pensarse también en el grado de rejuvenecimiento que se desea en el asfalto.

El manual de Reclamite presenta dos formas para determinar la cantidad de agente rejuvenecedor que debe aplicarse en una carpeta oxidada. Los procedimientos recomendados se presentan a continuación:

a.- Método Empírico: Este método está basado en la prueba de permeabilidad de la división de carreteras de California y su procedimiento es el siguiente:

- 1.- Con un crayón dibujar un círculo de seis pulgadas de diámetro en el pavimento.
- 2.- Aplicar grasa alrededor del círculo en un espesor de 1/4".
- 3.- Con el dedo índice presionar la grasa para que penetre en el pavimento y formar una represa para la solución que se aplicará.
- 4.- Medir 8.3 cc de agente rejuvenecedor y aplicarlo dentro del círculo en forma uniforme por medio de una brocha.
- 5.- Registrar el tiempo de penetración del Reclamite, entre su aplicación y la pérdida del color y brillantéz de la superficie.
- 6.- Si los 8.3 cc penetran en menos de 15 minutos, repetir la prueba con más solución, hasta que el tiempo de penetración sea justamente 15 min.
- 7.- Si los 8.3 cc no son absorbidos en 15 minutos, repetir la prueba con menos solución, hasta que el tiempo de penetración sea justamente 15 min.
- 8.- Cada 8.3 cc de Reclamite que penetren en el pavimento, en 15 minutos, indicarán un requerimiento de 0.45 litros por cada metro cuadrado por tratar.

b.- Método Analítico: Este procedimiento toma en cuenta la composición química del asfalto envejecido y de los maltenos en el "RECLAMITE", así como la composición que se desea alcance el asfalto rejuvenecido, por medio de la siguiente ecuación:

$$X = \frac{(P + A_2) (R - 0.8)}{16.8}$$

Donde:

$$R = \frac{N + A_1}{P + A_2}$$

X = Porcentaje de agente concentrado que se usará

P = Porcentaje de parafina en el asfalto envejecido

A₂ = Porcentaje de acidafines secundarios en el asfalto envejecido

N = Porcentaje de nitrógeno base en el asfalto envejecido

A₁ = Porcentaje de acidafines primarios en el asfalto envejecido

En el primer caso, siendo el procedimiento empírico se requiere que el ingeniero esté lo suficientemente familiarizado con él para poder estimar la cantidad adecuada.

En el segundo procedimiento mostrado, se necesita determinar en un laboratorio químico los componentes del asfalto, lo que hace a este procedimiento bastante laborioso y difícil de aplicar, ya que el número de pruebas necesarias es grande y no es posible en todos los casos contar con un laboratorio que pueda realizarlas.

En ambos procedimientos no se toma en consideración la estabilidad y el comportamiento mecánico que puede alcanzar la mezcla una vez tratada.

OTRO METODO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE "RECLAMITE" POR EMPLEAR ES EL SIGUIENTE:

- 1.- Determinar la resistencia a la tensión por flexión (T) de la carpeta que se pretende reciclar, para lo cual es necesario utilizar el procedimiento de prueba mencionado anteriormente.
- 2.- En la gráfica III.6.B.3. se entra con el resultado obtenido de resistencia a la tensión por flexión (T) en las ordenadas y con dicho valor se traza una horizontal hasta intersectar la curva de la penetración que se pretende alcanzar el asfalto al rejuvenecerlo. Desde este punto de intersección se baja una vertical que marca en la abcisa el valor requerido de "RECLAMITE" (R) que se debe emplear.
- 3.- Como dicho resultado se encuentra en porciento con respecto al cemento asfáltico, se debe determinar la cantidad de cemento asfáltico con que cuenta la carpeta que se pretende reciclar.
- 4.- El espesor que se tratará (escarificará) en la carpeta al aplicarle el procedimiento de reciclado y considerando su área de 1 m^2 , se determina el volumen de mezcla asfáltica por cada metro cuadrado.
Posteriormente calcular el volumen de asfalto que existe por cada metro cuadrado de pavimento y en el espesor que se rejuvenecerá.
- 5.- Con los datos obtenidos en los incisos 2 y 4, es decir, el porcentaje de "RECLAMITE" con respecto al volumen de asfalto y el volumen de asfalto por cada metro cuadrado de pavimento, se multiplica y directamente se determina la cantidad del agente, en volumen que se debe aplicar por cada metro cuadrado de pavimento al aplicar el procedimiento de reciclado.

D.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- Conclusiones

- a.- De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas en asfaltos oxidados, el agente rejuvenecedor funciona como tal, es decir, reacciona químicamente con el asfalto adicionándole a este último los aceites y resinas perdidos debido a su oxidación.

En todas las pruebas efectuadas se obtuvo una recuperación en las propiedades del asfalto oxidado, siendo ésta más notoria en unas pruebas que en otras, como fue el caso de la penetración, que fue donde mejor se pudo observar.

Por otro lado, la prueba de penetración en asfaltos puede considerarse como la más representativa para determinar el grado de oxidación que ha alcanzado un asfalto y también como la más apropiada para conocer el rejuvenecimiento del asfalto al aplicarle el agente.

b.- Por lo que respecta a método propuesto para determinar la cantidad de "RECLAMITE" al aplicar el procedimiento de reciclado a una carpeta asfáltica oxidada, puede afirmarse que este método se basa en los resultados obtenidos en la prueba de penetración efectuada en la recuperación de esta propiedad al incorporarle "RECLAMITE", así como en la prueba de resistencia a la tensión por flexión efectuada en carpeta asfáltica con diferentes grados de oxidación.

Y los resultados obtenidos por este método quedarán comprendidos dentro del rango fijado por la Golden Bear.

c.- El procedimiento de reciclado en pavimentos asfálticos se puede considerar como una rehabilitación de la superficie de rodamiento, ya que únicamente se trata esta capa y le corrigen alguna deficiencia, como grietas, pequeñas deformaciones, etc., al homogenizar la mezcla asfáltica y devolverla al asfalto oxidado casi en la mayoría de sus propiedades iniciales.

2.- Recomendaciones

a.- La cantidad de agente que se debe aplicar al emplear el procedimiento de reciclado no se debe escoger en forma arbitraria, sino que ésta debe ser tal que en el asfalto oxidado al rejuvenecimiento se obtenga una penetración entre 80 y 100 grados, debido a que con la aplicación de una cantidad de "RECLAMITE" mayor a aquella con la que se obtienen 100 grados de penetración, este valor se incrementaría bastante disminuyendo la resistencia del asfalto y la estabilidad de la mezcla.

Para cantidades de agente menores a la que proporciona una penetración de 80 grados, se obtienen logros muy pequeños en la recuperación de las propiedades.

Colocar cantidades altas de "RECLAMITE" puedan provocar en la carpeta:

- Inestabilidad
- Llorado
- Comportamiento plástico, bajo coeficiente de fricción, etc., con lo que en lugar de mejorar las condiciones de la superficie de rodamiento del pavimento, se acelerará su destrucción, disminuyendo su nivel de servicio.

Utilizar cantidades de "RECLAMITE" inferiores a las aquí recomendadas no es una solución óptima, ya que la carpeta seguiría con alta rigidez y el asfalto rápidamente se volvería a oxidar, disminuyendo rápidamente su nivel de servicio, por lo que el incremento en la vida útil del pavimento al aplicar este procedimiento sería bajo y quizá incosteable.

b.- La carpeta asfáltica de un pavimento se debe reciclar en un tiempo comprendido entre 5 y 8 años de servicio, dependiendo de la zona, condiciones climatológicas, tránsito, etc., a que se encuentre sometido, esto con el fin de no permitir en la carpeta un alto grado de oxidación que incremente su rigidez.

Debido a que el grado de oxidación no es uniforme en todo el espesor de la carpeta, y con este procedimiento de reciclado se trata únicamente la parte superior de la misma, es necesario efectuarlo antes que la parte inferior alcance una rigidez alta, con lo cual se logra que en todo el espesor de la carpeta su grado de oxidación sea bajo y por consiguiente trabaje de acuerdo a como fue diseñado el pavimento y no ocurran fallas prematuras.

Cuando se va a aplicar un segundo tratamiento de reciclado, el tiempo que debe transcurrir entre un tratamiento y el otro debe ser un poco menor que el transcurrido en el primer ciclo, ya que los asfaltos rejuvenecidos se oxidan más rápidamente que los asfaltos nuevo.

c.- El procedimiento de reciclado únicamente se debe aplicar en aquellos pavimentos que presenten falla en la carpeta y no en la estructura o en alguna otra capa del pavimento, ya que este procedimiento no solucionaría el problema.

d.- Debido a que el asfalto oxidado no recuperó totalmente la ductilidad al aplicarle "RECLAMITE", se considera que un asfalto rejuvenecido no tendrá gran adherencia con el agregado, por lo cual es necesario aplicar sobre la superficie de pavimento reciclado una pequeña capa de carpeta nueva, para prevenir la destrucción de la carpeta por efectos abrasivos del tránsito e intemperismo.

CAPITULO IV.- SISTEMA DE CORTE DE PAVIMENTOS

IV.1. INTRODUCCION AL SISTEMA.-

El sistema de corte de pavimentos mediante equipos abrasivos y que ha sido también llamado "planchado en frío", es un método que permite reperfilar la superficie de los pavimentos. Con este procedimiento, rápidamente se logra una superficie de rodamiento, minimizando las interrupciones y obstáculos al tránsito. En este método, se emplean unos cilindros de acero giratorios parecidos a los rodillos pata de cabra; se hace girar el cilindro montado en su sistema de transporte móvil y se produce un efecto fuertemente abrasivo sobre la superficie atacada. El costo principal en este método lo constituye el desgaste de las uñas o dientes abrasivos, pero el rápido avance que se logra con este método hace que resulte económicamente competitivo contra los métodos tradicionales, los cuales han consistido en el bacheo, la construcción de sobrecarpetas de refuerzo, tanto para pavimentos asfálticos como de concreto hidráulico, lo cual redundaría en que se eleve la rasante y frecuentemente en que los daños de la superficie original se reflejen en la nueva sobrecarpeta.

El perfilado mediante corte, el sistema de rejuvenecimiento ya visto y aún el reciclado en planta, constituyen métodos de reparación de pavimentos que se presume se impondrán en un futuro cercano, pues en la actualidad, ya son numerosos los casos en que los gálibos de los puentes resultan inadecuados por las frecuentes sobrecarpetas.

Es muy común el caso de que se coloquen sobrecarpetas, debido a que la superficie actual de rodamiento o es funcionalmente inadecuada (superficie lisa, deformada, etc.), o bien, presenta características que hagan temer que en un futuro próximo se dañe seriamente el pavimento, sin que se requiera refuerzo estructural.

En tales casos, resulta frecuentemente ventajoso remover la parte dañada, reciclarla y volverla a tender, o bien, ligar la superficie descubierta con una nueva carpeta, o inclusive dejar la superficie tal y como quedó después de aplicar la abrasión.

El empleo de los equipos para el corte presenta pues, las siguientes ventajas generales sobre los métodos tradicionales de reparación de pavimentos:

- Se eleva menos la rasante; factor muy importante sobre todo cuando no existen fallas de tipo estructural.

- La textura que queda después de pasar el equipo es muy antiderrapante, por lo que en algunos casos, puede dejarse descubierta a ésta con el acabado que queda después del corte.
- Se logra una mejor liga con la nueva capa de refuerzo.

IV.2. METODO DE CONSTRUCCION.-

Podría definirse brevemente que el procedimiento de construcción con este equipo consiste simplemente, según se mencionó, en el recorte, en frío, de un cierto espesor de la capa superficial de un pavimento, mediante la rotación de un cilindro armado de dientes de carburo de tungsteno.

A diferencia de la máquina que efectúa el rebajado general, existe una más pequeña y de alta maniobrabilidad para el trabajo de detalle, como podría ser la remoción previa de zonas locales muy inestables, remover grietas alabeadas, efectuar el recorte cerca de los pozos de visita o de otro tipo de estructuras.

En el pasado, se acostumbraba también efectuar la remoción de parte del espesor de una carpeta mediante el "planchado en caliente", pero se ha abandonado este método por tener la desventaja de que se envejece más al asfalto; además de presentar un avance muy lento, poca penetración, alto consumo de energéticos y serios problemas para el control de la profundidad de penetración. En este caso, se tiene todavía una desventaja más, y es que la mezcla removida tiene que ser desechada o recalentada para su aprovechamiento, lo cual no sucede con el empleo de las rebajadoras en frío, que producen el agregado prácticamente triturado, factor éste que debe ser atentamente vigilado, pues claramente se comprende que la granulometría puede cambiar radicalmente, en comparación con la que se tenía in-situ; esto último si se desea reciclar a la mezcla removida.

IV.3. APLICACIONES.-

Existían dos motivos por los que no se había logrado imponer el sistema de reciclado, uno era su alto costo y el otro la baja producción, aunado esto a problemas de contaminación ambiental debido al humo y gases producidos en las plantas recicladoras. Por otro lado, como ya se dijo, el sistema de calentado de la carpeta para su remoción no resultaba funcional por su baja penetración. Sin embargo, con el advenimiento del rebajado de las carpetas en "frío" se obtiene alta efectividad en la remoción de la carpeta cuando se trata de reciclarla, con la ventaja adicional de que el material obtenido ya está prácticamente triturado y los costos resultan

competitivos contra otros sistemas.

Podrían citarse entre las ventajas obtenidas con este método las siguientes:

- Se reducen los costos ya que se emplea menos material para sobreacarpeta.

- Se obtiene una liga mucho mejor con la sobreacarpeta, si es necesaria su colocación.

La superficie, uniformemente aserrada o estriada, que se obtiene, proporciona un magnífico anclaje, por lo que se evitan las fallas de corrimientos en la sobreacarpeta.

- Se incrementa notablemente la vida de la sobreacarpeta colocada sobre el pavimento rebajado, debido a que el espesor de mezcla asfáltica adicional es uniforme, es decir, que no se coloca sobre una superficie deformada o agrietada, defectos éstos que en un período razonable pueden reflejarse en la nueva sobreacarpeta.

- El peso volumétrico de la nueva sobreacarpeta es uniforme, al quedar debidamente compactado sobre una superficie también uniforme.

Entre las principales aplicaciones de la máquina rebajadora podrían citarse las siguientes:

- Renovar la superficie de rodamiento en aquellos casos en que existan imperfecciones de acabado.

- Proporcionar una buena liga con las sobreacarpetas.

- En pavimentos rígidos o flexibles cuya superficie de rodamiento se haya alisado, la máquina rebajadora produce una muy buena textura resistente al derrapamiento.

- Para remover superficies inestables, dañadas o con malas características de rodamiento.

- Para reciclar a las carpetas.

Las dos primeras aplicaciones son en realidad las más usuales.

Debe tenerse muy presente que cualquiera que sea el procedimiento empleado en el rebajado de una superficie de rodamiento, la granulometría resulta afectada así como

el contenido de asfalto con respecto al estado original de la mezcla, lo que obliga, en los sistemas de reciclado, a realizar previamente un minucioso análisis de estos aspectos.

IV.4. RECICLADO EN PLANTA DE MEZCLAS ASFALTICAS.-

Debido a la cada vez más crítica escasez de materiales para carpeta, así como de energéticos; el reciclado de los pavimentos asfálticos ha resultado ser un método muy útil en la actualidad, ya sea realizado éste en plantas móviles o fijas. Este método consiste en escarificar a la carpeta y trasladarla a la planta en donde se lleva a cabo el reciclado. Un escarificado con sistemas tradicionales tiene la desventaja de que se puede dañar a la base, lo cual a toda luz es un inconveniente, además de los problemas que se causan al tránsito al realizar este tipo de trabajo, que de por sí es costoso. Una buena solución para la remoción de la carpeta es el empleo de las máquinas rebajadoras de las que ya se habló.

En las plantas de reciclado se ha observado que a mayor producción se tiene mayor contaminación. Sin embargo, a la fecha, ya se han desarrollado plantas y técnicas en las que se cuida mucho el aspecto del calentamiento del asfalto de la mezcla antigua, de tal manera que las llamas no lo toquen y por otra parte, se han instalado dispositivos que eliminan en gran parte el problema de la contaminación.

Entre los factores que se deben tomar en cuenta para estudiar la aplicabilidad del reciclado de carpetas pueden ennumerarse los siguientes:

- Estado del pavimento actual.
- Efectos de la sobrecarpeta en la rasante.
- Costos de agregado adicional, asfalto adicional, remoción, etc.

Cabe mencionar que el empleo de la mezcla en el reciclado, sin adición de agentes, agregados y/o asfalto, ha dado malos resultados.

Entre los datos necesarios para el diseño de una mezcla reciclada se necesita contar con la siguiente información:

- Espesor de la carpeta actual.
- Espesor necesario de la nueva carpeta.

- Costo total del material recuperado.
- Costo del material adicional.
- Granulometría del material original, producido por el rebajado-
y modificado por el transporte y elaboración de la mezcla.
- Contenido y dureza del asfalto a reciclar.
- Especificaciones

CAPITULO V.- COSTOS REPRESENTATIVOS DE LAS OPERACIONES

1.- A Continuación se presentan precios unitarios actualizados a julio de 1990, con la salvedad que los costos actualmente varían cada tres meses por diversos factores, como son: aumento en combustibles y asfaltos, depreciación de la moneda, incrementos en fletes y mano de obra etc.

- a) reciclados en el lugar, en caliente con espesor de 2 a 3 cms.
- b) Suministro y aplicación de emulsión rejuvenecedora Reclamite, sobre la -
superficie.
- c) Fresado de carpeta asfáltica, utilizando sistema de corte en frío, de 3 -
cms. de espesor.
- d) Fresado de carpeta asfáltica, utilizando sistemas de corte en frío, de 7-
cms. de espesor.
- e) Riego de liga con asfalto rebajado FR-3, a razón 0.5 lt/m².
- f) Carepta de concreto asfáltico de 4 cms. de espesor compacto.
- g) Sello de concreto asfáltico tipo Open Graded de 2 cms. de espesor compacto.

1.- COSTOS HORARIOS DEL EQUIPO

LISTADO DE COSTOS HORARIOS UTILIZADOS EN EL ANALISIS
DE LOS PRECIOS UNITARIOS.

M A Q U I N A R I A	TOTAL COSTO HORARIO
PETROLIZADORA DE 6,500 LITROS, MONTADA EN CHASIS FORD F-600	67,781.14
PIPA DE AGUA DE 3,000 LITROS, PARA SUMINISTRO DE AGUA.	50,292.50
RECICLADORA ASPHALT EQUIPMENT	211,518.95
CORTADORA FRESADORA DE PAVIMENTOS C.M.I. PR-750	363,455.10
FRESADORA DE PAVIMENTOS B.J.D. MINIPLANER DRESSER	30,167.67
FINISHER MONTADO EN CAMION ASPHALT EQUIPMENT	128,193.30
FINISHER AUTOPROPULSADO PARA CARPETA C.M.I. AP-1100	148,957.01
RODILLO VIBRATORIO VAP- 55 (MULLER)	51,792.51
RODILLO TANDEM 6.5-9 TONELADAS RT-82 H (MULLER)	41,434.08
RODILLO TANDEM 8-10 TONELADAS (COMPACTO)	44,803.72
RODILLO METALICO TRES RUEDAS (MULLER)	46,424.46
COMPACTADOR NEUMATICO AUTOPROPULSADO AP-14 (MULLER)	45,005.14
TRACTOR AGRICOLA 60 H.P.	27,614.55
BARREDORA GRACE 3 M CON MOLOTE DE FIBRA	13,807.28

2.- ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CONCERTO: RECICLADO EN EL LUGAR, EN CALIENTE CON UN ESPESOR DE 2 A 3 CH.

UNIDAD H²

C A L C U L O S		PARCIALES	CARGOS
1	EQUIPO:		
	a) Recicladora Asphalt Equipment	\$ 211,518.95	
	b) Finisher de Reciclado	128,193.30	
	c) Compactador Tandem 6-9,5 Ton	41,434.08	
	d) Neumático Autopropulsado 14 Ton	45,005.14	
	e) Pipa de agua de 3,000 Lt.	50,292.50	
	f) Barredora mecánica	13,807.28	
	g) Tractor agrícola	27,614.55	
		<hr/>	
		\$ 517,865.80	
	Rendimiento	700 m ² /hr.	
	Eficiencia	85 %	
	Costo por m ² = $\frac{517,865.80}{700 \times 0.85}$	=	870.36
2	PERSONAL		
	a) Peones (6), S.D. \$ 10,080.00		
	$10,080.00 \times 6 \times 1.57 \div 7$	13,564.80	
	b) Rastrilleros (3), S.D. \$ 11,592.00		
	$11,592.00 \times 3 \times 1.52 \div 7$	7,551.36	
	c) Cabo (1), S.D. \$ 12,600.00		
	$12,600.00 \times 1 \times 1.52 \div 7$	2,736.00	
		<hr/>	
		\$ 23,852.16	
	Rendimiento	700 m ² /hr.	
	Eficiencia	85 %	
	Costo por m ² = $\frac{23,852.16}{700 \times 0.85}$		40.09

3.- HERRAMIENTA 3% PERSONAL:
40.09 x 0.03 =

1.20

COSTO DIRECTO: \$ 911.65

INDIRECTOS, FACTURACION Y UTILIDAD 47.6% 433.95

PRECIO UNITARIO \$ 1,345.60

CONCEPTO: SUMINISTRO Y APLICACION DE EMULSION REJUVENECEDORA RECLAMITE,
SOBRE LA SUPERFICIE.

UNIDAD: m²

C A L C U L O S	PARCIALES	CARGOS
1	Equipo:	
	Petrolizadora de 5,900 lts.	\$ 67,781.14
	Rendimiento 500 lts./hr.	
	Eficiencia 85%	
	Costo por m ² =	<u>67,781.14</u>
		500 x 0.85 = \$ 159.49
2	Materiales:	
	Costo emulsión L.A.B. México, D.F.	675.00
	Acarreo de 500 Km.	60.70
	Almacenaje	<u>9.00</u>
		\$ 744.70
	Costo por litro: \$744.70 x 1 =	<u>744.70</u>
	COSTO DIRECTO	\$ 904.19
	INDIRECTOS, FACTURACION Y UTILIDAD 47.6%	<u>430.39</u>
	COSTO POR LITRO	\$ 1,334.58

	Dosificación 0.5 lt/m ²	
	Costo por litro = 1,334.58 x 0.5	\$ <u>667.29</u>

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CONCEPTO: FRESADO DE CARPETA ASFALTICA, UTILIZANDO PROCEDIMIENTO DE CORTE EN FRIJO DE 3 CM. DE ESPESOR.

UNIDAD: m²

C A L C U L O S	PARCIAL	CARGOS
1. Equipo:		
A. Corte.		
a) Cortadora Roto Mill PR-750	\$ 363,455.10	
Pipa de agua de 3,000 Lts.	<u>50,292.50</u>	
	\$ 413,747.60/hr	
b) Rendimiento 550 m ² /hr.		
c) Eficiencia 85%		
d) Costo por m ² = \$ <u>413,747.60</u> =	885.02	
550 x 0.85		
B. Corte de detalles		
a) Cortadora Miniplaner	30,167.67/hr	
b) Rendimiento 550 m ² /hr.		
c) Eficiencia 85%		
d) Costo por m ² = <u>30,167.67</u> =	64.53	
550 x 0.85		
C. Barrido		
a) Costo horario		
Tractor agrícola 60 H.P.	27,614.55	
Barredora Grace	<u>13,807.28</u>	
	\$ 41,421.83	
b) Rendimiento. 550 m ² /hr.		
c) Eficiencia 85%		
d) Costo por m ² = <u>41,421.83</u>	88.60	\$ 1,038.15
550 x 0.85		

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CONCEPTO: FRESADO DE CARPETA ASFALTICA, UTILIZANDO PROCEDIMIENTO DE CORTE EN FRIJO DE 3 CM. DE ESPESOR.

UNIDAD: m²

CALCULOS	PARCIAL	CARGOS
2. Personal:		
a) Peones (10), S.D. \$ 10,080.00		
\$ 10,080 x 10 x 1.57 ÷ 7 =	22,608.00	
b) Cabo (1), S.D. \$ 12,600.00		
\$ 12,600.00 x 1 x 1.52 ÷ 7 =	2,736.00	
	<u>\$ 25,344.00</u>	
c) Rendimiento 550 m ² /hr		
d) Eficiencia 85%		
e) Costo por m ² $\frac{\$25,344.00}{550 \times 0.85} =$		54.21
3. Herramientas: 3 % Personal		
54.21 x 0.03		<u>1.63</u>
	COSTO DIRECTO	\$ 1,093.99
	INDIRECTOS, FACTURACION Y UTILIDAD 47.6%	<u>520.74</u>
	PRECIO UNITARIO	\$ 1,614.73 *****

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

. 127 .

CONCEPTO: FRESADO DE CARPETA, UTILIZANDO PROCEDIMIENTO DE CORTE EN FRIO, EN
7 cm. DE ESPESOR.

UNIDAD m²

C A L C U L O	PARCIALES	CARGOS
1. Equipo:		
A. Costo		
a) Cortadora Roto Mill PR-750	\$ 363,455.10/hr	
Pipa de agua de 3,000 Lts.	<u>50,292.50/hr</u>	
	\$ 413,747.60/hr	
b) Rendimiento 300 m ² /hr		
c) Eficiencia 85 %		
d) Costo por m ² = $\frac{\$ 413,747.60}{300 \times 0.85} =$	1,622.54	
B. Corte de detalles		
a) Cortadora Miniplaner	\$ 30,167.67	
b) Rendimiento 300 m ² /hr		
c) Eficiencia 85%		
d) Costo por m ² = $\frac{\$ 30,167.67}{300 \times 0.85} =$	118.30	
C. Barrido		
a) Costo horario		
Tractor agrícola	\$ 27,614.55	
Barredora Grace.	<u>13,807.28</u>	
	\$ 41,421.83	
b) Rendimiento 300 m ² /hr		
c) Eficiencia 85%		
d) Costo por m ² = $\frac{\$ 41,421.83}{300 \times 0.85} =$	162.44	\$ 1,903.28
2. Personal:		
a) Peones (10), S.D. \$ 10,080.00		
	$\$ 10,080 \times 10 \times 1.57 \div 7 =$	22,608.00
b) Cabo (1), S.D. \$ 12,600		
	$12,600 \times 1 \times 1.52 \div 7 =$	<u>2,736.00</u>
		25,344.00

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

. 128 .

CONCEPTO: FRESADO DE CARPETA, UTILIZANDO PROCEDIMIENTO DE CORTE EN FRIO, EN
7 cm. DE ESPESOR.

UNIDAD m²

C A L C U L O	PARCIALES	CARGOS
c) rendimiento 300 m ² /hr		
d) Eficiencia 85%		
e) Costo por m ² = $\frac{25,344.00}{300 \times 0.85}$ =		99.39
3. Herramientas: 3% del personal		
99.39 x 0.03% =		2.98
		2,005.65
	COSTO DIRECTO	
	INDIRECTOS, FACTURACION Y UTILIDAD 47.6%	954.69
		\$ 2,960.34
	PRECIO UNITARIO	*****

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CONCEPTO: RIEGO DE LIGA CON ASFALTO REBAJADO FR-3 A RAZON DE 0.5 Lt/m²UNIDAD: m²

C A L C U L O S	PARCIALES	CARGOS
1. Equipo		
a) Petrolizadora de 5,900 litros	67,781.14	
Rendimiento 800 Lt/hr		
Eficiencia 85%		
Costo por litro = $\frac{67,781.14}{800 \times 0.85}$ =		99.69
2. Materiales:		
a) Asfalto rebajado FR-3	208.70	
b) Acarreo a 850 km.	103.19	
c) Almacenaje	3.96	
d) Calentamiento y bombeo	4.51	
e) Normas y desperdicios 10%	32.04	
Costo por litro: = 352.40 x 1 =		352.40
		<hr/>
	COSTO DIRECTO:	452.09
	INDIRECTOS, FACTURACION Y UTILIDAD 47.6%	215.19
		<hr/>
		667.28
Dosificación 0.5 Lt/m ²		
Costo por m ² = 667.28 x 0.5 =		\$ 333.64

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CONCEPTO: CAREPTA DE CONCRETO ASFALTICO DE 4 CM. DE ESPESOR COMPACTO.

UNIDAD: m²

C A L C U L O S	PARCIALES	CARGOS
1.	Adquisición de mezcla asfáltica.	
	Precio L.A.B. planta	42,000.00/Ton
	Peso volumétrico = 2,150 kg/m ³	
	Peso por m ² = $\frac{2,150 \times 0.04}{1000}$ = 0.086 ton/m ²	
	Costo por m ² = 0.086 x 42,000.00	3,612.00
2.	Acarreo de mezcla a la obra	
	Distancia de acarreo 24 km.	
	Tarifa de acarreo \$ 300.00 Ton/km.	
	280.00 ton/km subs.	
	Volúmen por m ² 0.04 m ³ compacto	
	Peso volumétrico 2.15 ton/m ³	
	Costo por m ² = 0.04 x 300 x 2.15	25.80
	0.04 x 23 x 280 x 2.15	553.84
		\$ 579.64
3.	Tendido y compactación	
A.	Equipo	
a)	Finisher AP-1100 C.M.I.	148,957.01
b)	Compactador Tandem	44,803.72
c)	Aplandaora 3 ruedas	46,424.46
d)	Neumático Autopropulsor	45,005.14
e)	Vibrocompactador VAP-55	51,792.51
		\$ 336,982.84
	Rendimiento 45 ton/hr	
	Eficiencia 85%	
	Costo por m ² = $\frac{336,982.84}{45 \times 0.85} \times 0.04 \times 2.15$ =	757.66

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CONCEPTO: CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO DE 4 CH. DE ESPESOR COMPACTO

UNIDAD: m²

C A L C U L O S	PARCIALES	CARGOS
B. Personal:		
a) Peones (8), S.D. \$ 10,080		
$10.080 \times 8 \times 1.57 \div 7 =$	18,086.40	
b) Rastrillero (3), S.D. \$ 11,592		
$11,592 \times 3 \times 1.52 \div 7 =$	7,551.36	
c) Cabo (1), S.D. \$ 12,600		
$12,600 \times 1 \times 1.52 \div 7 =$	2,736.00	
	<u>28,373.76</u>	
Costo por m ² = $\frac{28,373.76}{45 \times 0.85} \times 0.04 \times 2.15$	63.79	
C. Herramientas:		
3% Personal $63.79 \times 0.03 =$	1.91	823.36
		<u>823.36</u>
	COSTO DIRECTO	\$ 5,015.00
	INDIRECTOS, FACTURACION Y UTILIDAD 47.6%	2,387.14
		<u>7,402.14</u>
	PRECIO UNITARIO	\$ 7,402.14

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CONCEPTO: SELLO DE CONCRETO ASFALTICO TIPO OPEN GRADED DE 2 CM. DE ESPESOR COMPACTO

UNIDAD: m²

C A L C U L O S	PARCIALES	CARGOS
1.	Adquisición de mezcla asfáltica	
	Precio L.A.B. planta	57,000.00
	Peso volúmetrico 2,150 kg/m ³	
	Peso por m ³ = $\frac{2,150 \times 0.02}{1000}$ = 0.043 ton/m ²	
	Costo por m ² = 0.043 x 57,000 =	2,451.00
2.	Acarreo de mezcla a la obra	
	Distancia de acarreo 24 km.	
	Tarifa de acarreo 380.00 ton/km.	
	Volúmen por m ² = 0.02 m ³ compacto	
	Peso volúmetrico 2.15 ton/m ³	
	Costo por m ² = 0.02 x 380.00 x 2.15 = \$ 16.34	
	0.02 x 23 x 280 x 2.15 = 276.92	293.26
3.	Tendido y compactación	
A.	Equipo	
a)	Finisher AP-1100 C.M.I.	148,957.01
b)	Compactador Tandem	44,803.72
c)	Aplanadora 3 ruedas	46,424.46
d)	Neumático autopropulsado	45,005.14
e)	Vibrocompactador VAP-55	51,792.51
		\$ 336,982.84
	Rendimiento 40 ton/hr	
	Eficiencia 85%	
	Costo por m ² = $\frac{336,982.84 \times 0.02}{40 \times 0.85} \times 2.15$	426.18

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CONCEPTO: SELLO DE CONCRETO ASFALTICO TIPO OPEN GRADED DE 2 CM. DE ESPESOR COMPACTO.

UNIDAD : m²

C A L C U L O S	PARCIALES	CARGOS
B. Personal		
a) Peones (8), S.D. \$ 10,080		
10,080 x 8 x 1.57 ÷ 7	18,086.40	
b) Rastrillero (3), S.D. \$ 11,592		
11,592 x 3 x 1.52 ÷ 7 =	7,551.36	
c) Cabo (1), S.D. \$ 12,600		
12,600 x 1 x 1.52 ÷ 7	2,736.00	
	<u>28,373.76</u>	
Costo por m ² = $\frac{28,373.76 \times 0.02}{40 \times 0.85} \times 2.15$	35.88	
C. Herramienta: 3% de personal		
35.88 x 0.03	1.08	463.14
		<u>\$ 3,207.40</u>
COSTO DIRECTO:		
		1,526.72
INDIRECTOS, FACTURACION Y UTILIDAD 47.6%		<u>\$ 4,734.12</u>
PRECIO UNITARIO		*****

3.- ANALISIS DE FACTOR SALARIO REAL1.- FACTOR TIEMPOI.- DIAS PAGADOS:

a) días al año	365.00 días
b) Aguinaldo	15.00 días
c) Prima Vacacional	1.5 días
	<hr/>
SUMA	381.5 días

II.- DIAS NO TRABAJADOS:

a) Descanso semanal	
363 x 7	52.14 días
b) <u>Descanso por Ley</u>	
10. Enero	
5 Febrero	
21 Marzo	
10 Mayo	
16 Septiembre	
20 Noviembre	
10 Diciembre c/6 años	
25 Diciembre	
	<hr/>
	7.17 días
c) Vacaciones	6.00 días
	<hr/>
SUMA	65.31 días

$$\text{Factor tiempo} = \frac{381.50}{365 - 65.31} = 1.2730$$

2.- IMPUESTOS

a) Salario mínimo	
Cuota Seguro Social	19.6875
Cuota Guardería Seguro Social	1.0000
Remuneraciones pagadas	1.0000
	<hr/>
SUMA	21.6875
b) Salario mayor al mínimo	
Cuota Seguro Social	15.9375
Cuota Guardería Seguro Social	1.0000
Remuneraciones Pagadas	1.0000
	<hr/>
SUMA	17.9375

4.- ANALISIS DEL COSTO INDIRECTO QUE SE APLICA EN LOS PRECIOS UNITARIOS
DESCRITOS ANTERIORMENTE:

ANALISIS INDIRECTOS

ADMINISTRACION CENTRAL	6.60 %
ADMINISTRACION CAMPO	8.00 %
TRANSPORTE PERSONAL Y EQUIPO	1.09 %
FINANCIAMIENTO	6.00 %
FIANZAS	0.45 %
IMPREVISTOS	1.00 %

IMPUESTOS

INSP. Y VIGILANCIA	0.5 %
CAMPOS DEPORTIVOS	<u>0.2 %</u>
	0.7 %
0.7 x 1.4591	<u>1.02 %</u>
	24.26 %
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	
17.24 x 1.2247 = 21.11	
IMPUESTOS 5/UTILIDAD	
0.42 x 21.11	<u>8.87 %</u>
	33.03 %
UTILIDAD (10%) 0.1 x 131.3	
	<u>13.13 %</u>
	46.16 %
O.S.B.R.S. (1%) 0.01 x 144.47	
	<u>1.44 %</u>
	47.60 %

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

- 1.- LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES. VOL. 2 ING. ALFONSO RICO Y HERMILIO DEL CASTILLO.
- 2.- MANTENIMIENTO DE CARRETERAS Y DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION. S.O.P.
- 3.- NORMAS PARA CALIFICAR EL ESTADO FISICO DE UN CAMINO S.O.P.
- 4.- CAUSAS E IDENTIFICACION DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS (PROCEDIMIENTOS DE REHABILITACION), ING. DOMINGO SANCHEZ ROSADO.
- 5.- DISEÑO DE REFUERZO PARA PAVIMENTOS EN CARRETERAS, ANALISIS MEDIANTE DEFLEXIONES (METODO DE CALIFORNIA), ING. ROBERTO GONZALEZ MARTINEZ, ING. JAIME ERIK CASTAÑEDA DE ISLA PUGA, E ING. JORGE A. ALBARRAN.
- 6.- METODOLOGIA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, S.A.H.O.P.
- 7.- REHABILITACION DE PAVIMENTO MEDIANTE RECICLADO Y AGENTES REJUVENECEDORES REPAV, S.A. ING. C. FERNANDEZ LOAIZA E ING. RAFAEL LIMON LIMON.
- 8.- MANUAL DE RECLAMITE, GOLDEN BEAR DIVISION 1977.
- 9.- ESPECIFICACIONES S.O.P., PARTE OCTAVA, LIBRO PRIMERO Y SEGUNDO.
- 10.- MATERIALES PARA PAVIMENTACION, ING. CARLOS FERNANDEZ LOAIZA, 1976.
- 11.- MANUAL DE PRECIOS UNITARIOS DE LA COMPAÑIA CONSTRUCTORA RECICLADOS Y PAVIMENTOS, S.A.
- 12.- LINEAMIENTOS PARA EL RECICLAMIENTO DE LOS MATERIALES DE PAVIMENTACION (RECUPERACION DE LOS MATERIALES), POR JOHN A. EPPS.
- 13.- RECICLAMIENTO DE LAS CARPETA ASFALTICAS POR EL PROCEDIMIENTO DE ESCARIFICACIONES EN CALIENTE Y RECUBRIMIENTO (INSTITUTO DEL ASFALTO).
- 14.- INSTRUCTIVO PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FELXIBLES PARA CARRETERAS, SANTIAGO CORRO, ROBERTO MAGALLANES Y GUILLERMO PRADO, SERIES DEL INSTITUTO DE INGENIERIA No. 444 NOVIEMBRE DE 1981.