

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES  
ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN**

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la

Facultad de Ingeniería

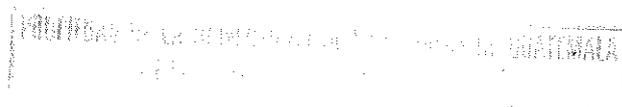
por

**HUGO ALEXANDER RODRÍGUEZ GUZMÁN**

al conferírsele el título de

**INGENIERO CIVIL**

Guatemala, octubre de 1997



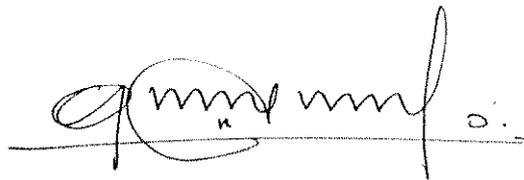
CO  
T(4155)  
CA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

De acuerdo con los preceptos establecidos por la Universidad de San Carlos de Guatemala respecto al Examen Público de Tesis, presento a su consideración mi trabajo titulado:

**RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES  
ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'H' followed by 'A. R. G.' and a horizontal line underneath.

HUGO ALEXANDER RODRÍGUEZ GUZMÁN

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Herbert René Miranda Barrios  
VOCAL 1: Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra  
VOCAL 2: Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano  
VOCAL 3: Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez  
VOCAL 4: Br. Víctor Rafael Lobos Aldana  
VOCAL 5: Br. Wagner Gustavo López Cáceres  
SECRETARIA: Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: Ing. Julio I. González Podszueck  
EXAMINADOR: Ing. Edgar de León Maldonado  
EXAMINADOR: Ing. José Osmán González Prera  
EXAMINADOR: Ing. Alfredo Montenegro  
SECRETARIO: Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano (A.T.)

Guatemala, 6 de Octubre de 1997

Ingeniero  
Edgar De León Maldonado  
Jefe del Departamento de Transporte  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente.

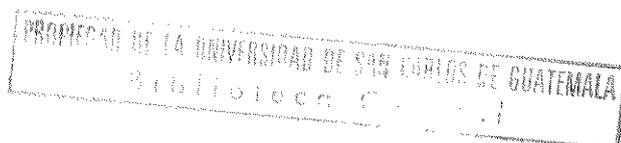
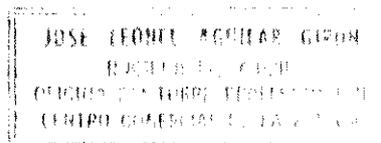
Estimado Ingeniero De León:

Por este medio me dirijo a usted para manifestarle que de acuerdo con el nombramiento emitido por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, he asesorado el trabajo de tesis titulado: RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADOS CON EMULSION, desarrollado por el estudiante universitario HUGO ALEXANDER RODRIGUEZ GUZMAN, previo a optar el título de Ingeniero Civil.

Al haber sido concluido este trabajo y habiendo efectuado la revisión final, manifiesto a usted que dicho trabajo de Tesis cumple con los requerimientos establecidos para su desarrollo y proporciona un instrumento valioso para la planificación y ejecución de proyectos de Recuperación y rehabilitación de pavimentos flexibles, razón por la cual lo doy por APROBADO y me responsabilizo conjuntamente con el autor de este trabajo por su contenido, conclusiones y recomendaciones.

Atentamente,

  
Ing. José Leonel Aguilar Giron  
Asesor





**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala,  
7 de octubre de 1997

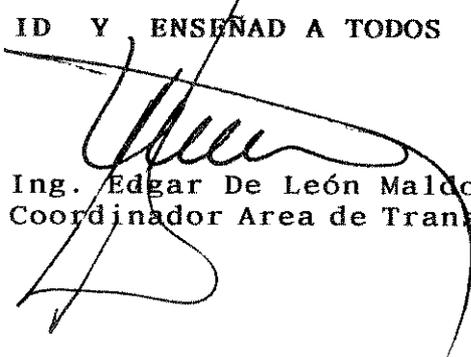
Ingeniero  
Jack Douglas Ibarra S.  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

Habiendo revisado el trabajo de tesis titulado **RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN**, apoyada en el dictamen favorable del asesor, ingeniero José Leonel Aguilar Girón, esta jefatura recomienda que se le de aprobación al trabajo desarrollado por el estudiante **HUGO ALEXANDER RODRÍGUEZ GUZMÁN**.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Edgar De León Maldonado  
Coordinador Area de Transportes

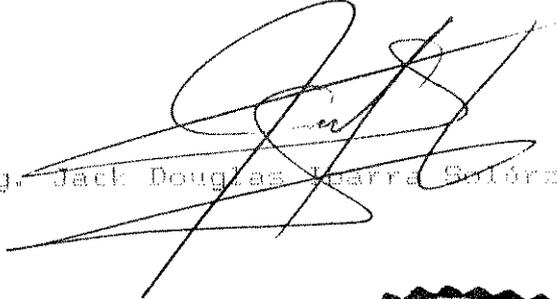


**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. José Leonel Aguilar Girón y del Jefe del Departamento de Transporte Ing. Edgar Daniel de León M., del trabajo de tesis del estudiante Hugo Alexander Rodríguez Guzmán, titulado RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADOS CON EMULSION, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

  
Ing. Jack Douglas Barra Salórzano

Guatemala, octubre de 1,997.



IDIS/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

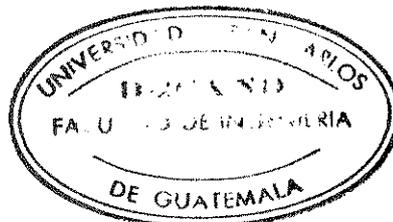
El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTABILIZADOS CON EMULSION**, del estudiante Hugo Alexander Rodríguez Guzmán, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios

DECANO

Guatemala, octubre de 1, 997



/bbdeb.

## ACTO QUE DEDICO A

MIS PADRES: Hugo Mauricio Rodríguez Posadas  
Delia Guzmán de Rodríguez

MI ESPOSA: Karina Mildred

MI HIJO: Pablo Alexander

MIS HERMANOS: Eberth Mauricio y Delia Luz

MIS SOBRINOS: Diego Andrés, Francisco Javier, Sebastián y  
Daniel Alejandro

MIS CUÑADOS: Jeaneth y Eddy

MIS TIAS: María Guzmán e Isabel Monroy

MI PRIMA: Amelia

MI ABUELA: Victoria Posadas

MIS AMIGOS: Orlando, Vinicio, Jorge, Rony, Maco y Byron

## AGRADECIMIENTO

A Dios nuestro señor, por la vida y por permitirme alcanzar mi meta anhelada.

Al Ing. José Leonel Aguilar Girón, por brindarme su apoyo y asesoría.

A la empresa Pavimentos de Guatemala, S.A. por su apoyo y confianza, especialmente a Don Roberto y Allen.

A los ingenieros Tonio Bonatto e Irvin Martínez, por su apoyo.

## ÍNDICE

	Página No.
INTRODUCCIÓN	i
OBJETIVOS	ii
<b>Capítulo I - GENERALIDADES</b>	
1.1 Razones y Justificaciones del Reciclado de Pavimentos Flexibles	1
1.2 Factores que determinan si se puede reciclar o no	3
1.2.1 Condiciones generales	8
1.2.2 Tipos de ensayos	10
<b>Capítulo II - ANÁLISIS Y DISEÑO</b>	
2.1 Sistemas para estabilización	22
2.1.1 Tipos de emulsión	28
2.2 Diseño del espesor de la base y el punto de riego para estabilización	31
2.2.1 Método empírico	32
2.2.2 Método del aporte estructural por capas	41
<b>Capítulo III - TIPO DE MAQUINARIA Y SUS CARACTERÍSTICAS</b>	
3.1 Maquinaria que se utiliza y función de cada una	49
3.1.1 Reciclado	50
3.1.2 Pavimentación	59



<b>Capítulo IV</b>	<b>-</b>	<b>MÉTODO CONSTRUCTIVO</b>	
4.1		Procedimiento en campo	68
	4.1.1.	Compactación	82
4.2		Problemas que se pueden dar y posibles soluciones	86
<b>Capítulo V</b>	<b>-</b>	<b>CARACTERÍSTICAS, DISEÑO Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO ASFÁLTICO</b>	
5.1.		Concreto asfáltico	91
	5.1.1	Diseño de la mezcla de concreto asfáltico	99
5.2		Bases para el diseño de espesores	100
5.3		Colocación en campo	102
	5.3.1	Compactación	107
	5.3.2	Problemas que se pueden dar y posibles soluciones	112
CONCLUSIONES			116
RECOMENDACIONES			117
BIBLIOGRAFÍA			119

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis tiene como propósito principal proporcionar información actualizada sobre los nuevos procedimientos de estabilización de bases y renovación de carpetas asfálticas, debido a que hoy en día son muy necesarias para minimizar costos y tener un proceso constructivo más rápido y sin interrupciones de tráfico, en carreteras ya deterioradas.

En nuestro país la rehabilitación de obras viales tiene una gran importancia, ya que años atrás realmente se carecía de carreteras en buen estado, y el viajar ocasionaba molestias tanto al conductor como a los pasajeros, pero en la actualidad gracias al plan de mantenimiento, desarrollado por el gobierno, a través del Ministerio de Comunicaciones y Transportes y Obras Públicas, se obtuvo la oportunidad de aplicar este nuevo método, con resultados altamente satisfactorios, tanto así, que ya es desarrollado por varias empresas del país.

Básicamente se puede afirmar que en el desarrollo de un país, las vías de comunicación juegan un papel fundamental ya que proporcionan los medios que favorecen un intercambio de bienes y servicios más amplio y una economía más dinámica, teniendo como resultado un mayor crecimiento económico.

El propósito de este trabajo de tesis es informar de este método constructivo en la rehabilitación de carreteras, esperando contribuir de alguna manera a la formación de nuevos criterios y a mejorar las técnicas de ejecución de este tipo de trabajos en el medio.

## OBJETIVOS

### Generales:

- a) Hacer un reconocimiento general de este método para la rehabilitación de carreteras.
- b) Dar a conocer el tipo de maquinaria que se utiliza y las funciones de cada uno de ellos en el proceso constructivo.
- c) Hacer mención de los principales procedimientos a seguir para el desarrollo del proceso constructivo.
- d) Contribuir al uso más eficiente de esta tecnología en el país.

### Específicos:

- a) Proporcionar a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, material bibliográfico que reúna todos los aspectos técnicos de principio a fin, incluyendo aspectos de diseño, los cuales en la mayor parte de libros se encuentran en forma separada.
- b) Suministrar al profesional un documento de consulta para el diseño y ejecución del reciclado de pavimentos flexibles.
- c) Proporcionar al estudiante de ingeniería un documento donde pueda conocer el tipo de maquinaria que interviene tanto en la construcción como en la rehabilitación de obras viales.
- d) Despertar inquietudes en el estudiante y en el profesional para promover la aplicación de tecnología de otros países, e introducirla en los cursos correspondientes.

## Capítulo I

### GENERALIDADES

#### 1.1 RAZONES Y JUSTIFICACIONES DEL RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES:

La recuperación de pavimentos es un procedimiento que pulveriza y mezcla la estructura superior de un pavimento existente en el mismo lugar, con cierta cantidad de un agente estabilizador, formando así una base mejorada. Adicionalmente los costos son más bajos porque se vuelven a utilizar los mismos materiales.

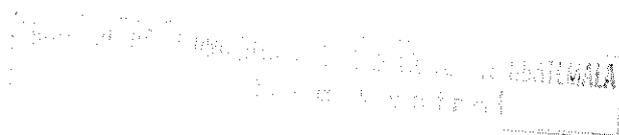
En épocas anteriores reconstruir totalmente la superficie de una carretera consistía en levantar el pavimento, cargar el material, transportarlo a una trituradora, y devolver el material al punto de trabajo y esparcirlo. Ahora una recicladora realiza todas estas funciones en la obra ("In-Situ") en una sola pasada. La máquina autopropulsada tiene un rotor o tambor de púas, con puntas de carburo de tungsteno, facilitando la pulverización del pavimento. El trabajo se realiza rápidamente con equipo mínimo y pocas interrupciones del flujo normal del tránsito.

El procedimiento de recuperación de pavimentos

proporciona los materiales para formar una nueva base de alta calidad, mezclando asfalto pulverizado con la base deteriorada, produce una base homogénea y mejorada. Este procedimiento le da al ingeniero la oportunidad de mejorar la capacidad soporte de carga, agregando aditivos líquidos o más agregados. Una base estable aumenta la vida útil de la carretera y permite más flexibilidad al escoger el tipo y el espesor de la carpeta de rodadura.

Según la experiencia de una empresa extranjera, "Por la rentabilidad de la recuperación de carreteras, este procedimiento atrae a los funcionarios de caminos y departamentos de vialidad y a los ingenieros viales del mundo entero. Primeramente, el costo inicial por kilómetro de carretera recuperado y recubierto es por lo general menor a los costos asociados con otros métodos de construcción, adicionalmente las carreteras recuperadas tienen bases más estables de manera que duran más y tienen más bajos costos de mantenimiento"

La recuperación se puede realizar sin más equipo que una máquina de recuperación, una motoniveladora y un compactador, no descartando otras máquinas que puedan facilitar el trabajo que es a mano, además del equipo de



tratamiento de la superficie o capa de rodadura. Cuando se sustituye la recuperación por la reconstrucción total, se reparan más kilómetros de carretera con el mismo presupuesto.

#### **1.2 FACTORES QUE DETERMINAN SI SE PUEDE RECICLAR O NO:**

Las razones y justificaciones dadas anteriormente no implican que todo camino puede someterse al proceso de recuperación. A veces un recapeo es más económico y provee mayor duración, pero, para que el recapeo sea económicamente factible y duradero, el pavimento existente debe cumplir con las siguientes condiciones:

- a) **Estado de la carpeta:** no debe tener deformaciones, grietas o desintegraciones, ya que se reflejarán rápidamente en la carpeta nueva, entonces mejor optar por reciclaje.
- b) **Una estructura de base de alta calidad:** será necesario hacer los ensayos de granulometría, límites, proctor, C.B.R y equivalente de arena (ver cap. 1.2.2), para establecer la calidad y verificar si el aporte estructural del recapeo es suficiente para las necesidades de diseño, o mejor optar por reciclar, si el espesor requerido de carpeta es demasiado grueso.

c) **Disponibilidad económica:** si se cuenta con pocos recursos económicos y solo se necesita cubrirlo por un período corto de vida útil, al finalizar este período siempre será necesario reciclarlo.

Si el pavimento no satisface las condiciones antes mencionadas no se podrá recapear y se beneficiará con el proceso de recuperación.

Una de las consideraciones importantes en toda aplicación de recuperación, es el espesor de la capa del pavimento. Las estructuras con superficie pavimentada de menos de 15 cm. son las más apropiadas para la recuperación, si la capa pavimentada es mayor de 15 cm. puede tener sentido económico usar un tractor D8 o D10 para levantar o escarificar el pavimento, triturándolo parcialmente con las bandas y después completar este proceso con la recicladora, o bien usar una perfiladora en frío para remover una parte de la capa. El subproducto del perfilado en frío (pavimento de asfalto de reciclaje) se puede almacenar y mezclar después con la base recuperada, usando la recicladora e incluso se puede usar como complemento de los agregados minerales empleados en la producción de concreto asfáltico.

**Caminos para los que no se recomienda la recuperación:****1) Caminos con bases dañadas:**

Los daños en las bases ocurren con frecuencia, en pavimentos que se han ido formando a través de los años y han evolucionado de brechas a caminos de tierra, luego a camino de grava, y por último la superficie asfaltada. La base nunca fue debidamente preparada para soportar el volumen de tránsito o las cargas de los ejes de vehículos que ahora se le imponen. El resultado es una estructura inadecuada, insuficiente y peligrosa, con baches, ondulaciones, zanjas formadas por lluvias y erosiones profundas. A menos que se mejore la base, la superficie de rodadura se desgastará continuamente; en este caso es mejor sustituir el material y hacer una nueva base.

**2) Caminos de trazo sinuoso:**

Algunos caminos se componen geoméricamente de muchas curvas horizontales. Esto puede constituir un peligro para el tráfico ya que se carece de visibilidad y resulta un riesgo muy grande, tanto para los pilotos de vehículos como para el personal que trabaje en su rehabilitación.

**3) Caminos con pendientes muy fuertes:**

En este caso resulta peligroso trabajar con la maquinaria, ya que ésta se forza notablemente y además pueden provocar accidentes que después se pueden lamentar.

**Caminos para los que se recomienda la recuperación:**

**1) Caminos que necesitan más capacidad soporte:**

La recuperación de caminos comprende la estructura superior del pavimento (base más capa de rodadura). Esta operación proporciona las condiciones ideales para mejorar las propiedades mecánicas y químicas de la base. Según el criterio del ingeniero, se pueden usar aditivos como aglomerantes, estabilizadores o agregados triturados.

Cualquiera de estos aditivos se pueden mezclar con los materiales existentes en una o varias operaciones.

**2) Caminos estrechos:**

Los caminos estrechos (de dos sentidos) son ideales para el reciclado. La máquina de recuperación

se puede usar para ampliar el ancho a cada lado del camino existente. Al mezclar los materiales de la superficie de rodadura, se puede crear una base uniforme del ancho deseado, pero previamente preparando la subrasante de las ampliaciones.

**3) Caminos asfaltados con abundantes grietas y fisuras:**

Una superficie de rodadura asfáltica oxidada, con abundantes grietas y fisuras que permiten se filtre el agua hasta la base, creando problemas estructurales, se podría colocar un recapeo, pero únicamente sella la superficie temporalmente, pueden ocurrir rápidamente quebraduras, continuando el mismo problema de filtración de agua. La mejor solución es pulverizar el asfalto dañado, quizás añadir un agente estabilizador y mezclarlo con la base para obtener una base de espesor mayor y mejor capacidad de carga.

**4) Caminos de grava:**

Son caminos que se han mantenido durante años aplicándoles agregados de base triturada que se pueden convertir con bases estables con la recuperación.

El procedimiento es mezclar los agregados existentes y posiblemente agregar algún aditivo que el ingeniero considere necesario. Conformado y compactado, este material queda listo para tender la superficie de rodadura.

#### 1.2.1 CONDICIONES GENERALES:

Antes de comenzar un proyecto de recuperación, se deben considerar los siguientes factores:

- a) Los resultados finales deseados.
- b) El período de diseño para la estructura del pavimento.
- c) El tipo de construcción para la estructura del pavimento.

Estos factores determinan otros requisitos del proyecto como:

- Aglomerante adicional (aditivos líquidos)
- Agregados vírgenes necesarios
- Uso de estabilizadores de suelos
- Necesidades de equipos

Entre los pasos usuales en el diseño de un pavimento está evaluar las condiciones existentes,

para determinar la causa de la falla del pavimento y decidir los requisitos para la construcción. La recuperación permite al ingeniero construir una nueva estructura desde la base, puede especificar los materiales y técnicas que aseguren el logro de los resultados finales que se buscan.

El objetivo principal en el proceso de reciclado es la obtención de un pavimento lo suficientemente sólido que soporte el volumen de tráfico que se espera durante el período de diseño. Al construir una base estable, se mejora la capacidad de soporte para las cargas a las que va a ser sometida la nueva estructura.

Cuando existen agregados minerales en la capa de base del pavimento, los testigos (muestreo) y ensayos de laboratorio también proveen información sobre los agregados en cada capa y de la estructura total que resultará en el espesor de reciclado. El ingeniero debe interesarse en el tipo de agregados, graduación, dureza y condición de cada una de las capas, para analizarlas por separado y así determinar si se necesitan agregados adicionales.

Después de tomar en cuenta todos los factores necesarios para un buen diseño, según las necesidades del lugar, se hace una planificación del trabajo para saber cuánto es lo mínimo que se debe recuperar al día, para poder obtener los costos directos y también para determinar el tiempo de ejecución de la obra.

Es muy importante llevar un buen control de calidad, ya que de esto dependerá el éxito de todo lo que se planificó con anterioridad, que con deseo y voluntad se puede lograr.

#### 1.2.2 TIPOS DE ENSAYOS:

Para lograr resultados confiables y tener un control de calidad en la base, es necesario proceder a efectuar varios ensayos como norma de seguridad.

La base se define como una capa de espesor substancial que se coloca o prepara sobre la sub-base y sirve de soporte a la capa de rodadura, con el fin de distribuir las cargas concentradas, al llegar a su límite de fatiga, esta capa se comienza a debilitar generando fisuras, grietas, etcétera,

por lo que es necesario reforzar la estructura, y esto se hace por medio del reciclado del pavimento. Pero previo a esto hay que hacer una serie de ensayos para establecer la calidad de la base, haciendo los ensayos de granulometría, proctor y C.B.R., para establecer si es necesario solamente pulverizar el asfalto y mezclarlo con la base, o si es necesario agregarle un estabilizador para aumentar su aporte estructural y después para llevar el control de compactación y humedad en el proyecto.

#### **Análisis granulométrico:**

Este análisis ayudará a establecer si la base cumple con las especificaciones de las bases trituradas o si es necesario agregarle materiales triturados adicionales, previo a los trabajos de reciclado.

El análisis granulométrico consiste en separar y clasificar por tamaños el material que lo componen, mediante el método por tamices, para obtener la curva de granulometría en papel semilogarítmico. En la escala aritmética vertical

se anotan los porcentajes del material que pasó por los distintos tamices, en la escala logarítmica horizontal las aberturas de los diferentes tamices utilizados, que corresponden a los diámetros de las partículas del suelo o material, la curva resultante debe estar dentro de las establecidas en las especificaciones para bases trituradas, si no cumpliera las especificaciones habría que agregarle materiales triturados para que entre en curva, según las especificaciones para bases que se adopten en el proyecto.

#### **Especificaciones para bases de grava o piedra triturada**

De conformidad con las especificaciones de construcción de la Dirección General de Caminos, el material de base debe consistir en piedra o grava de buena calidad, trituradas y mezcladas con material de relleno, de manera que el producto obtenido, corresponda a uno de los tipos de graduación estipulados y llene además los requisitos siguientes:

- a) **Valor soporte:** el material debe tener un CBR, AASHTO T 193, mínimo de 90%, efectuado sobre muestra saturada a 95% de compactación, AASHTO T

180, o bien un valor R, AASHTO T 190 mayor de 85.

- b) **Abrasión:** la porción de agregado, retenida en el Tamiz No. 4 (4.75 mm), no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión mayor de 50 a 500 revoluciones, según AASHTO T 96.
  
- c) **Caras Fracturadas, y Partículas Planas o Alargadas:** no menos del 50% en peso de las partículas retenidas en el Tamiz No. 4 (4.75 mm) deben tener por lo menos una cara fracturada; ni más del 20% en peso pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.
  
- d) **Impurezas:** el material de base de grava o piedra trituradas, debe estar razonablemente exento de materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro de la capa de base, pueden causar a criterio profesional, fallas en el pavimento.
  
- e) **Graduación:** el material para la capa de base de grava o piedra triturada, debe llenar los requisitos

de graduación, según AASHTO T 2 y T 11, para uno de los tipos que se establecen a continuación, o según lo indiquen las disposiciones especiales

TIPOS DE GRADUACIÓN PARA MATERIAL  
DE CAPA DE BASE DE GRAVA O PIEDRA TRITURADAS

TAMIZ No.	STANDARD mm	PORCENTAJE POR PESO QUE PASA UN TAMIZ DE ABERTURA CUADRADA AASHTO T 27					
		TIPO "A"		TIPO "B"		TIPO "C"	
		2" máximo		1 1/2" máximo		1" máximo	
		A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
2	50	100	100				
1 1/2	37.50			100	100		
1	25.00	65-85	70-90	70-95	70-100	100	100
3/4	19.00	50-80	50-75	55-85	60-90	70-100	70-100
3/8	9.50				45-75		50-80
No. 4	4.75	30-60	25-60	30-60	30-60	35-65	35-65
10	2.00				20-50		25-50
40	0.425	10-25	7-30	10-25	10-30	15-25	15-30
200	0.075	3-10	0-15	3-10	5-15	3-10	5-15

La curva de graduación del material de base de grava o piedra trituradas, debe ser uniforme y de preferencia paralela a la curva de valores medios en los tamices especificados, no aceptándose cambios bruscos entre dos tamices adyacentes.

f) **Plasticidad y Cohesión:** el material de base de grava o piedra trituradas, en el momento de ser colocado en la carretera, debe tener en la fracción que pasa el Tamiz No. 4 (4.75 mm), incluyendo el material de relleno, las características siguientes:

1) **Plasticidad:** la porción que pasa el Tamiz No. 40 (0.425 mm.) no debe tener un índice de plasticidad, AASHTO T 90, mayor de 3, ni un límite líquido, AASHTO T 89, mayor de 25, determinados ambos sobre muestra preparada en húmedo, AASHTO T 146. Cuando las disposiciones especiales lo indiquen expresamente, el índice de plasticidad puede ser más alto, pero en ningún caso mayor de 6.

2) **Material más fino de 0.075 mm.:** el porcentaje que pasa el Tamiz No. 200 (0.075 mm), debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el

Tamiz No. 40 (0.425 mm).

3) Equivalente de Arena: no debe ser menor de 40, determinado según AASHTO T 176.

g) **Material de relleno:** cuando se necesite agregar material de relleno, en adición al que se encuentra naturalmente en el material triturado, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión, éste debe estar libre de impurezas y consistir en un suelo arenoso, limo inorgánico, polvo de roca, u otro material con alto porcentaje de partículas que pasen el Tamiz No. 10 (2.00 mm).

#### Compactación en laboratorio (Proctor)

Un suelo está formado por diferentes tamaños de partículas, estas partículas tienen formas diversas, existiendo entre ellas espacios intergranulares que se denominan vacíos, los que pueden estar ocupados por aire, agua o ambos a la vez.

Si una masa de tierra se presenta en estado suelto, su volumen es mayor que si está comprimido, es decir, su volumen de vacíos es mayor, el cual se puede reducir a

base de una acción de comprimir la masa de tierra; a esta operación se le denomina "compactación".

**Definición de compactación:**

Es el proceso realizado, generalmente por medios mecánicos, para efectuar presiones sobre el material para mejorar su densidad o acondicionar mejor su volumen disminuyendo los vacíos.

Al compactar un suelo se obtienen las siguientes ventajas:

- a) Se establece un contacto más firme entre las partículas.
- b) Las partículas de menor tamaño son forzados a ocupar los vacíos formados por las de menor dimensión.
- c) Cuando el suelo está compactado, aumenta su valor soporte y se hace más estable.

Para determinar la densidad seca de un suelo después de haberle aplicado una misma intensidad de compactación para varios contenidos de humedad, en nuestro medio se usan los métodos proctor, y proctor modificado.

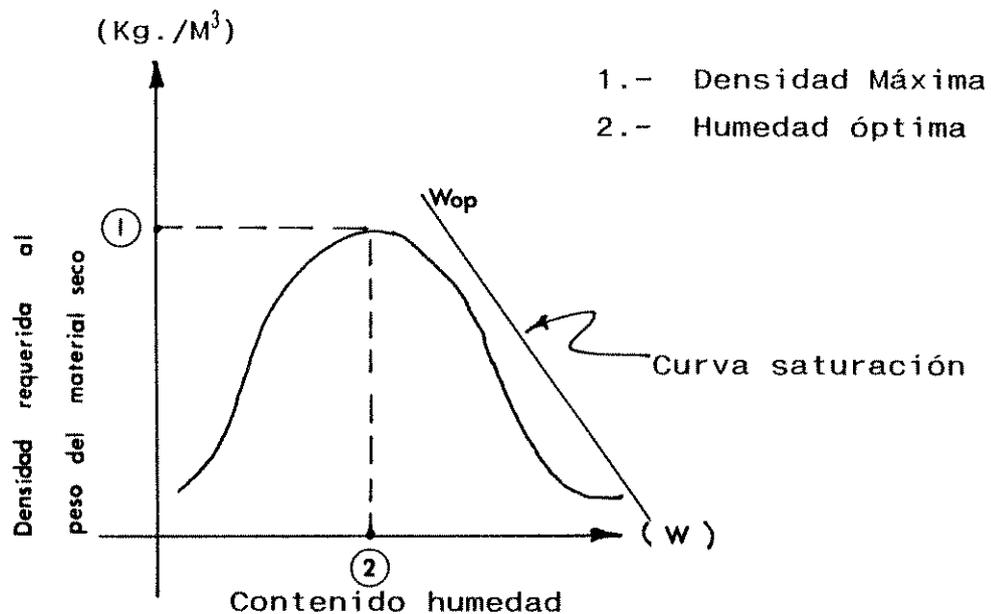
Una vez que la muestra compactada ha sido preparada, su densidad aparente y contenido de agua son determinados y la densidad real corresponde a ese contenido de agua, puede ser calculada usando la ecuación:

$$\rho_{\text{seca}} = \frac{\rho_{\text{humeda}}}{1 + W}$$

En donde:  
 $\rho$  = Densidad  
 $W$  = % agua

Este procedimiento es llevado a cabo al menos cinco veces sobre un rango de contenidos de agua y las características de compactación de suelo son presentados en forma de gráfica con la densidad real versus contenido de agua.

Gráfica Proctor



La densidad real se incrementa al incrementarse el contenido de agua, entonces llega a un punto máximo y finalmente disminuye otra vez con contenidos altos de agua, el punto máximo define el contenido óptimo de agua ( $w_{op}$ ), en el cual el suelo tiene su máxima densidad real ( $\rho_{max}$ ); a mayor esfuerzo de compactación se aprecia un mayor máximo de densidad pero un menor óptimo de contenido de agua.

#### **Relación soporte de california (C.B.R.)**

El C.B.R. se expresa como un porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón en el suelo que se ensaya, en relación con el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón hasta la misma profundidad de una muestra patrón de piedra triturada bien graduada.

El C.B.R. generalmente se determina para 0.1" y 0.2" de penetración o sea dividiendo el esfuerzo para cada penetración entre un esfuerzo de 1,000 Lbs/pulg<sup>2</sup> y uno de 1,500 Lbs/pulg<sup>2</sup> respectivamente. De estos valores se usa el que sea mayor, generalmente el de 0.1" de penetración. El C.B.R. es un índice del valor o capacidad de soporte de un suelo.

Con el fin de duplicar en el laboratorio la condición más crítica que pueda presentarse en el terreno, las muestras para ensayo del C.B.R. se sumergen en agua por cuatro días hasta obtener su saturación. El problema principal consiste en preparar en el laboratorio una muestra que tenga, prácticamente la misma densidad y humedad que se proyecta alcanzar en el sitio donde se construirá el pavimento, para lo cual se deben hacer tres probetas sobre muestras a diferentes grados de compactación a la humedad óptima y después se elabora un diagrama con lecturas de penetración-profundidad de penetración, de donde se puede determinar el C.B.R. a la densidad deseada. Cada muestra se deberá utilizar una sola vez, es decir, que no se deberá usar material que haya sido previamente compactado para un ensayo anterior.

En conclusión el C.B.R. da la resistencia relativa y el grado de expansión del material al cabo de cuatro días de inmersión en agua:

$$\% \text{ de hinchamiento} = \frac{\text{Lectura final} - \text{lectura inicial}}{\text{Altura inicial total de la muestra}} * 100$$

Es necesario apoyarse con estos tipos de ensayos que dan un análisis completo de las condiciones de los materiales existentes en las diferentes capas componentes del pavimento que se quiere recuperar y estabilizar, para poder diseñar bajo las condiciones del lugar, y también para tener un buen control de calidad en el proceso constructivo.

## Capítulo II

### ANÁLISIS Y DISEÑO

#### 2.1 SISTEMAS PARA ESTABILIZACIÓN:

El propósito de la recuperación de pavimentos es ofrecer una base mejorada. La mayoría de las veces se puede crear una base que cumpla con las normas del diseño pulverizando y mezclando la estructura actual del pavimento. Sin embargo, a veces se mezcla la base con la carpeta de asfalto y no es suficiente el aporte estructural que proporciona, entonces es posible que se requiera de estabilización del suelo junto con el proceso de recuperación para mejorar las propiedades físicas de la nueva base, añadiendo frecuentemente aglomerantes para mejorar mecánicamente el material.

La estabilización de suelos varía alrededor del mundo, lo que es un proceso bien conocido en un área puede que se desconozca en otra, obviamente la disponibilidad y el precio de los materiales tienen gran influencia en las técnicas de estabilización. Después están la experiencia y el adiestramiento del ingeniero.

No hay reglas estrictas respecto a la estabilización de suelos. El tipo, la cantidad y el método de aplicación se pueden determinar por la experiencia del ingeniero.

La opción del agente de estabilización de suelos depende de varios factores, de la construcción de la estructura existente, de la constitución del suelo de la subrasante o suelo natural y de lo que el ingeniero está tratando de lograr. Hay disponibles varios agentes estabilizadores, los más comúnmente usados son:

- a) Cal
- b) Cemento portland
- c) Cloruro de calcio
- d) Otros agentes químicos
- e) Emulsión

a) **Estabilización con cal:** la estabilización con cal es una manera comprobada de mejorar las bases que tienen por lo menos 10% de arcilla. Esto sucede aun con las bases que tienen una naturaleza predominantemente granulosa.

El efecto de la cal en los suelos con elevada plasticidad tienen muchas ventajas. Sus efectos se ven en un aumento de las fuerzas de tracción y de compresión, en la reducción de las características de contracción y expansión y en la resistencia a la penetración del agua. Pero la ventaja principal es la reducción en el índice de plasticidad.

- b) **Cemento portland:** se pueden obtener grandes aumentos en la resistencia a la compresión cuando los materiales de base se tratan con cemento. Cuando se combinan el cemento, el suelo y el agua, se forma inmediatamente una adherencia entre las partículas del suelo. Las bases tratadas con cemento que han sido analizadas después de varios años de construidas continúan mostrando aumentos considerables en su resistencia a la compresión. La estabilización del cemento es óptima cuando la base y sub-base son de naturaleza granular con un bajo índice de plasticidad.
- c) **Cloruro de calcio:** el cloruro de calcio líquido es un aditivo popular en áreas donde el ciclo de congelación puede causar levantamientos de la base. El cloruro de calcio baja el punto de congelación de los materiales recuperados de la base, y también ayuda a aumentar la capacidad de soporte de la base.

El cloruro de calcio líquido se aplica mediante un camión distribuidor después de la primera pasada de recuperación. Se especifica siempre una segunda pasada, con una máquina de recuperación para asegurar una mezcla completa. Después que se conforma y compacta

la nueva base, se puede hacer una segunda aplicación de cloruro de calcio líquido para sellar la superficie.

- d) **Otros agentes químicos:** actualmente se usan diferentes aditivos clasificados como "no standard" que pueden ser empleados en el proceso de estabilización, estos productos tienden a cambiar las características electroquímicas de los suelos con estructura floculenta para permitir densidades altas, algunos productos están orientados para ser usados para la estabilización de suelos con altos contenidos de material que pasa el tamiz 200 e índices plásticos mayores de 10, otros productos de este tipo, pueden ser usados para materiales granulares con menor o ninguna plasticidad en combinación con cemento portland, aportando la ventaja que permite reducir el contenido de cemento, a la vez que reduce el agrietamiento por contracción.
- e) **Emulsión:** se analizará este tipo de aditivo, ya que es al cual está referido este trabajo. Los aditivos líquidos usados generalmente son emulsiones asfálticas, tomando en cuenta que para poder estabilizar con este líquido, hay que tener un índice plástico menor

del 72% que pasa por el tamiz 200 o un equivalente de arena mayor a 30 de la base.

El agregar cemento asfáltico en cualquier forma mejora de dos maneras el material de la base, primero añade cohesión y aumenta la capacidad de soporte del suelo, segundo, rejuvenece y suaviza el cemento asfáltico en la estructura del pavimento existente. (ver figura 2.1a)

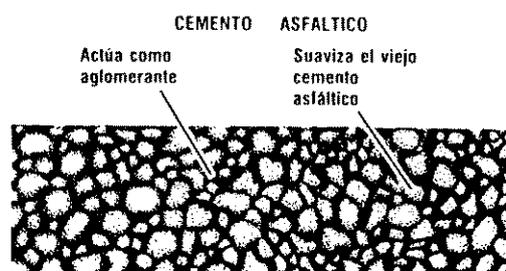


Figura 2.1a

Usualmente, el cemento asfáltico se mezcla con el material recuperado por medio de una emulsión asfáltica. Las emulsiones asfálticas son mezclas de cemento asfáltico, agua y un agente emulsificador. La mezcla del cemento asfáltico con un agente dispersor como el agua, rebaja la viscosidad y facilita su aplicación con el sistema de aditivos líquidos de la máquina.

Después de mezclar el material de base y el asfalto emulsificado, la emulsión se quiebra, separando el agua del cemento asfáltico. Durante el mezclado y la compactación se expelle el exceso de agua fuera de la base o ésta se evapora durante el período de fraguado. Al estar el cemento asfáltico libre de agua, se aumenta la viscosidad. Esto aumenta la cohesión del material de base y la capacidad soporte del suelo.

Similar a una base tratada con asfalto, la base tratada con emulsiones tiene una capacidad estructural que compensa cualquier reducción del grosor de la capa superficial o que permite la aplicación de una superficie de doble tratamiento u otro tratamiento de superficie menos costoso.

Los asfaltos "cutback" son mezclas de cemento asfáltico y un destilado más liviano de petróleo, tal como el combustible diesel, el querosen o la nafta, estos destilados se evaporan de la base durante el período de fraguado y aumenta la viscosidad del cemento asfáltico.

Según el tipo de destilado hay asfaltos de fraguado rápido, medio y lento, los asfaltos "cutback" cada vez

son menos populares porque las sustancias volátiles se escapan a la atmósfera y ecológicamente son perjudiciales.

#### 2.1.1 TIPOS DE EMULSIÓN:

El emulsificante define el tipo de emulsión, las aniónicas con carga eléctrica del glóbulo negativo y las catiónicas, positivo.

Los emulsificantes catiónicos y aniónicos tienen concentraciones distintas, una emulsión directa es aquella en que la fase hidrocarbonada está dispersa en la parte acuosa; en la inversa, la fase acuosa está dispersa en la parte hidrocarbonada. Las del primer tipo son las que más se emplean en la industria caminera. Es preferible el empleo de las emulsiones directas por su baja viscosidad a temperatura ambiente.

Al ser producida la emulsión se sitúan en su mayor parte en la "interfase", su parte polar orgánica se dirige hacia el asfalto y la parte polar inorgánica hacia el agua, con estos emulsionantes iónicos, los glóbulos adquieren cargas eléctricas del mismo signo, repeliéndose entre ellos, dependiendo

su comportamiento, de acuerdo al tipo y concentración en presencia de una superficie mineral. Pasado un tiempo determinado, las emulsiones depositan sobre esa superficie una película de ligante. Este fenómeno se conoce como ruptura. Previamente la emulsión pasa por un intervalo en el que se concentra su porcentaje de asfalto, convirtiéndose en una emulsión del tipo inverso para luego perder todo el agua hasta tener una emulsión totalmente quebrada, imposible de revivir aun en presencia de humedad.

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

La absorción puede ser la parte polar ácida y ácidos grasos que efectúan su reacción con el material, lo cual destruye la película protectora, haciendo depositar el ligante sobre el agregado, esto origina la ruptura de una emulsión catiónica, lo anterior sucede con casi todos los materiales.

Esta absorción de la parte polar del jabón por los agregados, provoca la ruptura de la emulsión, haciendo que los glóbulos de asfalto se adhieran inmediatamente a las partículas del material pétreo, aun en presencia de humedad.

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

La emulsión es una dispersión en forma de pequeñas gotas de asfalto en agua, en el cual no es visible, estabilizada por acción de un emulsionante.

Se le prepara haciendo pasar simultáneamente cemento asfáltico caliente y una solución acuosa con emulsificante, igualmente caliente, por un molino, lográndose un conjunto homogéneo pero relativamente poco estable.

La concentración de asfalto en las emulsiones varía comúnmente entre 55 y 60% y el emulsionante, dependiendo del tipo empleado (aniónicas o alcalinas y catiónicas o ácidas), entre 0.5% y 2%.

La emulsión puede usarse para imprimación o para su mezcla con agregados pétreos en frío o bien como en este caso como agente estabilizador, dependiendo si son de fraguado lento medio o rápido, van experimentando la ruptura de la emulsión, evaporándose el agua, quedando el cemento asfáltico como ligante.

Las emulsiones asfálticas presentan ventajas ecológicas, económicas, energéticas y de trabajo. La ventaja ecológica proviene de que el asfalto está suspendido en agua, si se le compara con los asfaltos líquidos mezclados con productos obtenidos de la destilación del petróleo, los cuales se evaporan a la atmósfera al ser aplicados, no solo contaminándola sino también perdiéndose un producto de valor que podría aprovecharse mejor desde el punto de vista energético.

## **2.2 DISEÑO DEL ESPESOR DE LA BASE Y EL PUNTO DE RIEGO PARA ESTABILIZACIÓN.**

La estructura total de una carretera antigua consta de todas las capas construidas sobre la subrasante (sub-base, base, capa de rodadura), pero posiblemente ya estén falladas. Mientras que una carretera moderna, bien construida, consta probablemente de capas múltiples de

mezcla de asfalto caliente sobre una base de buena calidad y una sub-base de agregados bien graduados, o posiblemente ya recuperados con anterioridad.

La mayoría de las carreteras antiguas probablemente no estén bien construidas, o ya llegaron al final de su vida útil, por lo que es necesario diseñar un nuevo espesor de base estabilizada, ya que el contenido de cemento asfáltico da un aporte estructural mayor al pavimento y así poder proporcionarle otro período de vida útil.

#### 2.2.1 MÉTODO EMPÍRICO

Es necesario obtener testigos del pavimento para determinar el número de capas que lo integran, sus características y el espesor de la estructura total.

**Diseño del Espesor o Profundidad de Reciclado:** el grueso de la capa del pavimento existente, influye en la profundidad total de corte. En recuperación el cortador debe fijarse de forma que penetre por lo menos 2.5 cm. por debajo de la capa de asfalto. Ahora, si la penetración por debajo del nivel de capa de rodadura es igual a su espesor, se obtienen índices de producción mejores y se logra una vida

útil más prolongada para el equipo, por ejemplo: si la capa de rodadura tiene 10 cm. de espesor, la profundidad de corte debe ser 20 cm.

Pero realmente no se sabe si el aporte estructural que se obtenga sea el requerido, si se utiliza como parámetro reciclar el doble del espesor de la capa de rodadura, aunque se sabe que así se obtiene un menor desgaste del equipo, por lo que es mejor comprobarlo por medio del método del aporte estructural por capas, como se analizará más adelante. Ahora si al chequearlo se obtiene el resultado deseado como aporte estructural, entonces sería prácticamente ideal porque se estaría desgastando menos el equipo y se obtiene el aporte estructural requerido. Sin embargo, al reciclar menos de 15 cm. posiblemente no se llegue a alcanzar el aporte deseado, adicionalmente existe el riesgo de deterioro prematuro del pavimento cuando se usan espesores de reciclado menores de 15 cm. sobre sub-bases o sub-rasantes inestables que inducen deflexiones altas.

**Diseño del Punto de Riego:** los testigos obtenidos de la carpeta existente, son objeto de análisis de laboratorio para obtener el porcentaje de cemento asfáltico que queda en la estructura del pavimento. La cantidad de cemento asfáltico residual le dice al ingeniero cuanto aglomerante adicional necesita para lograr el porcentaje especificado.

**Ejemplo No. 1**

Si se tienen 15 cm. de estructura total de recuperación, la capa de rodadura es de 4 cm. con 2% de cemento asfáltico residual, la capa de base es de 11 cm. de agregado bien graduado, el resultado final deseado es un material de base homogéneo bien mezclado con un contenido del 5% de cemento asfáltico, entonces:

Profundidad = 15 cm.

Porcentaje para mezcla = 5%

Suponiendo el peso específico de la base =

$$95 \text{ Lbs/pe}^3 = 1521.74 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{entonces } 1521.74 \text{ Kg/M}^3 * 0.05 = 76.087 \text{ Kg/M}^3$$

$$\text{donde } 76.087 \text{ Kg/M}^3 * 0.15 \text{ m} = 11.413 \text{ Kg/M}^2$$

$$\text{donde } a = 1.005 \text{ y } 11.413 \text{ Kg/M}^2 / 1.005 = 11.35 \text{ Lts/M}^2$$

$$\text{donde } 11.35 \text{ Lts/M}^2 = 3 \text{ gls/M}^2$$

Para calcular la cantidad necesaria de galones de cemento asfáltico (en este caso emulsión) por metro cuadrado, teniendo la profundidad, el porcentaje de mezcla y un peso específico de base supuesto de 95 Lbs/pie<sup>3</sup>. Se puede elaborar una tabla como se muestra a continuación (ver tabla 2.2.1a).

**EMULSIÓN ASFÁLTICA POR METRO CUADRADO**  
**PROFUNDIDAD DE CORTE**

PORCENTAJE DE MEZCLA	2,5 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	12.5 cm	15 cm.
0,5	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
2	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
3	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
4	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
6	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6
7	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2
8	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8
9	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4
10	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0

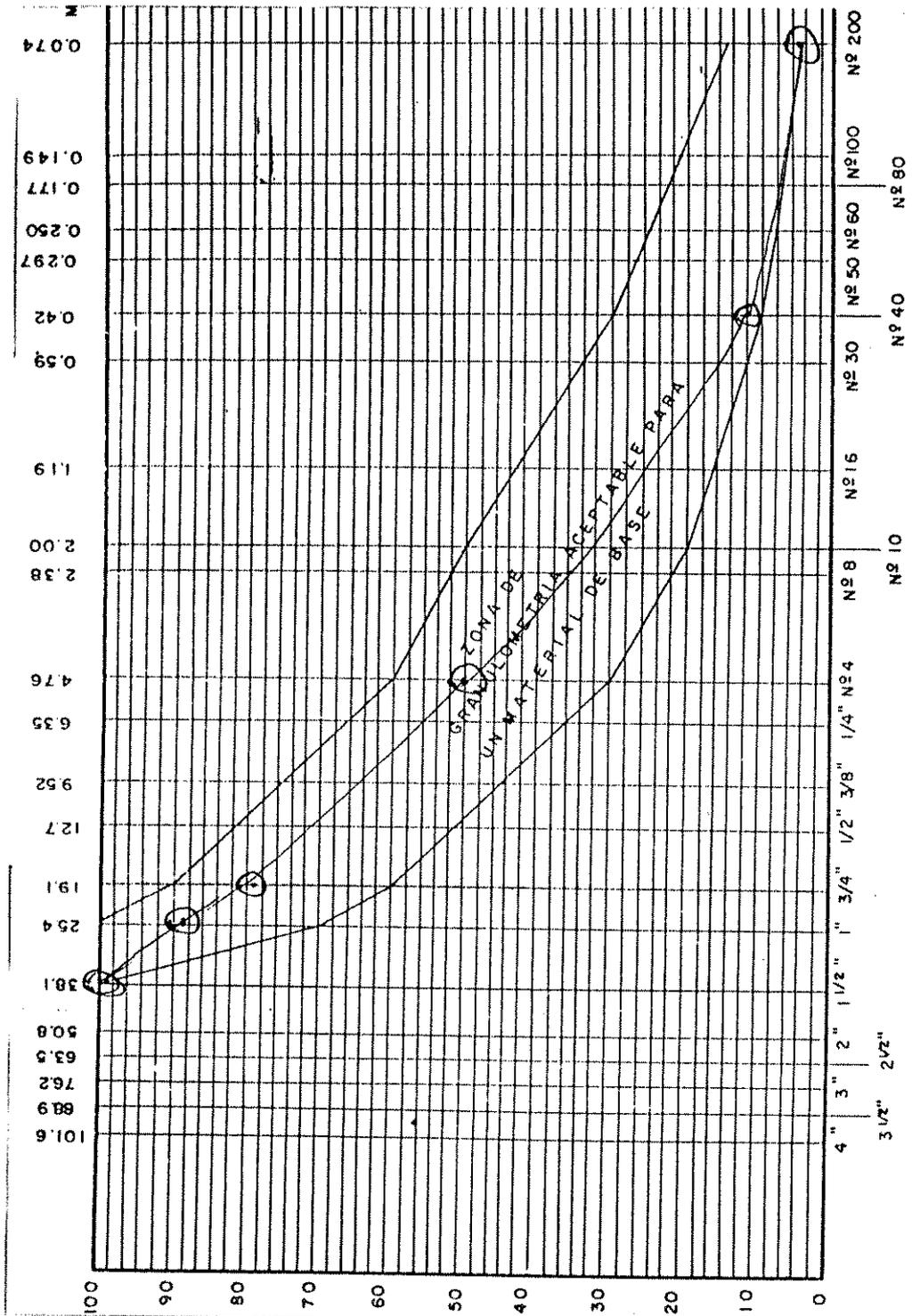
**Tabla 2.2.1a**

De manera similar se pueden elaborar tablas para materiales o mezclas con mayor peso específico.

Ejemplo No. 2

Según análisis granulométrico (ver gráfica 2.2.1b)

CURVA GRANULOMETRICA  
ANALISIS MECANICO



ABERTURA TAMICES

Gráfica 2.2.1b

Tamiz	% pasa
1 ½	100
1"	89
¾	79
No. 4	50
No. 40	12
No. 200	5

Fórmula del Instituto de Asfalto Ms-21

$$P_c = \frac{0.035 a + 0.045b + K_c + F}{R}$$

Donde:

$P_c$  = porcentaje de asfalto

$K$  = 0.15 porcentaje de 11-15 que pasa tamiz No. 200

0.18 porcentaje de 6-10 que pasa tamiz No. 200

0.20 porcentaje de 5 o menor que pasa tamiz No.200

$a$  = porcentaje de material que retiene el tamiz No. 8 (ver gráfica 2.2.1b)

Según gráfica pasa el 36% entonces material que retiene sería  $100-36 = 64\%$

$b$  = porcentaje de material que pasa por el tamiz No. 8 menos lo retenido en el tamiz No. 200

pasa tamiz No. 8 = 36

retiene tamiz No. 200 = 95

$$95 - 36 = 59\%$$

c = porcentaje de material que pasa el tamiz No. 200 igual a 5%

f = 0 a 2% basado en la absorción del agregado grueso. La fórmula es basada en una gravedad específica intermedia de 2.60 a 2.70. En la ausencia de otro dato, estimar 0.7 a 1.0.

En este caso 0.5 (absorción agregado grueso)

R = 1.0 para Cemento Asfáltico; 0.60 a 0.65 para emulsiones, entonces:

$$P_c = \frac{(0.035 \cdot 0.64) + (0.045 \cdot 0.59) + (0.2 \cdot 0.05) + 0.005}{0.65}$$

$$P_c = 9.84\%$$

Otra forma:

Fórmula del Instituto de Asfalto Ms-19

$$P = (0.05a + 0.1b + 0.5c) \cdot 0.7$$

Donde a, b y c corresponden a las mismas cantidades encontradas en el ejemplo anterior.

$$a = 0.64$$

$$b = 0.59$$

$$c = 0.05$$

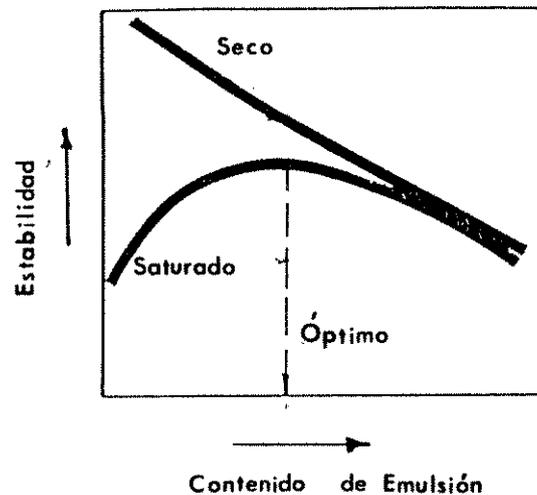
$$P = (0.05 \cdot 0.64 + 0.1 \cdot 0.59 + 0.5 \cdot 0.05) \cdot 0.7$$

$$P = 8.12\%$$

Se considera preferible usar los valores indicados para el manual MS-19 por ser una publicación más reciente que fue incorporada al manual MS-4 en 1989.

$$P = 8.12\%$$

El valor anterior es una referencia inicial para análisis más exacto, el mismo se debe efectuar aplicando el método Marshall en función de las curvas de estabilidad y saturada bajo la condición que la pérdida de estabilidad por inmersión no debe ser mayor del 50%, el detalle de este procedimiento se debe consultar en el manual MS-19 del Instituto de Asfalto. (ver gráfica 2.2.1c)



Gráfica 2.2.1c

## Ejemplo No. 3

Con base al dato del porcentaje de asfalto obtenido en el ejemplo No. 2, encontrar el punto de riego.

Datos

5 cm. carpeta 124 Lbs/pie<sup>3</sup> (peso específico)

15 cm. base 118 Lbs/pie<sup>3</sup> (peso específico)

Pc = 8.12%

Asfalto Residual = 2.8 %

Entonces:

5 cm. carpeta 124 Lbs/pie<sup>3</sup> = 1986.27 Kg./M<sup>3</sup>

15 cm. base 118 Lbs/pie<sup>3</sup> = 1890.16 Kg./M<sup>3</sup>

promedio =  $\frac{1986.27 + 1890.16}{2}$  = 1938.18 Kg./M<sup>3</sup>

calculando peso para 1m<sup>2</sup>:

carpeta 1938.18 Kg./M<sup>3</sup> \* 0.05 m = 99.31 Kg./M<sup>2</sup>

base 1890.16 Kg./M<sup>3</sup> \* 0.15 m = 283.52 Kg./M<sup>2</sup>

suma de los dos pesos por M<sup>2</sup> 382.83 Kg./M<sup>2</sup>

Requerimiento de Emulsión (Rem):

Rem = 382.84 Kg./M<sup>2</sup> \* 0.0984 = 37.67 Kg./M<sup>2</sup>

pasar Kg./M<sup>2</sup> a Gls./M<sup>2</sup>

$\frac{37.67 \text{ Kg./M}^2}{1.005 \text{ (emulsión)}}$  =  $\frac{37.48 \text{ Lts./M}^2}{3.785 \text{ Lts./1 Gl}}$  = 9.90 Gls./M<sup>2</sup>

obtener % de cemento asfáltico (AC):

9.90 Gls/M<sup>2</sup> \* 0.65 = 6.44 Gls. de Ac/M<sup>2</sup>

% de (AC) Asfalto Residual:

$$99.31 \text{ Kg./M}^2 * 0.028 = 2.78 \text{ Kg./M}^2$$

$$\text{pasar Kg./M}^2 \quad \text{a} \quad \text{Gls./M}^2$$

$$\frac{2.78 \text{ Kg./M}^2}{1.010 \text{ (AC)}} = \frac{2.75 \text{ Lts./M}^2}{3.785 \text{ Lts./1Gls}} = 0.73 \text{ Gls./M}^2$$

se obtiene Gls/M<sup>2</sup> para estabilización (Est.):

$$\text{Est. Ac} = (6.44 - 0.73) \text{ Gls (AC)/M}^2 = 5.71 \text{ Gls. (AC)/M}^2$$

$$\text{Est. Em} = \frac{5.71 \text{ Gls (AC)/M}^2}{0.65} = 8.78 \text{ Gls. (Em)/M}^2$$

De antemano se sabe que los métodos empíricos a veces no son confiables, por lo que siempre es necesario usar métodos de laboratorio para mayor seguridad.

### 2.2.2 MÉTODO DEL APOORTE ESTRUCTURAL POR CAPAS:

Es necesario obtener testigos de la estructura total del pavimento para saber el espesor de cada una de las capas que lo componen, para comenzar el análisis. Para obtener el número estructural original (Neo), donde cada una de las capas tiene su aporte estructural determinado, se procede de la siguiente manera:

$$\text{Neo} = (a_1d_1 + a_2d_2 + a_3d_3) = (\text{carpeta} + \text{base} + \text{sub-base})$$

donde a = coeficiente de conversión (ver tabla 2.2.2a)

d = espesor

$$\text{entonces Neo} = (a_i d_i)$$

Para el diseño también es necesario determinar las condiciones que deberá cumplir el pavimento rehabilitado para adaptarse a las nuevas necesidades del tráfico, bajo las condiciones prevalecientes, es decir, incluyen los factores físicos del camino y de las diferentes capas del pavimento, la naturaleza del tránsito y el clima.

Por lo tanto, para diseñar es necesario haber hecho un análisis de las características de la subrasante, las diferentes capas del pavimento, las cargas y el comportamiento del tráfico, para obtener el número estructural requerido, de conformidad con el período de diseño o el número de años adicionales que se pretende prolongar su vida útil.

Una aproximación simplificada para estimar el número estructural a proveer en un trabajo de rehabilitación es suponer que se requiere un incremento respecto al número estructural que tuvo originalmente el pavimento existente.

Para ilustrar este procedimiento se tomará un índice de incremento del número estructural del 25% para cubrir una prolongación del período de vida

útil, sabiendo que para obtener el porcentaje, hay un análisis completo para cargas del tráfico y características de los materiales de por medio.

Como referencia para poder obtener un valor estimado del número estructural del pavimento original, a continuación se reproducen algunos valores de los coeficientes estructurales usados corrientemente en nuestro medio, con base a los promedios reportados por AASHTO en los ensayos "Road Test".

Descripción	Coeficiente Estructural (a)	
Carpeta de rodadura	0.173	u/cm
Base granular C.B.R 95%	0.055	u/cm
Sub-base C.B.R. 30%	0.04	u/cm

Tabla 2.2.2a

#### Ejemplo No. 4

Se tiene la siguiente estructura de pavimento y hay que diseñar el espesor de la base reciclada y el punto de riego de estabilización.

8 cm. carpeta agrietada

15 cm. selecto + grava

20 cm. sub-base de pómez

Primero hay que comparar el aporte estructural original con el deteriorado, de la siguiente manera:

Descripción	Pavimento original	Pavimento viejo	% Remanente
Capa de rodadura	$8 * 0.17 = 1.36$	0.68	50
Selecto + grava	$15 * 0.05 = 0.75$	0.45	60
Sub-base de pómez	$20 * 0.04 = 0.80$	0.48	60

$$N_{eo} = a_i d_i = 2.91 \quad 1.61 = N_{ev}$$

$N_{eo}$  = número estructural original

$N_{ev}$  = pavimento viejo

Luego hay que incrementar el 25% (supuesto con base al análisis tráfico) de  $N_{eo}$  para obtener el  $N_e$  requerido =  $N_{ed}$  donde  $N_{ed}$  mayor  $N_{eo}$

$N_{ed}$  = número estructural de diseño

$$N_{ed} = 2.91 * 1.25$$

$$N_{ed} = 3.64$$

Al obtener  $N_{ed}$  se supone un espesor de carpeta para la nueva base reciclada y estabilizada para obtener el aporte de (carpeta + sub-base).

$$8 \text{ cm. carpeta recapeo} = 8 * 0.17 = 1.36$$

$$20 \text{ cm. sub-base existente} = \underline{0.48}$$

$$\text{aporte estructural recapeo + sub-base} = 1.84$$

Se obtiene el aporte estructural necesario para diseñar la base de la siguiente manera:

$$N_e \text{ reciclado (Ner)} = N_{ed} - (N_e \text{ carpeta} + N_e \text{ sub-base})$$

$$N_{er} = 3.64 - 1.84$$

$$N_{er} = 1.80 \text{ aporte estructural necesario para diseño de la base reciclada.}$$

Espesor disponible para reciclado 23 cm.  
(carpeta agrietada + selecto y grava).

De aquí se obtiene el coeficiente de diseño (a dis)

$$a_{dis} = \frac{1.80}{23} = 0.078 \quad \frac{\text{unidades}}{\text{cm}} \quad \text{mayor} \quad 0.05$$

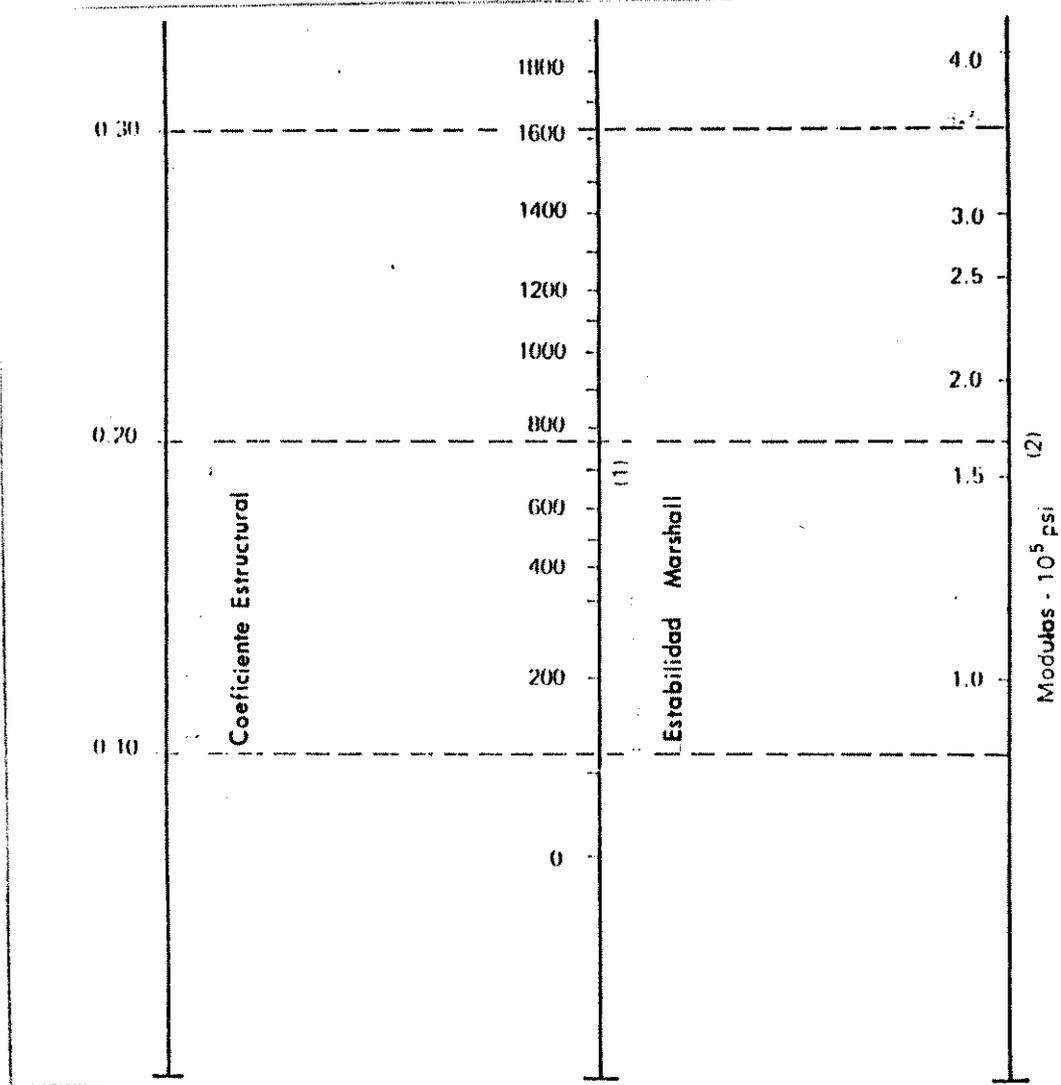
al obtener este número pasarlo a  $\frac{\text{unidades}}{\text{plg.}} = 0.19$

buscarlo en tabla 2.2.2b para obtener la estabilidad marshall = 770 Lbs.

Se hacen pastillas variando los porcentajes de emulsión para obtener la estabilidad requerida, puede ser que se obtenga una estabilidad más alta, en cuyo caso se puede reducir el espesor de carpeta o el espesor a reciclar, por ejemplo: suponiendo estabilidad marshall 900 Lbs., hacer paso inverso como sigue:

$$900 \text{ Lbs} \times \frac{0.22 \text{ unidades}}{\text{plg.}} = 0.087 \frac{\text{unidades}}{\text{cm.}}$$

(se obtiene de tabla 2.2.2b)



1) Escala derivada por correlación, obtenida de Illinois.

2) Escala derivada del proyecto NCHRP

Tabla 2.2.2b

reduciendo espesor de carpeta:

$d \text{ (carpeta + base)} * a \text{ estabilizado} =$

aporte estructural estabilizado.

donde  $23 * 0.087 = 2.001$  (aporte estructural con  
base estabilizada)

Encontrando nuevo aporte estructural para reducir  
espesor:

$3.64(\text{Ned}) - 0.48(\text{sub-base}) - 2.00(\text{base estabilizada})$   
 $= 1.16$  (requerido para reducir espesor carpeta)

entonces  $\frac{1.16}{0.17} = 6.8 \text{ cm}$

0.17

resulta que 7 cm. son necesarios para aplicar sobre  
la base estabilizada.

Y en resumen los espesores de capa, sus  
coeficientes estructurales y sus aportes al número  
estructural quedarían como se muestra en el  
siguiente cuadro.

## PAVIMENTO RECICLADO

DESCRIPCIÓN	ESPEJOR CMS.	COEFICIENTE ESTRUCTURAL	APORTE ESTRUCTURAL
Capa de rodadura	7	0.17	1.16
Base estabilizada	23	0.087	2.001
Sub-base existente	20	0.04	0.48
			3.64

Si se compara el aporte estructural de las distintas fases del pavimento, el pavimento reciclado da el mayor aporte.

## Aporte estructural

- pavimento original	2.91
- pavimento viejo en servicio	1.61
- pavimento reciclado y estabilizado	3.64

Si la estabilidad es menor, entonces aumentar el espesor de reciclado con nuevas pastillas o aumentar el espesor de carpeta.



### Capítulo III

## **TIPO DE MAQUINARIA Y SUS CARACTERÍSTICAS**

### **3.1 MAQUINARIA QUE SE UTILIZA Y FUNCIÓN DE CADA UNA:**

El rendimiento de una máquina debe medirse como el costo por unidad del material movido, una medida que incluye tanto producción como costo. Influyen directamente en la productividad factores tales como la relación de peso a potencia, la capacidad, el tipo de transmisión, las velocidades y los costos de operación. Hay otros factores menos directos que influyen en el funcionamiento y productividad de las máquinas pero no por eso dejan de ser importantes, por ejemplo, facilidad de servicios, disponibilidad de repuestos y la competencia del operador. Al comparar características de operación y rendimiento, deben considerarse todos los factores.

Es importante seleccionar la maquinaria adecuada para cada tipo de trabajo, a continuación se describirá la maquinaria que se eligió para el proceso, considerando obtener los mejores resultados en el reciclado de pavimentos.

### 3.1.1 RECICLADO

- a) **Recicladora:** es un recuperador de pavimento, con un rotor que utiliza un tambor cortador para pulverizar y mezclar la carpeta de asfalto y el material de base, la máquina se utiliza tanto para estabilizar las superficies asfálticas deterioradas, como para obtener una recuperación total. La recicladora se puede equipar con accesorios para inyectar, directamente con precisión, los aditivos líquidos en la tolva de la mezcla. Se le pueden instalar rotores optativos para convertir la recicladora en un estabilizador de suelos. La barra quebradora montada en el interior, ayuda a determinar el tamaño del material reciclado (ver foto 3.1.1a)

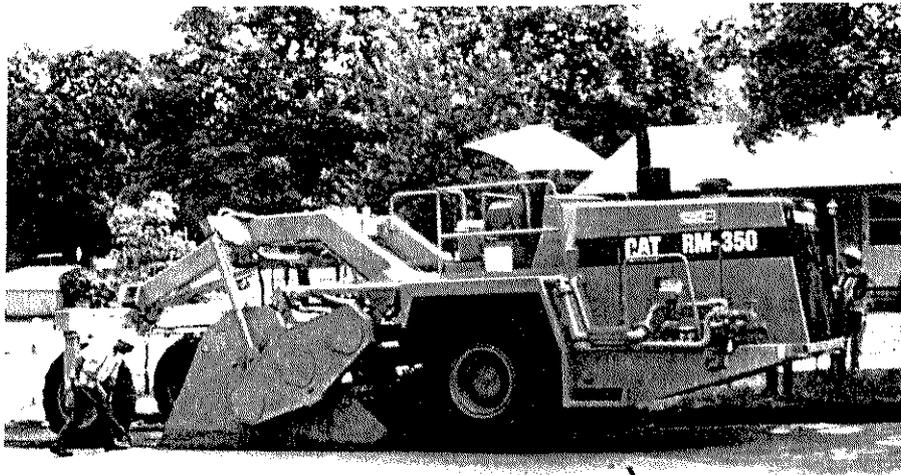


Foto 3.1.1a

**Características:**

- **Producción máxima:** el rotor está impulsado por un motor diesel, turboalimentado, por medio de un sistema de mando mecánico.
  
- **Eficiencia elevada:** el sistema de propulsión con detección de carga contribuye a evitar la sobrecarga a la vez que permite funcionar continuamente a casi máxima potencia.
  
- **Versatilidad extremada:** los rotores intercambiables les permiten funcionar como recuperadores de pavimentos y como estabilizadores de suelos.
  
- **Mezclado uniforme:** el control automático de profundidad, la cámara de mezcla montada en el medio de la máquina y el mando de múltiples velocidades del rotor se combinan para obtener una mezcla óptima y una producción máxima.

**b) Motoniveladoras:**

Esta máquina ayuda como lo indica su nombre a nivelar, pues tiene la capacidad de adaptarse a las diferentes regiones geográficas de trabajo. Ayuda

a conformar el área que la recicladora pulverizó, ya que no es necesario mezclarlo, porque ese trabajo lo hizo la recicladora, para poder nivelar consta de una cuchilla que mide 3.66 m. de ancho, colocada al centro, la cual está adaptada a una tornamesa que gira en el sentido horizontal y vertical, dando la facilidad al operador de poder distribuir uniformemente el material pulverizado a los niveles requeridos, previo a su compactación. (ver foto 3.1.1b)

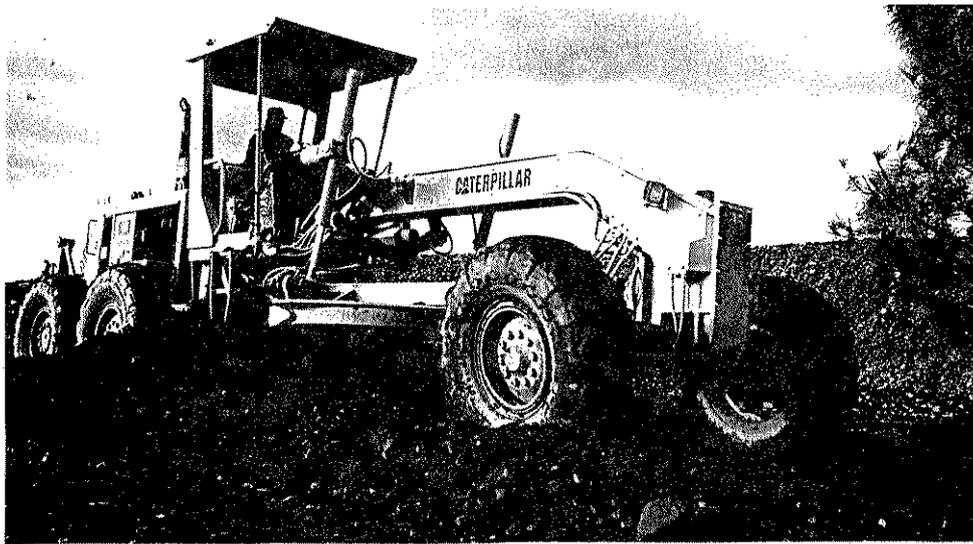


Foto 3.1.1b

**Características:**

- **Sistemas hidráulicos:** el sistema de compensación de presión con prioridad proporcional detecta la carga y proporciona la potencia hidráulica que se necesita en cada momento.
  
- **Posicionamiento de la cuchilla:** el varillaje de la hoja y el bastidor principal (tornamesa) proporcionan una amplia gama de posiciones.
  
- **Adaptabilidad topográficas:** se adapta a las condiciones del terreno que se está trabajando.

**c) Rodo vibratorio:**

Se sabe que la compactación es muy importante, porque ayuda a elevar la densidad del suelo, o sea el peso por unidad de volumen (esto se analizará con detalle más adelante, en el capítulo 4.1.1), la función que tiene un rodo vibratorio es el reacondicionamiento de las partículas del suelo. El rodo tiene la ventaja que cuenta con un vibrador y pretende que la compactación sea mucho más rápida y eficiente si el material es el adecuado y contiene la humedad óptima (ver foto 3.1.1c).

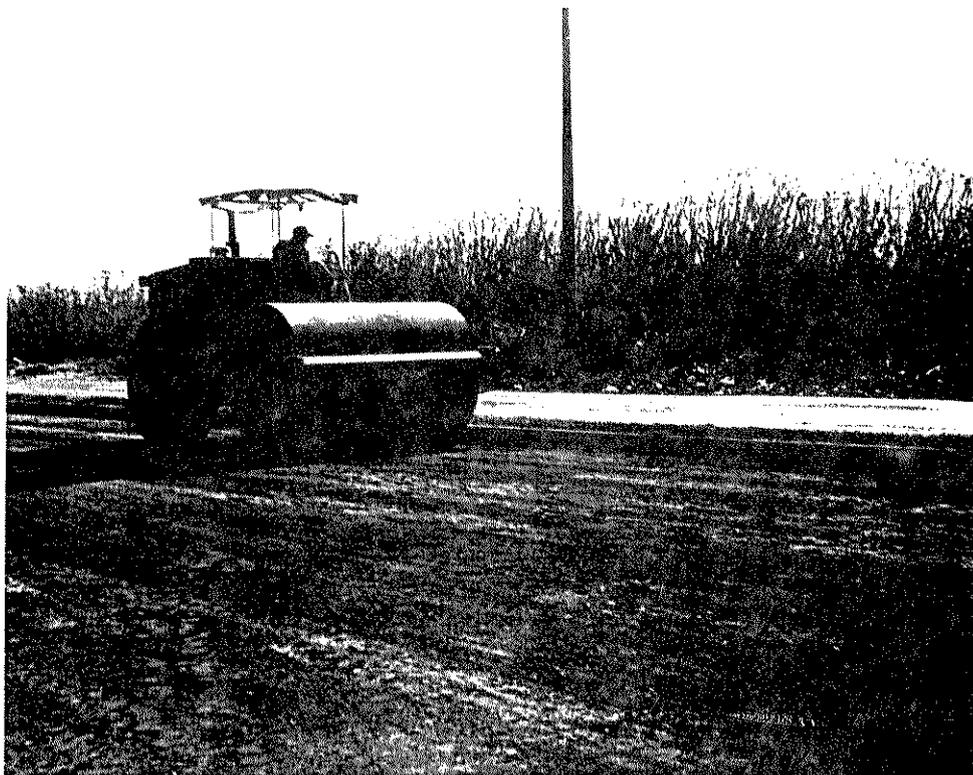


Foto 3.1.1c

**Características:**

- **Barras limpiadoras:** montadas en el tambor delantero mantienen la superficie del tambor, limpia en avance y retroceso.
- **Relación peso potencia:** da una mejor economía de operación y un rendimiento óptimo.

- **Mantenimiento:** para que el rodo vibrador esté disponible a la hora que se le necesite debe llevarse un control estricto de servicio y mantenimiento.
  
- **Transmisión:** tiene velocidades infinitamente variables por lo cual puede ser trabajada en rápido, regular y lento, según las necesidades.

d) **Compactadora de llantas para suelo:**

Esta máquina es poco utilizada en nuestro medio y es una de las más importantes, la cual determina y finaliza una buena compactación de la siguiente manera: al concluir el vibrocompactador o simultáneamente se pasa la compactadora de llantas y está termina de acomodar las partículas y llenar vacíos, quedando una compactación mucho más eficiente. Aparte de esto con todo el peso que proporciona esta máquina puede detectar si hay excesos de humedad en la base (baches) ocasionando deformaciones excesivas, grietas, etcétera.

Si durante el trabajo de esta máquina no se observó ninguna deformación excesiva se puede estar

seguro que la compactación fue la adecuada, esperando únicamente la información del laboratorista para los porcentajes de humedad y compactación, para ver si el tramo está en óptimas condiciones (ver foto 3.1.1d)

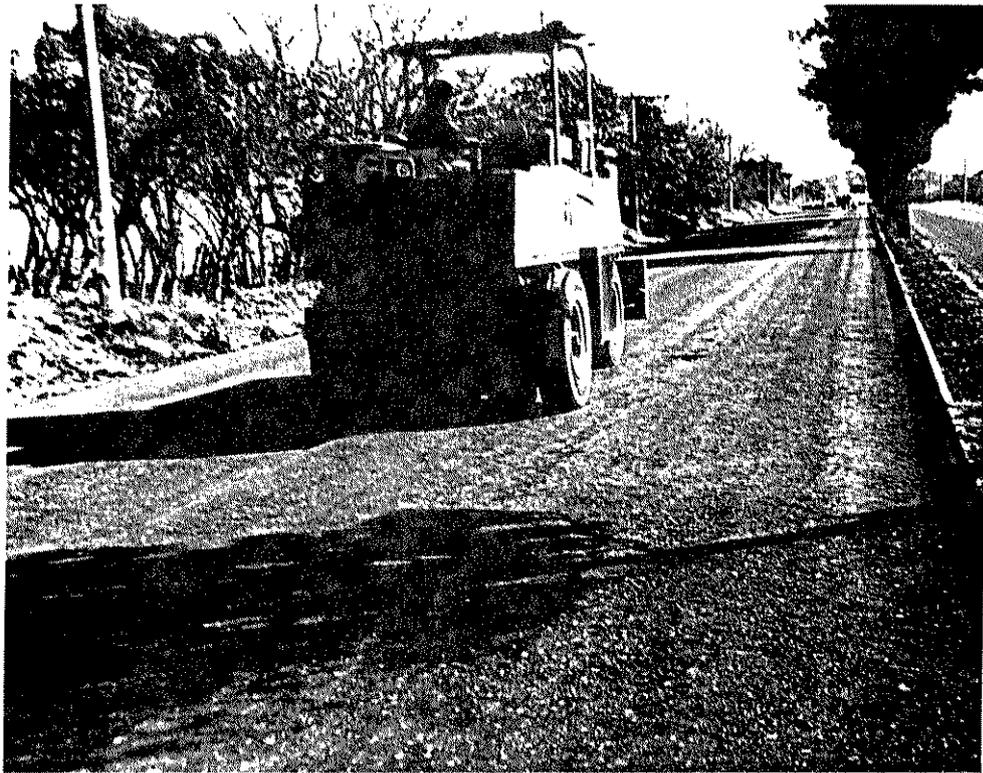


Foto 3.1.1d

**Características:**

- Comportamiento para el lastre (palanganas): son fácilmente accesibles para facilitar la carga y

están ubicadas para proporcionar una relación equilibrada de las ruedas al peso. Se puede llenar con piedras o maquetas de acero, el peso se puede variar de 9,270 libras (vacío) a 27,550 libras (lleno).

- **Defensa:** algunas máquinas en la parte delantera poseen una defensa adaptada al chasis en vez de palangana, creando la misma función, adaptándole otra plancha atornillada para poder proporcionar el mismo peso.
- **Otro uso:** esta compactadora también se utiliza para asfaltos, lo cual se describirá más adelante.
- **Oscilación:** asegura que las llantas se adapten a la superficie aún en los puntos bajos.
- **Una sola palanca:** controla el movimiento de avance y retroceso y facilita el rodado bidireccional.

**e) Retroexcavadora:**

La utilización de esta máquina es opcional, pero es aconsejable tener por lo menos una en el proyecto

para cualquier eventualidad, por ejemplo: para sanear un bache en el tramo reciclado, remover sobrantes de material, acarreo de piedras no pulverizadas mayores de 1" ó 1½, en fin problemas que se puedan resolver si se tiene disponible una máquina de este tipo. (ver foto 3.1.1e).

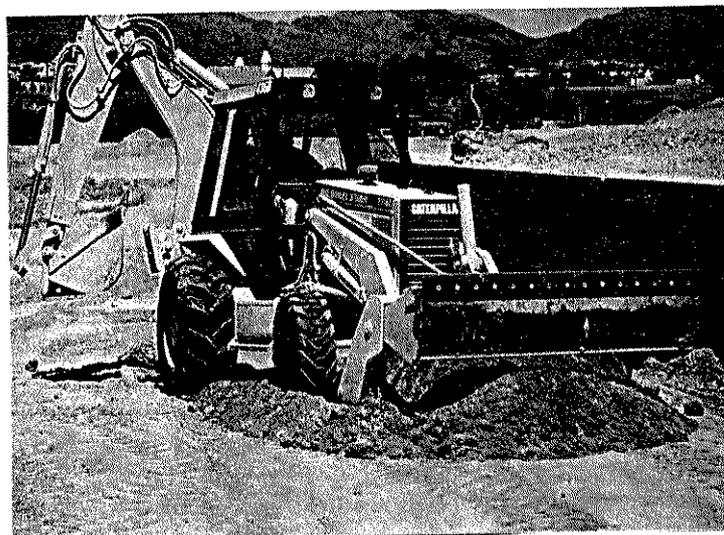


Foto 3.1.1e

### **Características**

- **Cargadora:** los brazos divergentes, la torre de carga angosta y la inclinación del cucharón permiten una mejor utilidad en el proyecto.
  
- **Excavación:** la curvatura de la pluma facilita la carga de los camiones y excavar por encima de obstáculos.
  
- **Sistema hidráulico:** potencia hidráulica total en las cuchillas a todas las velocidades.
  
- **Usos múltiples:** la retroexcavadora se puede usar para varias funciones, según las necesidades, por ejemplo: excavar una zanja, cargar un camión, acarreo de materiales y equipo, etcétera.

### **3.1.2 Pavimentación**

#### **a) Finisher o terminadora:**

La función única de esta máquina es tender el asfalto al ancho y profundidad deseado y proveer el acabado y compactación inicial. Para esto consta de dos unidades básicas: el tractor y la regla niveladora. Las funciones principales del tractor son recibir, entregar, dosificar y esparcir el

asfalto que se halla de un lado al otro de la parte delantera de la regla emparejadora.

Las funciones principales de la regla niveladora son delimitar el ancho de la carpeta y su espesor, contribuir al acabado de la superficie y a la compactación de la mezcla con la vibración de la misma. (ver foto 3.1.2a y figura 3.1.2b)

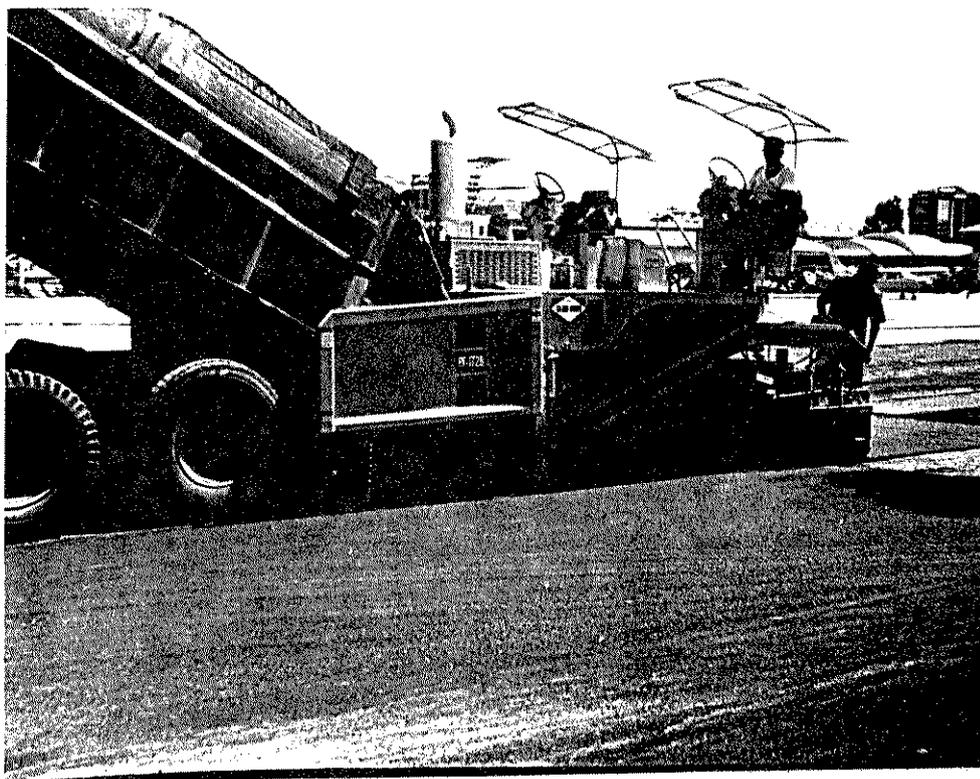


Foto 3.1.2a



Figura 3.1.2b

**Características:**

- Tolvas: son hidráulicas de autodescarga, resistentes y de gran capacidad.
- Control: la máquina consta de dos asientos para poder cambiar de lugar el timón, de la izquierda a la derecha o viceversa, para una mejor visibilidad.

- **Extensiones:** consta de dos extensiones, una de cada lado para poder ajustar el ancho deseado (máximo 1 mt. por lado).
- **Manivelas o controles hidráulicos:** éstas sirven para poder controlar el espesor de asfalto, con un segundo operador colocado en la regla niveladora.
- **Cadenas:** permite transportar el asfalto hacia la regla niveladora y poder ser esparcido hacia ambos lados por medio del tornillo sin fin.

**b) Compactadora de asfalto con dos tambores vibratorios:**

Esta compactadora consta de dos tambores lisos para poder compactar la superficie de asfalto sin ocasionar deformaciones ni segregaciones en la textura del acabado final. Además los dos tambores son vibratorios para obtener una mejor compactación y más rápida, tomando en cuenta que la compactación no es determinada por el tamaño del rodo, si no, por la vibración, aunque fuese un rodo pequeño y por la temperatura a la cual se esté compactando, sabiendo que la temperatura mínima es de 225<sup>0</sup>F (107<sup>0</sup>C), donde

debe ser uniformemente compactado hasta lograr el 100% de compactación, respecto a la densidad máxima del laboratorio, teniendo siempre el cuidado de no excederse para no ocasionar grietas transversales. (ver foto 3.1.2c)



Foto 3.1.2c

**Características:**

- **Tanque para agua:** los tanques están solo para abastecer de agua constantemente a los tambores, por medio de un sistema de rociado uniforme, logrando

mantener mojado el tambor para que el asfalto no se pegue y pueda dejar una textura uniforme.

- **Barra limpiadora:** ésta lo que hace es mantener limpio el tambor con los rodadores de hule que tiene la barra.
  
- **Vibración:** los rodos tienen la ventaja que la vibración es automática, ya que se puede dejar de vibrar antes que la máquina llegue a pararse, para ayudar a producir una superficie suave, sin imperfecciones.
  
- **Propulsión hidrostática:** proporciona un esfuerzo de propulsión de respuesta rápida, fiable y un rendimiento en pendiente máximo.

**c) Compactadora de llantas para asfalto:**

Esta máquina es la misma que se utiliza para compactar el suelo, con la diferencia que se pone a trabajar el sistema de rociado de agua, al igual que en los tambores del rodo, con la diferencia que al tener las llantas la misma temperatura que el asfalto se suspende el rociado.

El principal uso que se le da a esta compactadora es el sellar la superficie de asfalto y la compactación final, ya que si se hace con el rodo se provocará grietas transversales (ver foto 3.1.2d).



Foto 3.1.2d

**Características:**

- Posee las mismas características que la compactadora de llantas para suelos, ya que es la misma, con la

diferencia que en el asfalto entra a funcionar el sistema de rociado.

- **Sistema de rociado de agua:** es alimentado por gravedad, con raspadores para los neumáticos, para mantenerlos limpios y resistentes a la acumulación de material.

**d) Escoba mecánica:**

Las funciones de esta máquina es barrer el área o superficie existente, previo a colocar el riego de liga, quitando el polvo fino que queda después de terminar la compactación del suelo, mejorando así las condiciones de adherencia entre las dos superficies y prevenir deslizamientos (ver foto 3.1.2e).

**Características:**

- **Cepillo hidráulico:** consiste en cepillos que están adoptados a un cilindro que gira hacia ambos lados, que sube y baja la distancia necesaria para adaptarse a la superficie y rota dándole movilidad al cilindro y poniendo en funcionamiento los cepillos que comienzan a barrer.

- Sistema de rociado de agua: éste también es alimentada por gravedad e impide levantar mucho polvo con pichachas distribuidas a lo largo del cilindro.



Foto 3.1.2e

## Capítulo IV

### **MÉTODO CONSTRUCTIVO**

Hay que tomar en cuenta que para lograr establecer un método constructivo se tuvo que haber pasado por un análisis previo, y por un diseño como se analizó en los capítulos 1 y 2, donde se muestran especificaciones y métodos que se debe seguir para actuar con prudencia y obtener resultados verdaderamente satisfactorios.

#### **4.1. PROCEDIMIENTO EN CAMPO**

##### **Verificaciones de rutina diarias:**

Al comenzar una jornada de trabajo, es necesario verificar que la maquinaria a utilizar se encuentre en óptimas condiciones, para no tener complicaciones ni atrasos en el área de trabajo previamente designada. También es necesario comprobar si hay emulsión en el proyecto y saber de qué cantidad se dispone, para verificar el área de trabajo, según el punto de riego requerido. Después se hacen los trazos necesarios para que el operador de la recicladora tenga mejor visibilidad en las áreas que se van a reciclar, por último se conecta el tanque cisterna a la recicladora, por medio de una manguera que va adaptada a una bomba que succiona la emulsión del tanque y la distribuye por medio de tuberías

al sistema de inyección que se encuentra cerca del tambor, para ser distribuido uniformemente, según el punto de riego diseñado. (ver foto 4.1a y 4.1b)

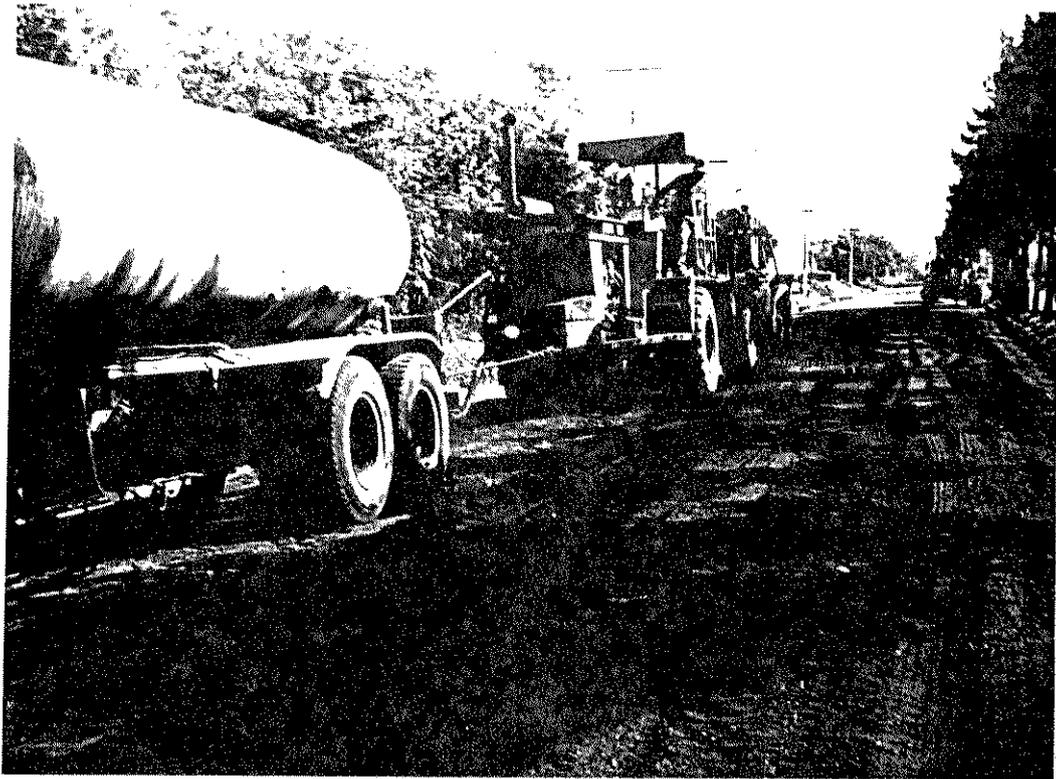


foto 4.1a

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

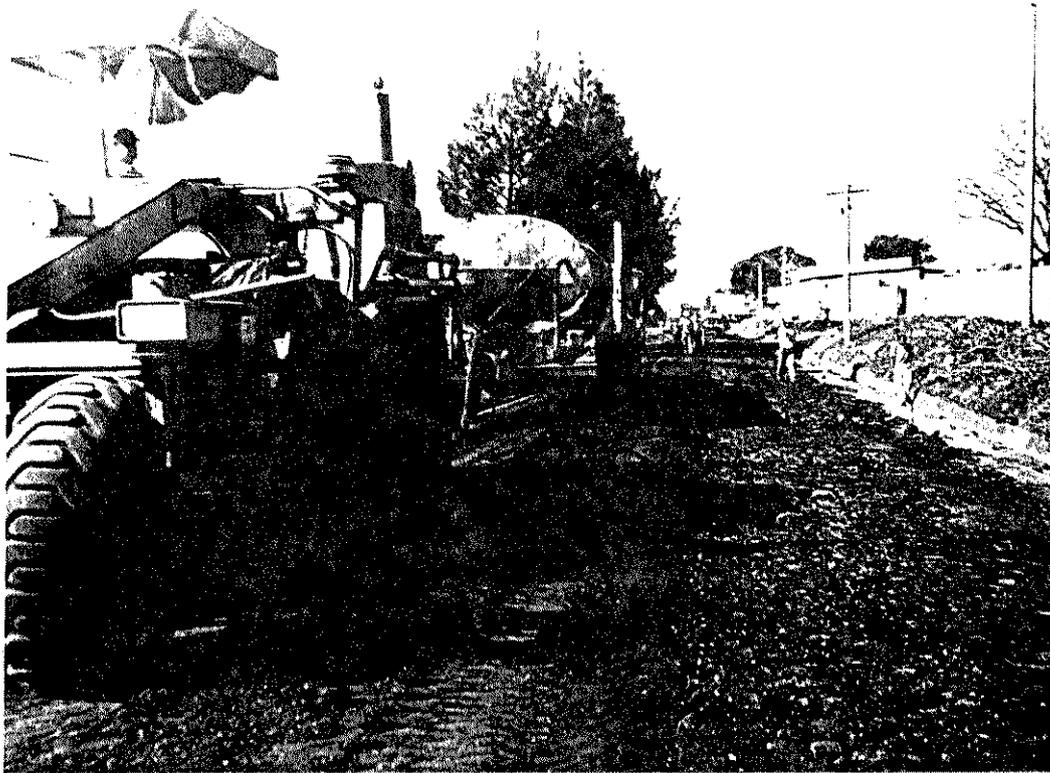


Foto 4.1b

**Comenzando a cortar:**

Hay dos maneras de empezar a cortar una estructura que se va a recuperar, la primera es alinear el recuperador en uno de los lados paralelo a la zona de trabajo. Con la máquina parada hay que bajar el rotor, hacer el corte a través de la superficie, perfilando en la base hasta alcanzar la profundidad de corte. El problema de este método es que produce desgaste acelerado de las puntas. El área de contacto para cada punta es muy grande mientras se perfila a través de la capa de pavimento asfáltico. Se puede comenzar el corte de esta

manera solo si la superficie de rodadura asfáltica es muy delgada (5 cm. o menos); cuando la superficie está construida con materiales pocos densos, o cuando el corte se efectúa en espacios limitados.

Una mejor manera de empezar el corte es con la máquina colocada lateralmente a través del área de trabajo, con el rotor sobre una superficie sin pavimentar. Cuando se baja el rotor, se corta material más blando, reduciendo el desgasta de las púas. Desplazándose a lo ancho del área de trabajo se crea una junta limpia al comienzo del reciclado. Aunque conforme se avance también se puede hacer la misma operación en el sentido longitudinal, comenzando a reciclar 1 metro atrás de donde se finalizó el día anterior, obteniendo los mismos resultados (ver figura 4.1c).

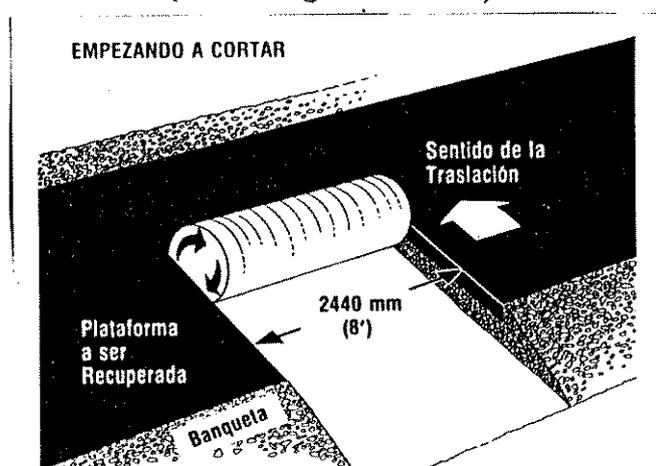


Figura 4.1c

**Profundidad del corte:**

La profundidad del corte la especifica el ingeniero, según los resultados finales que espera. (figura 4.1d).

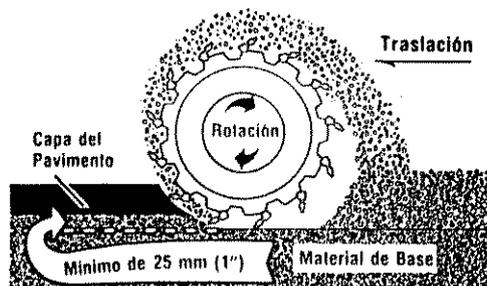


Figura 4.1d.

Según estudios realizados la profundidad de corte debe ser por lo menos de 2.5 cm. por debajo de las púas del cortador, pero en última instancia el ingeniero decide la profundidad de corte basado en lo que quiere conseguir con la base recuperada, partiendo del análisis realizado en el capítulo 2. También se debe considerar que las estructuras con superficie de pavimentos con más de 15 cm. de espesor, no son apropiadas para la recuperación, a menos que previamente sea escarificado y triturado el asfalto con equipo más pesado.

**Medidor de profundidad:**

Para ajustar la profundidad de corte, conectar el rotor y bajar el capó del rotor hasta que las púas toquen apenas el pavimento. Poner en cero el medidor de profundidad en el lado izquierdo del capó del rotor. (ver figura 4.1e)



figura 4.1e

Después, bajar el rotor penetrando el material del pavimento hasta que el medidor muestre que se ha alcanzado la profundidad predeterminada.

**Gradación:**

Hay un número de factores y la mayoría son controlados por el operador, que determinan la gradación del material que deja la cámara de mezcla del rotor (ver figura 4.1f).

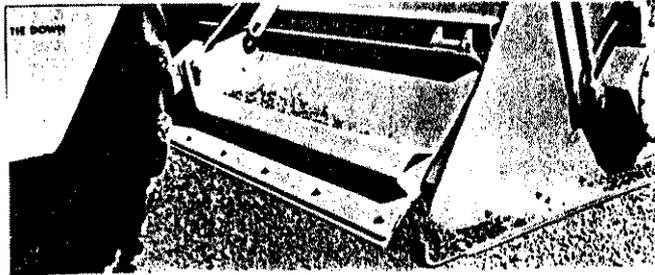


Figura 4.1f

La posición de la puerta trasera de la cámara de mezcla tienen gran efecto en la graduación. Mientras más cerrada la puerta, se retiene más tiempo el material dentro de la cámara de mezcla. Hay más contacto con las púas de carburo de tungsteno del cortador, con la barra pulverizadora debajo del capó, por lo que se trituran pedazos más grandes de carpeta asfáltica. El tamaño del agregado nunca será más pequeño de lo que era en la mezcla o en la base original, pero la mezcla será más fina cuando la puerta esté completamente cerrada.

Cuando la compuerta trasera queda muy abierta la mezcla es más gruesa. Esto es aceptable en la primera pasada del material que se va a remezclar.

Se puede decir que mientras más pequeña la abertura de la puerta trasera, es más fina la graduación del material, otro factor que influye es la velocidad del rotor, mientras más lenta más fina será la graduación (ver foto 4.1g).

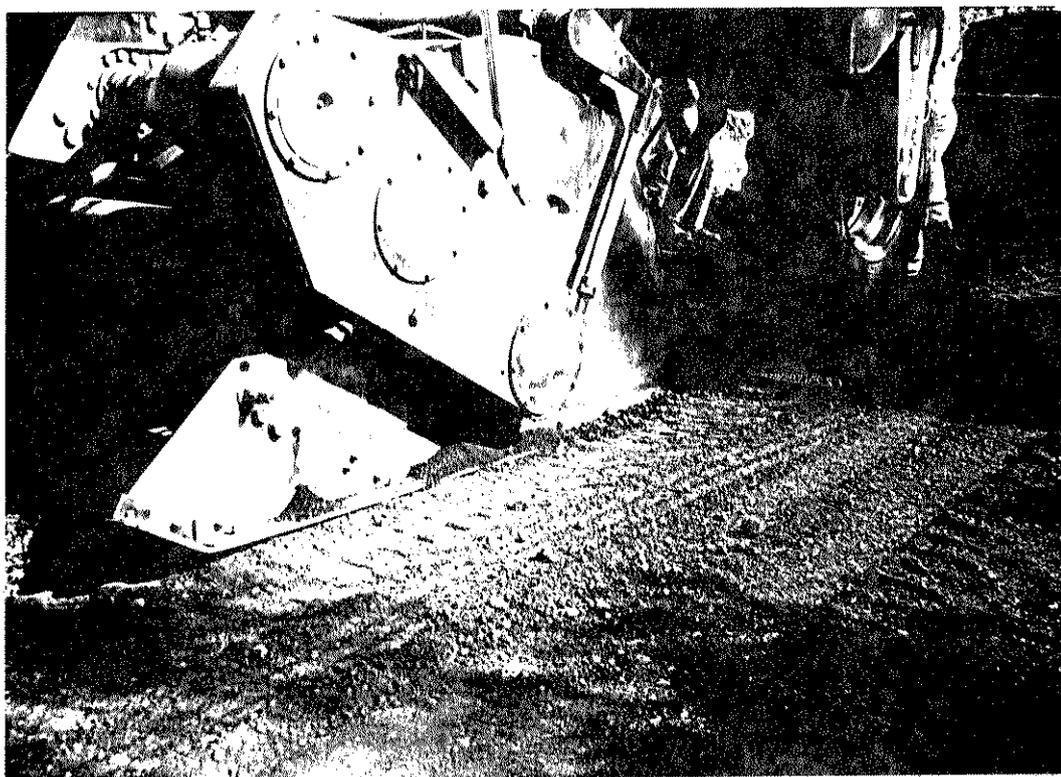


Foto 4.1g

La temperatura ambiente es otro factor que influye en las propiedades físicas de la capa asfáltica. En cuanto a la graduación, una alta temperatura ambiente (de

más de 32<sup>0</sup> c) aumenta la probabilidad de que la carpeta se rompa en losas grandes delante del cortador, pero también a altas temperaturas el cemento asfáltico se convierte en un material más suave, los pedazos de asfalto serán más difíciles de dimensionar o reducir a su menor tamaño en una sola pasada, a menos que la velocidad de la máquina se reduzca considerablemente (ver foto 4.1h).

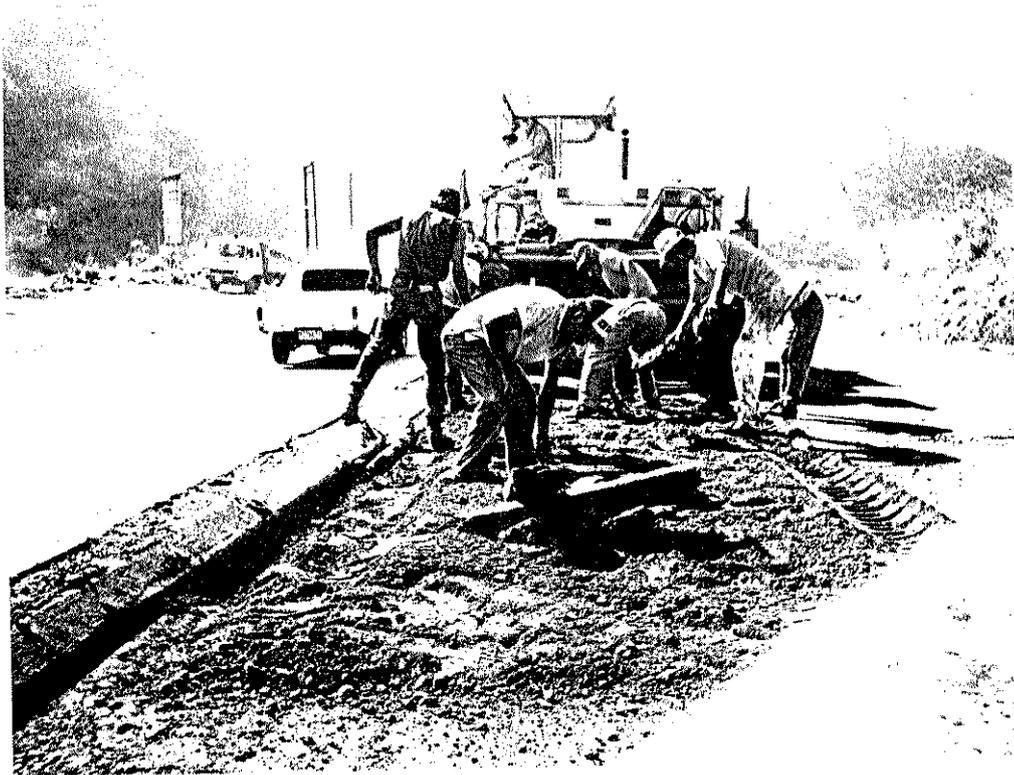


Foto 4.1h

Hay que recordar que durante la secuencia antes mencionada, se hará con el tanque de emulsión conectado a la recicladora para poder ir estabilizando simultáneamente (ver foto 4.1i).

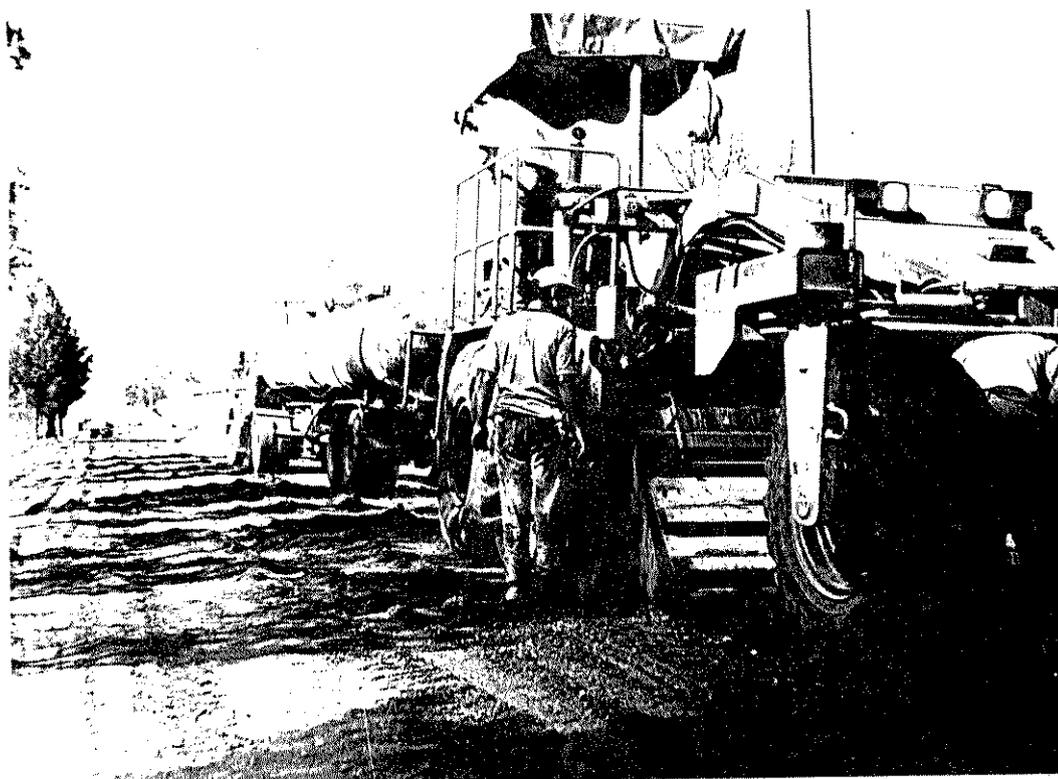


Foto 4.1i

#### Plan de trabajo:

Depende de varios factores, como el flujo del tráfico, que es lo más difícil de controlar, ya que si no se usan medidas de seguridad tanto para el piloto, como

para los trabajadores se pueden provocar muchos accidentes que después se lamentan. Otros factores serían el ancho de la carretera, la extensión total de la obra, la velocidad de trabajo, el uso de aditivos y del tipo de superficie de rodadura que se vaya a colocar, un buen programa satisface la mayoría de estos objetivos. Las menos interrupciones posibles al tráfico y el mejor uso del equipo, dan resultados de alta calidad y gran economía.

#### **Producción de una jornada:**

En la mayoría de casos hay que utilizar la máquina de recuperación para pulverizar y mezclar un tramo que también se pueda trabajar con otros equipos en el mismo día. Hay una doble razón para esto: primero no es prudente dejar un pavimento pulverizado abierto, el tramo se debe conformar y compactar lo más pronto posible para sellar la superficie. Segundo un tramo compactado se puede abrir al tráfico de vehículos. Cuando la máquina de recuperación finaliza el tramo designado simultáneamente con el tanque de emulsión, se procede a pasar el riper del patrol o motoniveladora, para que éste descubra los pedazos de asfalto no pulverizados que estén demasiado grandes y afecten la calidad de la base.

Esto se hace con personal, o si son demasiado grandes, con una retroexcavadora, para poder lograr una base uniforme y homogénea. Para estar seguros de que así será (ver foto 4.1j) es preferible darle otra pasada con el recuperador, ya sin el tanque, a todo el tramo, para que el tamaño del asfalto pulverizado sea el requerido, para la base granular que se diseñó.

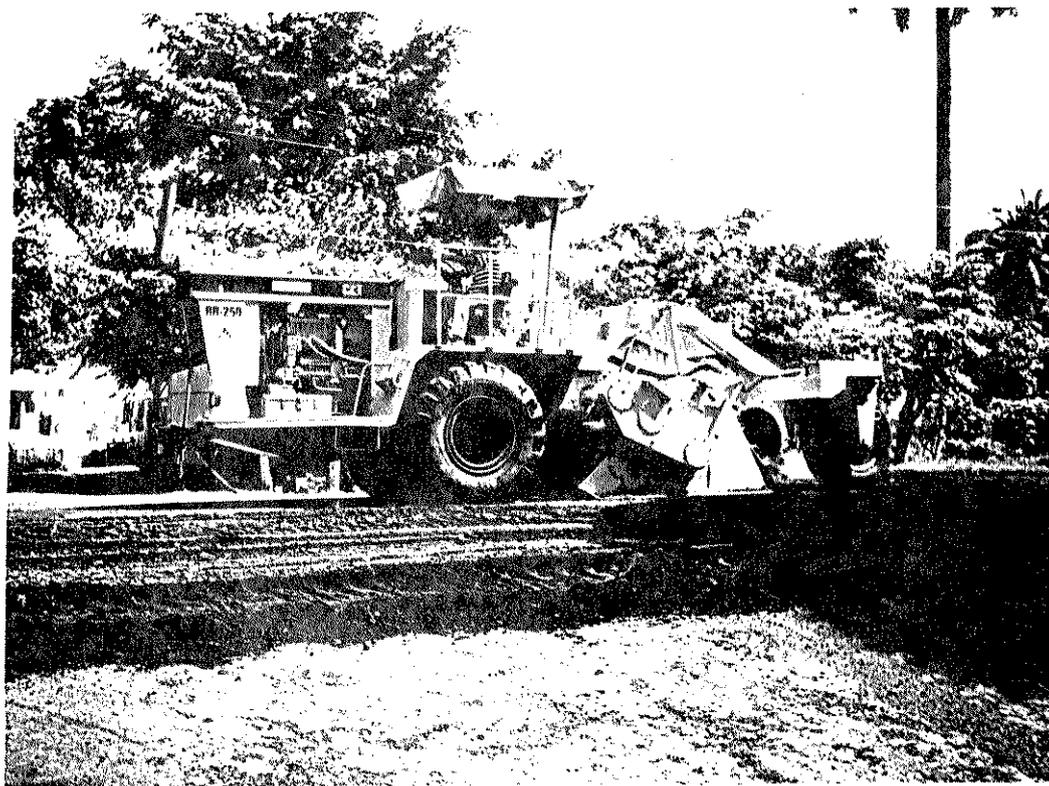


Foto 4.1j

Después de terminado el trabajo de la recicladora se chequea humedad, si es necesario se le aplica agua para que no se seque el tramo, se mezcla y homogeniza si es necesario, después se comienza a conformar el tramo con la motoniveladora, tratando la manera de dispersarlo uniformemente (ver foto 4.1k) y así poder comenzar a compactarlo (ver capítulo 4.1.1).

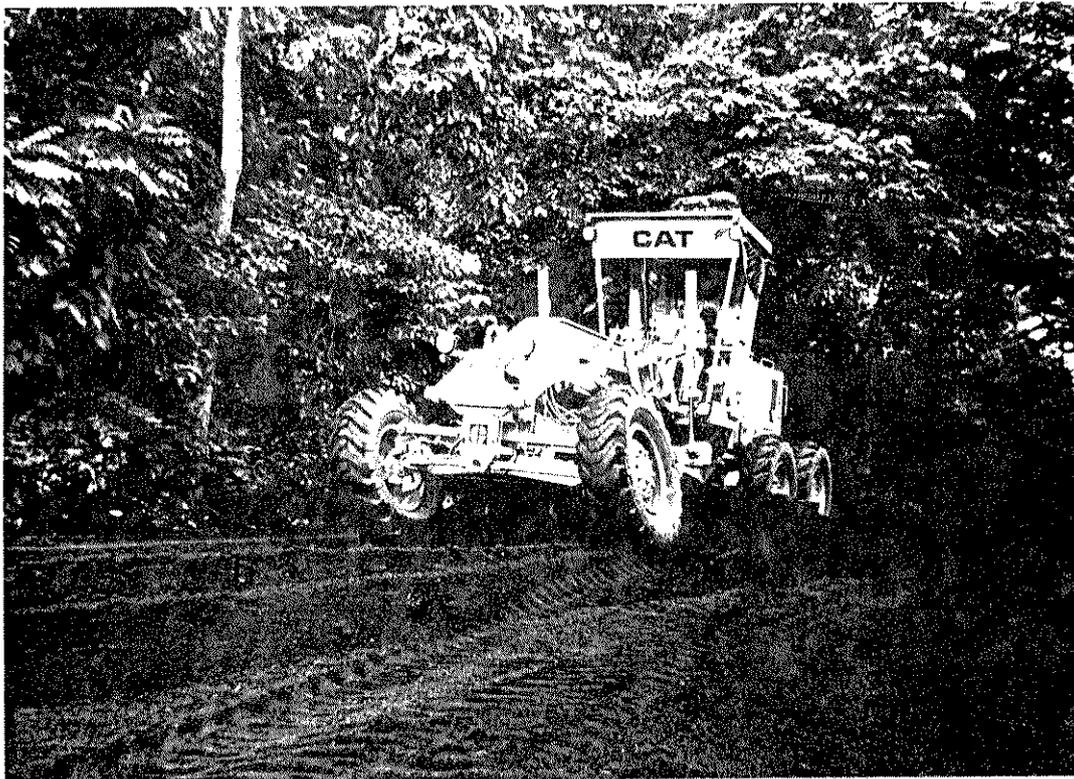


Foto 4.1k

Ya compactado se colocan niveles con la cuadrilla de topografía, sirviendo como referencia para el operador de la motoniveladora. Al terminar de colocar todos los trompos (referencias), se comienza a afinar con la motoniveladora y al finalizar este proceso se termina de compactar (ver fotos 4.11 y 4.1m), quedando así terminado el tramo elegido. Después se hacen los chequeos respectivos, porcentaje de humedad y densidad de compactación, comparándola con la obtenida en el laboratorio.



Foto 4.11

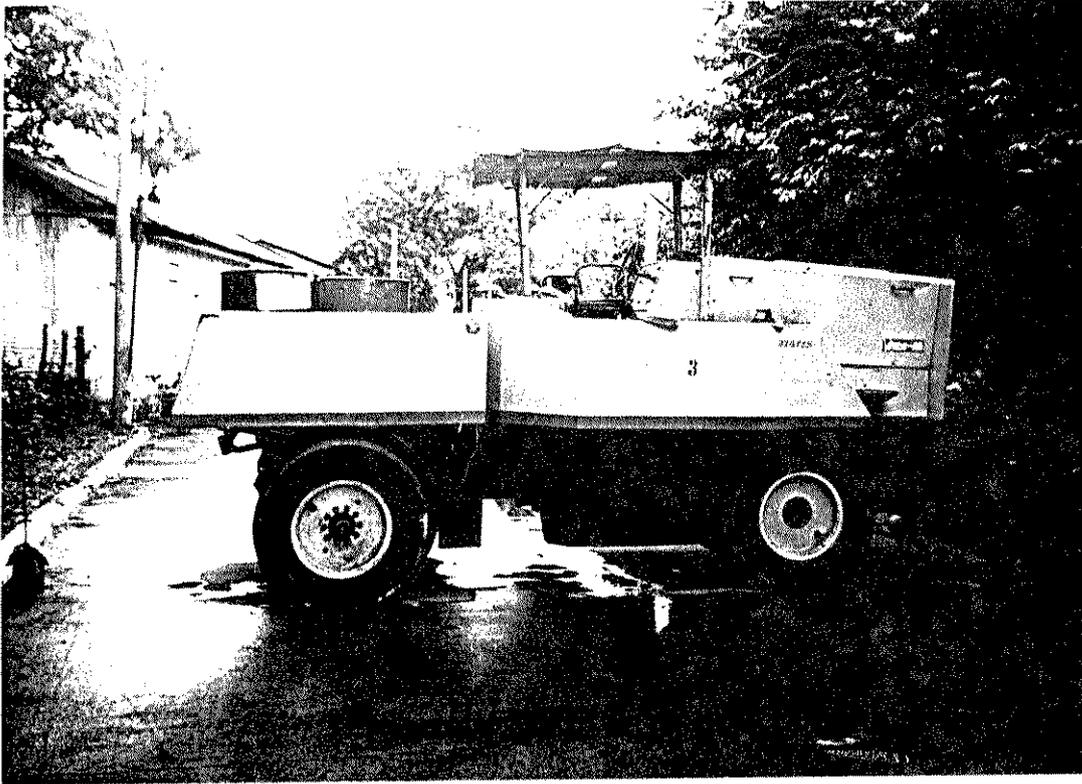


Foto 4.1m

#### 4.1.1. Compactación:

Éste es el proceso mediante el cual se densifican los suelos. Puede hacerse aplicando carga con un peso estático, golpes con un objeto, vibración o con rodo vibrador. La compactación se utiliza para eliminar los asentamientos y para hacer el suelo más impermeable al agua. Además lo consolida reduciendo espacios vacíos, aumentando así su densidad y en consecuencia su capacidad para soportar cargas.

Para un suelo y un esfuerzo de compactación dado, existe una densidad máxima y un contenido óptimo de humedad, expresado en porcentaje del peso del suelo seco. El contenido óptimo de humedad es el que permite el máximo grado de compactación. Para determinar los dos valores indicados en estas pruebas, se traza la densidad del suelo de un espécimen compactado contra el porcentaje de humedad en el mismo, la densidad máxima y la humedad óptima para el material puede determinarse con la curva resultante, de graficar los resultados obtenidos para diferentes especímenes ensayados a diferentes contenidos de humedad, como se estudió en el capítulo 1.2.2.

La compactación que debe obtenerse, se expresa en porcentaje de la densidad máxima, usualmente se toma como referencia la obtenida de conformidad con el método AASHTO modificado T-180; por ejemplo: 90% de compactación significa que el suelo colocado en el campo debe tener una densidad del 90% de la máxima obtenida en el laboratorio. El contenido de humedad de preferencia no debe variar en más o menos un 3% respecto al valor óptimo. Para obtener la compactación

adecuada en la obra, se debe controlar la humedad y el esfuerzo de compactación se debe aplicar en cada capa y en toda el área de trabajo.

Para determinar la densidad en la obra, se utiliza el método del cono con arena calibrada. Para el efecto se perfora o se excava un agujero de aproximadamente 5 cm. de diámetro y 10 cm. de profundidad, todo el material extraído del agujero se pesa y se guarda una muestra para determinar la humedad. Luego se llena el agujero con arena seca de densidad conocida. Se determina el peso de la arena utilizada para llenar el agujero y se utiliza para calcular el volumen del agujero. Las características del suelo se calculan con:

$$\text{volumen del suelo, pie}^3 = \frac{\text{peso de la arena para llenar el agujero Lbs.}}{\text{densidad de la arena, Lbs/pie}^3}$$

$$\% \text{ humedad} = \frac{100 (\text{peso del suelo húmedo} - \text{peso del suelo seco})}{\text{peso del suelo seco}}$$

$$\text{Densidad en obra Lbs/pie}^3 = \frac{\text{peso del suelo, Lbs.}}{\text{volumen del suelo, pie}^3}$$

$$\text{Densidad en seco} = \frac{\text{densidad en la obra}}{\text{H\% de humedad}/100}$$

$$\% \text{ de compactación} = \frac{100 (\text{densidad en seco})}{\text{densidad máxima en seco}}$$

Los objetivos de la prueba proctor modificado son la determinación de la densidad máxima obtenible de un suelo, la que se usa como patrón de referencia o como norma, así como determinar el efecto de la humedad en la densidad. El adecuado control del proceso de compactación y el complemento del mismo, de manera uniforme en toda la superficie de trabajo hasta alcanzar la densidad especificada, permite asegurar un elevado nivel de calidad y contribuye a prevenir el apareamiento de defectos posteriores.

#### **Sellado de la superficie de la base:**

Después que el material de la base estabilizada se conforma y compacta y la misma ha sido verificada, sobre la superficie de la base se coloca un riego de emulsión asfáltica, este riego puede efectuarse como un riego normal de imprimación, para protección de la superficie, evitando la penetración de humedad si existieran precipitaciones o como riego de liga para asegurar un buen vínculo entre la base y la carpeta de concreto asfáltico. Como el tramo imprimado quedará expuesto al tránsito, se aplica un riego de arena o granza, para evitar que

las llantas de los vehículos levanten el riego asfáltico.

De preferencia la aplicación de un sello o riego de imprimación debe posponerse (de cuatro a seis días) cuando se estabiliza el material de la nueva base con emulsiones asfálticas para permitir el curado de la misma. El mantener la superficie sin sellar permite la evaporación del agua de la emulsión y por tanto, se acelera el proceso de fraguado.

#### 4.2 PROBLEMAS QUE SE PUEDEN DAR Y POSIBLES SOLUCIONES:

En el proceso constructivo del reciclado se pueden dar problemas como los que se analizarán a continuación, con sus posibles soluciones.

**Baches:** se pueden producir por exceso de humedad, debido a la dosificación o a la mala distribución del punto de riego de emulsión, concentrado en un área reducida.

Para poder solucionar este problema se podría reemplazar el material en el peor de los casos, sin

embargo, la humedad se puede reducir en el material por medio de la mezcla y reacondicionamiento del material, mediante la mezcla y aireación usando la recicladora y el patrol. También se podría aumentar la profundidad del reciclado en un 25%, y mezclar material seco con material saturado para mejorar las condiciones de humedad.

Si el material estuviera demasiado saturado y ya no existiera solución posible, habrá que reemplazar el mismo según el criterio del ingeniero supervisor o el superintendente de los trabajos. El material de reemplazo deberá cumplir con las especificaciones de granulometría y plasticidad aplicables al material reciclado, para que la solución sea óptima.

Se debe de tomar en cuenta que este problema es debido al excesivo rociado de agua o a la mala inyección de emulsión y a los cambios en el tiempo, provocado por precipitaciones que pueden afectar todo el tramo, también se pueden tener problemas involuntarios como corrientes de agua subterráneas o aguas pluviales estancadas, donde las soluciones conducen a la construcción de subdrenajes y/o a la estabilización del suelo con otro material y no con emulsión, porque con la misma se estaría contribuyendo

a la saturación del material existente.

**Emulsión defectuosa:** hay veces que la emulsión al no ser calentada a la temperatura adecuada (150<sup>0</sup> F.) forma grumos y por lo mismo al ser inyectada tapa todo el sistema de inyección, por lo que no es recomendable utilizarla.

Para evitar esto se debe de tener el cuidado de examinar la emulsión previo a su colocación y tener un quemador a la mano, que funcione por medio de gas para elevar la temperatura en el campo y así no perjudicar el proceso constructivo.

**Precipitación pluvial:** el reciclado en época lluviosa es inconveniente, ya que hay lugares donde las lluvias se pueden precipitar rápidamente y sin previo aviso, lo que podría provocar altos contenidos de humedad en un tramo abierto. Por lo que se debe tener cuidado abriendo tramos más pequeños, que pueden ser concluidos en un período más reducido y sellados de emergencia ante la inminencia de lluvias fuertes.

Es conveniente contar con información del clima

para ver si vale la pena realmente hacer todo el movimiento de la maquinaria o mejor decidir abortar la operación para no hacer movimientos innecesarios.

**Losas de asfalto:** por lo general en la capa de superficie del pavimento se encuentran áreas fracturadas, con apariencia de cuero de lagarto, en estos casos es difícil pulverizar el asfalto, ya que se provocarían fisuras y agrietamiento debido a la falta de acomodamiento de las partículas y lógicamente por su tamaño.

La solución a este problema es dar una segunda pasada con la recicladora con el propósito de pulverizar y voltear el material, para que la carpeta no triturada quede expuesta y poder sacarla del lugar. Seguidamente escarificar con el riper del patrol para exponer las que hayan quedado ocultas y así lograr extraerlas en su mayoría para evitar problemas futuros.

**Sello:** al no aplicar el sello de emulsión sobre la superficie ya terminada, y sabiendo que la capa de rodadura no será colocada inmediatamente, se puede provocar que el tramo se destruya en su totalidad, por

precipitaciones continuas. Entonces es necesario aplicar un sello de emulsión para impermeabilizar el tramo y aplicarle secante (arena), para poder dejar el paso libre, para así evitar la destrucción por la lluvia de un trabajo ya terminado.

Capítulo V

**CARACTERÍSTICAS, DISEÑO Y COLOCACIÓN  
DEL  
CONCRETO ASFÁLTICO**

**5.1. CONCRETO ASFÁLTICO:**

El sistema de construcción asfáltica, consiste en la elaboración en planta y en caliente, de una mezcla de proporciones estrictamente controladas de materiales pétreos y cemento asfáltico, para obtener un producto de alta resistencia y duración, con características de calidad uniforme, que se puede tender y compactar de inmediato en la carretera. El concreto asfáltico puede ser utilizado como capa de base o como superficie de rodadura, según lo determinen las disposiciones especiales.

**Agregados:** hacen la mayor parte (90 - 95% por peso) en cualquier mezcla asfáltica de pavimentación y son responsables por la capacidad de soporte de cargas de un pavimento.

Agregados minerales son definidos como cualquier material mineral duro, fragmentado o triturado, incluyendo arena, y polvo de roca. Los agregados para el

concreto asfáltico son generalmente clasificados de acuerdo con su fuente y medio de preparación. Las aptitudes de los agregados para su uso en mezclas asfálticas es determinada al evaluar el material en lo siguiente:

- Tamaño y graduación
- Limpieza
- Resistencia a la abrasión
- Caras fracturadas y partículas planas o alargadas
- Forma de la partícula
- Absorción
- Resistencia al desvestimiento
- Características deseables del concreto asfáltico

**Tamaño y graduación:** el tamaño máximo nominal de un agregado triturado, corresponde al de la malla inmediatamente mayor que la del primer tamiz que retuvo más del 10% del material. El agregado pétreo elaborado, listo para ser mezclado con asfalto debe llenar los requisitos de graduación determinados por el Instituto de Asfalto, según el tipo seleccionado en el diseño. Para obtener la graduación establecida los agregados son dosificados por lo menos en tres tamaños diferentes, determinada por un análisis de tamices o granulométrico (ver figura 5.1a).

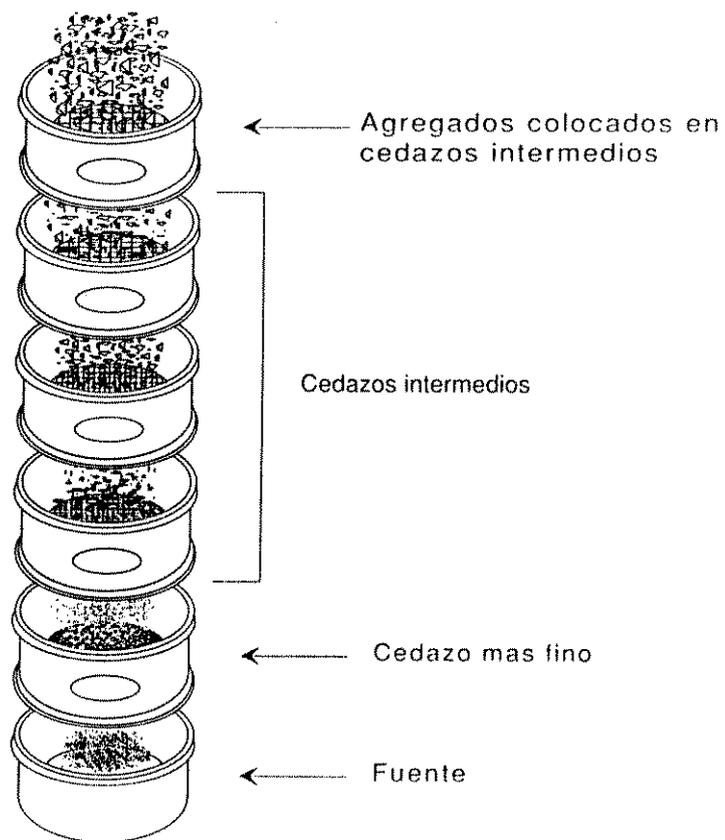


Figura 5.1a

**Limpieza:** algunos agregados contienen o son revestidos con materiales extraños o materiales que los hacen indeseables para mezclas asfálticas. Las impurezas pueden causar fallas en el pavimento.

**Abrasión:** la porción de agregado retenida en el tamiz número 8, no debe tener un porcentaje de desgaste por

abrasión, AASHTO T96, mayor de 40, a 500 revoluciones. Los agregados están sujetos a trituración adicional y desgaste abrasivo durante la fabricación de la mezcla, su colocación y compactación, así mismo están sujetos a la abrasión bajo tráfico. Los agregados situados en o cerca de la superficie del pavimento requieren una mayor durabilidad que los agregados de las capas inferiores, donde la carga ha disminuido o no es tan concentrada.

**Caras fracturadas y partículas planas alargadas:** no menos del 90% por peso, de las partículas retenidas en el tamiz No 8 deben tener, por lo menos, una cara fracturada, no menos del 75% por peso, de las partículas retenidas en el tamiz No. 8 deben tener por lo menos dos caras fracturadas. No más del 8% por peso, pueden ser partículas delgadas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces al espesor promedio de dichas partículas.

**Absorción:** se refiere a los agregados porosos que absorberán asfalto y hacen la mezcla seca o menos cohesiva. Material altamente poroso es generalmente usado como agregado de asfalto de pavimentación.

**Resistencia al desvestimiento:** las partículas de agregado deben ser de tal naturaleza que al recubrirlas completamente con el cemento asfáltico del tipo y grado a usarse en la capa de concreto asfáltico, no presenten evidencia de desvestimiento, permaneciendo más del 70% de las partículas perfectamente cubiertas con el cemento asfáltico.

**Características deseables del concreto asfáltico:** las especificaciones de la Dirección General de Caminos establecen algunas normas de calidad para el concreto asfáltico, sin embargo, se considera muy importante el cumplimiento de las especificaciones del Instituto de Asfalto, de conformidad con el siguiente cuadro.

## MÉTODO DE DISEÑO

Método Marshall AASHTO T245, (ASTM D1559)	Tráfico Liviano		Tráfico Mediano		Tráfico Pesado	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Compactación, número de golpes en cada extremo del espécimen	35	-	50	-	75	-
Estabilidad (lbs.)	750	-	1200	-	1800	-
Flujo en 0.01 de pulg. (0.25 mm)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos rellenos con asfalto	70	80	65	78	65	75

Adicionalmente la experiencia más reciente aplicada en Guatemala indica que la relación, estabilidad vrs. fluencia en libras/centésimas de pulgada, debe mantenerse aproximadamente entre un mínimo de 180 para clima templado y un máximo de 255 en clima cálido.

Al llenar estos requisitos el agregado pétreo debe consistir en piedra o grava, trituradas, de buena calidad, combinadas con arena, polvo de roca, naturales o de trituración y polvo mineral para formar un agregado clasificado.

**Mezcla asfáltica en caliente:** consiste de partículas de agregado cubiertas con cemento asfáltico. Los agregados deben estar secos y el cemento de asfalto debe ser líquido para que ocurra una buena mezcla, por lo tanto el proceso debe ser en caliente antes de mezclar. Después que los materiales hayan sido calentados y mezclados en una planta (ver figura 5.1b). La mezcla caliente es transportada al sitio de trabajo.

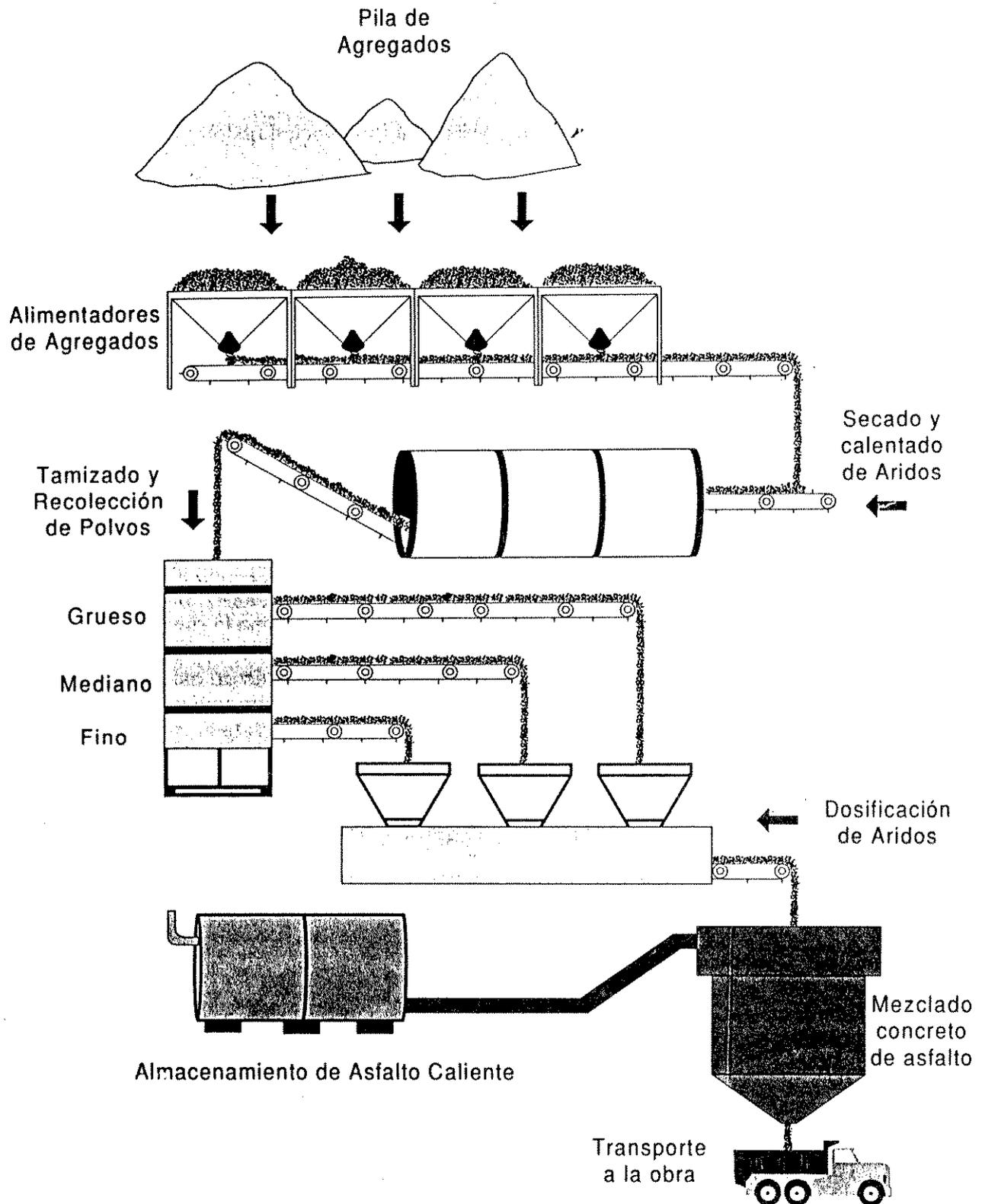


Figura 5.1b

### 5.1.1 DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO:

Las propiedades usadas en el diseño de la mezcla y aplicaciones son innumerables, como también los nombres usados para definir las mezclas. Los tipos pueden ser reducidos a dos mezclas de graduación, agregado de relación baja de vacíos o relación alta de vacíos.

Las mezclas de alta densidad están diseñadas de acuerdo con las siguientes características:

- a) **Estabilidad:** la posibilidad del concreto asfáltico para resistir deformaciones por cargas, tales como canalización y ondulaciones transversales.
- b) **Durabilidad:** la habilidad para resistir efectos de aire, agua, temperatura (calor extremo y ciclos de congelamiento) y tráfico.
- c) **Flexibilidad:** la capacidad de un concreto asfáltico para doblarse ligeramente sin agrietarse y conformarse a movimientos y asentamientos de la base.
- d) **Resistencia a la fatiga:** la habilidad del concreto asfáltico para resistir repetidas flexiones causadas por las pasadas de cargas rodantes.

- e) **Resistencia al deslizamiento:** la resistencia del concreto asfáltico particularmente cuando está mojado, al patinaje o deslizamiento.
- f) **Impermeabilidad:** la capacidad del concreto asfáltico de resistir penetración de aire y agua en su estructura.
- g) **Trabajabilidad:** la facilidad con la que el concreto asfáltico puede ser colocado y compactado.

El método de diseño de concreto asfáltico más usado en Guatemala es el Marshall, conforme se establece en el manual MS-2 del Instituto de Asfalto, el cual permite establecer las dosificaciones de los agregados según su tamaño y el contenido de asfalto más adecuado para cumplir los requerimientos determinados de resistencia y graduación.

## 5.2 BASES PARA EL DISEÑO DE ESPESORES:

El concreto asfáltico será diseñado para obtener un buen comportamiento durante una larga vida de servicio. Diversos factores deberán analizarse para obtener el diseño al más bajo costo posible. Estos factores pueden ser:

- a) **Tránsito:** considerando las cargas por eje o rueda y su frecuencia. El volumen y características del tránsito fijarán el ancho del pavimento, mientras que el peso y la frecuencia de las cargas de los ejes o de las ruedas de los vehículos determinarán el espesor y las características del diseño estructural.

Es evidente que la frecuencia de circulación de las cargas de rueda más pesadas, diferirá fundamentalmente de una ruta, por la que circulan todo tipo de vehículos, a una calle residencial de tránsito local.

- b) **Vida útil:** será el tiempo que se considere que el pavimento podrá prestar servicio sin reparaciones de importancia. Para el diseño, deberá establecerse el volumen y peso del tránsito futuro previsible.
- c) **Condiciones climáticas y de drenaje:** el diseño del pavimento está condicionado al régimen de lluvias en el proyecto y a las condiciones de drenaje de la carretera.

El valor soporte de la subrasante, sub-base y

base deberán ser razonablemente uniformes, es decir, que el pavimento deberá tener una resistencia estructural adecuada, de manera que llene las expectativas para el cual fue diseñado. Dicha resistencia es mayor cuando la humedad en cada una de estas capas es reducida.

- d) **Especificaciones:** los pavimentos así como todo tipo de obra vial, deberán ser construidos siguiendo adecuadas especificaciones. Es muy importante resaltar que por muy buenas que sean las especificaciones no se logrará una esmerada ejecución del pavimento, si no son respetadas y aplicadas por una supervisión responsable y competente.

### 5.3 COLOCACIÓN EN CAMPO:

#### **Aplicando la emulsión (Ligando):**

Después de tener completamente limpia la superficie se aplica un ligante, en este caso emulsión, para que haya adherencia entre la base y capa de rodadura.

Las emulsiones asfálticas tienen como objeto permitir la aplicación de mezclas en caliente, frío y/o agregados húmedos, también presentan ventajas ecológicas, energéticas y de trabajo.

La aplicación de la emulsión puede hacerse a mano usando un sistema de pulverizador, el punto de riego tiene que estar entre  $0.08$  y  $0.12$  gls/ $M^2$ , ya que si es más puede que la carpeta se corra, y si es menos posiblemente no pegue (ver foto 5.3a).



Foto 5.3a

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN PEDRO DE MACORIS (RESA)

Después de aplicada la liga debe esperarse un tiempo de 10 a 30 minutos para que frague.

#### Transporte del concreto asfáltico:

La mezcla debe ser transportada de la planta fija, al lugar de su colocación, a una temperatura mínima de 300<sup>0</sup>F y una máxima de 325<sup>0</sup>F, por medio de vehículos con su palangana de volteo, previamente limpia, cubiertos con lona u otro material que preserve la mezcla de polvo y de las pérdidas de calor y alteraciones durante el trayecto (ver foto 5.3b).



Foto 5.3b

Granceo: al llegar el primer camión a la obra se comienza a grancear, que es colocar la mezcla a mano en la parte ya ligada, para que la rodada de los camiones no levanten la liga (ver foto 5.3c).



Foto 5.3c

Colocación y tendido: la mezcla transportada a la obra debe colocarse y tenderse a una temperatura, mínima de 265<sup>0</sup>F, con máquina pavimentadora autopropulsada, especial (terminadora) para este tipo de trabajo, que permita ajustar el espesor y el ancho a tender. Asegurando uniformidad en una sola operación, el espesor de cada capa no debe ser mayor a 15 cm. la longitud máxima de los tramos de tendido y el espesor, deben estar condicionados al equipo de compactación y a las pérdidas de temperatura que sufra la mezcla la que después de ser colocada debe ser debidamente compactada, ver capítulo 5.3.1 - (ver foto 5.3d).

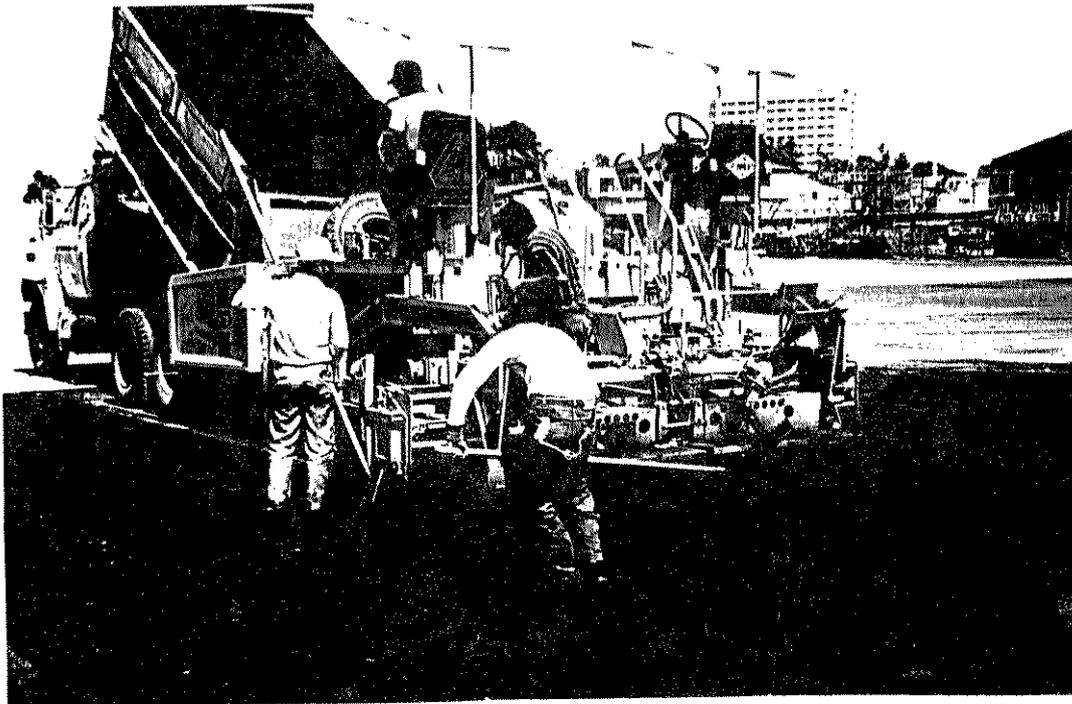


Foto 5.3d

### 5.3.1. COMPACTACION

El concreto asfáltico estando a una temperatura no menor de 225<sup>0</sup> F., debe ser uniformemente compactado, hasta lograr el 100% de compactación respecto a la densidad máxima de laboratorio, determinada según el método de diseño adoptado. La compactación en el campo se debe comprobar con el método marshall o se pueden usar otros métodos técnicos incluyendo los no destructivos.

Para evitar la adherencia del material bituminoso a los rodillos, las compactadoras deben estar previstas de un sistema que mantenga mojados los rodillos en toda el área de contacto, pero deben evitarse excesos.

Cuando el espesor a compactar exceda de 15 cm., el material debe ser colocado, tendido y compactado en 2 o más capas. Cuando la capa inferior haya sido abierta al tráfico, antes de ser cubierta con otra capa, debe limpiarse y colocar otro riego de liga (ver fotos 5.3e y 5.3f).



Foto 5.3e

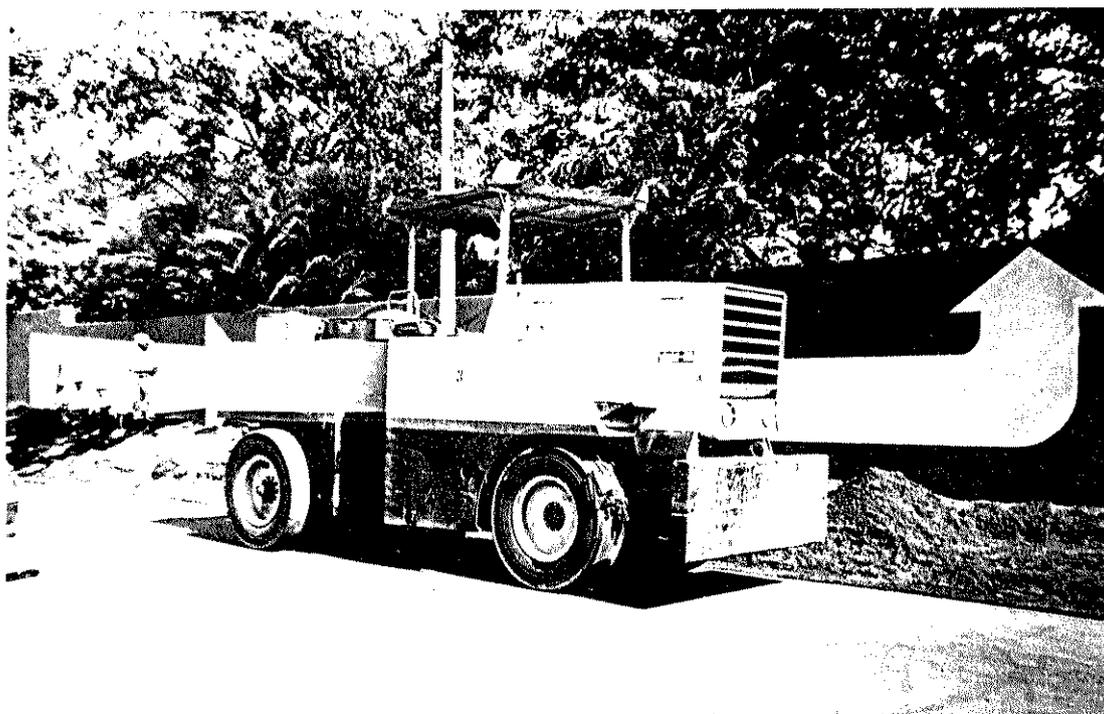


Foto 5.3f

La razón básica para compactar el concreto asfáltico es para permitirle soportar peso de tráfico en períodos largos. La compactación reduce las partículas de agregado en contacto cerrado, reduce el porcentaje de huecos de aire en una cantidad óptima y permite que el cemento asfáltico se una a la mezcla en una masa resistente y dura. Los resultados son:

- a) **Estabilidad:** la compactación coloca las partículas del agregado unidas entre sí, la fricción entre las partículas da al pavimento fuerza para soportar cargas pesadas.
  
- b) **Cohesión:** la compactación coloca las partículas de agregados unidas entre sí, para que el cemento asfáltico pueda unir la masa efectivamente. La cohesión da al pavimento fuerza para resistir esfuerzo de tensión, lo que contrariamente causaría fracaso al concreto asfáltico.
  
- c) **Impermeabilidad:** compactación apropiada da al concreto asfáltico la habilidad de resistir agua o penetración de aire. Compactación de una mezcla bien diseñada, es también usada para obtener el

porcentaje apropiado de vacíos de aire. El porcentaje óptimo de vacíos de aire debe ser entre 3% y 8% para las mezclas de relación bajas de vacíos. Esto es importante porque un concreto asfáltico con menos de 3% de vacíos de aire, no permite expansión térmica sin causar inestabilidad en la mezcla. Si hay más de un 7% de vacíos de aire, la impermeabilidad del concreto asfáltico es afectada, permitiendo la penetración de agua y aire, deteriorando la unión del asfalto grandemente y reduciendo su durabilidad. La compactación disminuirá el porcentaje de vacíos de aire de un 15% a 20% durante su colocación, al rango deseado de 3% a 8% en una mezcla bien diseñada.

**Ensayo de densidad, método Marshall y sobre compactación:**

Una vez que el concreto asfáltico ha sido compactado es necesario efectuar ensayos para obtener la compactación y verificar si califica con los requerimientos del trabajo. La compactación se obtiene por medio del método Marshall que comúnmente esta instalado en un laboratorio, siendo un ensayo destructivo.

Los procedimientos del ensayo Marshall, han sido adoptados por la ASTM y AASHTO y muestra un análisis de densidad, vacíos (resistencia), y un análisis de estabilidad, flujo (flexibilidad) para el concreto asfáltico compactado.

La muestra de testigo consiste en remover un testigo de 4 pulgadas de diámetro del pavimento compactado. Este testigo es llevado entonces al laboratorio para ser evaluado. Aunque la muestra de ensayo es exacto, hay muchas desventajas, las muestras deben ser enviadas al laboratorio, haciendo un proceso lento, con resultados disponibles solamente después que la mezcla se haya enfriado, hasta el punto que ya no sirve para ser compactada. Es caro y antiguo, ya que sacar el testigo interrumpe el pavimento y se requiere después de un bacheo.

Existe otro método más preciso y que da resultados en minutos y no perturba el concreto asfáltico, es el medidor de densidad nuclear, opera en el principio de que el asfalto denso absorbe más radiación que el asfalto suelto. El medidor nuclear es colocado directamente en el concreto asfáltico a ser ensayado y es prendido, rayos

gamma de una fuente radioactiva penetra el asfalto y dependiendo en el número de vacíos de aire presente, y un número de rayos se reflejan en el asfalto. Estos rayos son registrados en un contador, registrando visualmente la densidad del concreto asfáltico en libras por pies cúbicos.

El exceso de compactación puede disminuir densidad y bajar durabilidad.

#### **5.3.2 PROBLEMAS QUE SE PUEDEN DAR Y POSIBLES SOLUCIONES:**

##### **Fallas en el concreto asfáltico:**

Pueden ser categorizado de la siguiente forma

- Grietas
- Deformación
- Desintegración

**Grietas:** aparecen en muchas formas como el resultado de varias causas, en orden de poder hacer reparaciones apropiadas, primero se deben determinar las causas de las grietas.

##### **Típicas grietas comúnmente encontradas**

a) **Grietas de cuero de lagarto:** son grietas conectadas,

que forman una serie de pequeños bloques que semeja el cuero de lagarto. Son usualmente asociados con una base granular que ha fallado. Tiene una base suave o saturada. La reparación adecuada incluirá remover el material fallado o saturado y un bacheo profundo de mezcla de asfalto caliente.

b) **Grietas en el borde:** son grietas grandes las cuales corren paralelamente al borde del pavimento y se debe a la falta de apoyo o asentamiento de la base del material. Se puede conseguir una reparación llenando la grieta con una emulsión o rellenando hasta la superficie con una mezcla de bacheo de asfalto caliente.

c) **Grietas en la junta:** ocurre entre dos líneas de tráfico y son el resultado de agua en depresiones en la unión. Falta de drenaje debe ser corregido y la grieta se puede llenar con una emulsión de asfalto aguado.

d) **Grietas de deslizamiento:** parecen perforaciones debido a que la superficie de asfalto ha sido estirada, son el resultado del peso del tráfico y

la falla de unión entre la capa de la superficie y la capa de trabajo. La única reparación efectiva es remover la capa de la superficie y corregir la base antes de bachear con mezcla asfáltica en caliente.

**Deformaciones:** deformaciones en el pavimento es el resultado de debilidad de la base, las reconocidas más comúnmente son:

- a) Canalización
- b) Ondulación
- c) Desplazamiento
- d) Depresiones
- e) Levantamiento

Ocurren deformaciones e intersecciones en áreas donde el tráfico empieza o se detiene. Las reparaciones de las deformaciones en muchos casos significa remover el área afectada, estabilizando la base y aplicando mezcla de asfalto en caliente.

**Desintegración:** bases dañadas con exceso de humedad o saturadas, es la forma más común de desintegración y resultado de desintegración localizada bajo el tráfico.

Es importante tener un control de calidad adecuado para evitar problemas posteriores en un trabajo prácticamente nuevo, por eso, la relación entre contratista y supervisión debe ser la mejor.

## CONCLUSIONES

- 1) Para la rehabilitación de pavimentos es necesario tener un aporte estructural adecuado a las nuevas necesidades del tráfico, siendo de primordial importancia el estudio de la estructura del pavimento existente, ya que de ésta dependerá el diseño del espesor de la base y de la carpeta de concreto asfáltico, como también el punto de riego para estabilizar.
- 2) La utilización de la maquinaria adecuada puede ayudar a reducir costos y a acortar el tiempo de ejecución.
- 3) Durante la ejecución de los trabajos es necesario mantener un control de calidad exigente, tanto para la recuperación, como para la capa de rodadura, ya que de esto dependerá el éxito de cualquier proyecto de rehabilitación.
- 4) Es importante tomar en cuenta que durante la estación lluviosa es bastante difícil ejecutar proyectos de obras viales, por lo que se debe tener mucho cuidado y tomar las precauciones del caso, porque las lluvias o el exceso de humedad de los materiales pueden provocar atrasos inesperados, y pérdidas no presupuestadas, a parte que la calidad y durabilidad del pavimento terminado se reduce respecto al efectuado durante la época seca.

## RECOMENDACIONES

- 1) Para todo proyecto de rehabilitación es necesario realizar una comparación de las alternativas de diseño, para determinar con ella la estructura adecuada que cumpla las necesidades requeridas.
- 2) Se recomienda un control adecuado para la aplicación del punto de riego, en el proceso de estabilización, evitando así problemas futuros o inmediatos.
- 3) Es necesario mantener un buen control con el tránsito en el área de trabajo designada, para evitar congestionamientos y posibles accidentes, tanto para los trabajadores como para el tráfico vehicular.
- 4) Se recomienda tener un control de compactación en cada tramo terminado.
- 5) Es necesario llevar un control de la mezcla asfáltica en caliente, desde que es producida, sale de la planta hasta que es tendida, esto implica controlar la calidad del producto, su espesor y los niveles de compactación.
- 6) Se recomienda desarrollar un programa de visitas de los estudiantes de ingeniería a los lugares donde se hace este tipo de proyectos, para que conozcan y sepan para qué se usa cada una de las máquinas que intervienen en el proceso.

- 7) En las visitas a los proyectos, las mismas deben ser debidamente planificadas, de manera que los estudiantes puedan experimentar con los resultados y obtener criterios más amplios para determinar la importancia de los ensayos de laboratorio y de campo, así como de los controles que se realizan durante el proceso de construcción.

**BIBLIOGRAFÍA**

- ANCKERMANN Alvarez Enrique. **Manual para Laboratoristas de Suelos en Construcción de Carreteras.** Tesis de graduación de ingeniero civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Agosto de 1969
  
- DISTRIBUIDOR CATERPILLAR INC. **Manual de Pavimentación de Asfaltos.** E.U.A. 1991
  
- DISTRIBUIDOR CATERPILLAR INC. **Manual de Recuperación de Caminos.** E.U.A. 1991
  
- DISTRIBUIDOR CATERPILLAR INC. **Manual de Rendimiento.** Vigésima Sexta Edición. E.U.A. Octubre 1995
  
- FREDERICK S. Merritt. **Manual de Ingeniero Civil.** Tomo III, Tercera Edición (segunda en español). Traducido por DE LA CERA Alfonso José E. México. Edit. McGraw Hill 1992
  
- INGENIEROS CONSULTORES DE CENTRO AMÉRICA. **Especificaciones Generales para Construcción de Carretera y Puentes.** Guatemala. Dirección General de Caminos. Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas. Mayo 1975.
  
- INSTITUTO DE ASFALTO. **A Basic Asphalt Emulsion Manual.** Manual serie No. 19. Segunda Edición. 1979

- INSTITUTO DE ASFALTO. **Mix Design Methods for Asphalt Concrete.** Manual serie No. 2 (MS-2). 1988
- INSTITUTO DE ASFALTO. **The Asphalt Handbook.** Manual serie No. 4 (MS-4). 1989
- INSTITUTO DE ASFALTO. **Asphalt Cold-Mix Recycling.** Manual serie No. 21 (MS-21). 1983
- RIVERA E. Gustavo. **Emulsiones Asfálticas.** Tercer edición. México: Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. 1987
- WACKER Corporation. **Manual de Asfalto.** E.U.A. 1994
- WARDLAW Kenneth, Briones Carlos. **Curso de Tecnología de Asfaltos.** Guatemala. Diciembre 1993