

**“UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO”**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**TESIS**

**CARACTERIZACION DE MEZCLAS ASFALTICAS RECICLADAS EN  
CALIENTE EN LA CIUDAD DE MORELIA**

**PRESENTADA POR:**

**GIBRAN ANTONIO MORENO REYES.**

**DIRIGIDA POR:**

**DR. JORGE ALARCON IBARRA.**

**MORELIA MICHOACÁN FEBRERO 2007**





## INDICE

Capitulo 1.- Introducción .	
1.1.- Antecedentes.	1
1.2.- Objetivo.	5
Capitulo 2.- Pavimentos Flexibles.	
2.1.- Antecedentes.	6
2.2.- Pavimentos Asfálticos.	10
2.2.1.-Función de las capas que conforman el pavimento.	14
2.2.2.- Mezclas Asfálticas	17
2.2.2.1.Mezclas Asfálticas en caliente	19
2.4.- Deterioro de los pavimentos flexibles.	22
2.5.- Conservación y Rehabilitación de Pavimentos Flexibles.	38
Capitulo 3.- Reciclado de Pavimentos Asfálticos en Caliente.	
3.1.-Antecedentes.	43
3.2Reciclado en Caliente en Planta.	48
3.3.- Materiales empleados en la fabricación de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta.	51
3.4.-Procedimiento para el reciclado de mezclas bituminosas en caliente en planta.	53
Capitulo 4.- Desarrollo Experimental.	
4.1.- Introducción	59
4.2.- Caracterización del Rap.	61
4.3.- Caracterización del material pétreo nuevo a emplearse en la mezcla reciclada.	72
bibliografía.	





## CAPITULO I

### INTRODUCCION.

#### I.1. Antecedentes.

Como nos hemos podido dar cuenta de desde hace algunos años nuestro mundo está sufriendo cambios muy notables en su medio ambiente.

Debido a la sobrepoblación, la contaminación, la desmedida explotación de los recursos naturales, así como otros factores que deterioran nuestro medio ambiente.

En consecuencia a tales acontecimientos los gobiernos de todo el mundo se han preocupado por preservar el medio ambiente, procurando dañar lo menos posible sus ecosistemas al implementar campañas de reutilización de los recursos naturales.

Por tal motivo la industria de la construcción se ha preocupado en investigar nuevas técnicas que garanticen la optimización de los productos y materiales empleados en las obras civiles evitando al mínimo el desperdicio de la materia prima utilizada durante la ejecución de las obras y tratando de aprovechar al máximo todos aquellos materiales que se consideraban como desperdicio; al emplearlos como materiales de reciclado en la ejecución de nuevas obras y durante la rehabilitación y mejoramiento de obras existentes.





Tal es el caso de los pavimentos flexibles los cuales al cumplir con su vida útil son susceptibles de reutilizarse.

Morelia es una ciudad que esta sufriendo un crecimiento acelerado de su mancha urbana; por tanto sus vialidades principales se encuentran muy deterioradas, como lo es el libramiento arteria importantísima de esta ciudad.

Su pavimento es susceptible de reciclarse evitando con esto el desperdicio del material fresado, teniendo en cuenta que el reciclado presenta notables ventajas comparado con una sobre carpeta, ya que el reciclado no afecta el nivel de las alcantarillas, el de guarderías que le dan seguridad a las banquetas o isletas, la disminución de los gálibos en túneles o puentes.

Debido a que en nuestro país la realización de obras viales se encuentra regida por la normativa de la SCT, la cual para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente se basa en el procedimiento de prueba marshall, me he dado a la tarea de estudiar las características de una mezcla nueva comparándola con las de una mezcla reciclada, comparando los resultados y ver si cumple con todos los requerimientos que se señalan dentro de las normas de la SCT.





## I.2. Objetivos.

El objetivo fundamental de la elaboración de este trabajo de investigación se centra en impulsar el uso del reciclado de pavimentos asfálticos y demostrar que una mezcla reciclada puede tener un comportamiento similar a una mezcla convencional, cumpliendo con todas las características de calidad, durabilidad y resistencia requeridas por las normas de construcción vigentes.

Es parte complementaria establecer una metodología adecuada para la utilización de esta técnica de reciclado tomando en cuenta de forma particular las condiciones en que se encuentra actualmente el municipio de Morelia Michoacán.

En cuestiones de economía al emplear una mezcla asfáltica de material reciclado, en relación con una mezcla nueva la diferencia de costos es muy marcada en el sentido de que se utiliza menor cantidad de materia prima, al reutilizar material pétreo y asfalto estamos ahorrando un porcentaje considerable que repercutirá en el costo final. Aunado a esto con los beneficios técnicos y económicos que esta técnica presenta, está teniendo mucha aceptación por los gobiernos quienes tienen la facultad de implementarla.

## CAPITULO II

### PAVIMENTOS FLEXIBLES





## II.1. Antecedentes.

Los primeros vestigios de camino que se conocen son los encontrados en la isla de Creta 1.500 años a.C.

El Imperio Hitita fue el primero en utilizar losas de piedra como pavimento, concretamente a partir del año 600 a. de C., año en que se construyó la avenida procesional ĩrest-Shabu de Babilonia. La base del firme constaba de varias hiladas de bloques de terracota unidos por asfalto natural y, como pavimento, se empleaban losas de piedra caliza achaflanadas en su parte inferior, cuyas juntas estaban también selladas con asfalto natural.

Sin embargo, el sistema de urbanización y de comunicaciones más perfecto de la Edad Antigua correspondió al Imperio Romano, caracterizado por sus grandes detalles técnicos y por la funcionalidad de sus vías. Para su construcción, se efectuaba una excavación de tierras hasta encontrar una capa dura de cimentación sobre la que se preparaba un lecho formado por arillas y bolos o gravas de gran tamaño (statumen). Encima de esta capa se extendía otra de hormigón de cal (rudus) y, en otros casos, piedra machacada con materiales sueltos de grano fino (nucleus) para colocarse sobre ésta, a modo de pavimento y con el máximo cuidado, losas o lajas de piedra (summa ĩresta). Por el contrario, las vías urbanas de inferior categoría se construían con un firme de menor calidad, que constaba de una base formada por grandes bolos y materiales sueltos de grano fino y a veces cemento rudimentario de puzolanas. Todos los firmes urbanos disponían de un enlosado final que hacía las funciones de pavimento, con el fin de aumentar la comodidad del viandante, de servir al tráfico lento de animales y carros y de mejorar las condiciones higiénicas.





El material básico utilizado en la mayoría de los casos era la zahorra natural, de granulometría muy variada.

Actualmente. Se dan cifras cercanas a los 120.000 Km de caminos del Imperio. Roma tenía 29 salidas a las diversas rutas.

Con la decadencia del Imperio Romano, se tiene un gran retroceso para recobrar importancia durante la segunda mitad del siglo XVIII.

A finales del siglo XVIII y principios del XIX se comenzaron a pavimentar calles utilizando alquitrán en riegos; Las primeras mezclas con alquitrán in situ se extendieron en algunas vías de Londres y más tarde en zonas peatonales de la Puerta del Sol (Madrid). Posteriormente, en Estados Unidos se emplearon mezclas fabricadas a partir de rocas asfálticas y de asfaltos naturales. Fue el norteamericano Richardson quien estableció las bases a partir de las cuales se consolidó la utilización de los betunes asfálticos para la fabricación de mezclas asfálticas, que actualmente resultan básicas para la pavimentación.

A mediados del siglo XX, en las vías urbanas se comenzaron a cubrir los antiguos pavimentos de piedra con capas de mezcla asfálticas para resistir cargas pesadas con el fin de paliar los daños ocasionados por el aumento del volumen de tráfico, con tal de atenuar su rodadura incómoda y ruidosa, su excesivo deslizamiento y su elevado costo de conservación, y para hacer más visible la señalización horizontal. A finales del último tercio del siglo XX se comenzaron a emplear, a gran escala, innovaciones particularmente adaptadas a las necesidades urbanas.

En nuestro país, la red nacional comenzó a formarse en el sentido actual a partir de la época 1920- 1930 y creció a un ritmo relativamente moderado hasta 1950. Entre 1950 y 1970, la red fue objeto de un desarrollo muy





importante y a partir de 1980 continuó creciendo significativamente, pero probablemente con un gradiente menor, si bien en los últimos años (en el periodo 1990 – 1995) tuvo lugar la incorporación de una red de modernas autopistas con longitud del orden de los 5,000 Km.

En el desarrollo de la red son discernibles tres etapas relativamente bien diferenciadas.

En un principio, la motivación fundamental de la planeación fue, conscientemente o por mandato inapelable de la realidad nacional, la integración sociopolítica de la nación. Se construyeron los enlaces carreteros que unen la capital nacional con las capitales estatales, después estas últimas con las principales ciudades de sus estados y con otras capitales estatales y finalmente se comunicaron todas esas localidades con la totalidad de las ciudades importantes del país.

A esta etapa siguió otra en la que se reconoció que la red anterior, que podría considerarse como la red principal y básica, tendría que ser complementada por una red alimentadora de carácter en gran parte rural y capilar, a fin de lograr un movimiento general más eficiente y de mayor penetración en todo el territorio nacional.

De esta manera nació un muy importante número de caminos rurales y secundarios, pavimentados, empedrados, etc., siempre con el requisito de garantizar el tránsito en toda época del año.

A la segunda etapa arriba descrita siguió lo que podría considerarse como una tercera, en donde el énfasis principal de la construcción se puso en carreteras muy modernas de altas especificaciones, frecuentemente de cuatro y más carriles. En esta etapa se desarrollaron también nuevas formas de financiamiento, responsabilidad y cuidado en conservación y operación.

Las transformaciones anteriores sucedieron al mismo tiempo que se iban desarrollando transformaciones no menos importantes en los vehículos carreteros utilizados. Si en 1950 el vehículo más pesado que recorría las





carreteras nacionales podía llegar a 7 u 8 toneladas, en la actualidad es usual ver circular unidades cuyo peso bruto supera las 60. A la vez, esta multiplicación ocurrió no sólo en peso, sino también en número.

Si en 1950 la carretera más importante de México podía tener 5 ó 6,000 vehículos diarios, de los que un 10% eran camiones de carga; hoy es posible contemplar en la red básica mexicana carreteras con 3 ó 4 veces mayor número de vehículos, además de que la proporción de vehículos de carga aumentó grandemente, hasta niveles de 30 ó 40% del tránsito diario; en este sentido, México es uno de los países de mayor proporción de vehículos de carga dentro del flujo general.

Michoacán cuenta con una red carretera, federal y estatal, caminos rurales y brechas, con una longitud de 12 mil 020 km. De los cuales 274 corresponden a carreteras de cuota, siendo 42 Km. Administrados por Caminos y Puentes Federales y 232 Km. Por particulares.

## II.2 Pavimentos Asfálticos.

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos





inferiores en forma disipada, diferentes espesores y de diferentes calidades, las cuales al interactuar unas con otras ofrecen un grado de resistencia al paso de los vehículos proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas.

Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye.

También resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.





Los pavimentos empleados en carreteras se clasifican y diferencian de acuerdo a los materiales que los conforman y a la forma que tienen de distribuir los esfuerzos y deformaciones generadas por el tránsito vehicular.

Básicamente se clasifican en dos tipos de pavimentos: rígidos y flexibles.

Los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto o hidráulico, con recubrimiento bituminoso o sin él, la cual es por lo general colocada en placas, apoyada sobre una sub-rasante o sobre una capa de material seleccionada llamada sub-base (grava-arena).

Tienen un gran módulo de elasticidad y distribuyen las cargas sobre un área grande, la consideración más importante es la resistencia estructural del concreto hidráulico; los concretos utilizados son de resistencia relativamente grande, generalmente comprendida entre los 210 y los 350 Kg/cm<sup>2</sup>, en general se utiliza concreto simple o en ocasiones especiales concreto reforzado, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas; se diseña con un tráfico específico, con la diferencia que este pavimento puede fallar con solo una repetición de carga, contrario a los pavimentos flexibles.

Los pavimentos flexibles están formados por una capa o carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas: La BASE y La SUB-BASE; y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema de capas.

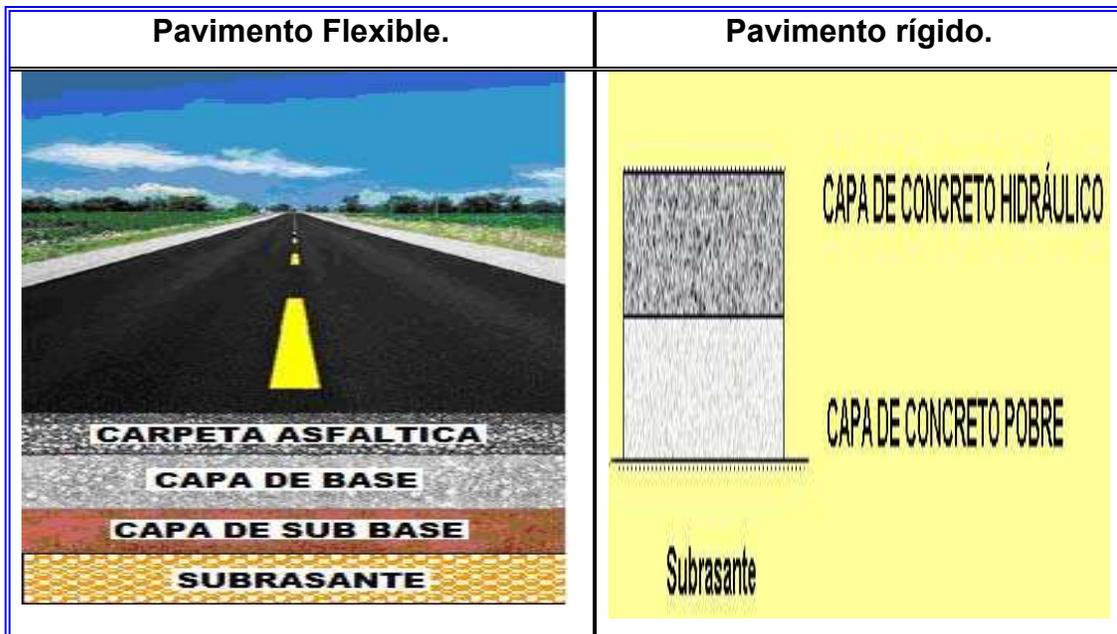
Se diseña para un determinado número de repeticiones de carga, y al alcanzar este número de repeticiones, se espera que el pavimento se fatigue y falle, este fallo del pavimento se demuestra con la presencia de fisuras, grietas en la parte superficial





La estructura de un pavimento o asfáltico consiste de todas las capas ó carpetas que se colocan arriba de la sub-base preparada ó fundación. La carpeta superior es la de rodamiento, esta puede tener un espesor desde menos de 25 mm a más de 75 mm dependiendo de una gran variedad de factores y circunstancias, construcción y mantenimiento. Mientras una gran variedad de bases y sub-bases pueden ser utilizadas en las estructuras de los pavimentos asfálticos, a menudo éstas consisten de material granular compactado ó suelo estabilizado. Una de las principales ventajas de los pavimentos asfálticos es la economía asegurada por la utilización de materiales disponibles localmente.

La mejor calidad de las capas superiores del pavimento se debe a la mayor intensidad de los esfuerzos en la superficie del pavimento; este resulta más económico en su construcción inicial; tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años; éste es generalmente considerado el de mejor costo efectivo o dependiendo los tipos de pavimentos del tipo de tráfico.







Para cumplir sus funciones un pavimento debe de cumplir dos condiciones básicas.

a).-Ofrecer una buena y resistente superficie de rodamiento, con la rugosidad necesaria para garantizar buena fricción con la llanta de vehículo y con el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos.

b).- Debe de tener la resistencia apropiada y las características mecánicas convenientes para soportar las cargas impuestas con el tránsito y con las deformaciones que no sean permanentes.

### II.2.1. Función de la capas de conforman el pavimento.

a).-TERRACERIAS: La función de las terracerías es la de dar forma a la obra civil, recibir las cargas disipadas de los vehículos y formar una sustentación adecuada para el pavimento. Se compactan de 90% a 95%, de su P.V.S.M.(Suelo de mala calidad y carretera importante).

b).- SUBRASANTE: Constituye una transición entre el pavimento y la terracería, se exige que los materiales tengan un V.R.S. mayor del 5% y una expansión menor de 15%.

-Recibir y resistir las cargas de tránsito, que le son transmitidas por el pavimento.

-Transmitir y distribuir adecuadamente las cargas de tránsito al cuerpo del terraplén. Estas dos funciones son comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.

-Evitar que el pavimento sea obstruido por las terracerías.

-Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.





-Economizar espesores del pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

c).- SUB-BASE.

-Una de las funciones es de economizar, ya que es más factible realizar una capa aun que de mayor espesor pero de menor calidad que la base.

-La sub-base, mas fina que la base actúa como filtro de esta e impide su incrustación en la subrasante.

-Absorbe deformaciones perjudiciales en la subrasante, por ejemplo cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento.

-Actúa como dren para desalojar el agua del pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base, del agua procedente de la terracería.

-Recibir y resistir las cargas de tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento (carpeta asfáltica o losa).

d).- BASE

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales. En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el





material tenga un VRS (valor relativo de soporte) y una plasticidad mínima; además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor que su límite plástico

-Proporcionar un elemento resistente al pavimento para transmitir a la sub-base y a la sub-rasante esfuerzos de menor intensidad.

-Drenar el agua que se introduzca por la carpeta, así como impedir la ascensión capilar.

#### e).- CARPETA.

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir, las principales características que debe cumplir el pétreo son las siguientes: a) un diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada, b) deberá tener cierta dureza para lo cual se efectuarán los ensayos de *desgaste los angeles*, *intemperismo acelerado*, *densidad* y *durabilidad*. C) la forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, recomendamos no usar material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad alterando la granulometría y pudiendo provocar fallas en la carpeta, se efectuarán pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a transitar por ese camino.





## II.2.2.- Mezclas Asfálticas.

La mezcla asfáltica la constituye el material pétreo convenientemente recubierto con una película de asfalto y luego sometida a un proceso de compactación, que hace que esta mezcla tenga propiedades resistentes al desgaste producido por los vehículos y a su vez pueda traspasar la sollicitación del peso de ellos hacia las capas inferiores

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie, para calcular este óptimo se tienen las pruebas de compresión simple para mezclas en frío, la prueba Marshall para muestras en caliente y la prueba de Hveem. Para conocer la adherencia entre el pétreo y el asfalto se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, pérdida de estabilidad o bien, cubrimiento por el método inglés; en caso de que las características del pétreo no sean aceptables, se pueden lavar o bien usar un estabilizante para cambiar la tensión superficial de los poros.

Las funciones de estas mezclas al estar constituidas como superficie de rodadura pueden analizarse desde 2 puntos de vista diferentes:

Punto de vista del ingeniero

- Proteger las capas estructurales inferiores del pavimento de la penetración del agua y de las fuerzas abrasivas del tráfico.
- Definir espesores que permitan un apropiado proceso constructivo.
- Proveer un comportamiento que minimice las operaciones de mantenimiento.





- Proveer una superficie que drene fácilmente el agua para evitar el hidroneo de los vehiculos.

Punto de vista del usuario.

- Proveer una adecuada calidad de manejo.
- Proveer una superficie antideslizante bajo cualquier condición ambiental.
- Proveer aceptables niveles de ruido a velocidades máximas.
- Proveer una superficie que drene fácilmente el agua para minimizar salpicaduras a otros vehículos.

Según la granulometría las mezclas asfálticas pueden clasificarse como:

- Mezclas de graduación fina
- Mezclas de graduación densa
- Mezclas de graduación gruesa
- Mezclas de graduación abierta.

Según el porcentaje de huecos en la mezcla:

- Mezclas abiertas : huecos mayor al 5%
- Mezclas cerradas : huecos menor al 5%

Según la temperatura de confección:

- Mezclas en caliente
- Mezclas en frío

Según el método constructivo:

- Mezclas en Sitio
- Mezclas en planta.

En éste trabajo nos centraremos en estudiar las mezclas asfálticas en caliente debido a que son las más comúnmente utilizadas en la mayoría de las vialidades de la ciudad de Morelia.





### II.2.2.1.-Mezclas Asfálticas en caliente.

La mezcla asfáltica en caliente consiste en una mezcla uniforme de asfalto y agregado caliente, previamente caracterizado, los cuales se combinan en proporciones exactas.

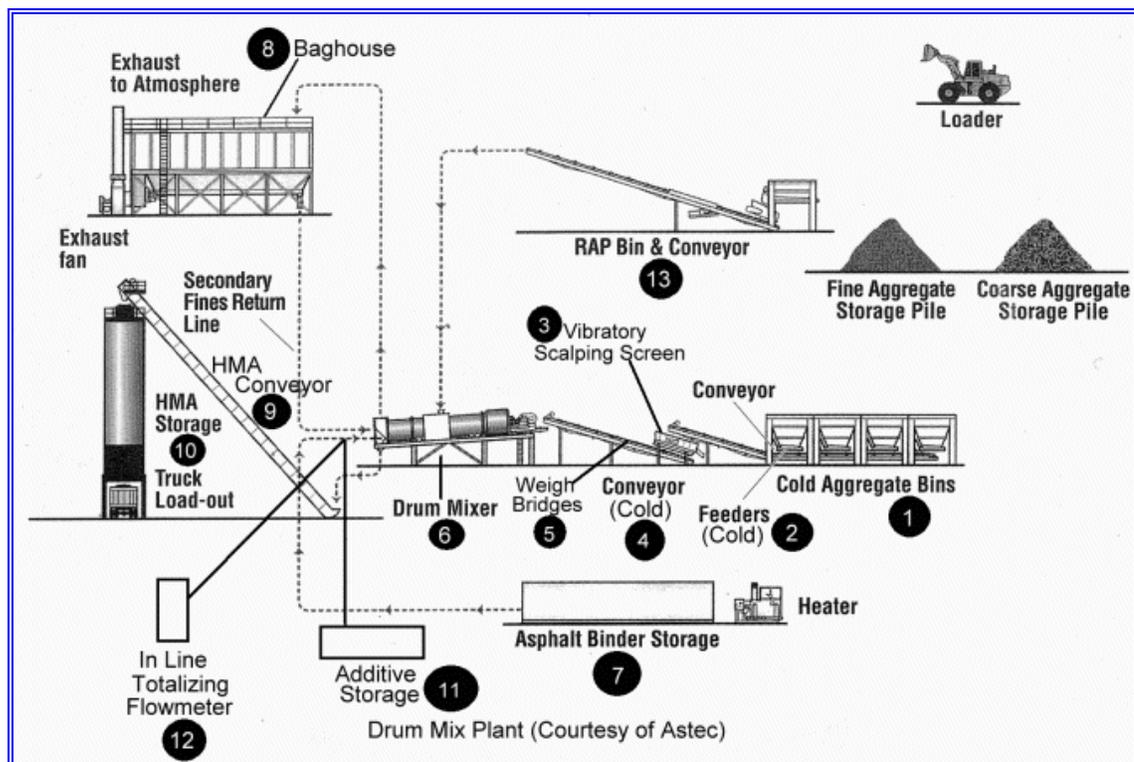
Para su diseño; comúnmente se utilizan dos métodos, el Método Marshall y el Método Hveem.

Se pueden fabricar en 2 tipos diferentes de Plantas asfálticas.

En las de producción continua o llamadas también de tambor mezclador o “Drum Mix”, y las de producción discontinua o “Batch Plant”.

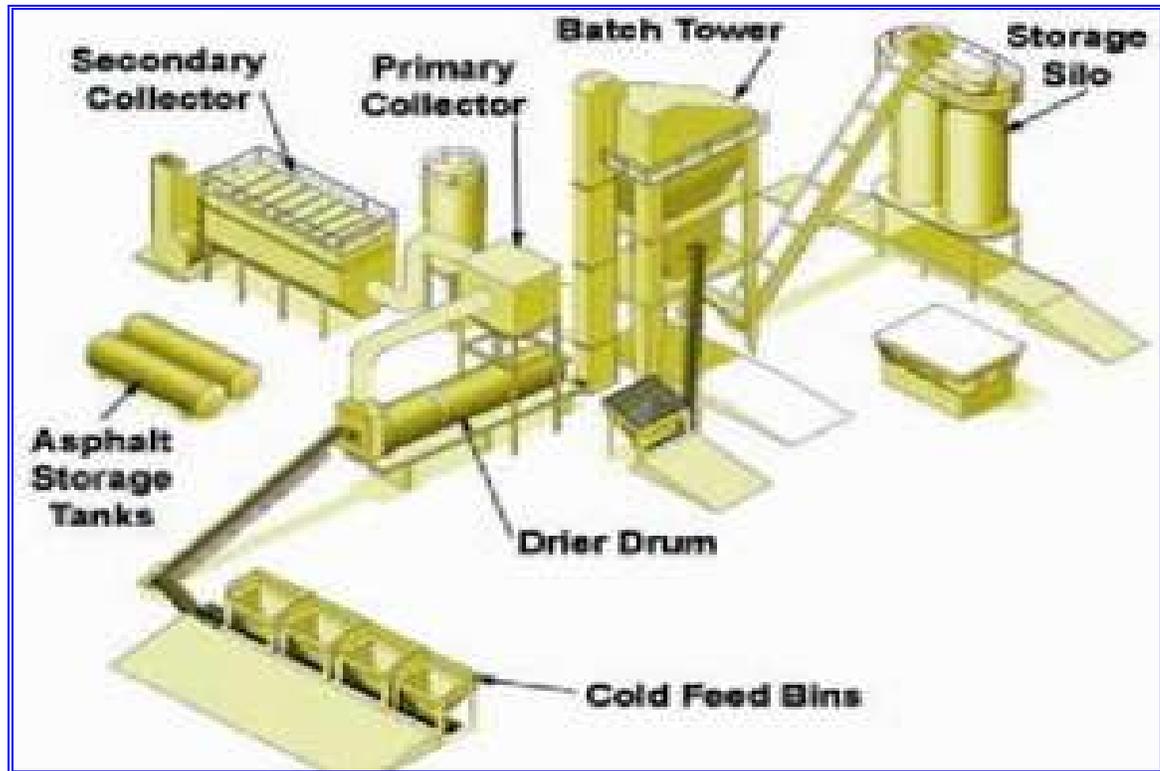
En las primeras la dosificación se efectúa por flujo de componentes de la mezcla asfáltica y en la segunda por el pesaje de componentes de la mezcla.

#### Planta de producción continua o tambor mezclador.





### Planta de Producción Discontinua o Batch Plant.



Estas mezclas tienen un excelente comportamiento en servicio cuando son proyectadas, construidas y apoyadas correctamente; y se deben de cumplir las siguientes exigencias de servicio:

- Durabilidad.
- Resistencia al deslizamiento.
- Flexibilidad.
- Estabilidad.
- Compatibilidad.



Criterios a considerar para el diseño de mezclas:

- El espesor de la película de asfalto alrededor del pétreo, tiene una influencia determinante en la estabilidad y durabilidad.
- Mientras mas delgada es dicha película, menor será la estabilidad. A medida que esta película se engruesa el asfalto tiende a cohesionar el árido, pasando por un óptimo y luego hace un efecto lubricador.
- La cohesión entre pétreos, varía con el tiempo al perder el asfalto su poder ligante y flexibilidad al oxidarse.
- El aporte del material pétreo a la estabilidad, lo efectúa a través de su fricción interna y esta a su vez, es función del tamaño del árido y de la rugosidad de sus caras.
- La falta de estabilidad proporcionada por los áridos, puede ser suplida en parte, usando un asfalto de menor penetración.
- En el diseño además debe considerarse las características de impermeabilidad y Trabajabilidad.
- El diseño debe encontrar el mejor balance entre estabilidad y durabilidad. El objetivo de este balance es obtener la mezcla más económica.





## II.3 - Deterioro de pavimentos flexibles.

Rico y Del Castillo (1989), dividen las fallas de los pavimentos flexibles en tres grupos fundamentales:

### ➤ **Fallas por insuficiencia estructural.**

Se ocasionan en aquellos pavimentos contruidos con materiales de menor resistencia a la nec esaria o c on materiales de buena calidad, pero co n espesores insuficientes. En términos generales ésta es la falla que se produce cuando las combinaciones de la re sistencia al esfuerzo cortante de cada capa y sus respectivos espesores no son suficientes para establecer un mecanismo de resistencia adecuado que soporte las cargas a las que serán sometidos.

### ➤ **Fallas por defectos constructivos.**

Ocasionadas en pav imentos quizá bi en proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes , pero en cuya construcción se han producido errores o defectos que llevan al fallo del firme.

### ➤ **Fallas por fatiga.**

Se trata de pavimentos que originalm ente estuvieron quizá en condic iones apropiadas, pero que por la continuada re petición de las cargas del tránsito sufrieron efectos de fatiga, degradación es tructural y, en general, pérdida d e resistencia y deformación acumulada.

Estos fallos están gr andemente asociados al número de repeti ciones de la carga, pero resultan claramente influi das por el tiempo de s ervicio y el envejecimiento del ligante.





Los defectos que presenta un pavimento y que disminuyen la comodidad del usuario o la vida de servicio de esa estructura, frecuentemente corresponden a defectos constructivos.

Los deterioros de pavimentos se clasifican en tres grandes categorías:

- **Los de superficie.**
- **Los de estructura**
- **y por defectos de construcción.**

**Deterioros de la superficie.**

**Desprendimientos**

a).- Pérdida de granos

DETERIORO:	2. DETERIOROS DE LA SUPERFICIE 2.1 Desprendimientos. a) Pérdida de agregados (calaveras o surcos)	
DESCRIPCION	Desprendimiento de agregados pétreos en superficie	
	De tratamientos superficiales: Pérdida parcial del agregado dejando expuestas áreas aisladas de la capa de apoyo.	De capas asfálticas: Pérdida en la superficie de los agregados de capas asfálticas con espesor mayor que 5 cm.
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m, por banda de circulación.	
	LIGERO	LIGERO < 5 %
	MEDIO	5% < MEDIO < 30 %
	FUERTE	30% < FUERTE
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO	Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario.
	MEDIO	Nuevo tratamiento superficial en mantenimiento periódico.
	FUERTE	Sobrecapa asfáltica > 5 cm
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esparcido irregular del ligante (asfalto)</li> <li>• Ligante inadecuado.</li> <li>• Agregado pétreo (árido) inadecuado por falta de adherencia (afinidad) en el ligante (asfalto).</li> <li>• Agregado sucio, con polvo adherido.</li> <li>• Lluvia durante el esparcido o antes del fraguado del ligante (asfalto).</li> </ul>	
Nota: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.		



b).- Pérdida de la capa de rodadura

DETERIORO:	2. DETERIOROS DE LA SUPERFICIE 2.1 Desprendimientos b) Pérdida de capa de rodadura (peladuras)	
DESCRIPCION	Desprendimiento de la última capa delgada, de tratamientos superficiales, tales como: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lechadas (Slurry Seal).</li> <li>• Microcarpetas (1 a 2 cm).</li> <li>• Capas de rodadura (carpetas) de 2 a 3 cm.</li> <li>• Sobrecapas o sobrecarpetas delgadas de 3 a 5 cm.</li> </ul>	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100 m, por banda de circulación.	
	LIGERO < 5 %	
	5 % < MEDIO < 30 %	
	30 % < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Tratamiento aislado en mantenimiento preventivo
	MEDIO:	Nuevo tratamiento superficial en mantenimiento periódico. Generalmente se requiere un doble tratamiento.
	FUERTE:	
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza insuficiente previas al tratamiento superficial.</li> <li>• Esparcido heterogéneo del ligante (asfalto).</li> <li>• Ligante inadecuado.</li> <li>• Dosificación árido (pétreo) – ligante (asfalto) inadecuada</li> <li>• Colocación con lluvia o exceso de agua en la capa de apoyo, que produce delaminación.</li> <li>• Compactación deficiente (si procede).</li> <li>• Fraguado incompleto después de apertura al tránsito.</li> <li>• Envejecimiento del ligante (asfalto).</li> </ul>	
<p><i>Nota: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.</i></p>		



c).- Pérdida de la base

DETERIORO:	2. DETERIOROS DE LA SUPERFICIE 2.1 Desprendimientos c) Pérdida de base (calavera o bache superficial)	
DESCRIPCION	Desprendimiento del material de la base en la que se apoya la capa de rodadura (carpeta) después de la pérdida de ésta; generalmente en bases no tratadas (hidráulicas).	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100 m, por banda de circulación.	
	LIGERO < 5 %	
	5 % < MEDIO < 30 %	
	30 % < ALTA	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Tratamiento aislado en mantenimiento preventivo
	MEDIO:	Base sin tratar: Recuperación, reperfilado y recompactación de la base.
	FUERTE:	Base tratada: Colocación de una capa correctiva (carpeta reniveladora) y una nueva capa de rodadura (carpeta o tratamiento superficial).
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insuficiente penetración (&lt; 0.5 cm) del riego de imprimación en bases hidráulicas.</li> <li>• Dosificación insuficiente de ligante (asfalto) en bases tratadas con cemento asfáltico, aplicado en caliente, diluido o emulsificado.</li> <li>• Ligante (asfalto) inadecuado o de mala calidad.</li> <li>• Espesor insuficiente de la capa de rodadura (carpeta)</li> </ul>	
<p>Nota: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.</p>		





## Alisamientos.

a).- Exudación del ligante (asfalto).

DETERIORO:	2. DETERIOROS DE LA SUPERFICIE 2.2 Alisamientos a) Exudación de asfalto (llorado)	
DESCRIPCION	Presencia de asfalto sin agregado (árido) en la superficie	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100 m, por banda de circulación.	
	LIGERO < 10 %	
	10 % < MEDIO < 50 %	
	50 % < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario
	MEDIO: FUERTE:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fresado superficial &lt; 1 cm de inmediato.</li> <li>• Colocación de nueva capa de rodadura.</li> </ul>
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exceso de ligante (asfalto) en la dosificación</li> <li>• Uso de ligante (asfalto) muy blando</li> <li>• Derrame de solventes</li> </ul>	
<p>Nota: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.</p>		





b).- Desgaste de agregados.

DETERIORO:	2. DETERIOROS DE LA SUPERFICIE 2.2 Alisamientos b) Desgaste de áridos (agregados)	
DESCRIPCION	Presencia de agregados (áridos) que presentan una cara plana en la superficie, generalmente embebidos en el ligante (asfalto).	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Se mide el coeficiente de fricción en forma continua o puntual. Los tramos con coeficiente de fricción menor que uno deben ser atendidos de inmediato.	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	Los tramos afectados, sí corresponden a una capa de rodadura mayor que 5 cm, se fresan de inmediato. Si corresponden a un tratamiento superficial o microcarpeta, se aplica un nuevo tratamiento, con áridos (agregados) duros.	
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de áridos (agregado) suaves (p. ej. calizas) susceptibles al pulimiento.</li> </ul>	
<p>Nota: La resistencia a la fricción (valor pulido) de los áridos (agregado) después de pulidos puede medirse en el ensayo Tex – 438 - A</p>		





## Exposición de agregados.

DETERIORO:	2. DETERIOROS DE LA SUPERFICIE 2.2 Exposición de agregados	
DESCRIPCION	Presencia de agregados parcialmente expuestos fuera del mortero ligante (asfalto) – arena.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100 m. por banda de circulación.	
	LIGERO < 20 %	
	20 % < MEDIO < 50 %	
	50 % < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	No requiere intervención
	MEDIO:	Nueva capa de rodadura en áreas afectadas
	FUERTE:	Nueva capa de rodadura al siguiente año en mantenimiento periódico en todo el tramo.
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de agregados (áridos) con tamaño inadecuado y distribución granulométrica deficiente en el rango de las arenas.</li> <li>• Circulación de llantas con clavos.</li> <li>• Segregación de los agregados (áridos) durante su manejo en obra.</li> </ul>	
<p>Nota: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.</p>		



## Deterioros de la estructura.

### Deformaciones.

#### a).- Roderas

DETERIORO:	3. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.1 Deformaciones a) Roderas	
DESCRIPCION	Deformación del perfil transversal por hundimiento a lo largo de las rodadas, con la aparición de cordones laterales a cada lado de la rodera.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Profundidad máxima de la rodera, medida a partir de una regla colocada transversalmente cada 100 m o más.	
	LIGERO < 2 cm	
	2 cm < MEDIO < 4 cm	
	4 cm < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Aisladamente rellenar la rodera en mantenimiento rutinario.
	MEDIO:	Rellenar la rodera en forma continua en mantenimiento rutinario.
	FUERTE:	Fresar la capa de rodadura (carpeta) y sustituirla en la banda de circulación afectada.
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de ligantes (asfalto) blandos.</li> <li>• Dosificación del ligante (asfalto) en exceso.</li> <li>• Uso de áridos (agregados) redondeados.</li> <li>• Compactación o calidad deficiente de la base.</li> </ul>	





## b).- Canalizaciones

DETERIORO:	3. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.1 Deformaciones b) Canalizaciones (blandones)	
DESCRIPCION	Deformación del perfil transversal, tanto por hundimiento a lo largo de las rodadas como por elevación de las áreas vecinas adyacentes a las rodadas. Las deformaciones presentan una configuración más amplia que la roderas.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Profundidad máxima de la canalización, medida a partir de una regla colocada transversalmente sobre las elevaciones laterales, cada 100 m o más.	
	LIGERO < 2 cm	
	2 cm< MEDIO < 4 cm	
	4 cm< FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Aisladamente rellenar en sus puntos críticos la canalización en mantenimiento rutinario. Bacheo profundo.
	MEDIO:	Rellenar la rodera en forma continua en mantenimiento rutinario y programar mantenimiento periódico.
	FUERTE:	Recuperar la capa de rodadura más parte de la base para estabilizar de 15 a 20 cm, con asfalto o cemento Portland y reforzar la estructura. Colocar nueva capa de rodadura del espesor necesario.
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad estructural del pavimento insuficiente</li> </ul>	





c).- Baches profundos

DETERIORO:	3. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.1 Deformaciones c) Baches profundos	
DESCRIPCION	Hundimiento local de la calzada, con agrietamiento en malla cerrada y generalmente pérdida parcial de bloques de la capa de rodadura (carpeta).	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100 m, con hundimiento mayor que 2 cm, medidos a partir de una regla de 3 m.	
	LIGERO < 1 %	
	1 % < MEDIO < 10 %	
	10 % < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario. Bacheo
	MEDIO:	Tratamiento aislado y nueva capa de rodadura (carpeta) para refuerzo en el tramo afectado.
	FUERTE:	Recuperación de la capa de rodadura y base para estabilización en 15 ó 20 cm. Agregar nueva capa de rodadura del espesor necesario.
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura inadecuada.</li> <li>• Defecto constructivo aislado.</li> <li>• Subdrenaje inadecuado.</li> </ul>	
<p>Nota: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.</p>		



d).- Ondulaciones

DETERIORO:	3. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.1 Deformaciones d) Ondulaciones	
DESCRIPCION	Deformaciones del perfil longitudinal con crestas y valles regularmente espaciados a distancias cortas. Generalmente están acompañadas, en los sitios críticos, por grietas semicirculares.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Profundidad máxima de los valles medida a partir de una regla de 3 m colocada longitudinalmente.	
	LIGERO < 1 cm	
	1 cm < MEDIO < 2 cm	
	2 cm < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	No requiere intervención
	MEDIO:	Sustitución local de la capa de rodadura en mantenimiento rutinario.
	FUERTE:	
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Circulación lenta en pendientes pronunciadas.</li> <li>• Frenado de vehículos pesados en intersecciones.</li> <li>• Dosificación de ligante (asfalto) inadecuado.</li> <li>• Aridos (agregados) redondeados.</li> <li>• Ligantes (asfalto) blandos.</li> </ul>	





## Agrietamientos.

a).- Grietas longitudinales.

DETERIORO:	3. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.2 Agrietamientos a) Grietas longitudinales
DESCRIPCION	Rotura longitudinal sensiblemente paralela al eje de la carretera, con abertura mayor de 3 mm.
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL	
EVALUACIÓN	Longitud de las grietas en tramos de 100 m, respecto a la longitud del tramo.
	LIGERO < 20 %
	20% < MEDIO < 100%
	100% < FUERTE
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	En cualquier nivel, reparar las grietas en mantenimiento rutinario, calafateándola.
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Juntas longitudinales de construcción inadecuadamente trabajadas.</li> <li>• Gradiente térmico superior a los 30° C.</li> <li>• Uso de ligantes (asfaltos) muy duros</li> <li>• Ligantes (asfaltos) envejecidos.</li> </ul>





b).- Grietas transversales

DETERIORO:	3. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.2 Agrietamientos b) Grietas transversales	
DESCRIPCION	Rotura transversal sensiblemente perpendicular al eje de la carretera, con abertura mayor de 3 mm.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Número de grietas por tramos de 100 m.	
	LIGERO < 2 grietas	
	2 grietas < MEDIO < 15 grietas	
	15 grietas < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Reparación en mantenimiento rutinario, calafateándolas.
	MEDIO:	
	FUERTE:	Sustitución de la capa de rodadura (carpeta) o recapeado (rencarpetado) con espesor suficiente.
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Juntas transversales de construcción inadecuadamente trabajadas.</li> <li>• Gradiente térmico superior a 30° C.</li> <li>• Uso de ligantes (asfaltos) muy duros.</li> <li>• Reflejo de grietas en bases rígidas (losas de hormigón o bases estabilizadas).</li> </ul>	





c).- Fisuras, solas o en retícula

DETERIORO:	3. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.2 Agrietamientos c) Fisuras solas o en retícula (malla)	
DESCRIPCION	Rotura longitudinal o transversal, con abertura menor que 3 mm, y separación mayor que 15 cm.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Relación del área rectangular, de ancho igual a 0.5 m y largo igual a la longitud de cada fisura, respecto al área total en tramos de 100 m.	
	LIGERO < 10 %	
	10% < MEDIO < 50 %	
	50 % < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Calafateo de cada fisura individual en mantenimiento rutinario.
	MEDIO:	Lechada superficial o microcarpeta, en toda el área afectada.
	FUERTE:	Recapeado (rencarpetado) con nueva capa de rodadura con espesor > 5 cm.
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de ligantes (asfaltos) muy duros.</li> <li>• Reflejo de fisuras en bases estabilizadas.</li> </ul>	





## d).- Piel de cocodrilo

DETERIORO:	3. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.2 Agrietamientos c) Piel de cocodrilo (malla cerrada)	
DESCRIPCION	Roturas longitudinales y transversales, con separación menor que 15 cm, y con abertura creciente según avanza el deterioro. Generalmente presenta hundimiento del área afectada.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m.	
	LIGERO < 10 %	
	10 % < MEDIO < 50 %	
	50 % < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Lechada superficial en cada área afectada.
	MEDIO:	Lechada superficial en todo el tramo.
	FUERTE:	Recuperación de la capa de rodadura (carpeta) y parte de base para estabilización como refuerzo. Nueva capa de rodadura
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incompatibilidad de deflexiones con el espesor de la capa de rodadura (carpeta).</li> <li>• Subdrenaje inadecuado en sitios aislados.</li> <li>• Uso de ligantes (asfaltos) muy duros.</li> </ul>	
NOTA: Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.		





**Deterioros por defectos constructivos.**

DETERIORO:	<b>4. DETERIOROS POR DEFECTOS CONSTRUCTIVOS</b>	
DESCRIPCION	Deterioros que se producen por defectos en la construcción de instalaciones bajo los pavimentos. Siguen un patrón bien definido en concordancia con la instalación. Se muestran como hundimientos localizados, grietas longitudinales o transversales, etc.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Aplica el criterio según el tipo de deterioro	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	Aplica lo correspondiente al tipo de deterioro y su categoría.	
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inadecuado relleno de zanjas abiertas para colocar instalaciones o equipamientos.</li> <li>• Inadecuada estructura del pavimento sobre relleno de zanjas.</li> <li>• Materiales inadecuados en el relleno de zanja y en el pavimento sobre él.</li> </ul>	



## II.4.- Conservación y Rehabilitación de Pavimentos Flexibles.

### **Conservación.**

Se entiende por Conservación, al conjunto de acciones que se desarrollan para conservar el uso y buen estado físico de la infraestructura vial, para que se encuentren en condiciones adecuadas de operación, ofreciendo seguridad y comodidad al usuario.

Para lograr lo anterior como parte de los requerimientos, se considerarán cinco categorías de acción, en función del índice de estado del pavimento:

- Mantenimiento Preventivo.
- Mantenimiento Correctivo.
- Mantenimiento Mayor
- Rehabilitación - Refuerzo Estructural.
- Rehabilitación - Reconstrucción.

Estas son algunas medidas que debemos tener en cuenta para lograr una correcta conservación y mejoramiento del pavimento.

- Limpieza de drenajes y cunetas. Sistemas pluviales.
- Acondicionamiento de taludes, Reconformaciones.
- Inspección y reparación de estructuras.
- Bacheos, riegos asfálticos y reconformación superficial.
- Pinturas de marcas viales y señales de tránsito.
- Los sellados de grietas y juntas, y de las técnicas de fresado.

Los objetivos particulares de las tareas de conservación son tendientes a lograr:

- Una adecuada resistencia al deslizamiento relacionada ésta con la seguridad de los vehículos.
- Una regularidad superficial acorde a los trazados y velocidades,





logrando así comodidad en la circulación, factor este que influye en la seguridad.

- Una resistencia estructural suficiente para el tráfico a circular por la carretera, de no ser así se caería en una disminución del valor patrimonial.

Las carreteras se proyectan y construyen para determinado período de vida útil u horizonte de proyecto en servicio, para una determinada cantidad de años. Al concluir estos, la carretera se debe rehabilitar para aumentar su vida útil, si las condiciones lo ameritan o rehacer.

La situación del camino puede presentar dos tipos de rehabilitación, superficial o estructural, a continuación se plantean esquemas de resolución para cada caso:

### **Rehabilitación Superficial.**

Las medidas de rehabilitación superficial resuelven problemas que se encuentran confinados a las capas superiores del pavimento, usualmente dentro de los 100 mm superiores, inconvenientes que están relacionados con el envejecimiento del asfalto y con el agrietamiento que se origina en la superficie debido a factores térmicos.

### **Los métodos más comunes para tratar este tipo de problemas incluyen:**

- Colocación, sobre la superficie existente, de una carpeta delgada (espesores inferiores a los 35 mm) de mezcla asfáltica en caliente o en frío. Esta es la solución más simple a un problema, debido a que el tiempo requerido para completar los trabajos es corto y existe un impacto mínimo sobre los usuarios de la vía. Usualmente se emplean asfaltos modificados con el propósito de mejorar el comportamiento y alargar la vida útil de la nueva carpeta. Sin embargo, varias carpetas





nuevas incrementan la cota superficial y pueden causar problemas de drenajes y de accesos.

- Fresado y reemplazo. En este método se retiran las capas afectadas por el agrietamiento y se reemplazan con mezcla asfáltica nueva, a menudo estas están hechas con ligantes modificados. El proceso es relativamente rápido debido a las altas capacidades de producción de las freidoras modernas y a la capacidad de producción y colocación de los equipos afectados a la mezcla. El problema se soluciona con la nueva capa asfáltica en tanto que los niveles se mantienen.
- Fresado y conformación de material granular. Este proceso, muy utilizado en los casos en los que se requiere aumentar la capacidad portante del pavimento, consiste en frezar la carpeta existente y parte del material de base, estos son la adición de algún aglomerante generan una nueva base, sobre la que se colocará la carpeta de rodamiento. El inconveniente de esta metodología es el incremento en la cota de superficie con los problemas ya mencionados, será entonces necesario antes de establecer la utilización de estas metodologías, una verificación de los niveles, del pavimento, drenajes y accesos.
- Reciclar el material del pavimento existente (reciclaje poco profundo o superficial), el cual puede realizarse en planta; llevar el material fresado a una planta de tratamiento, o en el sitio, aplicando procesos en frío o en caliente. El objetivo principal de este tipo de reciclaje es rejuvenecer el ligante asfáltico del pavimento existente. Adicionalmente, las propiedades de la mezcla reciclada pueden modificarse mediante la incorporación de materiales nuevos.



## **Rehabilitación estructural.**

Como regla, el objetivo de la rehabilitación estructural es maximizar el valor de recuperación del pavimento existente. Esto infiere que el material que se ha densificado no debe alterarse. La continua acción de amasado por el tráfico tardó varios años para alcanzar este estado y los beneficios que ofrece tal densificación deben utilizarse donde sea posible.

La rehabilitación para resolver problemas de la estructura del pavimento normalmente se trata como una solución a largo plazo. Al resolver los problemas estructurales, debe recordarse que la estructura del pavimento es la que tiene fallas y no necesariamente los materiales que la constituyen.

### **Entre las operaciones más utilizadas para rehabilitación estructural se encuentran:**

- Reconstrucción total. Esta es la opción elegida cuando se combina la rehabilitación con una decisión de mejoramiento que demanda un cambio significativo en la carretera. La reconstrucción esencialmente implica todo y comenzar de nuevo. Cuando se tiene altos volúmenes de tráfico es preferible construir una vía alterna, para evitar problemas con el tráfico.
- Construcción de capas adicionales (sean de materiales granulares o de mezclas asfálticas) sobre la superficie existente.

Con frecuencia la colocación de capas asfálticas gruesas donde los volúmenes de tráfico son altos es la solución más fácil para los problemas estructurales. Sin embargo, como ya se indicó, un incremento en el nivel superficial trae acarreado problemas de escurrimiento, drenajes y en accesos.





- Reciclaje hasta la profundidad en que presentan los problemas, creando una capa gruesa y homogénea, con características de resistencia superiores. En aquellos casos en que el pavimento va a mejorarse significativamente, pueden ponerse capas adicionales sobre las recicladas. Usualmente se agregan agentes estabilizadores a los materiales reciclados, en especial cuando el material existente en el pavimento es marginal y se requiere su refuerzo, pues el objetivo del reciclaje es recuperar al máximo el pavimento existente. Además de recuperar los materiales de las capas superiores, la estructura del pavimento por debajo del nivel de reciclaje permanece igual.

En este Trabajo de investigación nos centraremos en el tipo de rehabilitación por fresado y reciclado del pavimento asfáltico, ya que esta técnica nos permite aprovechar los materiales anteriormente empleados; aparte de que esta técnica nos ofrece muchas ventajas de carácter económico como medio ambiental, ya que en la mayoría de las veces cuando un pavimento es fresado generalmente no es aprovechado; Razón por la cual me he dado a la tarea investigar las características que tiene una mezcla reciclada comparándola con las de una mezcla estándar; es decir con una mezcla conformada por agregados y asfalto nuevos.





## CAPITULO III

### Reciclado de Pavimentos Flexibles en Caliente.

#### III.1.- Antecedentes.

La necesidad primera de pensar en reciclar y aprovechar el fresado de los firmes fue percibida hace ya más de 20 años por los países del norte de Europa. Las razones eran variadas: sensibilidad medioambiental, razones orográficas que no permitían relieves del terreno para crear vertederos, inexistencia de materias primas, etc. Todo ello generaba un problema económico de primera magnitud, obligando a desarrollar nuevas técnicas y crear normativas que han servido en cierto modo de punta de lanza al resto de la U.E.

El rigor de algunos en esta materia, como por ejemplo los Países Bajos y Dinamarca es tal, que la legislación prohíbe taxativamente el vertido de residuos que sean aptos para el reciclaje y su posterior reutilización, existiendo en sus normas unos permisos de transporte para residuos en los que se especifica el origen, volumen, composición y destino, mediante los cuales se controla la suerte de todos los residuos.

En nuestro país el reciclaje del fresado de las mezclas asfálticas hoy en día es un concepto un poco lejano, aunque sin duda existe una sensibilidad creciente en las diferentes Administraciones de Gobierno, por aplicar esta metodología.





El reciclado es una técnica de rehabilitación que consiste en la reutilización del fresado procedente de capas de pavimentos que ya han estado en servicio. El material reciclado se utiliza para la fabricación de mezclas asfálticas y formación de nuevas capas de pavimento.

El material a reciclar se obtiene del fresado de los pavimentos deteriorados que han perdido en gran medida sus propiedades iniciales y no se hallan en condición para el tráfico rodado. Este material, que actualmente se desecha o se emplea en usos menores, debidamente tratado recupera sus propiedades iniciales y vuelve a ser apto para su función inicial.

Las razones que pueden hacer aconsejable reciclar los pavimentos son de índole técnica, económica y, especialmente, medioambientales.

El reciclado es una alternativa más que considerar en cualquier rehabilitación de firmes. Es importante tener en cuenta que no debe reciclarse solamente porque es una apuesta "ecológica", sino porque técnicamente es adecuado y de ello se derivan ventajas económicas.

El reciclado se puede llevar a cabo *in situ* o en planta. En ambos casos, se puede recurrir a técnicas en frío y en caliente.

### **Reciclado en frío *in situ***

En este caso la rehabilitación de los pavimentos existentes se logra mediante la ejecución de las siguientes operaciones a temperatura ambiente:

- Disgregación de sus capas superiores por fresado, con una eventual aportación de material pétreo.
- Adición a los materiales fresados, *in situ*, de conglomerantes hidráulicos o emulsiones bituminosas.





- Mezcla itinerante de los materiales mencionados, de modo que se obtenga una capa tratada que, después de compactada y tras un período de curado o maduración, presente una cohesión elevada.

El reciclado *in situ* en frío se puede llevar a cabo en principio con equipos muy diversos. Para cada una de las fases del proceso hay una o varias máquinas de uso múltiple a las que cabe recurrir. Sin embargo, cada vez se emplean más unos equipos específicos, mejor adaptados, que realizan el fresado, la adición del agua y de los ligantes o conglomerantes necesarios, la mezcla y el extendido en una sola pasada.

Con estos reciclados se reducen al mínimo el ruido y la contaminación atmosférica, pues los tres primeros procesos tienen lugar en las cámaras de fresado y de mezcla. Se trata, en suma, de unas máquinas fresadoras-mezcladoras-extendedoras, que requieren de una potencia elevada, pero que permiten reciclar unos espesores importantes con grandes rendimientos y con una buena regularidad superficial.

Al estudiar la viabilidad de un reciclado *in situ* en frío hay que decidir si se realizará con emulsión bituminosa o con cemento. Las principales diferencias son las siguientes:

- El espesor de un reciclado *in situ* con una emulsión bituminosa es notablemente menor que el del reciclado con cemento; si se recicla con una emulsión bituminosa el menor espesor de reciclado se sitúa en el entorno de los 5-8 cm, mientras que el mayor es de 15 cm. Por el contrario, en los reciclados con cemento los espesores de reciclado varían entre 20 y 35 cm.
- La función de un reciclado con emulsión bituminosa es la de aprovechar en la mayor medida de lo posible el firme antiguo y, en





particular, el ligante bituminoso que pudiera existir en él; no hay un cambio radical en las características estructurales de los diferentes materiales. En cambio, con un reciclado con cemento se obtiene un soporte de cierta rigidez, con distinto comportamiento estructural que los materiales antiguos, sobre el cual se van a extender unas capas de mezcla bituminosa para constituir un firme semirrígido.

- El reciclado con cemento no solo permite, en caso necesario, el ensanche de la plataforma, sino también obtener una capacidad de soporte transversalmente más homogénea si la plataforma había sido ya ensanchada con anterioridad.

### **Reciclado en caliente *in situ*.**

Dentro del reciclado *in situ* en caliente se pueden distinguir tres procesos, denominados respectivamente:

- Termorreperfilado (sin materiales de aportación).
- Termorregeneración (con una cierta cantidad de materiales de aportación)
- Remezclado (con aportación de mezcla bituminosa nueva que se mezcla con la preexistente).

Los dos primeros sólo sirven para renovaciones superficiales, mientras que el remezclado sirve para rehabilitaciones estructurales. En los tres casos se utilizan grandes máquinas integrales que en una sola pasada realizan de manera secuencial distintas operaciones: calentamiento del pavimento, levantamiento de un cierto espesor, formación de un cordón de material levantado, separación en su caso del material que no se vaya a reutilizar, eventual aportación de materiales nuevos, mezcla homogénea de los materiales nuevos con los antiguos, extensión y precompactación.

Estos procesos son complejos en sí mismos y la maquinaria muy costosa y, por su tamaño, sólo utilizable en autopistas. El calentamiento previo del pavimento produce una oxidación adicional del ligante, por lo que se dificulta





aún más la efectividad del reciclado. Finalmente la eficacia de estas técnicas es limitada, pues sólo se puede actuar sobre los 4-6 cm superiores (Kraemer et al. 1999).



Tren de reciclado en caliente in situ (Fuente: Martec Recycling Corporation <[www.martec.ca](http://www.martec.ca)>)

En esta investigación nos enfocaremos a estudiar el Reciclado de Pavimentos Asfálticos en Caliente en Planta ya que de emplearse la técnica del reciclado aquí en Morelia; este procedimiento sería el más adecuado por que como se vio anteriormente el reciclado in situ es una técnica en la que la inversión inicial es muy costosa debido a los altos costos de la maquinaria y su mantenimiento, un espesor de carpeta recuperada muy pequeño, aparte que se produce mucha contaminación por efectos del exceso de ruido que estas producen; en cambio el reciclado en caliente en planta se realiza de una manera más óptima ya que en esta se puede reutilizar toda la carpeta asfáltica; se tiene mayor control en el uso del RAP y todos los materiales que van a conformar la nueva mezcla, ya que estos se caracterizan y adicionan de manera que la mezcla sea la más adecuada a las características del material que se está reutilizando.





### III.2 Reciclado en Caliente en Planta.

Se entiende por “*Reciclado de Pavimentos Asfálticos en Caliente en Planta*” al proceso mediante el cual los materiales recuperados de capas bituminosas de pavimentos deteriorados o de mezclas nuevas que no han sido utilizadas por ser un excedente o por no haber cumplido con las especificaciones de proyecto, son mezclados con pétreos vírgenes o nuevos, asfalto nuevo y/o agentes rejuvenecedores, en las proporciones adecuadas, para producir nuevas mezclas en caliente que cumplan con los requerimientos de calidad, resistencia y durabilidad exigidos para el tipo de capa en que serán utilizados.

El proceso de reciclado de pavimentos asfálticos en planta en caliente consiste básicamente, en retirar las capas bituminosas de los pavimentos envejecidos mediante el fresado o demolición, para transportar dicho material a una central de fabricación en la que es acopiado, caracterizado y eventualmente procesado, hasta cumplir con ciertas condiciones de tamaño, humedad etc.

Posteriormente es mezclado en caliente con pétreos vírgenes, asfalto nuevo y/o agentes rejuvenecedores, para obtener una mezcla bituminosa compuesta en parte por material reciclado que es colocada y compactada en obra como si se tratara de una mezcla convencional.

Aunque también pueden utilizarse materiales recuperados de capas de firmes rígidos (no bituminosos) o desechos de construcción o demolición para fabricar mezclas asfálticas recicladas en caliente, en este caso nos referiremos específicamente a la reutilización de materiales provenientes de capas bituminosas de firmes para la fabricación de nuevas mezclas.

El material recuperado de pavimentos asfálticos envejecidos se denominará en adelante por las iniciales **RAP** de su nombre en inglés “*Reclaimed Asphalt*”





*Pavement*”, y es uno de los elementos más importantes a tener en cuenta durante el proceso de reciclado de pavimentos ya que tiene gran influencia sobre las características del producto final.

De acuerdo con la " *Asphalt Recycling Guide*" de Austroads, se puede decir que, en general, el 100% de los materiales recuperados de pavimentos deteriorados son susceptibles de ser reciclados, ya sea en la misma obra en la que son generados, en otro pavimento (práctica más habitual) o con propósitos diferentes a la fabricación de firmes.

Generalmente, la utilización de mezclas recicladas está enfocada a la rehabilitación de firmes existentes, sin embargo, pueden formar parte de firmes de nueva construcción, sin que esto signifique un problema de calidad, resistencia o durabilidad.

El éxito de las políticas de reciclado de cualquier país, depende de tres aspectos fundamentales:

➤ **Económico.**

Como en casi todos los campos, la relación costo–beneficio, es la base de gran parte de las iniciativas para el reciclado de pavimentos. Por esto, es muy importante hacer un cuidadoso análisis para asegurar la factibilidad económica de la utilización del reciclado en los diferentes proyectos de construcción y rehabilitación de firmes.

Cabe mencionar que los ahorros reales de una planta no dependen en muchos casos del porcentaje de RAP que utilicen en la fabricación de las mezclas sino de la posibilidad de utilización de todo el RAP que tenga disponible.





Es muy importante analizar detalladamente cada caso, para comprobar si las mezclas recicladas en caliente en planta cumplen con las especificaciones de proyecto y decidir si es económicamente viable su utilización.

#### ➤ **Medioambiental.**

Este aspecto cada día toma mayor importancia, debido al deterioro que presentan los recursos naturales de todo el mundo. La construcción de carreteras requiere de grandes volúmenes de materiales, tales como, material pétreo, ligantes, etc. y se pretende reducir al máximo su consumo. El reciclado de materiales en la construcción y rehabilitación de carreteras, es un buen camino para disminuir el consumo de materiales nuevos y al mismo tiempo reducir la explotación de canteras. Al reciclar las capas bituminosas y aprovechar el ligante que contienen, se logra disminuir el consumo de asfalto.

También es muy importante analizar las diferentes técnicas de reciclaje que se apliquen en la construcción y rehabilitación de carreteras, para evitar que durante su ejecución se afecte al medioambiente.

#### ➤ **Tecnológico.**

La maquinaria y equipo para el reciclado de pavimentos es cada día más eficiente y especializada, lo que motiva a muchos gobiernos y empresas a apostar por este tipo de tecnología que cada vez cuenta con mayor aceptación.

Algunos países cuentan con una legislación que les permite exigir el reciclado de ciertos porcentajes en la rehabilitación y construcción de carreteras, además de contar con especificaciones para estos casos particulares.



La mayoría de los gobiernos que utilizan técnicas de reciclado exigen que los materiales reciclados cumplan con las mismas especificaciones que los materiales nuevos y que presenten un comportamiento similar en campo, lo cierto es que en muchos casos, los ensayos convencionales no predicen con exactitud el comportamiento de los materiales reciclados, y por esto, es necesario desarrollar métodos específicos para el diseño y control de calidad de los firmes que contengan materiales reciclados.

### **III.3 Materiales empleados en la fabricación de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta.**

Al igual que ocurre en la fabricación de mezclas bituminosas convencionales, cuando se elaboran mezclas recicladas, es muy importante conocer las características de los materiales que serán empleados en su fabricación, para de esta manera lograr una fórmula de trabajo adecuada y garantizar que el comportamiento final de la mezcla cumplirá con todas las especificaciones requeridas en cada caso.

A continuación se describirán cada uno de los materiales que forman parte de una mezcla bituminosa reciclada en planta en caliente y las características que deberán cumplir:

#### **➤ Material fresado de pavimentos asfálticos (RAP).**

Como se ha mencionado anteriormente, RAP es el término dado a los materiales recuperados de pavimentos asfálticos y está compuesto básicamente de asfalto envejecido y pétreos. Estos materiales se generan cuando un pavimento asfáltico es retirado para su rehabilitación o reconstrucción, generalmente se utiliza el fresado en frío para obtenerlo, aunque también se pueden emplear la escarificación en caliente o la demolición y machaqueo de los firmes





Obtención de MBR mediante el fresado de pavimentos.

En la figura se observa una fresadora obteniendo RAP de un firme envejecido.

Las propiedades del RAP dependen en gran medida de las características de los materiales que lo componen y del tipo de mezcla asfáltica del que proviene (rodadura, intermedia, base, etc.). Esto significa un problema, debido a que los acopios de RAP no siempre provienen de una misma obra y podemos encontrar variaciones significativas en cuanto a la calidad de los pétreos, contenido y tipo de ligante.

Si se presentan problemas de heterogeneidad del RAP, será necesario hacer mezclados sucesivos hasta lograr contar con acopios lo más homogéneos posible para evitar tener grandes variaciones en las características de las mezclas fabricadas con dicho material.

Tanto el proceso de fresado como el de machaqueo pueden causar cierta degradación en los materiales pétreos del pavimento, por esto la granulometría del pétreo del RAP suele ser más fina y densa que la del pétreo virgen que se utilizó para elaborar la mezcla de la que proviene.

El tamaño de las partículas de RAP y su distribución pueden variar dependiendo del tipo de equipo y de la velocidad utilizados para obtenerlo,





del tipo de pétreo contenido en el pavimento y de la posible contaminación con materiales de capas inferiores producida al remover el pavimento.

Durante la obtención del RAP se procura fresar y/o machacar el material hasta lograr un tamaño máximo de partículas de 38 mm, sin embargo, en la mayoría de los países donde se practica el reciclado en planta con regularidad, se procura que el tamaño máximo de las partículas de RAP sea de 20 mm para lograr mezclas más homogéneas.

Si no se cumple con los tamaños de partículas especificados, se deberá hacer un machaqueo secundario en planta hasta lograr los tamaños requeridos.

### **III.4 Procedimiento para el reciclado de mezclas bituminosas en caliente en planta**

A continuación se describe el procedimiento general y la normativa y metodología de diseño empleados para el reciclado de pavimentos en caliente en planta, en cada uno de los diferentes pasos del proceso.

#### **➤ Recuperación de materiales de los pavimentos asfálticos deteriorados para su reciclado.**

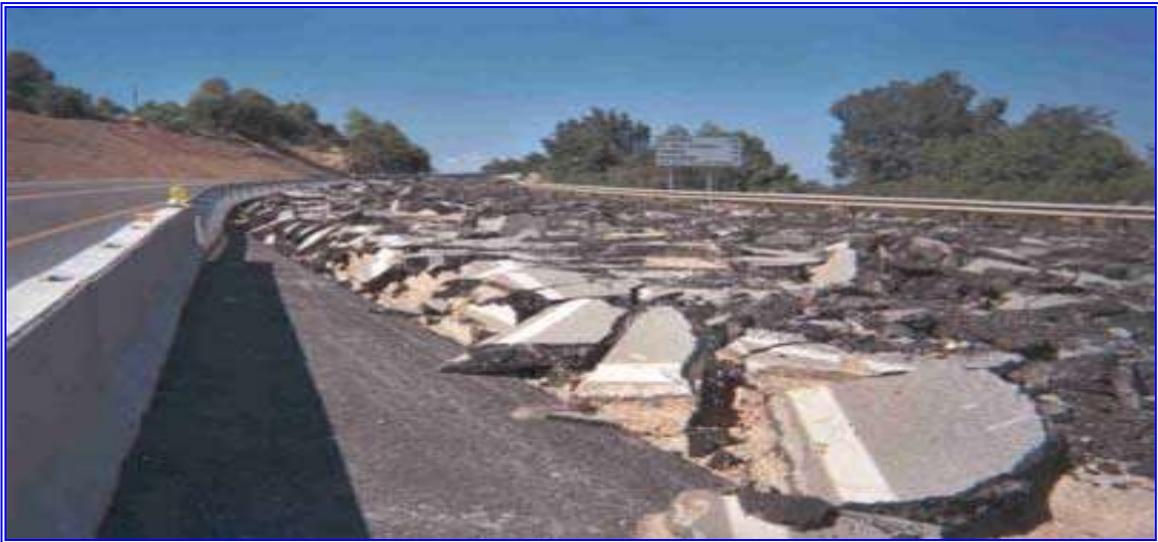
Una vez que se conocen las características del pavimento que se va a rehabilitar y si este puede ser reciclado, se procede a la recuperación de los materiales de las capas bituminosas envejecidas, que se lleva a cabo mediante la demolición mecánica o el fresado de las capas bituminosas.

De acuerdo con García (2001), la demolición mecánica de las capas de firme mediante ripado con bulldozer o levantamiento con pala o retroexcavadora, es una de las alternativas más comúnmente usadas en las demoliciones de pavimentos, en especial cuando no hay requisitos precisos de reutilización





posterior del material en procesos de reciclado o necesidad de un saneo por fresado para sustitución de un determinado espesor del pavimento.



Demolición mecánica de un pavimento.

Se genera así un material troceado, en bloques, con una cierta heterogeneidad de tamaños que necesita un tratamiento posterior por machaqueo, para obtener una granulometría adecuada para poder ser utilizado en las mezclas recicladas.

Por otra parte, el fresado en frío es la técnica necesaria cuando hay que remover un cierto espesor del firme, obteniendo una superficie plana y regular para apoyo de nuevas capas de mezcla.

Alrededor de 1970 (ASTEC, 1998) hicieron su aparición, por primera vez, las máquinas fresadoras de pavimentos asfálticos. Se trataba de modelos pequeños y con ancho de corte muy reducido. Con todo, hicieron ver las posibilidades que ofrecían en las tareas de rehabilitación de capas de firme necesitadas de ser sustituidas, de ahí que a lo largo de los años 70 estas máquinas conocieran un desarrollo cada vez más pronunciado.

Lógicamente aquellas primeras máquinas requerían de mucho mantenimiento y eran poco fiables, pero con el tiempo, han crecido no solo en tamaño y potencia sino que se ha mejorado sensiblemente en control, en





el grado de eficacia y capacidad de producción, y además son mucho más sencillas de operar.

Actualmente, con una fresadora de carga frontal se puede cortar un carril completo, además de recoger automáticamente el material fresado sobre un camión para su retirada

Otra ventaja del fresado es que deja una superficie rugosa que sirve para unir con la capa nueva, además de que el material fino que permanece en la carretera, se derretirá casi instantáneamente al aplicar una nueva capa de mezcla caliente, y de este modo, las partículas finas se convierten en una capa ligante.

Las características de granulometría y tamaño máximo del producto obtenido por fresado son función de las características y estado de integridad de la capa a fresar, de la velocidad de avance de la fresadora, del espesor de fresado y de las características de la fresadora y del rotor (potencia, espaciamiento y tipo de picas, velocidad de giro, etc.).

Así, puede llegar a conseguirse que el producto obtenido del fresado cumpla los requisitos de granulometría y tamaño máximo para ser utilizado directamente en procesos de reciclado. En caso contrario precisará también un postproceso de machaqueo o clasificación previo al de reciclado.

Una vez que se recuperan los materiales de los pavimentos asfálticos envejecidos, es necesario acarrearlo en camiones hasta la planta en donde será almacenado, y en su caso, procesado para su reciclado.

#### ➔ **Proceso y acopio del RAP en planta.**

Si el material fresado es lo suficientemente homogéneo cuando llega a la planta, y el tamaño máximo de las partículas del mismo no superan las especificaciones para su utilización en mezclas bituminosas, puede ser acopiado directamente sin pasar por ningún proceso de machaqueo, ya que la tolva de alimentación del RAP de las plantas de mezcla tienen una





precisa que limita el tamaño máximo a reciclar y no permite que entren partículas de mayor tamaño que el especificado.

Cuando el RAP no precisa una gran reducción de tamaño, por que su dimensión máxima no es excesiva (50-100mm), García (2001) recomienda una variante, en la que en el sistema de alimentación se incorpora una trituradora secundaria para reducir el machaqueo material procedente de fresado a una granulometría uniforme 0/20 ó 0/30 como se observa en la figura.



Alimentación de planta con proceso de Machaqueo. (Fuente: ASTEC, 1998).

Si el RAP es procedente de la demolición de firmes, tiene tamaños máximos de partículas superiores a los especificados para la fabricación de mezclas, será necesario realizar un machaqueo en planta que puede hacerse mediante una trituradora que cuente con una primera etapa de machaqueo por impacto y una segunda etapa con una criba y una trituradora de conos, como se muestra en la figura sig., de esta manera se reducirá el RAP a un todo uno con tamaño máximo de entre los 20-30mm, antes de ser acopiado para su almacenamiento.

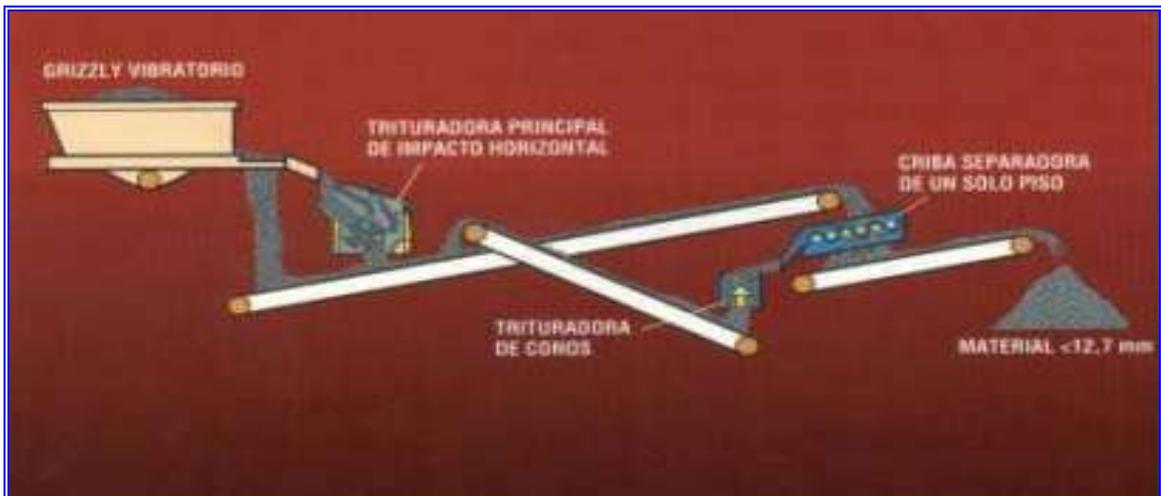
Si se pretende utilizar porcentajes muy elevados de RAP (más del 30%) en la fabricación de mezclas, es recomendable separarlo en dos fracciones para



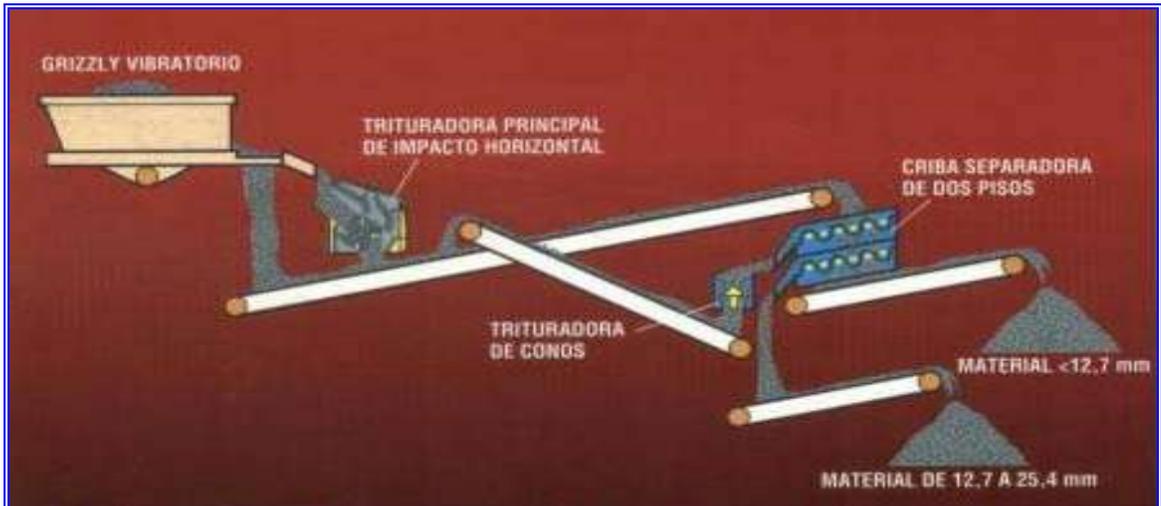


asegurar que el producto final será suficientemente homogéneo, en este caso se debe utilizar una machacadora de dos etapas que cuente con una criba de dos pisos que nos permita obtener las dos fracciones requeridas que serán acopiadas separadamente para evitar que se mezclen entre ellas.

En la figura se presenta una procesadora de MBR capaz de separar el material fresado de pavimentos en diferentes fracciones.



Trituradora de MBR de una sola criba (Fuente: ASTEC, 1998).



Trituradora de MBR para obtener dos fracciones distintas (Fuente: ASTEC, 1998).





Una vez procesado, el RAP debe ser manipulado y almacenado como un material pétreo convencional.

El *Asphalt Institute* recomienda que la altura de los acopios se limite a un máximo de 3 metros para prevenir la aglomeración de las partículas de RAP. El tiempo de almacenamiento debe minimizarse para evitar que el contenido de humedad de los acopios se vuelva excesivo.

La experiencia ha probado que los acopios cónicos se comportan de una mejor manera que los acopios horizontales y ayudan a que el fresado no se reaglomere. El RAP tiene la tendencia de formar una costra de unos 20 cm, debido a los efectos del calor y de la radiación solar tanto en los acopios cónicos como en los horizontales. Esta corteza ayuda a evitar que el resto del RAP se aglomere y además se rompe fácilmente con un cargador frontal. El material fresado de pavimentos tiene la tendencia de almacenar agua y no drenarla con el tiempo como los áridos normales. Los acopios bajos y horizontales acumulan más humedad que los cónicos y de mayor altura. Otra medida que puede servir para evitar la excesiva humedad del RAP es utilizar acopios techados pero sin paredes, para evitar la condensación de la humedad.



Trituradora de MBR para obtener diferentes fracciones (Fuente: ASTEC <[www.astecinc.com](http://www.astecinc.com)>).





## CAPÍTULO IV

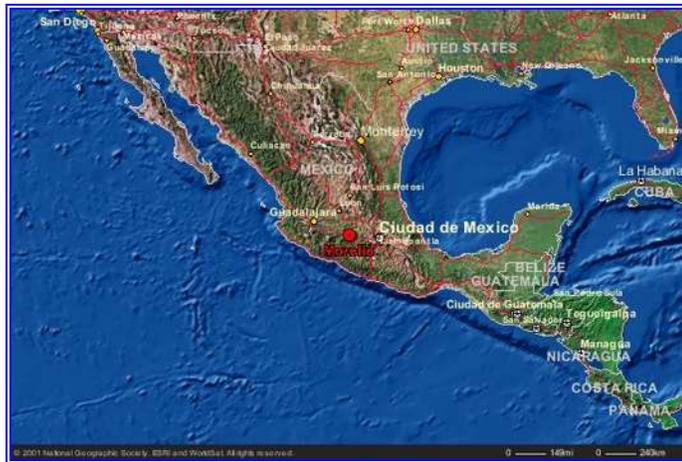
### DESARROLLO EXPERIMENTAL.

#### IV.1.- Introducción.

En este capítulo se describen todas las pruebas y trabajos realizados en el laboratorio para comparar las características de una mezcla reciclada contra una mezcla convencional y poder darnos cuenta si en verdad una mezcla reciclada cumple con todas las solicitudes que actualmente están vigentes para el diseño de una mezcla según la normativa de la SCT; misma que se basa en el Método de diseño Marshall para realizar y supervisar el proceso de diseño y construcción de un pavimento flexible.

Para esta investigación se seleccionó una vialidad muy importante de esta Ciudad de Morelia la cual es el Libramiento Sur mejor conocido como AV. Camelinas; la muestra de carpeta asfáltica se extrajo del carril derecho a la altura del cruce con el zoológico.





Macro localización.



Micro localización

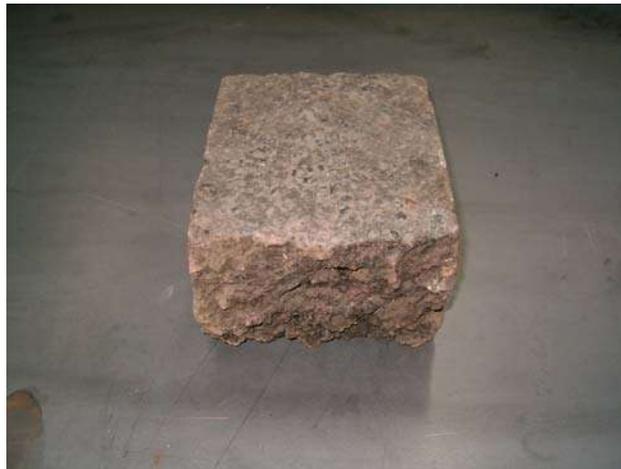


## IV.2.- Caracterización del RAP.

Como se mencionó anteriormente el pavimento debe ser recuperado mediante una fresadora pero como en nuestro caso la muestra se tomo de la vialidad Av. Camelinas y esta fue producto de una cepa.

Se procederá a disgregar la muestra de forma mecánica, por machacado.

Una vez triturado el material se dejó el material a la intemperie por algunas horas para lograr que el material perdiera humedad.



Muestra Inalterada.



Muestra Triturada.





## Determinación del Contenido de Asfalto y Granulometría del RAP, por el Método de Centrifugación.

### Método de centrifugación.

Esta prueba se realiza, para saber el porcentaje de cemento asfáltico contenido en la mezcla.

El procedimiento es el siguiente:

- De la muestra triturada del RAP, se procede a tomar una muestra por cuarteos sucesivos de 600grs. Para garantizar una muestra representativa.



Material a gravel

Cuarteos Sucesivos del Mat.

Toma de Muestra

- Se coloca la muestra en un recipiente metálico dentro del horno a una temperatura de  $110^{\circ}$ , durante 24hrs. Para que la muestra quede completamente seca.



Muestra

Horno

- Se retira del horno el material, se deja enfriar a temperatura ambiente y se pesan 500grs. Peso que será conocido como peso inicial de la muestra.



- Se vierte en el recipiente con el RAP, gaso lina para disolver el asfalto contenido en la mezcla, cuando se trata de mezclas que no tengan tanto tiempo de haberse empleado como cuerpo del pavimento; Como en este caso el RAP proviene de un pavimento el cual ya tenia un largo periodo de vida empleamos un disolvente mas fuerte el cual fue alcohol isopropílico. Y se deja actuar durante 48hrs.



- Una vez que del RAP, el asfalto y el pétreo se encuentran casi disueltos, se procede a verter el material dentro de la centrifugadora Rotarex con gasolina para separar completamente estos 2 componentes de la mezcla; esto se logra hasta que la gasolina sale del equipo Rotarex limpia sin cemento asfáltico.



Equipo

Rotarex

- Ya que la muestra quedó completamente limpia es decir sin cemento asfáltico, solo el material pétreo; este se coloca dentro del horno durante 24hrs.



Muestra sin Cemento Asfáltico.





- Se deja enfriar el material a temperatura ambiente y se pesa, para así conocer el peso final de la muestra.

Concluida la prueba mediante la siguiente fórmula se conoce el contenido de Cemento Asfáltico contenido en la Mezcla o RAP.

$$\underline{\% \text{ C.A.} = (P_i - P_f) / P_i \times 100}$$

**Donde:**

**% C.A.** = Porcentaje de Cemento Asfáltico.

**P<sub>i</sub>** = Peso inicial de la muestra.

**P<sub>f</sub>** = Peso final de la muestra.

De la prueba se obtuvieron los siguientes resultados:

**Humedad = 0.523%**

**Peso inicial de la Muestra = 500grs.**

**Peso final de la Muestra = 449.1grs.**

**Contenido de Cemento Asfáltico.= 10.755%**

Este valor se encuentra por arriba de los porcentajes óptimos de Cemento Asfáltico para la elaboración de mezclas asfálticas los cuales andan en el orden del 4 al 8% de C.A.; Lo cual nos da una información clara de que ese pavimento a tenido varios tratamientos como son los riegos de sello y las sobre carpetas.





## Prueba para determinar la Granulometría del RAP des pués de eliminar el Cemento Asfáltico.

Para realizar esta prueba nos basamos en el procedimiento establecido en la normativa de la SCT; "M-MMP-4-04-002-02" misma que se encuentra dentro de la sección Métodos de muestreo y Pruebas de Materiales para Pavimentos.

Esta prueba permite determinar la composición por tamaños de las partículas del material pétreo empleado en mezclas asfálticas mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas las cuales están ordenadas de mayor a menor, para obtener la masa que se retiene en cada malla y calcular su porcentaje respecto al total de la muestra y definir la masa que pasa.

### Procedimiento.

- El material final de la prueba anterior va ser el valor del peso inicial de la muestra, mismo que se vierte dentro de un conjunto de mallas organizadas en el siguiente orden:

MALLA	ABERTURA
1"	(25.40 mm)
3/4"	(19.05 mm)
1/2"	(12.70 mm)
3/8"	(9.520 mm)
1/4"	(6.350 mm)
No. 4	(4.760 mm)
No. 10	(2.000 mm)
No. 20	(0.840 mm)
No. 40	(0.420 mm)
No. 60	(0.250 mm)
No. 100	(0.149 mm)
No. 200	(0.074 mm)





- El conjunto de mallas se coloc a sobre el agitador mecánico Rov- Tav, haciéndolo funcionar durante un tiempo suficiente para que el material quede bien caracterizado de acuerdo a su tamaño en la malla que le corresponde.



Agitador Mecánico.

- Se determina y registra el peso retenido en cada malla vertiendo su contenido en la balanza; teniendo en cuenta que el material atrapado en la malla forma parte del peso retenido en la malla y que se integra cepillando la malla al revés.



Material retenido en cada malla

Balanza Electrónica

- Con los resultados obtenidos se calculan los porcentajes retenidos en cada malla para poder graficar la curva granulométrica del material.



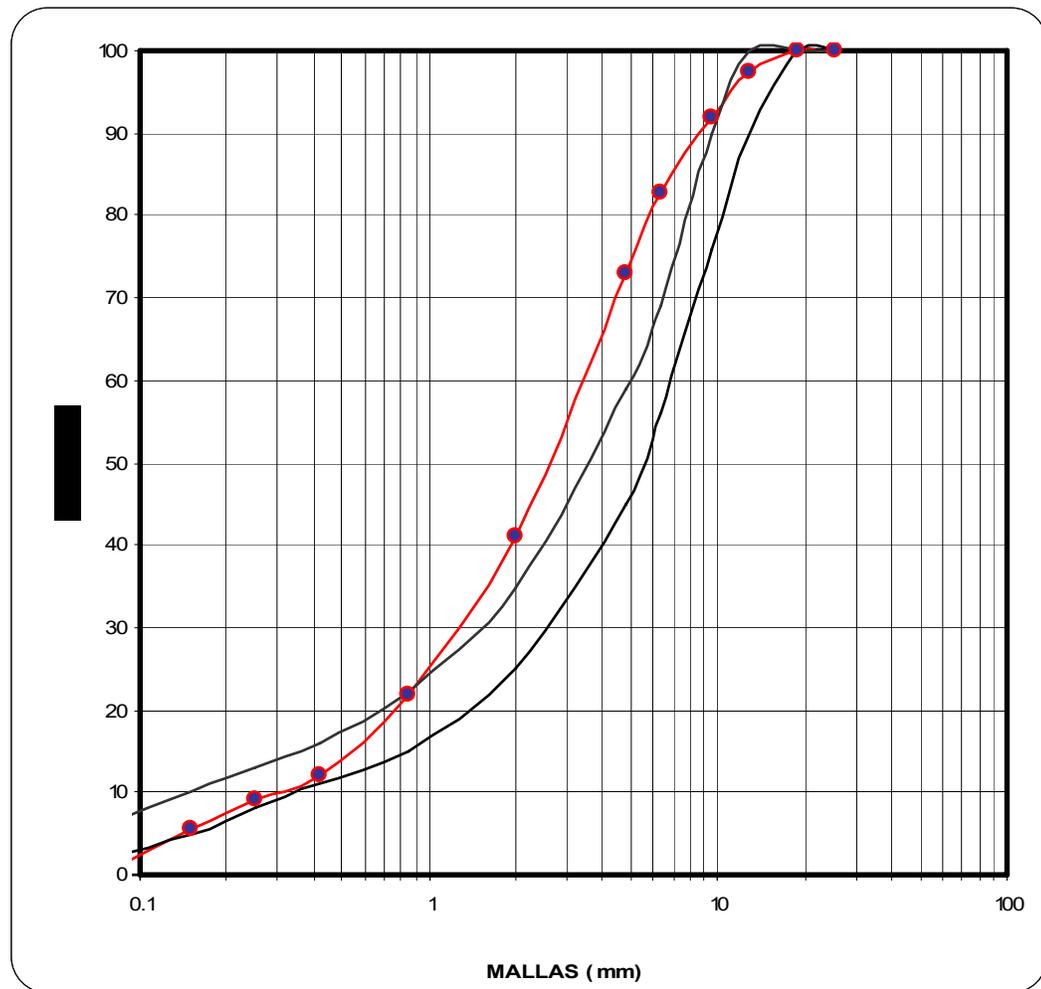


Los resultados obtenidos en esta prueba se muestran en las siguientes tablas:

<b>COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL MATERIAL GRUESO</b>				
<b>MALLA</b>	<b>PESO RETENIDO PARCIAL</b>	<b>% RETENIDO PARCIAL</b>	<b>%RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA LA MALLA</b>
<b>1"</b>	0.00	0	0	100
<b>3/4"</b>	0.00	0	0	100
<b>1/2"</b>	12.40	3	3	97
<b>3/8"</b>	24.00	5	8	92
<b>1/4"</b>	41.30	9	17	83
<b>No 4</b>	44.30	10	27	73
<b>PASA No 4</b>	327.10	73	100	0
<b>SUMA</b>	449.10	100		

<b>COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL MATERIAL FINO</b>				
<b>MALLA</b>	<b>PESO RETENIDO PARCIAL, gr.</b>	<b>% RETENIDO PARCIAL</b>	<b>%RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA LA MALLA</b>
<b>10</b>	143.10	32	32	41
<b>20</b>	86.30	19	51	22
<b>40</b>	28.30	6	57	15
<b>60</b>	14.80	3	61	12
<b>100</b>	13.90	3	64	9
<b>200</b>	15.30	3	67	6
<b>PASA No 200</b>	147.40	33	73	0
<b>SUMA</b>	449.10	73		

Con la abertura de las mallas como valor en el eje de las abscisas y el % que pasa estas; se obtiene la siguiente grafica misma que se grafica en forma semi-logaritmica.



La grafica se encuentra desplazada hacia arriba de la frontera lo cual nos indica que la mezcla pudo haber tenido un exceso de material grueso o que los porcentajes empleados para conformar la granulometría de la misma no se ajustaron a esta frontera la cual se encuentra normada por la SCT para garantizar el correcto desempeño de la mezcla.

Con estas pruebas obtenemos todas las características necesarias del RAP Para la elaboración de la Mezcla Reciclada.





### **Determinación de la densidad relativa.**

Para realizar esta prueba nos basamos en el procedimiento establecido en la normativa de la SCT; "M-MMP-4-04-003/02" misma que se encuentra dentro de la sección Métodos de muestreo y Pruebas de Materiales para Pavimentos.

Esta prueba permite conocer la masa de los sólidos por unidad de volumen de dichos sólidos sin vacíos en cada una de sus fracciones y a sea gravas o arenas con finos, respecto a la densidad del agua.

### Procedimiento de prueba para las gravas.

- Cuando se realiza la prueba de granulometría del material que pasa la malla  $\frac{3}{4}$ " y retiene la  $\frac{3}{8}$ " se toma una muestra de material de aproximadamente 500grs.
- Se colocan los 500 grs. en un vaso de aluminio y se satura con agua durante 24 hrs.
- Después se seca el material superficialmente con un lienzo, procurando eliminar únicamente el agua adherida en la superficie.
- Se pesa una cantidad de 300 grs. de material superficialmente seco y se vierte dentro de un picnómetro con agua destilada hasta el nivel de derrame; el volumen de agua derramado y recolectado en una probeta graduada será el volumen desalojado por el material.
- Se extrae el material del picnómetro y se coloca nuevamente en el vaso de aluminio para meterse al horno a secar durante 24hrs.





➤ Una vez seco el material se obtiene el peso seco de este y se realiza el calculo de la densidad con la siguiente fórmula:

$$D.r. = P.f. / V$$

**Donde:**

**D.r.= Densidad Relativa del material grueso.**

**P.f: = Peso Seco del Material.**

**V= Volumen desalojado.**

De esta prueba se tienen los siguientes valores:

**Esta prueba se realizó con una muestra de 61.64 grs. de RAP.**

**V= 30c.c.**

**P.f.= 61.06 grs.**

**D.r.= 2.04**

#### Procedimiento de prueba para las arenas.

Esta prueba consiste en eliminar el aire atrapado en la muestra, al estar sumergida totalmente en agua destilada en ebullición para obtener su densidad relativa.

- Del material que pasa a la malla numero 4 se toman aproximadamente 100grs.sin secarse.
- Se disgregan los grumos hasta obtener un material homogéneo.
- Se procede a secar la muestra en el horno a 110°C, hasta masa constante, la cual representa el peso seco del material o **P1**
- Utilizando un embudo, se introduce la muestra en el matraz. y se vierte agua destilada hasta cubrir el material.





- Con una parrilla se pone a hervir la mezcla moviendo constantemente el matraz y colocando el succionador de aire hasta expulsar todo el aire atrapado.
- Se deja enfriar el matraz hasta temperatura ambiente, después se llena con agua destilada hasta la marca de aforo.
- Se seca superficialmente el matraz y se pesa en una balanza. este será el **P2**.
- Se tapa el matraz y se agita varias veces para uniformar la temperatura del agua, se coloca el bulbo del termómetro en el centro del matraz y se registra la temperatura  $t_p$ .
- Por ultimo utilizando la curva de calibración del matraz entrando con la temperatura se obtiene la masa del matraz o **P3**.

La densidad de las arenas se calcula con la siguiente ecuación:

$$D.r.= P3 / P3+P1-P2$$

**Esta prueba no se realizó por temor de los laboratoristas a daños en los matraces por el cemento asfáltico.**





### IV.3.- Caracterización del Material Pétreo Virgen a emplearse en la Mezcla Reciclada.

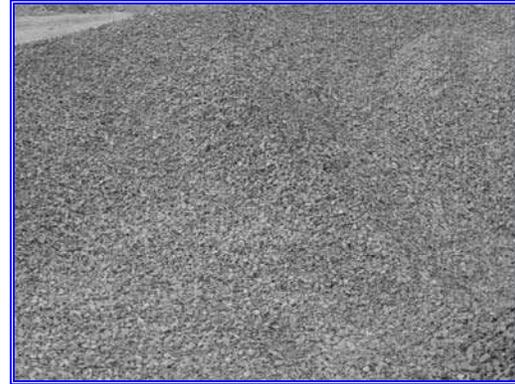
El material pétreo que se empleó para la elaboración de esta investigación proviene del Banco de Triturados del Arq. Sánchez el cual se encuentra ubicado en la salida a Salamanca Guanajuato se seleccionó este banco debido a que es el que mejor cumple con las solicitudes de las normas de la SCT para agregados en pavimentos.

Se consideró también que de este banco se surte la Planta de elaboración de Mezclas Asfálticas de esta Ciudad, para tener valores reales o lo más cercano posibles a los de una mezcla fabricada en planta y con esto dar credibilidad a los resultados que se obtengan de esta investigación.





De este banco se tomaron muestras representativas de acuerdo a lo especificado en las normas de la SCT, en su sección de muestreo de materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.



El material que se trajo del banco, en el laboratorio se dejó secar por exposición directa a los rayos del sol para que perdiera humedad y facilitar su manejo así como conformar de una mejor manera la muestra por medio del mezclado por paleado.

Cualquier material que se va a emplear como material pétreo de una Mezcla Asfáltica tiene que estar dentro de ciertos rangos en las pruebas que marca la normativa mexicana; los cuales son diferentes para cada tipo de mezcla ya sea de granulometría abierta, cerrada, densa o semi-densa.

En esta investigación nos centraremos en las mezclas densas de granulometría continua debido a que son las que comúnmente se emplean en los pavimentos del Territorio Nacional y el Continente Americano.



A continuación se nombran las pruebas que se tienen que realizar a los agregados pétreos que se emplean en mezclas asfálticas:

- Granulometría.
- Densidad Relativa.
- Desgaste de los Ángeles.
- Partículas Alargadas y Lajeadas.
- Equivalente de arena.

### **Granulometría del Material Triturado.**

Para realizar esta prueba nos basamos en el procedimiento establecido en la normativa de la SCT; “M-MMP-4-04-002-02” misma que se encuentra dentro de la sección Métodos de muestreo y Pruebas de Materiales para Pavimentos.

El procedimiento se divide en 2 partes una para el agregado grueso de la mezcla el cual está comprendido de la malla de 1” a la malla número 4 y otra para la parte fina comprendido del material que pasa a la malla 4 hasta el material que pasa la malla número 200.

#### Procedimiento para la parte gruesa.

- Primeramente se toma una muestra representativa del material triturado; esto se realiza por cuarteos sucesivos hasta obtener la cantidad de material deseado la cual es de aproximadamente 20 Kilogramos.
- Después se procede a tamizar el material de manera manual por cada una de las mallas ordenadas de mayor a menor abertura hasta la malla número 4.





- Finalmente se pesa el material retenido en cada malla para después calcular el porcentaje de esa parte gruesa del material.

#### Procedimiento para la parte fina (Granulometría por lavado).

- Del material que pasa la malla número 4 se toma una muestra representativa de aproximadamente 250grs. y se coloca en el horno durante 24 hrs. a una temperatura de 110°
- Se retira el material del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente; se pesan 200grs. y se dejan saturando en agua dentro de un recipiente metálico durante 24 hrs.
- Saturado el material se procede a lavar realizando figuras en forma de ocho con una varilla lisa para retirar el material fino de las partículas gruesas; usando una malla del número 200 decantamos el recipiente y retiramos el agua, realizando el mismo procedimiento hasta que ya no haya partículas menores a la malla número 200.
- Una vez limpio el material se deja el material en el horno 24hrs., para secarlo.





- Después se retira el material del horno y se vierte dentro del conjunto de mallas de la 4 a la 200 y se coloca en el agitador mecánico durante el tiempo necesario.
- Se pesa la fracción retenida en cada malla y se registra, se calculan los porcentajes retenidos y se grafica la curva granulométrica.

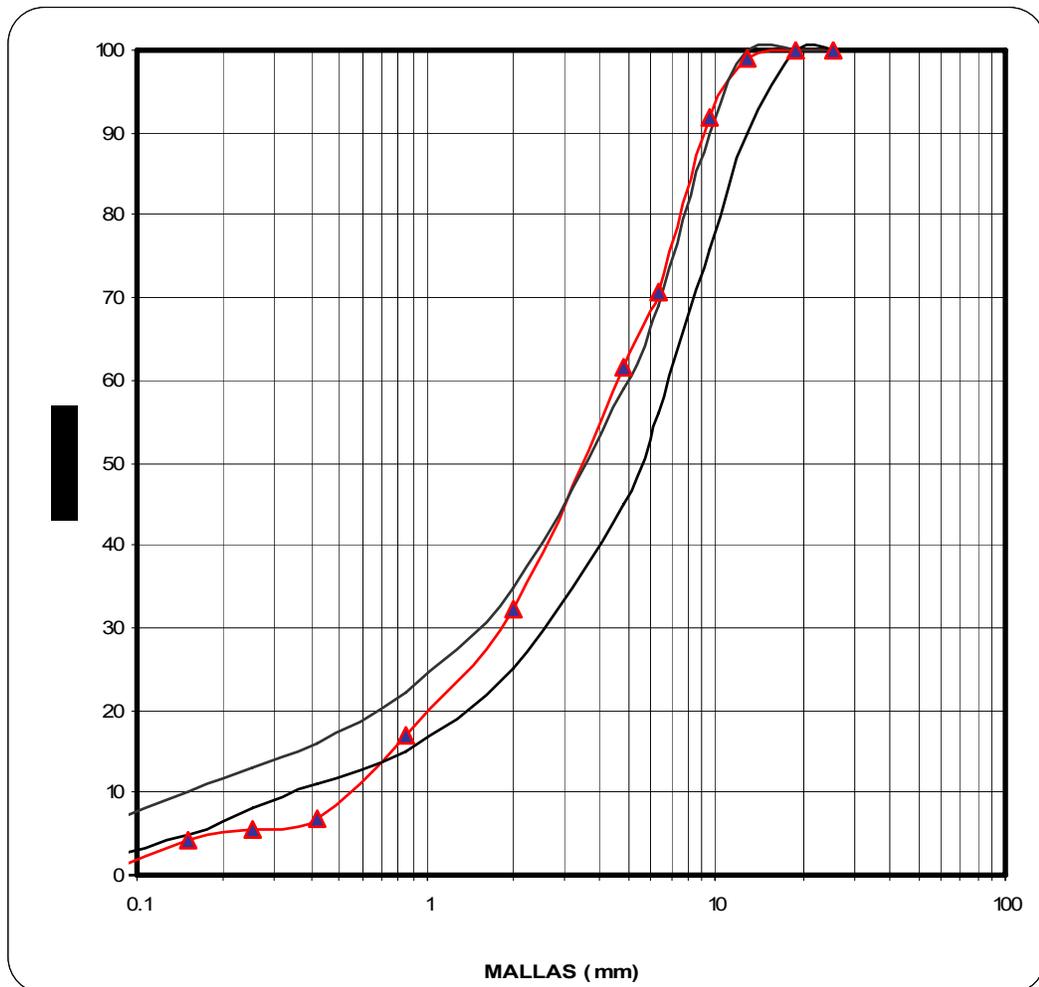
Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

<b>COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL GRUESO</b>				
<b>MALLA</b>	<b>PESO RETENIDO PARCIAL</b>	<b>% RETENIDO PARCIAL</b>	<b>%RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA LA MALLA</b>
<b>1"</b>	0.00	0	0	100
<b>3/4"</b>	0.00	0	0	100
<b>1/2"</b>	150.00	1	1	99
<b>3/8"</b>	1160.00	7	8	92
<b>1/4"</b>	3470.00	21	29	71
<b>No 4</b>	1480.00	9	38	62
<b>PASA No 4</b>	10010.00	62	100	0
<b>SUMA</b>	16270.00	100		

<b>COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL FINO</b>				
<b>MALLA</b>	<b>PESO RETENIDO PARCIAL, gr.</b>	<b>% RETENIDO PARCIAL</b>	<b>%RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA LA MALLA</b>
<b>10</b>	95.27	29	29	32
<b>20</b>	50.05	15	45	17
<b>40</b>	24.10	7	52	9
<b>60</b>	7.88	2	55	7
<b>100</b>	4.45	1	56	6
<b>200</b>	4.19	1	57	4
<b>PASA No 200</b>	14.06	4	62	0
<b>SUMA</b>	200.00	62		



Gráfica semi-logarítmica del material.



La gráfica nos muestra una curva que queda casi dentro de la frontera; esto nos indica que el muestreo realizado en la planta de trituración se realizó de manera correcta ya que el ajuste que se tiene que realizar a la curva para que esta cumpla con las especificaciones es mínima.





### **Determinación de la densidad relativa.**

Para realizar esta prueba nos basamos en el procedimiento establecido en la normativa de la SCT; "M-MMP-4-04-003/02" misma que se encuentra dentro de la sección Métodos de muestreo y Pruebas de Materiales para Pavimentos.

Esta prueba permite conocer la masa de los sólidos por unidad de volumen de dichos sólidos sin vacíos en cada una de sus fracciones y a sea gravas o arenas con finos, respecto a la densidad del agua.

### Procedimiento de prueba para las gravas.

- Cuando se realiza la prueba de granulometría del material que pasa la malla  $\frac{3}{4}$ " y retiene la  $\frac{3}{8}$ " se toma una muestra de material de aproximadamente 500grs.
- Se colocan los 500 grs. en un vaso de aluminio y se satura con agua durante 24 hrs.
- Después se seca el material superficialmente con un lienzo, procurando eliminar únicamente el agua adherida en la superficie.
- Se pesa una cantidad de 300 grs. de material superficialmente seco y se vierte dentro de un picnómetro con agua destilada hasta el nivel de derrame; el volumen de agua derramado y recolectado en una probeta graduada será el volumen desalojado por el material.
- Se extrae el material del picnómetro y se coloca nuevamente en el vaso de aluminio para meterse al horno a secar durante 24hrs.
- Una vez seco el material se obtiene el peso seco de este y se realiza el cálculo de la densidad con la siguiente fórmula:

$$D.r. = P.f. / V$$





**Donde:**

**D.r.= Densidad Relativa del material grueso.**

**P.f: = Peso Seco del Material.**

**V= Volumen desalojado.**

De esta prueba se tienen los siguientes valores:

**V= 115c.c.**

**P.f.= 291.5 grs.**

**D.r.= 2.53**

Procedimiento de prueba para las arenas.

Esta prueba consiste en eliminar el aire atrapado en la muestra, al estar sumergida totalmente en agua destilada en ebullición para obtener su densidad relativa.

- Del material que pasa a la malla número 4 se toman aproximadamente 100grs.sin secarse.
- Se disgregan los grumos hasta obtener un material homogéneo.
- Se procede a secar la muestra en el horno a 110°C, hasta masa constante, la cual representa el peso seco del material o **P1**
- Utilizando un embudo, se introduce la muestra en el matraz. y se vierte agua destilada hasta cubrir el material.
- Con una parrilla se pone a hervir la mezcla moviendo constantemente el matraz y colocando el succionador de aire hasta expulsar todo el aire atrapado.
- Se deja enfriar el matraz hasta temperatura ambiente, después se llena con agua destilada hasta la marca de aforo.





- Se seca superficialmente el matraz y se pesa en una balanza. este será el **P2**.
- Se tapa el matraz y se agita varias veces para uniformar la temperatura del agua, se coloca el bulbo del termómetro en el centro del matraz y se registra la temperatura  $t_p$ .
- Por ultimo utilizando la curva de calibración del matraz entrando con la temperatura se obtiene la masa del matraz o **P3**.

La densidad de las arenas se calcula con la siguiente ecuación:

$$D.r.= P3 / P3+P1-P2$$

**Esta prueba se realizó por triplicado.**

Los resultados obtenidos de esta prueba son los siguientes:

**P1= 100 grs.**

**P2=750grs.**

**P3=687.51 grs.**

**D.r.= 2.665**





- lo 4.- Desarrollo Experimental.
  - 4.1.- Introducción
  - 4.2.- Caracterización del Rap.
  - 4.3.- Caracterización del material pétreo nuevo a emplearse en la mezcla reciclada.
  - 4.4.- Granulometrías empleadas.
    - 4.4.1.- En mezcla con 0% de RAP o mezcla patrón.
    - 4.4.2.- En mezcla con 10% de RAP.
    - 4.4.3.- En mezcla con 30% de RAP.
  - 4.5.- Fase Experimental.
  - 4.6.- Resultados de la Prueba Marshall.





- Manual de reciclaje en frío*. Wirtgen GmbH y A. A. Loudon & Partners. Noviembre 1998.
- AASHTO 93, Guía para el diseño de pavimentos*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Refuerzos en pavimentos, reparación asfáltica en caliente sobre pavimento de hormigón*. Gonzalez Ruben- Cecilia So engas, trabajo interno del LEMaC, Año 2001.
- Firmes y pavimentos*. Carlos Kraemer y Miguel Angel del Val. Universidad Politécnica de Madrid.
- Metodología de evaluación de estado de los pavimentos*. Gerencia de Planiamiento, Investigación y Control, División Relevamiento. Dirección Nacional de Vialidad.

