

4



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EVALUACION DE UNA NUEVA PLANTA DE MEZCLA  
ASFALTICA CON TECNOLOGIA DE RECICLAJE, PARA LA  
PLANTA DE ASFALTO DEL GOBIERNO DEL  
DISTRITO FEDERAL.

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL  
P R E S E N T A N :  
EDGAR FERNANDO BELTRAN AVIÑA  
VICTOR HUGO HERNANDEZ CASTILLO  
EDGAR NORIEGA VALDEZ



DIRECTORA: M.I. LOURDES ARELLANO BOLIO

MEXICO, D.F.

200



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

**A MARCOS E HILDA, MIS PADRES:**

Gracias por haberme dado la oportunidad de crecer dentro de una familia maravillosa, feliz y exitosa. He aquí una muestra más de ello.

**A ARLENN Y MAURICIO, MIS HERMANOS:**

Gracias por sus consejos, apoyo y amistad.

**A DOÑA JOSÉ, MI ABUELA:**

Gracias por estar siempre a mi lado.

**A LA H. FACULTAD DE INGENIERIA**

## **A MIS PADRES**

Carlos Rafael y Ana Maria, gracias por formar una familia que deslumbra apoyo, amor y cariño, claves para lograr la culminación de esta meta.

LOS QUIERO MUCHO.

## **A MIS HERMANOS**

Irma Patricia, Juan Carlos, Mario y Ana Maria, los mejores amigos que tengo.

UN EJEMPLO A SEGUIR.

## **A MIS AMIGOS**

Por los buenos momentos que pasamos juntos, espero sigamos siendo exitosos en nuestra vida profesional.

## **A MI QUERIDA FACULTAD DE INGENIERIA**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mis padres.*

*Gracias por regalarme la oportunidad de vivir y existir.*

*A Hugo y Edgar*

*Por su amistad incondicional y por haber compartido éste trabajo conmigo.*

*A mi segunda casa la Facultad de Ingeniería.*

*Por los conocimientos que me brindaste.*

*Gracias*

*Caer no es fracasar, fracasar es quedarnos abajo y no intentar de nuevo levantarnos.*

*Edgar Noriega Valdez*

---

---

# INDICE

## **INTRODUCCIÓN**

Planteamiento del problema	2
Justificación	4
Perspectivas de la planta de asfalto	5
Hipótesis	6
Fases durante la elaboración de la tesis	7

## **CAPITULO I, PLANTA DE ASFALTO DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL**

Antecedentes históricos de la planta de asfalto	10
Objetivo institucional	11
Comité de operación	11
Descripción de la planta de asfalto	12
Recursos humanos	13
Capacidad de producción	14
Maquinaria y equipo	16
Mercado	16

## **CAPITULO II, LA MEZCLA ASFÁLTICA**

Definiciones	22
Proceso de producción de la mezcla asfáltica en la planta de asfalto del gobierno del D.F.	32
Especificaciones de calidad de la mezcla asfáltica para emplearse en la construcción de pavimentos y bacheo de vialidades en el D.F.	37

## **CAPITULO III, FRESADO, REHABILITACIÓN Y PRINCIPALES REDES VIALES**

Introducción	41
Fresado	43
Rehabilitación vial	54
Causas del deterioro vial	55
Diagnostico y mantenimiento vial de la red primaria de la ciudad de México	59
Diagnostico y situación actual de la red vial primaria de la ciudad de México	60
Red vial primaria del Distrito Federal	63

## ***CAPITULO IV, EL RECICLADO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA***

Reciclado de pavimentos	67
Técnicas de reciclado	69
Características de distintas técnicas de reciclado	70
Ahorros y equipo de mezcla asfáltica utilizando reciclado	75
Diseño de la mezcla	85
Equipo para reciclaje	85
Planta ASTEC doble tambor	89
Planta CYCLEAN tecnología micro-ondas	95
Planta CMI triple tambor	100
El hule de llanta en pavimentos, una alternativa ecológica	103
Ventajas del RAP	105

## ***CAPITULO V, EVALUACIÓN DEL PROYECTO***

Fases del proyecto	108
Datos relativos al mercado local de mezcla asfáltica	108
Situación económica general	108
Condiciones de la demanda	112
Condiciones de la oferta	116
Resultados del estudio de mercado	118
Estimación del consumo de mezcla asfáltica a partir del número de metros cuadrados repavimentados	118
Conclusión del estudio de mercado	119
Principales problemas de las plantas actuales	121
Consideraciones del RAP	124
Exposición de las variantes	127
Tecnologías	127
Inversión	128
Costo fijo	129
Costos variables	129
Depreciación de las maquinarias	132
Cálculo del porcentaje de reciclado con el que operaran las diferentes plantas	133
Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) para cada una de las variantes propuestas	134
Punto de equilibrio	137
Conclusiones con respecto a las tasas internas de retorno obtenidas	140

## ***CONCLUSIONES GENERALES***

## ***BIBLIOGRAFÍA***



# INTRODUCCIÓN



# INTRODUCCIÓN

## *Planteamiento del problema*

La presente tesis evalúa técnica y económicamente una nueva “Planta de Mezcla Asfáltica que recupere el material fresado”, con el fin de modernizar, e incrementar la eficiencia, abatir costos e incluso en un futuro generar utilidades que el Gobierno destine ya sea a pavimentar nuevas vías o bien a cubrir otras necesidades que la ciudadanía demande. Cabe señalar que una nueva Planta de Asfalto puede trabajar con material virgen, reciclado o una combinación de ellas, produciendo la misma cantidad que en conjunto producen las tres plantas actuales.

Desafortunadamente en la actualidad nuestros recursos naturales son cada vez menos, es por eso que las nuevas tecnologías están enfocadas al hacer nuevamente uso de los materiales ya utilizados, es decir, materiales reciclados. Por esto se ha orientado este trabajo a la evaluación de un Planta de reciclado de mezcla asfáltica.

El Gobierno del Distrito Federal decidió implantar como objetivo el modernizar y actualizar los procesos administrativos y operativos de la Planta de Asfalto del D.F. con el fin de incrementar la eficiencia de sus actividades. Es importante señalar que la planta de Asfalto ha trabajado con pérdidas en los últimos años, es decir, que es subsidiada por el Gobierno local. No obstante las dependencias del Gobierno del Distrito Federal como lo es, la Planta de Asfalto, lo que buscan es abatir costos, es decir, mantener o superar el punto de equilibrio, sin embargo actualmente se encuentra con pérdidas que a su vez se convierten en un gasto para el Gobierno y en consecuencia para la ciudadanía.

El compromiso que se tiene hoy en día con el medio ambiente es otro factor en contra de las actuales Plantas de Asfalto, pues si bien a pesar de encontrarse dentro de las normas, se tienen fugas de asfalto y polvo que no han sido monitoreados, además en los arranques de las plantas No 5 y 6 se generan una cantidad considerable de gases y partículas suspendidas que tampoco se han monitoreado pero que son visibles.

Durante 1998 se atendieron 22 contingencias ambientales, la Planta de Asfalto paró por completo sus operaciones teniendo una pérdida de \$5'610,000.00, dejando de producir 45,000 toneladas de mezcla asfáltica y 88,000 toneladas de triturado. En 1999 se suspendieron las actividades por el mismo caso 4 días, dejando de producir 6,000 toneladas de mezcla asfáltica y 6,000 toneladas de triturado<sup>1</sup>. La nueva tecnología permitirá producir mezcla asfáltica utilizando reciclado (RAP, Recycle Asphalt Paviment), aún en contingencia ambiental gracias al empleo de métodos sofisticados que no afecta en lo más mínimo las condiciones atmosféricas

Debido a que la Planta de Asfalto del Gobierno del Distrito Federal cuenta con un banco de roca basáltica con excelentes propiedades, da pie a que la calidad del producto final sea excelente, aunado a esto, otra ventaja es la cercanía que tiene con el poblado de Parres (38 Km. a la Planta de Asfalto, en Av. del Imán) que es el lugar donde se hacen las detonaciones de la roca.

Por otro lado existen compañías que el Gobierno del Distrito Federal contrata para realizar obras de repavimentación, las cuales fresan aproximadamente 3'000,000.00 de metros cuadrados de pavimento al año<sup>2</sup>, si bien para ellos éste material es un desecho, para las compañías privadas (ICA Y TRIBASA) es un material bien aceptado puesto que cuentan con Plantas Recicladoras de Mezcla Asfáltica.

Por otro lado, el liberar la producción de mezcla asfáltica a particulares encaminaría a liberar el precio del producto a cantidades por arriba del costo de producción de la Planta de Asfalto, es por eso que el objetivo de la misma se verá correspondido técnica y económicamente con la implantación de una nueva tecnología que le traerá resultados favorables.

Actualmente la Planta de Asfalto es reguladora de la calidad y el precio de la mezcla asfáltica.

Es importante mencionar que hay Plantas particulares que reciclan mezcla asfáltica que no cumplen con las especificaciones de calidad, pues han sido diseñadas para realizar trabajos como pavimentación en vías terciarias de tránsito liviano, estacionamientos y bacheo, en donde las especificaciones de calidad no son tan estrictas. En la evaluación técnica se tratará este caso

1 - Fuente: Comité de Operaciones de la Planta del Gobierno del D.F. de Octubre a Diciembre de 1998

2 - Fuente: Secretaría de Obras Públicas, Ingeniero Cesar Buenrostro. Reunión UMA<sup>1</sup>, Noviembre del 2000

En el capítulo I se menciona cómo está constituida en la actualidad la Planta de Asfalto, considerando el total de la zona industrial.

En el capítulo II se refiere a las principales definiciones de materias primas utilizadas en la producción de la mezcla asfáltica, así como también se explica el proceso de producción de mezcla asfáltica actual.

En el capítulo III se habla acerca del fresado que será una de las principales materias primas a reciclar, además de describir las principales vialidades primarias que es donde se fresa actualmente.

El capítulo IV muestra las técnicas de reciclado y maquinaria utilizada para tal efecto, centrando la propuesta técnica en tres plantas diferentes de mezcla en caliente que aceptan material recuperado.

Y en el último capítulo se toca el tema de la evaluación económica, desde el estudio de mercado hasta la elección de la mejor opción. El estudio se realizó pronosticando la demanda de mezcla asfáltica del próximo sexenio, puesto que la Planta de Asfalto es del Gobierno del D.F. y políticamente tendrá que convenir para dicho periodo.

### ***Justificación***

Los pavimentos se deterioran paulatinamente con el tiempo, bajo la acción del tráfico y de los elementos ambientales.

Cuando aparecen los primeros signos de deterioro, debe mantenerse el nivel de seguridad y confort mediante operaciones de conservación y renovación superficial. Los bacheos y tratamientos superficiales prolongan la vida de un pavimento, pero a mediano plazo el deterioro alcanza un nivel que hace necesario proceder mediante técnicas de rehabilitación y restituir las cualidades perdidas.

La Planta de Asfalto surte el 70 % de la mezcla asfáltica para pavimentación, repavimentación y bacheo en la Ciudad de México, con materias primas 100% vírgenes. Cabe señalar que el material reciclado es propiedad del Gobierno local.

Por otro lado, la cantera de Parres que es propiedad de la Planta de Asfalto tiene una vida útil de 17 años a un ritmo de producción actual. La vida útil de la Cantera aumentaría considerablemente al reciclar el producto fresado.

Las tres plantas con que cuenta la Planta de Asfalto ya cumplieron su vida útil y por consecuencia el mantenimiento tiene que ser muy riguroso generando altos costos además las refacciones son difíciles de encontrar. Por otro lado la calidad del producto es muy difícil de controlar a altos volúmenes de producción, ocasionando el 2% de rechazo (merma) de material que se reflejan en pérdidas importantes

La situación actual donde la disponibilidad de medios es limitada y los recursos naturales son cada vez más escasos, lejanos y costosos, exige propuestas ingenieriles que den solución a los problemas derivados de la gestión de conservación, renovación superficial y rehabilitación de carreteras y vialidades.

En este sentido las técnicas de reciclado constituyen una alternativa eficiente, que permiten el aprovechamiento de los materiales existentes en el pavimento, reutilizándolos para operaciones de rehabilitación.

La "Industria carretera" ha superado los obstáculos económicos que se oponían a la ejecución de reciclados de pavimentos asfálticos envejecidos, con procedimientos prácticos y poco contaminantes. La participación de fabricantes de equipos de producción, de construcción, de ingenieros civiles, mecánicos, industriales y expertos en asfalto ha sido definitiva

### ***Perspectivas de la Planta de Asfalto***

La Planta de Asfalto cumple con una misión estratégica del Gobierno del Distrito Federal su actividad productora y reguladora del mercado permite repavimentar, mantener y bachear considerables cantidades de metros cuadrados, a un precio por abajo de otras empresas.

No obstante, no puede continuar siendo una carga económica y ecológica, que afecta seriamente la imagen y las finanzas del actual Gobierno del D.F.

Por eso, de acuerdo a la información con la que se cuenta, es posible visualizar el siguiente escenario que se ha planteado la Planta

- Incrementar la eficiencia de la planta, para lo cual será necesario invertir en una nueva planta con tecnología de punta, que permita la operación en condiciones óptimas de producción (aceptando reciclado) y control ambiental, además de cubrir la demanda total del mercado en el D.F. y si es posible vender mezcla a las zonas aledañas, regulando el precio del mercado y la calidad del producto.

### ***Hipótesis***

La demanda real del asfalto reciclado para el periodo 2000-2006 será tal que avalará satisfactoriamente la propuesta de instalar una Planta de reciclado de mezcla asfáltica en la Planta del Gobierno del Distrito Federal.

La vida útil de la mina se prolongará puesto que no se necesitará explotarla al ritmo actual para satisfacer las necesidades de la producción de mezcla asfáltica, además dicha Planta constituye un factor no contaminante.

La Planta de Asfalto del D.F. ya no trabajará con pérdidas, se generarán utilidades, además de que seguirá regulando el precio del mercado y la calidad del producto.

## *Fases durante la elaboración de la Tesis*

En la fase A de la tesis se visitó la Planta de Asfalto del Gobierno del Distrito Federal con el propósito de tener una visión general del funcionamiento operativo-productivo de la misma y poder asimilar su problemática actual. Asimismo se recopiló información acerca de la historia de la Planta y datos de índole administrativo y productivo.

Para la fase B, se analizó el problema de la Planta de Asfalto con la técnica ¿por qué, por qué?, ¿cómo, cómo? y se estableció el objetivo de la tesis.

En la siguiente fase se concertó una reunión con la Gerencia General de la Planta de Asfalto, donde se expuso y sugirió el tema de tesis, cuyo objetivo es plantear un proyecto de renovación tecnológica, con la cuál se cubra la demanda de mezcla asfáltica del Distrito Federal, tomando en consideración los factores de recursos naturales y medio ambiente.

De la misma forma se asistió a exposiciones relacionadas con el tema del asfalto, como fueron el Seminario de Construcción de Pavimentos de la Ciudad de México, celebrado en las Instalaciones del Colegio de Ingenieros Civiles de México y el Primer Congreso Nacional de Asfalto en las mismas instalaciones.

En esta misma fase se comenzó con la recopilación teórica del tema de estudio, "La Mezcla Asfáltica".

En la fase D del trabajo con el propósito de conocer como opera actualmente la competencia de la Planta de Asfalto y de saber específicamente el tipo de tecnología (máquinas recicladoras de mezcla asfáltica) con la que cuentan, se realizó una visita a las instalaciones de PROBICA, recabando más información acerca del tema.

Para la fase E, se realiza el estudio de mercado con base en datos recopilados en la fase A del proyecto, así como en información recavada acerca del mercado del asfalto en el Distrito Federal.

Posteriormente en la fase F, se realizó la investigación de las máquinas recicladoras de mezcla asfáltica, obteniendo características económicas y técnicas de las mismas, con el fin de realizar la evaluación económica de la renovación tecnológica de la Planta.

En la última fase del proyecto se realiza la evaluación económica del proyecto de renovación tecnológica y se concluye el trabajo

## Fases durante la elaboración de la Tesis

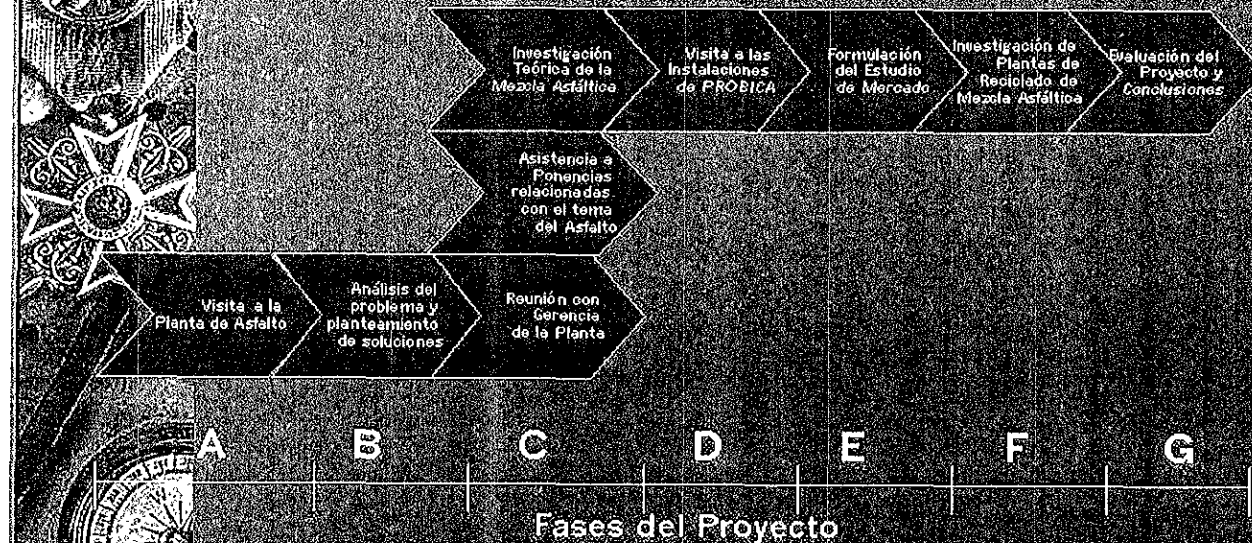


Figura 0.1



# CAPITULO I

---

---

## CAPÍTULO I

### PLANTA DE ASFALTO DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

#### *Antecedentes Históricos de la Planta de Asfalto*

La "Planta Productora de Mezclas Asfálticas de Mixcoac" fue creada el 28 de junio de 1956, mediante el acuerdo 1834 por las autoridades del Distrito Federal con el propósito de atender la demanda de mezclas asfálticas y agregados pétreos, que permitieran la pavimentación y mantenimiento de las vialidades existentes y las que iban surgiendo como consecuencia del crecimiento de la Ciudad de México. Siendo la primera ubicación de la planta en la Av. San Antonio, Col. Mixcoac así como en la cantera donde hoy se ubica el Estadio Azteca, posteriormente en el año de 1968 la cantera se trasladó a la Av. de la Imán, donde se ubica hoy día la planta.

Entonces sólo existían plantas particulares que no tenían la suficiente producción para satisfacer la demanda, y presentaban precios muy elevados, además que la calidad de las mezclas no era uniforme ni cumplía con los estándares mínimos

El 15 de enero de 1973, se emitió el Acuerdo número 45 en el cual la planta se adhiere a la Secretaría de Obras y Servicios y se le otorga el carácter de Unidad Industrial, denominándose como "Planta de Asfalto del Departamento del Distrito Federal" para la producción de mezclas asfálticas y de triturado pétreos destinados a la construcción y conservación del pavimento de las vías públicas del Distrito Federal.

El 3 de enero de 1975 las instalaciones de la planta fueron reubicadas en la Av. de la Imán, Delegación Coyoacán dado el crecimiento y modernización de esta Unidad Industrial. En ese año, se inició además la explotación de la cantera oriente propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México, cuya concesión del banco terminó en 1995, siendo este lugar habilitado para construir las instalaciones de entrenamiento de los PUMAS de la UNAM, además de tener una zona de reserva ecológica.

El 28 de enero de 1986 se creó el Comité de Operación de la Planta de Asfalto, por acuerdo número 001 del Departamento del D.F., publicado en el Diario Oficial de la Federación en la misma fecha

El 26 de mayo de 1988 se publicó el decreto presidencial por medio del cual se reforma y adiciona el Reglamento Interior del Departamento del Distrito Federal en sus artículos 2do. Y 50 bis, relativos a la creación y regulación jurídica de la Planta de Asfalto como órgano desconcentrado del propio Departamento del Distrito Federal.

En 1991 se adquirió el predio que se localiza a un costado del poblado de Parres en la Delegación de Tlalpan, en ese año se firmó un convenio de concesión de la explotación con los comuneros de Topilejo y en el año de 1992 se firmó otro con los vecinos de Parres, quedando concluidas las obras de infraestructura e instalación de equipos de la nueva "Planta productora de Triturados Basálticos" a principios del año de 1995. La cantera en Parres, empezó a suministrar triturado basáltico a la Planta de Asfalto en Coyoacán a finales del mes de abril del mismo año.

### ***Objetivo institucional***

Producir la mezcla asfáltica, material estratégico, que demandan las Delegaciones, Direcciones Generales de la Secretaría de Obras y Servicios y Otras Dependencias del Gobierno del D.F., para sus trabajos de pavimentación, repavimentación y mantenimiento de las vialidades de la Ciudad de México; regular el mercado de este producto en el Distrito Federal y desarrollar programas de investigación tecnológica para el mejoramiento de su producción

### ***Comité de operación***

Se creó con la finalidad de fortalecer la estructura y funcionamiento de la Planta de Asfalto y para que ésta cuente con la participación sistemática y coordinada de las diversas unidades administrativas y órganos desconcentrados del propio Departamento y de la Secretaría de la Contraloría General de la Federación.

## Funciones del Comité de Operación

- Revisar y adoptar las medidas necesarias, a fin de que su operación se apegue a las *normas en vigor*
- Examinar y aprobar, en su caso, los programas y presupuestos anuales, y de corto plazo.
- Determinar la política general relativa a finanzas, capital gastos, precios, superávit y déficit.
- Determinar la política de la administración de recursos humanos.
- Determinar la política de administración de recursos materiales
- Aprobar la organización y funciones de las áreas en cuestión.
- Recibir y evaluar el informe de actividades del ejercicio presupuestal que presente el titular del área a su consideración y aprobarlo en su caso, y
- Proponer al Jefe de Gobierno del Distrito Federal las acciones que coadyuven al cumplimiento eficiente de las atribuciones y funciones del órgano desconcentrado o de la unidad industrial a que se refiere este ordenamiento.

El comité de Operación es el que calificará y dará el fallo de la evaluación del proyecto de la planta de asfalto recicladora para dicha zona industrial.

## ***Descripción de la Planta de Asfalto***

La Planta de Asfalto, además de producir mezcla asfáltica para abastecer los requerimientos del Gobierno del Distrito Federal, vende su producto a otras dependencias oficiales y a particulares

En la década de los setenta, la Planta contaba con un laboratorio de investigación con equipo de punta, donde se elaboró la fórmula de las primeras mezclas ahuladas procesadas en México, por lo que fue pionera en la adición de polímeros y hule de llanta.

En la época de construcción de los ejes viales, la Planta llegó a tener una producción de 11,000 ton / día.

## Recursos Humanos

En la tabla 1.1 y 1.2 se muestra la composición básica del personal que labora en la Planta de Asfalto.

PERSONAL	PLAZAS
ESTRUCTURA	20
CONFIANZA	18
BASE	631
TOTAL	669

Tabla 1.1

Fuente: Subgerencia de Recursos Humanos y Servicios Generales

PERSONAL	PRODUCCIÓN	ADMÓN.	COMISIÓN SINDICAL	SUMA
ESTRUCTURA	9	11	-	20
CONFIANZA	10	8	-	18
BASE	399	208	24	631
TOTAL	418	227	24	669
	62%	34%	4%	100%

Tabla 1.2

Fuente: Subgerencia de Recursos Humanos y Servicios Generales

Es importante hacer énfasis que aplicando nuevas tecnologías y un estudio de trabajo detallado, podría reubicarse al personal para hacerlo más productivo, pudiéndose dar el caso del recorte del mismo, objetivo no buscado en esta tesis, pero que es objeto de estudio.

En la figura 1.1 se muestra el organigrama de la Planta de Asfalto.

# ORGANIGRAMA DE LA PLANTA DE ASFALTO DEL D.F.

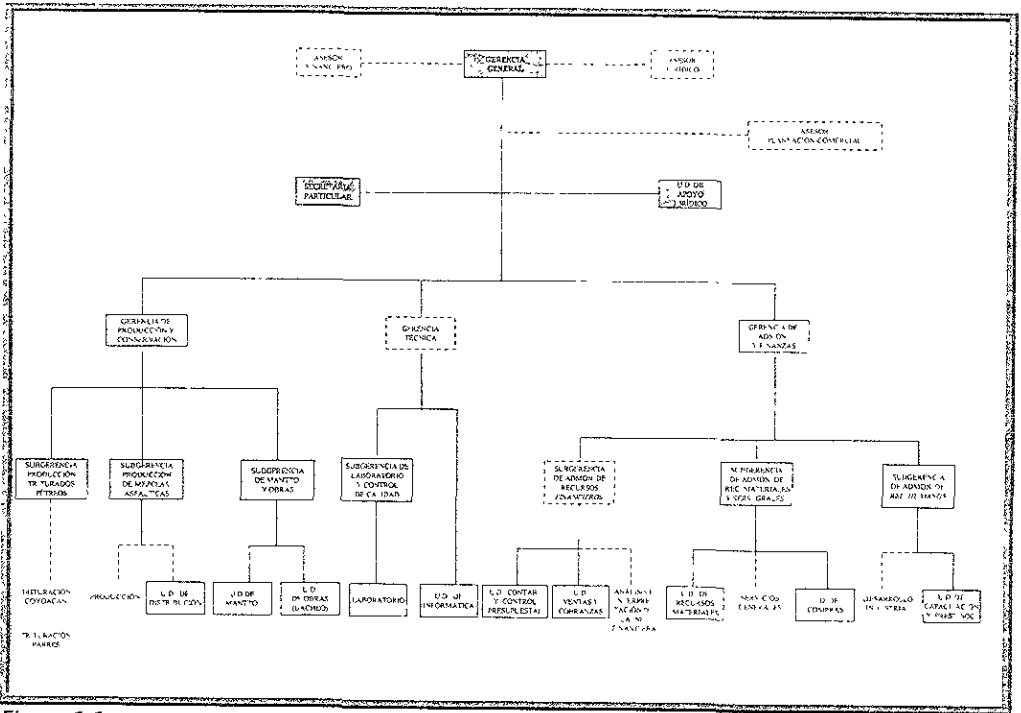


Figura 1.1

## Capacidad de Producción

Tiene una capacidad instalada "ideal" de producción de mezcla asfáltica de 1'050.000 toneladas anuales, considerando 250 días hábiles se pueden producir 4.200 toneladas diarias en tres turnos, sin embargo, debido a lo antiguo que son las máquinas, no se puede producir diario la cantidad mencionada, pues los equipos tienen que estar en constante mantenimiento.

Cuenta con cos unidades industriales

1 - La Planta Productora de Mezclas Asfálticas, Av. del Imán No 263, Col. Ajusco, Delegación Coyoacán.

- Superficie: 180,000 m<sup>2</sup>
- Antigüedad 26 años
- Dos conjuntos de trituración.
- Tres Plantas mezcladoras de asfalto en caliente, la No.5, No.6 y No.7, que datan de los años 1975, 1979 y 1980 respectivamente.
- 8 unidades de maquinaria pesada.
- En esta planta están ubicadas las oficinas generales.

2.- La Planta Productora de Triturados Basálticos (P.P.T.B.), Km. 38 de la carretera federal México-Cuernavaca, Delegación Tlalpan.

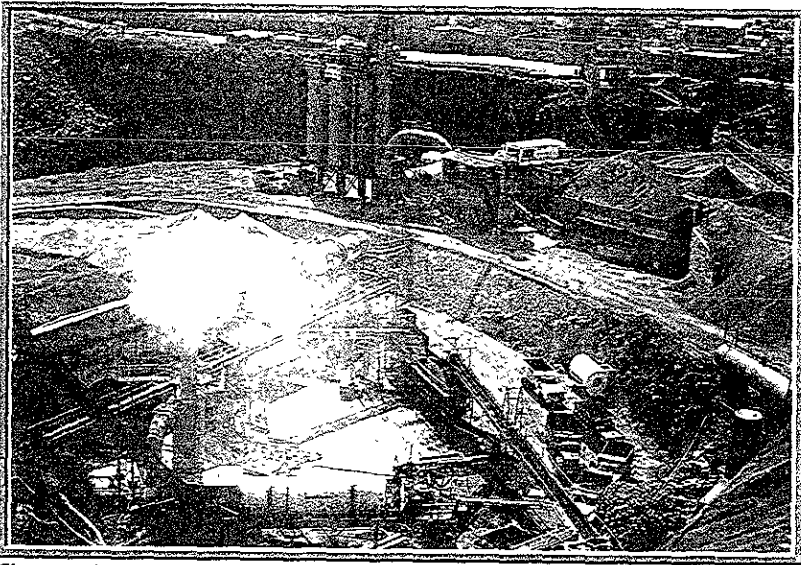
- Superficie: 1'000,000 m<sup>2</sup>.
- Antigüedad: 5 años.
- Dos conjuntos de trituración
- 20 unidades de maquinaria pesada para realizar los trabajos de extracción de roca mediante el uso de explosivos.
- Vida útil del banco de materiales de 17 años a un ritmo de producción de 2,500 ton / día
- Se invirtió \$30'933,959 en instalaciones y \$ 18'235, 508 en maquinaria, equipos, materiales y refacciones ( valores de 1995)
- El triturado pétreo que se obtiene es enviado en camiones a las instalaciones de Coyoacán (28.5 Km.).



Figura 1.2

## *Maquinaria y equipo*

Como se mencionó anteriormente la capacidad instalada "ideal" de la planta es de 1'050,000 toneladas al año de mezcla asfáltica, en tres turnos. Sin embargo, el deterioro de las máquinas por el uso al paso de los años, da pie a un constante mantenimiento, obteniendo resultados favorables pero no óptimos para producir el millón de toneladas. Cabe señalar que las plantas ya cumplieron su vida útil y hoy en día la única planta en condiciones considerables de operación es la planta No.7, la cual se muestra al fondo de la figura 1.3



*Figura 1.3 Panorámica de las instalaciones de la Planta de Asfalto del Gobierno del Distrito Federal.*

## *Mercado*

Existe la obligación de las Delegaciones, Direcciones Generales de la Secretaría de Obras y Servicios, otras entidades del Gobierno del Distrito Federal y sus contratistas de adquirir las mezclas asfálticas en la Planta de Asfalto. Dichas entidades del Distrito Federal absorben el 95 % de la producción, quedando el 2 % para ventas a particulares y entidades federativas.



El producto cumple con las normas de calidad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Además, la Planta de Asfalto del Gobierno del Distrito Federal es reguladora del precio de venta de las mezclas asfálticas en el mercado local

Del total de la mezcla asfáltica producida para el mercado local, el 70 % lo produce la Planta de Asfalto del D.F y el 30 % restante las compañías privadas, de las cuales TRIBASA suministra el 70 %, e ICA (XOMETLA) el 30 %.

A continuación se presentan algunos indicadores que muestran el comportamiento del mercado en el Distrito Federal:

AÑO	MEZCLA ASFÁLTICA CONSUMIDA (Ton.)	PRODUCIDO POR PADF (Ton)	PADF %	INSTITUCIONES PRIVADAS %
1995	607,000	426,000	70	30
1996	846,000	450,000	53	47
1997	740,000	394,000	53	47
1998	936,000	641,000	68	32
1999	979,000	685,000	70	30
2000	1,143,000	800,000	70	30

Tabla 1.3

Fuente: Unidad Departamental de Distribución

Entre los principales clientes que posee la planta de asfalto encontramos:

CLIENTES	CONSUMO DE MEZCLA ASFÁLTICA
Secretaría de Obras Servicios (pavimentación y repavimentación de la red primaria)	69%
Delegaciones (pavimentación de red secundaria y terciaria)	29%
Entidades Federativas (CAPUFE)	1%
Particulares (Estacionamientos, Fraccionamientos)	1%

Tabla 1.4

FUENTE: Unidad Departamental de Ventas

Entre las compañías privadas que interactúan en el área metropolitana en la producción de mezcla asfáltica se mencionan las siguientes

- TRIBASA
- APICSA
- ICA (XOMETLA)
- COTEPSA
- CAMSA
- PEGUSA
- ASFALTOS INDUSTRIALES
- JVA
- MAJESA
- PROBICA
- MONSERRAT
- GCI

En el capítulo V se mostrará el estudio de mercado para evaluar la modernización de la Planta de Asfalto por medio de la planta recicladora de mezcla asfáltica y se señalará el impacto que tiene cada una de las empresas mencionadas respecto a su producto en calidad, servicio y precio.

A continuación se muestra un análisis en general de la pavimentación en el Distrito Federal, el cual se detalla a fondo en el ya mencionado capítulo V.

#### Red vial

RED VIAL	CANTIDAD
Total de red vial de carpeta asfáltica	115.5 millones de m <sup>2</sup> <sup>2</sup>
Total de red primaria	716 Km *
Estimación de red primaria	18 millones de m <sup>2</sup> <sup>2</sup> <sup>**</sup>
Estimación de red secundaria	97.5 millones de m <sup>2</sup> <sup>2</sup> <sup>***</sup>

Tabla 1.5

FUENTE:

\* Secretaría de Obras y Servicios

\*\* Planta de Asfalto del Gobierno del Distrito Federal

\*\*\* INEGI

Estado en que se encuentra la Red Vial Primaria.

Dado que en la actualidad únicamente se obtiene material fresado de la red vial primaria, es importante analizar el estado de ésta para poder tomar como base los datos arrojados por dicho análisis, y así establecer el número de toneladas de material fresado con el que se contará para su re-uso. En este sentido, a continuación se muestra el estado en que se encuentra dicha red vial:

<b>AÑO</b>	<b>BUENAS CONDICIONES DE RODAMIENTO EN m<sup>2</sup></b>	<b>REQUIERE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN m<sup>2</sup></b>	<b>REQUIERE MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN m<sup>2</sup></b>
1998	4 856,614	5,550,416	6,938,020
1999	6,764,570	5,376,966	5,203,515
AL 30 SEP 2000	10,992,634	4,509,713	1,842,703

*Tabla 1.6*

*Fuente: Secretaría de Obras y Servicios, EXPOSEFI 2000, Facultad de Ingeniería UNAM, Octubre del 2000*

<b>AÑO</b>	<b>BUENAS CONDICIONES DE RODAMIENTO % EN m<sup>2</sup></b>	<b>REQUIERE MANTENIMIENTO PREVENTIVO % EN m<sup>2</sup></b>	<b>REQUIERE MANTENIMIENTO CORRECTIVO % EN m<sup>2</sup></b>	<b>TOTAL %</b>
1998	28	32	40	100
1999	39	31	30	100
AL 30 SEP 2000	63	26	11	100

*Tabla 1.7*

*Fuente: Secretaría de Obras y Servicios, EXPOSEFI 2000, Facultad de Ingeniería UNAM, Octubre del 2000*

# CAPITULO II

---

---

## CAPÍTULO II

### LA MEZCLA ASFÁLTICA

A través del tiempo el asfalto y sus mezclas han ido modificándose desde las referencias a los afloramientos de asfalto en el Mar Muerto y de su utilización en la India como impermeabilizante de muros en un almacenamiento de agua, ya hace 4000 años se reporta su uso en impermeabilizaciones y regado en caminos. El asfalto y su utilización han sido parte de la historia. 1

En la actualidad no podríamos concebir el mundo que vivimos sin la mezcla asfáltica, que pavimenta los caminos y nos permite la comunicación, y el intercambio de productos y servicios.

El concreto asfáltico es el producto de la unión de materiales pétreos y del asfalto, los cuales nos lleva a la conjunción de materiales producidos por la naturaleza a través de los siglos y procesados por el ingenio del ser humano.

*Prehistoria.* Se han encontrado esqueletos de animales prehistóricos conservados intactos hasta nuestros días en depósitos superficiales de asfalto en el pozo La Brea, en Los Ángeles California.

*3200 a 540 a.c.* Excavaciones arqueológicas indican el amplio uso del asfalto en Mesopotamia y en el valle del Indo como aglomerante para albañilería y construcción de carreteras y para capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua.

*300 a.c.* El asfalto se emplea extensamente en Egipto en los embalsamamientos.

*1802 d.c.* En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras.

*1838 d.c.* En Filadelfia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras.

---

1 - Primer Congreso Nacional del Asfalto, La producción de la mezcla asfáltica por Ing. Jaime David Berebichez Prensky, Agosto de 1999

1870 d.c. (aproximadamente). Construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey, por el profesor E. J. DeSmedt, químico belga.

1876 d.c. Construcción del primer pavimento de tipo sheet asphalt en Washington D.C., con asfalto de lago importado.

1902 d.c. En los Estados Unidos se obtienen de la destilación del petróleo aproximadamente 20 000 ton. de asfalto por año.

A partir de 1924. El asfalto de petróleo producido anualmente en Estados Unidos ha crecido constantemente desde 3 millones de toneladas en 1924 a unos 9 millones de toneladas en 1946.

A partir de esta fecha, se ha más que duplicado, llegando a cantidades increíbles.

## **Definiciones**

Una de las instituciones más reconocidas a nivel mundial en materia de asfaltos es el "Asphalt Institute", es por eso que las definiciones que se mencionan a continuación han sido redactadas por esta organización de su libro "Principios de Construcción de pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente" publicado por ellos mismos en Agosto de 1982.

### *Asfalto*

El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando) a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

Casi todo el asfalto usado en los Estados Unidos es por refinerías modernas de petróleo y es llamado asfalto de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales.

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente. El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resiste a muchos tipos de daño químico.

El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto y si se toman medidas durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento.

### *Propiedades del asfalto*

Básicamente, el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos.

Los asfaltenos no se disuelven en el heptano. Los asfaltenos, una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza.

Los maltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas. La proporción de asfaltenos y maltenos en el asfalto puede variar debido a un sinnúmero de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado. Las reacciones y cambios que pueden ocurrir incluyen: evaporación de los compuestos más volátiles, oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburo con moléculas de oxígeno), polimerización (combinación de dos o más moléculas para formar una sola molécula más pesada), y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente

las propiedades del asfalto. Las resinas se convierten gradualmente en asfaltenos, durante estas reacciones, y los aceites se convierten en resinas, ocasionando así un aumento en la viscosidad del asfalto

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento

En síntesis el asfalto es un material de particular interés para el ingeniero porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, pueden licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

### *Agregado*

Agregado, también conocido como roca, material granular, o agregado mineral, es cualquier material duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria, y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso, y entre el 75 y el 85 por ciento, en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante.

### Clasificación de agregados

Las rocas se dividen en tres tipos generales: sedimentarias, ígneas, y metamórficas. Esta clasificación esta basada en el tipo de formación de cada roca

Rocas sedimentarias – Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, o a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (como es el caso de las areniscas y la arcilla esquistosa), de residuos de productos animales (algunas calizas), de plantas (carbón), de los productos finales de una acción química o una evaporación (sal, yeso), o de la combinación de cualquiera de estos tipos de materiales.



Dos términos que usualmente se aplican a rocas sedimentarias son silíceo y calcáreo. Rocas sedimentarias silíceas son aquellas que contienen un porcentaje alto de sílice. Aquellas rocas que contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio (calizas) son llamadas calcáreas.

Las rocas sedimentarias se encuentran, característicamente, en capas (estratos), dentro de la corteza terrestre. Esta estratificación es el resultado directo de la manera en que se formaron las rocas sedimentarias: a partir de depósitos de partículas, generalmente sedimentados sobre el fondo de lagos o mares antiguos.

**Rocas Ígneas .** Las rocas ígneas constan de material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado. Hay dos tipos de rocas ígneas: extrusivas e intrusivas.

Las rocas ígneas extrusivas son formadas a partir del material que se ha vertido afuera, sobre la superficie terrestre, durante una erupción volcánica o alguna actividad geológica similar. La roca resultante tiene una apariencia y estructura vidriosa, debido a que el material se enfría rápidamente al ser expuesto a la atmósfera. La riolita, la andesita, y *el basalto* son ejemplos de rocas extrusivas.

Las rocas intrusivas, por otro lado, se forman a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Al ser atrapado en la corteza, el magma se enfría y endurece lentamente, perdiendo la formación de una estructura cristalina. En consecuencia, la roca ígnea intrusiva es cristalina en estructura y apariencia; siendo ejemplos el granito, la diorita, y el grabro. Los movimientos terrestres y los procesos de erosión traen rocas intrusivas a la superficie terrestre, donde pueden ser explotadas en cantera y posteriormente usadas.

**Rocas Metamórficas-** Estas son generalmente rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por procesos de intensa presión y calor dentro de la tierra y también por reacciones químicas. Es muy difícil determinar el origen exacto de una roca metamórfica en particular, debido a que los procesos de deformación son muy complejos.

Muchos tipos de rocas metamórficas presentan un rasgo característico: los minerales están alineados en capas o planos paralelos. Partir la roca en el sentido de sus planos es mucho más fácil que partirla en sus otras direcciones. Las rocas metamórficas que exhiben este tipo de estructura se denominan foliadas. Ejemplos rocas foliadas son los gneises, los esquistos (formados de rocas ígneas) y la pizarra (formada de la arcilla esquistosa; una roca sedimentaria). No todas las rocas metamórficas son foliadas. El mármol (formado de las calizas) y la cuarcita (formada de las areniscas) son tipos comunes de rocas metamórficas que no presentan foliación.

## Fuentes de agregados

Los agregados usados en el pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados y agregados sintéticos o artificiales

**Agregados naturales.** Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y de degradación, tales como la acción del viento, el agua, el movimiento del hielo y los químicos. La forma de las partículas individuales es a largo plazo un producto de los agentes que actúan sobre ellas. Los glaciares, por ejemplo, usualmente producen rocas y guijarros redondeados. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas.

Los principales tipos de agregados natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define, usualmente, como partículas de un tamaño igual o mayor que 6.35mm (1/4 pulgada). La arena se define como partículas de un tamaño menor que 6.35 mm (1/4 pulgada) pero mayor que .075 mm (No 200). Las partículas de un tamaño menor que 0.075 mm (No 200) son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

Las gravas y las arenas también son clasificadas de acuerdo a su origen. Los materiales producidos en canteras abiertas y usados sin ningún procesamiento adicional son conocidos como materiales en bruto, y los materiales tomados de la ribera de los ríos son conocidos como materiales de canteras de ríos.

Los depósitos de gravas varían ampliamente en composición, pero usualmente contienen alguna cantidad de arena y limo. Los depósitos de arena también contienen, comúnmente, alguna cantidad de arena y limo. Las arenas de playa (algunas de las cuales se encuentran tierra adentro hoy en día) están compuestas de partículas de tamaño regular uniforme, mientras que las arenas de río contienen proporciones grandes de grava, limo y arcilla.

**Agregados procesados.** Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas mas apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaño antes de ser usados en la pavimentación

La roca es triturada por tres razones: para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, y para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas. El propósito principal de la trituración, en el caso de los fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que sea manejable. Sin embargo, los cambios en la textura superficial y en la forma de las partículas son también muy importantes.

### Clasificación general de rocas

CLASE	TIPO	FAMILIA
Sedimentarias	Calcáreas	Caliza Dolomita
	Silíceas	Arcilla Esquistosa Arenisca Horsteno Conglomerado Breccia
Metamórficas	Foliadas	Gneis Esquisto Anfibolita Pizarra
	No Foliadas	Cuarcita Mármol Serpentina
Ígneas	Intrusivas (de grano grueso)	Granito Sienita Diorita Garbo Peridotita Piroxenita Hornablendita
	Extrusivas (de grano fino)	Obsidiana Pómez Tufa Riolita Traquita Andesita Basalto Diabasa

Tabla 2.1

El tamizado de los materiales, después de triturarlos, resulta en una granulometría con cierto rango de tamaño de partícula. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste en mantener graduaciones específicas de agregados. Sin embargo, por razones económicas, el material triturado es usado tal y como sale del triturador, con muy poco o ningún tamizado. Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con los requisitos de la obra. El agregado triturado, sin tamizar, es conocido como agregado triturado sin cribar, y es usado satisfactoriamente en muchos proyectos de construcción de pavimento. Sin embargo, es esencial garantizar que la operación de triturado sea continuamente supervisada para poder producir un agregado que cumpla con especificaciones.

El triturado de algunos tipos de roca como las calizas, produce cantidades substanciales de pequeños fragmentos y partículas. Esta fracción de material es separada de las partículas que tienen diámetros iguales o mayores 6.35mm (1/4 de pulgada), casi siempre, y usada como agregado de arena triturada, o procesada hasta tamaños máximos de 0.60 mm (No. 30).

*Agregados sintéticos.* Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. Otros son producidos mediante el procesamiento de materias primas, para ser usados específicamente como agregado.

El producto secundario más comúnmente usado es la escoria de alto horno. Es una sustancia no metálica que brota a la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Una vez que es removida de la superficie del hierro, la escoria es transformada en pequeñas partículas al templarla inmediatamente en agua o al triturarla una vez que se ha enfriado.

Los agregados sintéticos manufacturados son relativamente nuevos en la industria de la pavimentación. Ellos son producto de la quema de arcilla, arcilla esquistosa, tierra diatomacea procesada, vidrio volcánico, escoria, y otros materiales. Los productos finales son típicamente livianos y tienen una resistencia muy alta al desgaste. Los productos finales son típicamente livianos y tienen una resistencia muy alta al desgaste. Los agregados sintéticos han sido usados en la pavimentación de cubiertas de puentes y cubiertas de techos, así como en capas superficiales de pavimento donde se requiere la máxima resistencia al deslizamiento.

### *Emulsión asfáltica*

Es una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de un agente emulsionante. Es un sistema heterogéneo que normalmente contiene dos fases inmiscibles (asfalto y agua) en donde el agua forma la fase continua de la emulsión, y pequeños glóbulos de asfalto forman la fase discontinua. La emulsión de asfalto puede ser de tipo aniónico (glóbulos cargados negativamente) o catiónico (glóbulos cargados positivamente), dependiendo del agente emulsionante.

### *Composición Granulométrica*

Todas las especificaciones de pavimento con mezcla asfáltica requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partícula este presente en ciertas proporciones.

### Densidad

El grado de solidez que puede alcanzarse en una mezcla dada y que solo esta limitada por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la masa.

### Desgaste

Pérdida de masa a consecuencia de un fenómeno ocurrido.

### Adhesividad

Es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado.

### Absorción

La capacidad de un agregado al absorber asfalto

Tamaño máximo de la partícula

Es el tamaño más grande de las partículas en la muestra ya determinado, las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado

Humedad

Cantidad de agua en el agregado pétreo

Por ciento de finos

Cantidad de finos de agregado que pasan la malla 200.

Equivalente de arena

Cantidad en porcentaje de arena que pasa por la malla No 10 y no se disuelve con el agua.

Estabilidad

La estabilidad de una mezcla asfáltica es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (Corrugaciones) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Fluencia

Es el desplazamiento al deformarse el pavimento bajo la carga del tránsito.

Vacíos

Espacios vacíos en una mezcla compactada rodeados de partículas cubiertas de asfalto

Peso específico

Es la proporción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada.

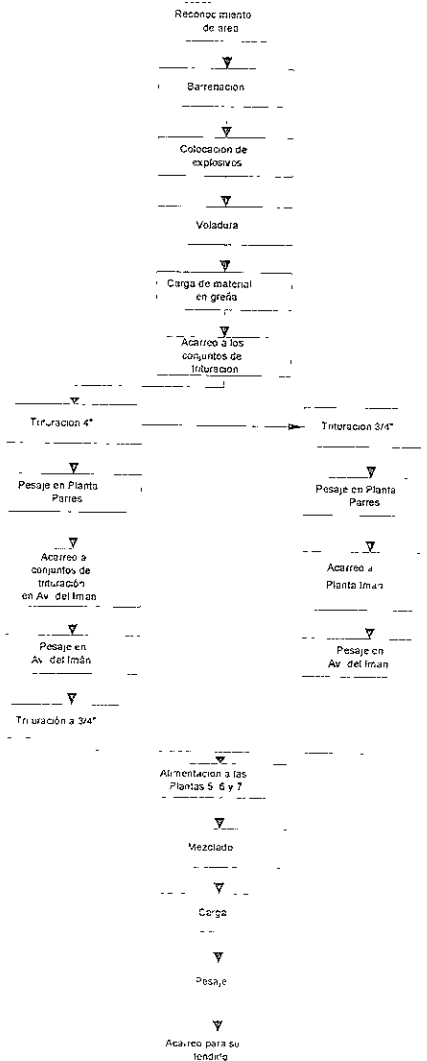
*Contenido óptimo de asfalto*

Es la cantidad de asfalto en una mezcla asfáltica, se determina según la zona y condiciones de la misma

## Proceso de Producción de la Mezcla Asfáltica en la Planta de Asfalto del Gobierno del D.F.

El tema central de esta tesis radica en la evaluación de una planta de mezcla asfáltica, la cual permita el reciclado del mismo. A continuación describimos el proceso de producción actual de la Planta de Asfalto del D.F., considerando desde las voladuras de la piedra, hasta el acarreo de la mezcla asfáltica.

### Explotación





Parres es una área de explotación, en donde se efectúan las voladuras en los mantos rocosos conforme a las normas y condiciones de seguridad establecidas por la Secretaría de la Defensa Nacional, esto con el fin de satisfacer las necesidades de materia prima solicitada por el área de producción de mezclas asfálticas

La explotación puede dividirse en las siguientes etapas.

- Reconocimiento de Área
- Barrenación
- Colocación de Explosivos
- Voladura

### Reconocimiento de Área

El área es estudiada y medida, adjunto con el trazo de barrenos. El terreno de voladura tiene una superficie de 100m X 360m.

### Barrenación

La Barrenación es realizada por máquinas perforadoras. Los barrenos tienen un diámetro de 3" X 3.30m. de profundidad

### Colocación de Explosivos

La cantidad de material explosivo utilizado es determinado por el número de barrenos programados. Se transporta el material explosivo al lugar de destino y se procede a su colocación.

Los principales componentes explosivos son:

- Explosivo Principal (Dinamita)
- Detonador (Iniciador)
- Explosivo Auxiliar (Carbonitro)
- Accesorios (mezcla detonador, sujetadores y mechas)

## Voladura

Después de que son colocados los explosivos correctamente, una persona será la asignada de encender el sistema. Los restantes se dirigirán a una zona de seguridad.

Después de un corto periodo de tiempo se tendrá una explosión controlada, obteniendo el material llamado "Piedra en Greña".

## Carga

La carga del material es realizada después de las voladuras. Maquinaria Pesada tal como palas mecánicas, cargadores frontales, camiones fuera de carretera y camiones rabones, son utilizados para tal fin.

## Acarreo

El acarreo es a través de camiones llamados fuera de carretera con capacidad de 60 toneladas, los cuales acercan el material a los conjuntos de trituración.

## Trituración.

La trituración se realiza en los conjuntos especificados para tal fin. Se cuenta con trituradoras primarias, secundarias y terciarias, además de cribas vibradoras.

La roca basáltica fracturada es depositada en dichos conjuntos y es triturada de acuerdo con las especificaciones que indique el laboratorio de control de calidad. La medida estándar del agregado para pavimentos del Distrito Federal es de  $\frac{3}{4}$ ". Más adelante se exponen las especificaciones de calidad de los materiales.

Cabe señalar que en Planta Parres se encuentran dos conjuntos de trituración, en donde no se dan abasto para la producción del triturado. Sin embargo en la Planta de Asfalto de Av. del Imán, se ubican otros dos conjuntos de trituración, es decir, que la roca en greña obtenida de la detonación, pasa por el conjunto de trituración primario de Parres, donde el material adquiere una medida de 4", y con ese tamaño es llevada a la planta de Av. del Imán para completar su proceso de trituración, dejándolo a una medida de  $\frac{3}{4}$ ".

## Carga, pesaje y acarreo

El triturado es cargado a camiones que lo transportan a la báscula, donde es registrado el peso y posteriormente enviado a las plantas de mezclas asfálticas 5, 6 y 7, estas ubicadas en Av. del Imán No. 263 en la delegación Coyoacán. Debido a la distancia recorrida por parte de los camiones de planta a planta, el camión se pesa nuevamente al ingresar a la planta de Av. del Imán, con objeto de llevar un mejor control.

## Almacenamiento

El almacenamiento del material triturado previamente revisado por el laboratorio de control de calidad, es depositado en los patios ubicados adjuntos a las plantas. Se cuenta con maquinaria pesada como tractores y empujadores frontales para el manejo de este material.

## Alimentación a las plantas

La alimentación a cada planta es realizada por maquinaria pesada, cada planta cuenta con un tractor o empujador frontal para tal hecho.

Debe tenerse cuidado especial en que el material no este segregado y que no falte éste en las tolvas alimentadoras de cada planta.

## Mezclado

Esta actividad se realiza en cada una de las plantas de mezclas asfálticas, ya sea con el sistema de tambor rotatorio o con el sistema de caja mezcladora.

Las plantas No.6 y No.7, cuentan con el sistema de tambor rotario continuo, es decir que el tambor funciona como secador y mezclador a la vez, es decir, que el asfalto AC-20 es inyectado directamente al tambor, logrando con esto tener una producción constante.

Por otro lado la planta No.5 tiene su tambor rotatorio, en donde su función es secar y quitar la humedad al triturado, pasando este proceso es transportado el triturado caliente a una caja mezcladora de paletas que funciona a base de bachas. es decir pesa 4 toneladas de triturado, agregándole el 7 % del peso en asfalto AC-20 y es mezclado, entregando cada 2 5 minutos una bacha

La capacidad de cada una de las plantas es estimada de la siguiente manera:

- Planta No. 5                    140 Ton/Hr
- Planta No. 6                    160 Ton/Hr
- Planta No. 7                    180 Ton/Hr

El laboratorio de control de calidad establece las especificaciones de la mezcla asfáltica.

#### Carga

Una vez pesado el camión (sin carga), debe pasar a una de las plantas a cargar, y se le surtirá de acuerdo a las características que soporte el camión y los lineamientos que dicta la planta.

#### Pesaje

Después de que el camión cargo en la planta de mezcla asfáltica es nuevamente pesado con el objeto de obtener el peso neto y facturar de acuerdo a él.

#### Acarreo

Después de pasar a la báscula, el camión se retira y hace entrega de la mezcla asfáltica en su destino final.

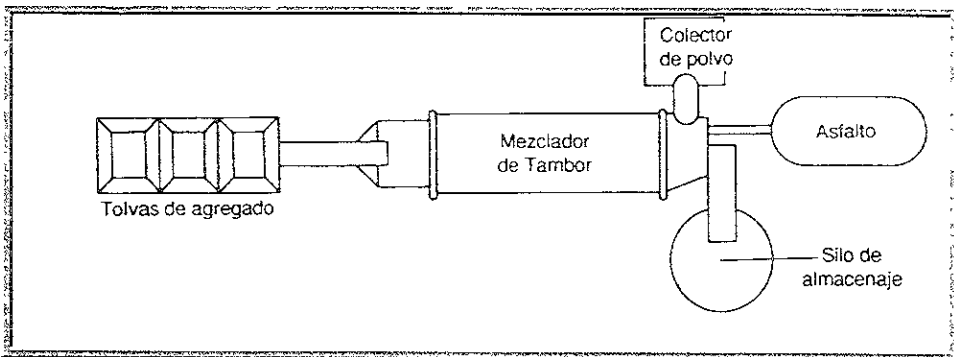


Figura 2.1 -Planta de asfalto de Tambor Típica

**Especificaciones Principales de calidad de la mezcla asfáltica (en caliente) para emplearse en la construcción de pavimentos y bacheo de vialidades en la Ciudad de México.**

Agregados

Composición Granulométrica:

MALLA	PORCIENTO QUE PASA
3/4"	100
1/2"	100 - 75
3/8"	100 - 65
1/4"	80 - 53
No. 4	70 - 47
No. 10	48 - 32
No. 20	33 - 22
No 40	25 - 16
No 60	20 - 12
No 100	15 - 9
No. 200	10 - 5

Tabla 2.1

## Clasificación petrográfica (Basalto)

PARÁMETRO	VALOR
Densidad mínima (Kg/m <sup>3</sup> )	2,690
Desgaste (%)	40 máximo
Adhesividad (%)	25 máximo
Absorción (%)	2.9
Tamaño máximo de la partícula (mm)	38
Por ciento de finos (%)	4 mínimo – 8 máximo
Humedad natural (%)	1 máximo
Equivalente de arena (%)	65 mínimo

Tabla 2.2

## Mezcla Asfáltica

Valores a cumplir, determinados por el método Marshall, en especímenes compactados con 75 golpes en cada cara, con esto se simula la compactación en el campo.

PRUEBAS	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN
Fluencia (mm)	Menor de 4
Estabilidad (Kg)	Mayor de 700
Vacios ocupados con aire (%)	3 a 5
Vacios Ocupados con asfalto (%)	70 – 80
Densidad teórica máxima (D.T.M.) (Kg/m <sup>3</sup> )	2350
Contenido óptimo de asfalto (%)	6.5 +/- 0.5
Peso específico en el campo al terminar la compactación (kg/m <sup>3</sup> )	2230 – 2245

Tabla 2.3

Temperatura de manejo de la mezcla

Temperatura de elaboración	125 a 140 °C
Temperatura de tendido	100 a 120 °C
Temperatura de compactación	100 °C mínimo

*Tabla 2.4*

# CAPITULO III





# CAPÍTULO III

## FRESADO, REHABILITACIÓN Y PRINCIPALES REDES VIALES

### *Introducción*

El tema central de esta tesis es el reciclado de mezcla asfáltica, y parte del proceso lo conforma el fresado, que gracias a esta actividad obtendremos la principal materia prima. En nuestra evaluación del capítulo V no consideraremos la maquinaria de fresado, ya que esta se posee actualmente para las repavimentaciones en las vías primarias de esta gran Ciudad de México. La información y los costos que mencionamos en este capítulo, así como las fotografías de la maquinaria fueron proporcionados por la Distribuidora y Arrendadora de Maquinaria para Caminos e Industria, S.A. de C.V. (DIMAQ).

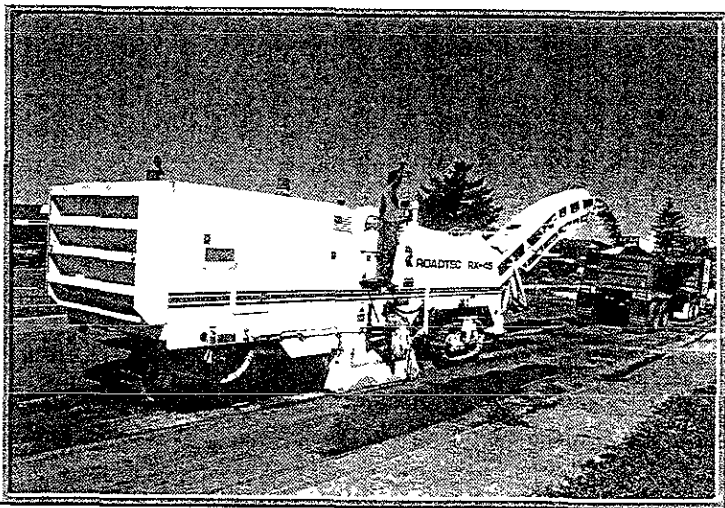
Las máquinas fresadoras de pavimentos asfálticos pequeñas se introdujeron por primera vez alrededor de 1970. Su desarrollo se había extendido con rapidez para mediados de la década de los años 70. Las máquinas originales tenían anchos de corte muy estrechos. Sin embargo, para 1976 las máquinas podían cortar un carril completo de 4 metros de ancho. Las primeras máquinas necesitaban mucho mantenimiento y eran poco fiables. Los dientes de corte costaban de USD \$3,00 a USD \$5,00 cada uno y duraban poco. Ahora cuestan mucho menos y duran más.

Desde la década de 1970, las fresadoras han crecido en tamaño y potencia. Ahora son muy simples, confiables y de alta capacidad. El desarrollo de los dientes de corte ha también avanzado de modo significativo. Hoy día el costo medio de un diente de corte es de USD \$2,00 y su duración equivale a la de tres dientes de los modelos anteriores más caros. La vida útil más prolongada de los dientes reduce de modo significativo el trabajo necesario para reemplazarlos. Y la potencia más alta aumenta la velocidad de producción y reduce los costos de modo significativo.

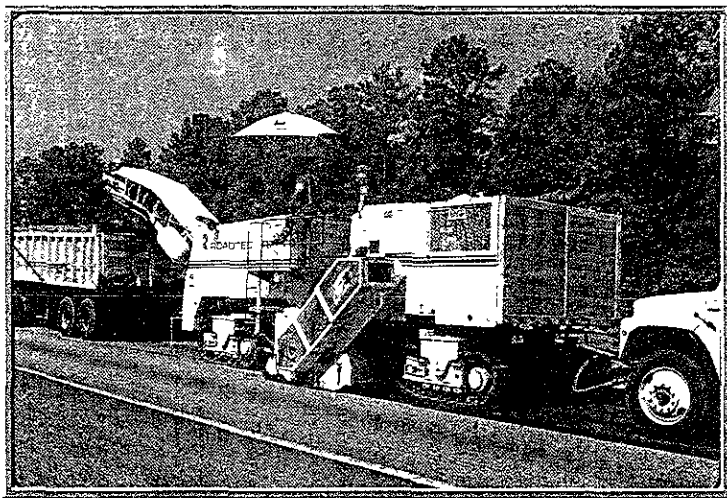
La Figura 3.1 ilustra una máquina típica de la época de los 70's. La figura 3.2 y 3.3 muestra una máquina típica de la actualidad.



*Figura 3.1*



*Figura 3.2*



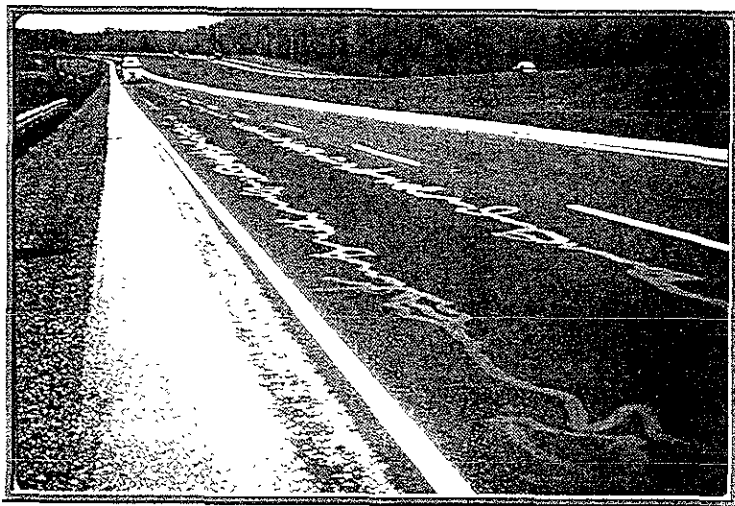
*Figura 3.3*

Muchos contratistas y agencias gubernamentales no están conscientes de las reducciones de costo logradas en años recientes por fresar el material y recuperarlo. Por consiguiente, no utilizan las máquinas de modo tan efectivo como pudieran.

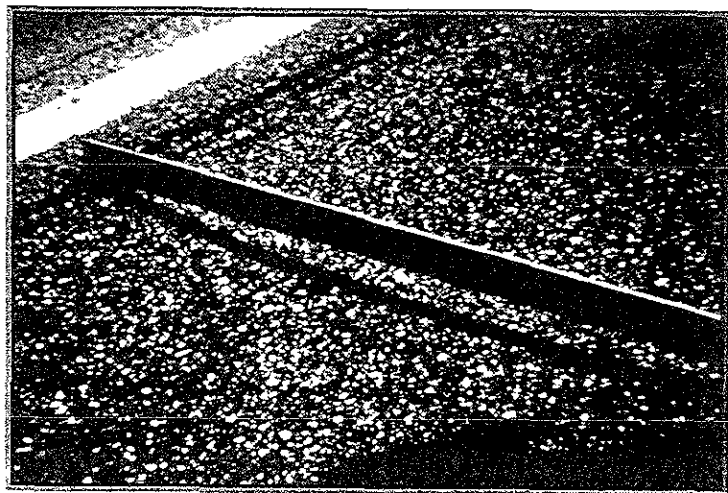
### *Fresado*

El fresado (también denominado perfilado en frío) ofrece muchas ventajas para el ingeniero de carreteras. Veinte años atrás, las carreteras se diseñaban para un tránsito menor y para vehículos más livianos que los hallados hoy en día. En consecuencia, muchas carreteras sufren deformaciones y fallas prematuras. El restablecimiento de una superficie uniforme es esencial si se han de reparar apropiadamente estas carreteras. Las agencias responsables de preparar pliegos de especificaciones siempre deben exigir que la colada antigua sea completamente quitada al hacer trabajos de reparación. De este modo se proporciona una superficie uniforme para la colocación del pavimento nuevo.

La Figura 3.4 muestra una autopista interestatal típica llena de rodadas. La Figura 3.5 ilustra una formación de rodadas profundas. Si se repavimentan estos caminos como se muestra en la Figura 3.6, se colocará una cantidad insuficiente de mezcla en la zona de rodadas, produciendo una baja densidad en estas zonas.



*Figura 3.4*



*Figura 3.5*



Figura 3.6

Si se fresa la carretera hasta obtener una superficie plana, se genera material de reciclaje, se eliminan las rodadas y el nuevo pavimento tendrá una densidad uniforme a todo el ancho del carril como se muestra en la Figura 3.7.

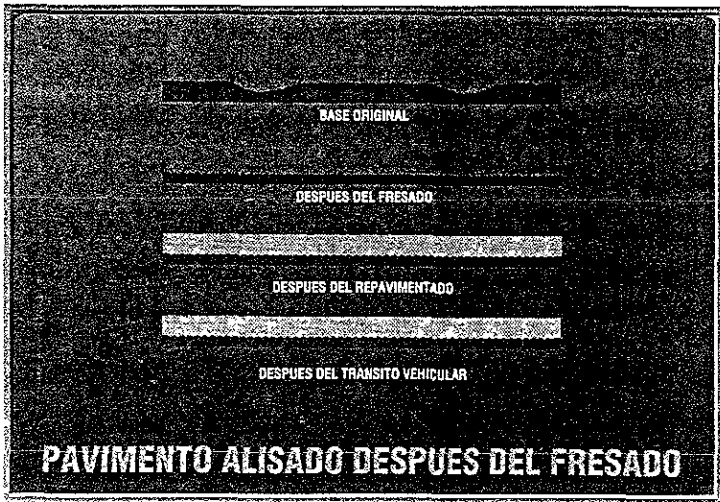


Figura 3.7

El fresado puede restablecer el peralte y la pendiente correctos de la carretera y eliminar puntos altos y rodadas. Muchas veces, el fresado puede reducir o hasta eliminar las agrietaciones por reflexión. Se puede lograr un mejor enrasamiento con el fresado que aplicando una capa niveladora de asfalto. Además, se logran ahorros considerables. Desgraciadamente, la mayoría de las especificaciones de fresado exigen una profundidad de fresado específica, lo cual no asegura que se obtendrá una superficie completamente plana. Al nivelar con una fresadora, se debe usar un patín de longitud apropiada para obtener la misma uniformidad de superficie que aquella lograda con una máquina pavimentadora, como se muestra en la Figura 3.8. Se debe usar un patín de 12,1 m para enrasar.

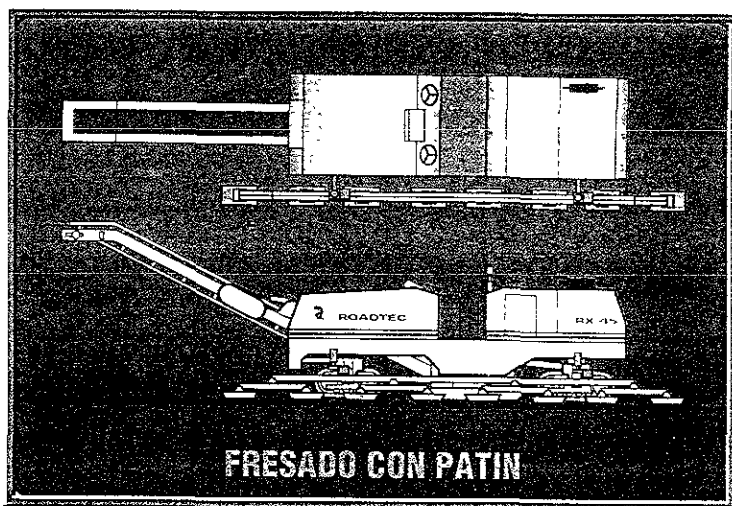
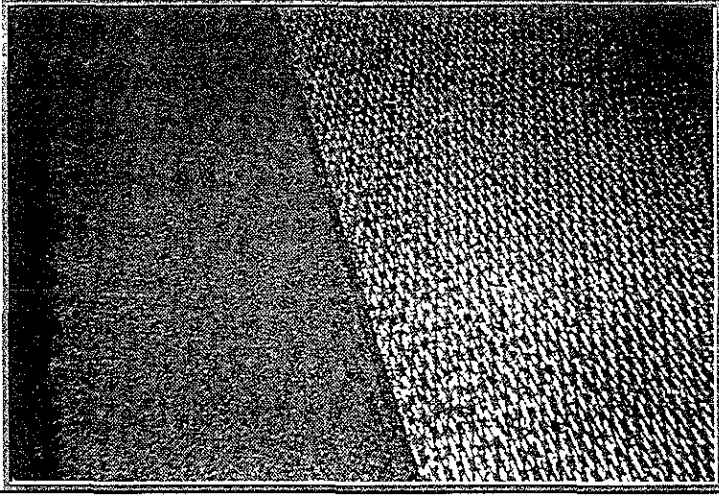


Figura 3.8

Una fresadora crea una superficie estirada y áspera como se muestra en la Figura 3.9. Y crea una superficie más grande que la que existía antes del fresado. Así, una superficie recientemente fresada se entrelaza y une extremadamente bien con la nueva superficie de asfalto que se aplica.



*Figura 3.9*

En la actualidad, se puede fresar la superficie de una carretera (incluso una carretera secundaria) con un costo aproximadamente igual o menor que el de aplicar una capa ligante. Con una fresadora - cargadora frontal, se recoge automáticamente el material derramado por el transportador. Al utilizar un sistema de barredora integral (como se muestra en la Figura 3.10) la mayor parte de los trozos grandes de material fresado se recogen y se cargan automáticamente al cilindro de corte para colocarlos de nuevo sobre el sistema transportador. El material fino que permanece en la carretera se derretirá casi instantáneamente al aplicar una nueva capa de mezcla caliente. De este modo, las partículas finas se convierten en una capa ligante. Más aún, las zonas fresadas dan una superficie entrelazada mucho más fuerte que la de una capa ligante

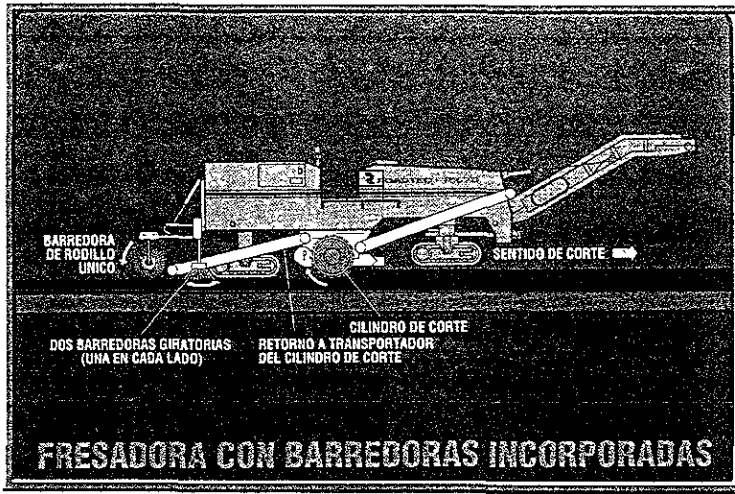


Figura 3.10

Al utilizar este procedimiento de limpieza con una fresadora de carril completo, se pueden fresar secciones enteras de la carretera, repavimentándolas inmediatamente detrás de la fresadora. Una máquina pavimentadora puede trabajar a unos 45 a 60 metros detrás de la fresadora, dejando suficiente espacio para acarrear mezcla caliente a la pavimentadora. Por su parte, los camiones de mezcla caliente pueden acarrear el material fresado a la planta para reciclarlo.

Con este procedimiento, no se permite en ningún momento la circulación de tránsito sobre la superficie fresada. Típicamente, la fresadora y la pavimentadora ocupan únicamente una sección de 45 metros de la carretera, y las máquinas compactadoras de la nueva superficie ocupan un espacio de menos de 600 metros. Por lo tanto, se logra una desviación mínima del tránsito.

Debido a que esta técnica es un tanto nueva, sus beneficios no son ampliamente conocidos. Pero los ahorros logrados al recuperar y reutilizar los materiales, más la reducción de demoras para los automovilistas, deberían convertir esta técnica en el método estándar de la industria.





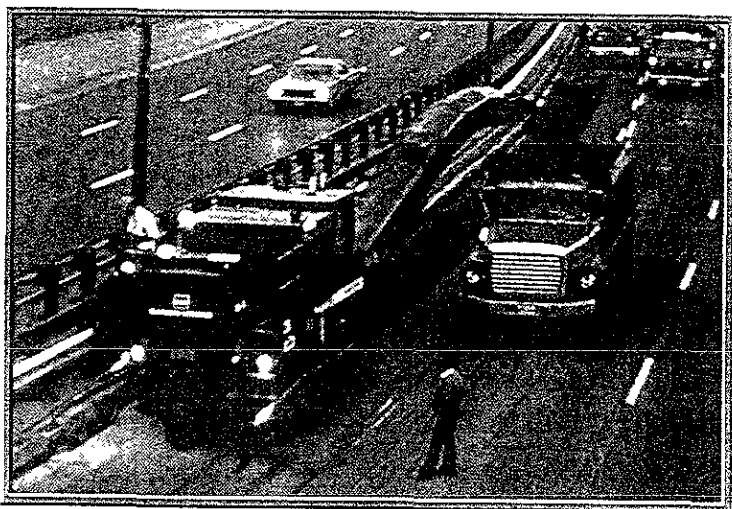
Figura 3.11

Se ganan otras ventajas muy importantes con el fresado y repavimentado al efectuar trabajos en autopistas. No se necesita elevar los acotamientos, porque la elevación de la carretera permanece igual.



Figura 3.12

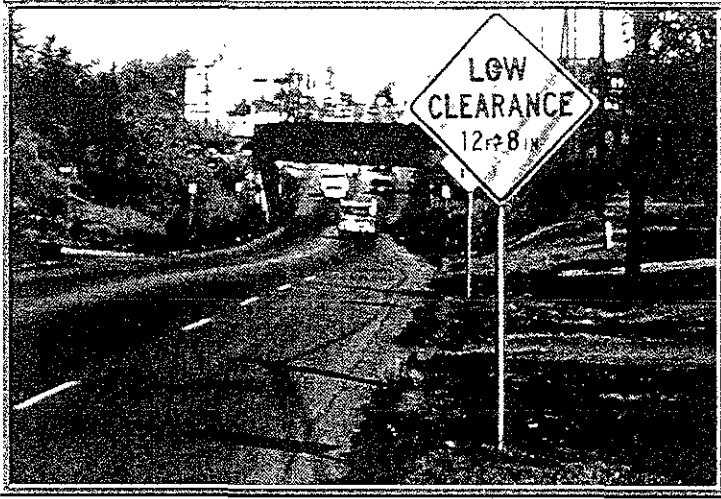
No es necesario elevar las barreras y el gálibo de los puentes permanece igual, obviando la necesidad de reemplazar los avisos de altura libre. Además, al fresar la superficie de un puente, su capacidad de carga permanece igual, haciendo innecesario el mejorar su estructura o reducir sus límites de peso.



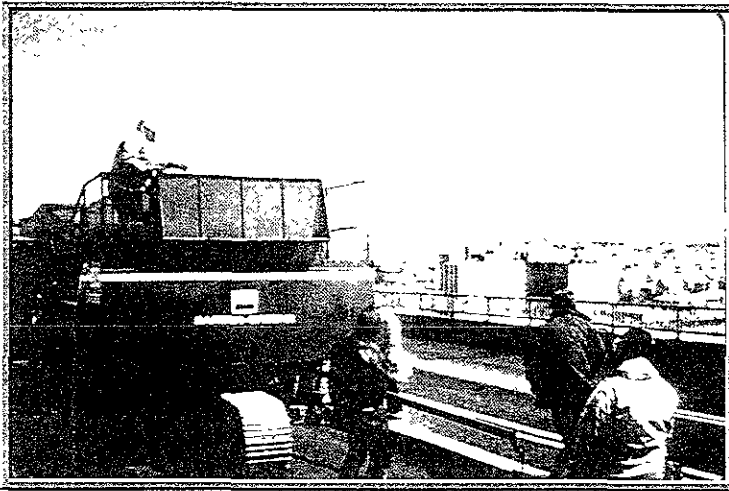
*Figura 3.13*



*Figura 3.14*

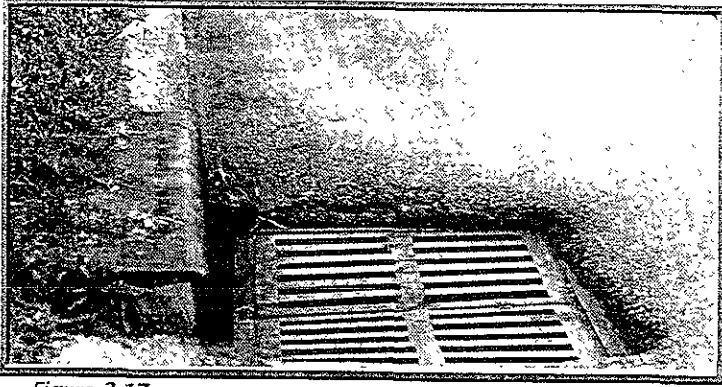


*Figura 3.15*

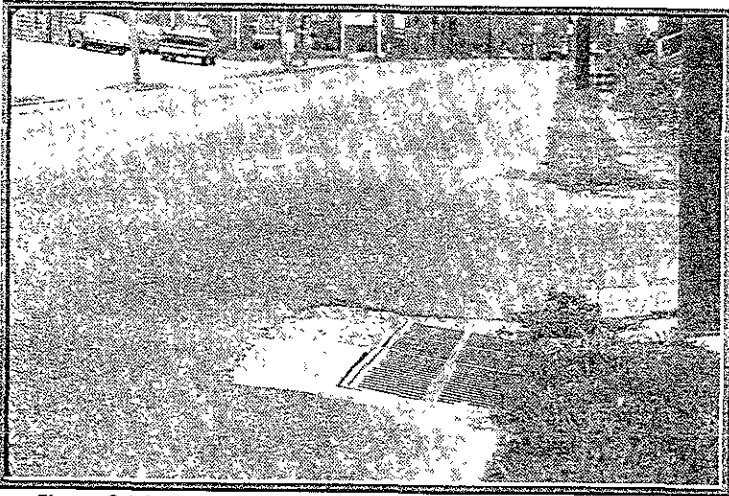


*Figura 3.16*

El fresado es probablemente más beneficioso en las ciudades que en cualquier otro sitio. La mayor parte de ciudades ha recubierto sus calles tantas veces que su desague es inadecuado. Las sobrecapas de las calles frecuentemente llegan hasta el nivel de la guarnición y de la cuneta o tienen lomo como se muestra en las siguientes figuras.



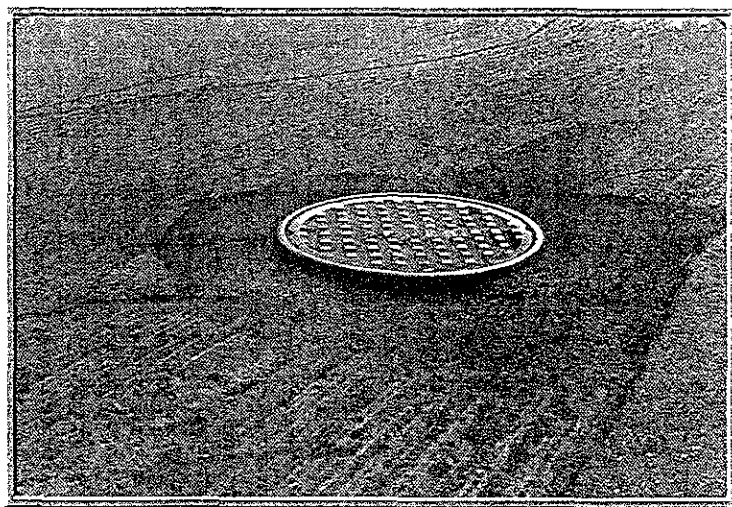
*Figura 3.17*



*Figura 3.18*

Al fresar la calle de vuelta a su perfil original y bajar su elevación a la superficie inicial, se reestablece el desague correcto y se mejora la seguridad de los conductores. Las cunetas recobran su capacidad de desaguar el volumen del agua para el cual se diseñaron originalmente.

Al repavimentar una calle urbana, no es raro que el costo de elevar los registros de los servicios públicos exceda el costo de la pavimentación.



*Figura 3.19*

Si se fresan 40 mm de la superficie y se aplica una capa nueva de 40 mm se puede reparar y mejorar la calle sin alterar la elevación de los registros. Esto ofrece ahorros significativos, a la vez que genera material de reciclaje que pueda añadirse a la mezcla nueva usada para pavimentar la calle.

Más y más contratistas de pavimentación con asfalto ahora utilizan máquinas fresadoras. Las utilizan no sólo para el fresado antes descrito, sino como niveladoras finas, excavadoras y trituradoras de material reciclable. Los controles precisos de granulometría de la fresadora la convierten en una excelente fresadora fina. Y ya que también excava y carga materiales, hace el trabajo antes realizado por dos o tres máquinas distintas.

## *Rehabilitación vial*

La rehabilitación de pavimentos tiene como objeto volver a habilitar un pavimento que con el tiempo ha perdido sus capacidades estructurales y a comenzado a desintegrarse, aún habiendo tenido un mantenimiento apropiado y oportuno. La constante en la rehabilitación de pavimentos ha sido la reconstrucción con todos los materiales nuevos, levantando el material deteriorado y recubrirlo con una nueva carpeta asfáltica, lo que equivale a una nueva carretera. Los altos costos de construcción han hecho que ingenieros en el área desarrollen nuevos métodos para la rehabilitación de estos pavimentos deteriorados. Dos de estos nuevos métodos son: El fresado y el reciclado de pavimentos.

### *Procedimientos para el rehabilitado de pavimentos de concreto asfáltico.*

#### A) Rehabilitado total de la superficie con mezcla en caliente

En el caso de que una vialidad presente daños generalizados en toda su superficie, se procede a realizar trabajos de rehabilitación fresando totalmente la sección de la vialidad y tendiendo una carpeta de mezcla asfáltica en caliente. En el caso de existir zonas puntuales con deficiencias en la estructura se procede a corregir éstas desde la capa dañada hasta la superficie.

#### B) Rehabilitado total de la superficie con mezcla en frío.

Este procedimiento es el mismo descrito previamente pero con la utilización de mezclas en frío. En especial este procedimiento se ha utilizado con éxito a pesar de que las condiciones para el tendido no son las idóneas, dado que durante los trabajos nocturnos se tiene muy poco tiempo para el rompimiento de la emulsión y para su compactación. Adicionalmente, el tramo trabajado se abre de inmediato al tránsito, lo que origina en este tipo de mezclas desprendimientos importantes. Sin embargo, a través de los años se ha logrado poder utilizar esta técnica en el programa de mantenimiento de la red primaria con resultados no óptimos.

## Causas del deterioro vial

Investigaciones realizadas sobre el pavimento de las calles de Santafé de Bogotá han mostrado que son muchas las causas que contribuyen a su deterioro, resultando de ello la fragilidad de las carpetas asfálticas; algunas de estas causas son el interperismo, grandes diferencias de temperatura en cortos periodos de tiempo y falta de bases ya sea por tener una baja resistencia frente al creciente tráfico o por pérdida de capacidad portante debido a las infiltraciones. los vacíos que deja las fluctuaciones del nivel freático en la sabana y al pésimo estado de las alcantarillas o sumideros que no recogen el agua, convirtiéndola en el enemigo número uno del pavimento<sub>1</sub>.

Proceso	Equipo	Procedimiento	Resultados
Bloqueo de la vía	*Vallas, cintas *Materiales nuevos	Se colocan vallas, cintas o materiales a lo ancho de la calle.	Se impide el paso de vehículos
Remoción del material deteriorado	*Martillos neumáticos *Excavadoras *Retroexcavadoras *Volquetas	Se pica la carpeta asfáltica con los martillos alrededor de las alcantarillas, con el cucharón de la excavadora se le golpea para luego levantarlo con la misma herramienta, hasta desprenderlo y sacarlo como desecho de obra. Por más experto que sea el operario, los andenes, las cunetas y las redes de servicio de agua, gas o teléfono sufren daños físicos por la imprecisión en el trabajo, generando demoras en el proceso cuando se tiene que reponer los daños causados.	*Costos de reparación de tuberías y conexiones *Costo de transporte de materiales. *Irregularidades en la profundidad de la superficie.
Reconstrucción de las obras de arte	* Formaletas * Tuberías	Se levantan y reconstruyen los andenes, se construyen o reconstruyen las alcantarillas o sumideros.	*Nuevos andenes y alcantarillas.



Proceso	Equipo	Procedimiento	Resultados
Colocación y compactación del material granular	*Volquetas *Retroexcavadoras *Motoniveladoras *Compactadoras	El nuevo material es traído y descargado, con la retroexcavadora y la motoniveladora este es colocado y extendido sobre el área y luego compactado. Se requieren buenas condiciones climáticas	*Nuevas capas base compactadas *Costos de transporte de material.
Colocación y compactación del concreto asfáltico y de la capa asfáltica	*Pavimentadora *Aplanadoras vibradoras o neumáticas	Teniendo el material de la base seco y con condiciones de tiempo favorables, se coloca sobre él un riego de impregnación. De la planta el concreto asfáltico es traído y con la pavimentadora es extendido y afinado, con la mezcla aún caliente se inicia la compactación con la aplanadora. Sobre el concreto asfáltico se coloca la capa asfáltica o la rodadura (mezcla de asfalto, agregado fino y sellapuros mineral), compactada con aplanadoras.	<b>*Finalización de las obras de rehabilitación.</b>

*Tabla 3.1*

*FUENTE: Reciclado en sitio con Asfalto Espumoso.*

Primer Seminario de Construcción y Pavimentación de la Ciudad de México, Octubre de 1998

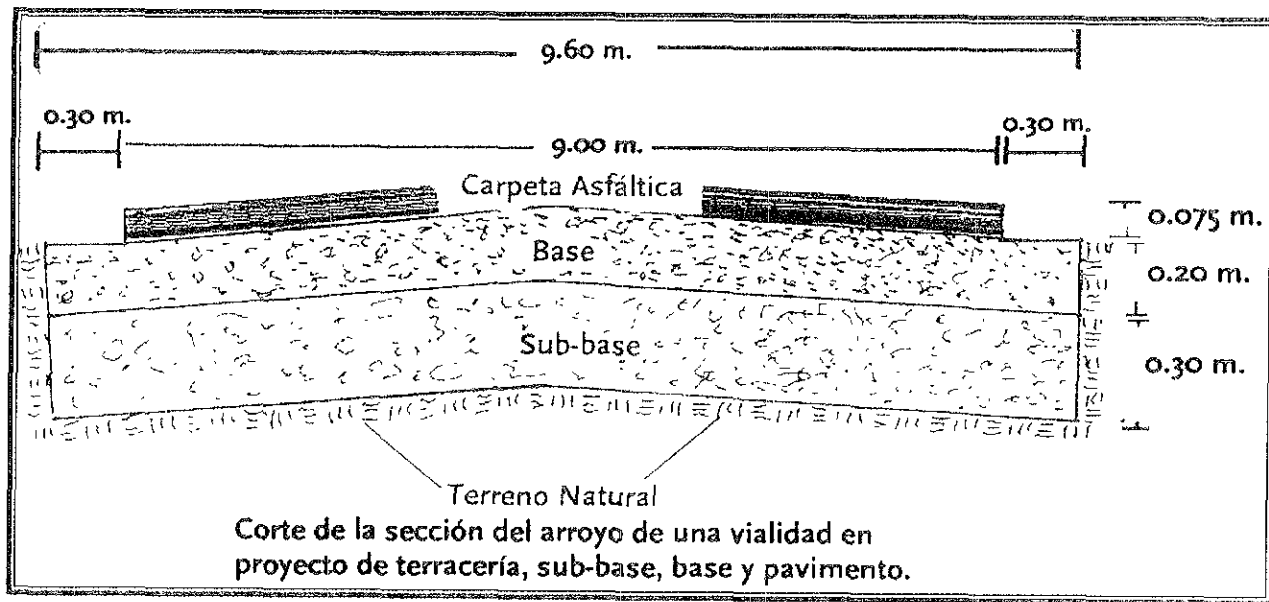


Figura 3.20

## Diagnóstico y mantenimiento vial de la red primaria de la ciudad de México

### *Requisitos de un mantenimiento vial*

El mantenimiento vial debe cumplir fundamentalmente, entre otras, las siguientes condiciones

- a) Regularidad, este debe ser constante y sin interrupciones, comenzando desde el día en el cual la vía se entrega al servicio y continuándola permanentemente.
- b) Tecnología y recursos, el mantenimiento debe estar bajo la acción de organismos preparados y equipados adecuadamente para utilizar los fondos que se le destinan, de una forma práctica y rentable.

### *Tipos de mantenimiento*

El mantenimiento vial lo podemos dividir en dos grandes grupos. Llamados conservación o mantenimiento preventivo y rehabilitación. El mantenimiento preventivo se aplica con el propósito de preservar, reparar o restaurar una calle o carretera. Comprende actividades de mantenimiento físico tales como el bacheo (aplicación de una capa delgada de asfalto en zonas de agrietamiento o desmoronamiento de los bordes de la carretera), el taponamiento (capa delgada de asfalto y piedra fina sellando la superficie para impedir la penetración del agua), la escarificación, el resellado, el tratamiento antiderrapante (con esto se busca corregir el resbalamiento de algunas vías), construcción de desagües, etc. y las actividades de servicio de tránsito en las cuales se incluyen las marcas en el pavimento y la señalización.

## *Diagnóstico de la situación actual de la red vial primaria de la Ciudad de México*

El rápido crecimiento y el acelerado desarrollo de la ciudad de México en los últimos 25 años, ha tenido como consecuencia una gran demanda de insumos, servicios y satisfactores. Las cantidades que se manejan a continuación fueron proporcionadas por la Secretaría de Obras y Servicios.

Dentro de esta demanda se encuentra el mantenimiento y la construcción de vialidades primarias y secundarias. Uno de los factores que incide en la demanda de este tipo de infraestructura es la expansión de la mancha urbana y la densidad de la población. El Distrito Federal es una de las ciudades más pobladas del mundo con una tasa de crecimiento cercana al 3 % anual. De los 18 millones aproximadas de personas que habitan la zona metropolitana, el Distrito Federal alberga a una población de 8.5 millones aproximadamente, esto quiere decir que 4 de cada 10 habitantes de la zona metropolitana coexisten en el Distrito federal y desde luego el resto en los 17 municipios conurbanos del Estado de México.

En la zona urbana de la Ciudad de México, que actualmente abarca poco más de 720 kilómetros cuadrados, se realizan 29.5 millones de viajes persona día, de los cuales el 16.30% se efectúan a través del sistema de transporte colectivo (metro) y el 83.70% utilizan el automóvil particular y el autotransporte concesionado (10.5 y 14.20 millones de viajes persona día respectivamente).

Los índices anteriores significan un tránsito intenso sobre la red vial y por lo tanto un desgaste acelerado de los pavimentos de la ciudad, de aproximadamente 4 años.

### *Sistema vial urbano*

La clasificación del sistema vial urbano se divide en tres grupos que son:

- Red vial primaria
- Red vial secundaria
- Vialidad local y peatona

### *Red vial primaria*

Se compone de nueve vías rápidas de acceso controlado, 10 vialidades principales y 32 ejes viales. Su velocidad de operación de diseño es de 60 km/hr, y en el caso de los ejes viales cuenta con una semaforización programada, hecho que permite grandes flujos vehiculares en tramos largos

### *Vialidades de acceso controlado*

Son vialidades que permiten la circulación continua de grandes volúmenes vehiculares con accesos y salidas a los carriles centrales estratégicamente localizados para permitir la comunicación con otras vialidades primarias. Adicionalmente el tránsito de carga pesada y transporte público se encuentran separados de los carriles centrales. Estas vialidades tendrán una longitud de 210 km., de los cuales actualmente se encuentran construidos 129 km., faltando 81 Km., por adecuar y construir.

### *Vialidades principales*

Son aquellas que cruzan la ciudad en tramos largos, teniendo preferencia en su circulación. Dentro de éstas podemos citar Av. Insurgentes, Paseo de la Reforma, Paseo de las Palmas, Av. División del Norte, etc. Se cuenta en la actualidad con 205 Km. de vialidades principales en operación.

### *Ejes viales*

Son vialidades que corren en forma reticular a lo largo y ancho de la ciudad con un solo sentido de circulación preferencial y generalmente con un contraflujo para el transporte público de pasajeros. Actualmente se cuenta con 514.20 Km. en total

Los datos anteriormente expuestos se resumen de la siguiente manera:

<b>Vialidad Primaria</b>	<b>Longitud km.</b>
Construida	716
Por adecuar	97
Por construir	117
Total	930

*Tabla 3.2*

*Fuente: Secretaría de Obras y Servicios, Primer Congreso Nacional del Asfalto, Agosto de 1999.*

### *Red vial secundaria*

Se conforma por las vialidades que soportan los principales flujos delegacionales, articulando la circulación de la red vial primaria. Se estiman en 12,000 Km. equivalen a un aproximado de 60,000,000 de m<sup>2</sup>

### *Vialidad local o peatonal*

Son vías que por su característica se consideran terciarias, permitiendo el acceso y salida de las viviendas y cuya circulación es mínima.

A continuación se presenta una tabla con la descripción de la red vial primaria de la Ciudad de México

## Red vial primaria del Distrito Federal

VIALIDAD	TOTAL Km.	ACCESO CONTROLADO Km.	SIN CONTROLAR Km.	SECCION TRANSVERSAL M	PAVIMENTO M <sup>2</sup>
PERIFERICO	92.70	42.70	50	40	2,868,000
C. INTERIOR	43.70	36.98	6.72	41	1,690,900
C. TLALPAN	18.75	18.75	0	30	562,500
VIADUCTO M. ALEMAN	13.55	10.15	3.40	33	429,600
VIADUCTO R. BECERRA	1.8	1.8	0	30	54,000
ZARAGOZA	14.70	10.50	4.20	48	680,400
A. SERDAN	9.45	3.20	6.25	36	290,200
RIO SAN JOAQUIN	5.40	5.40	0	31	167,400
GRAN CANAL	10.50	0	2.50	42	105,000
EJES VIALES	514.20	4.60	509.60	VARIABLE	6,798,210
VIALIDAD PRINCIPAL	205.00	13.80	191.20	VARIABLE	3,709,115
<b>TOTAL</b>	<b>929.75</b>	<b>147.88</b>	<b>773.87</b>		<b>17,335,325</b>

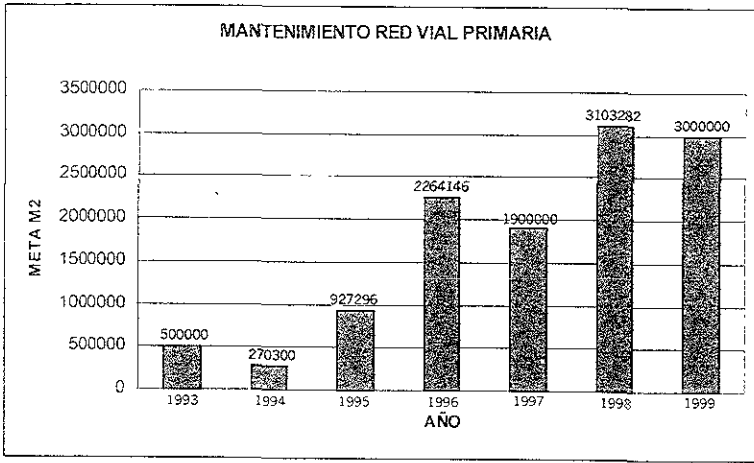
Tabla 3.3

Fuente: Dirección General de Obras Públicas del G.D.F., Segundo Seminario de Construcción y Conservación de Pavimentos en la Ciudad de México.

Anualmente se lleva a cabo un diagnóstico para programar las actividades de mantenimiento de la red vial. Con base en el resultado y en la disponibilidad presupuestal se determinan los tramos a ejecutar y el tipo de tratamiento.

La estrategia planteada con los programas actuales es lograr invertir esta tendencia y tener un porcentaje mayor de mantenimiento preventivo respecto al correctivo. Esto ya se puede observar en el diagnóstico 1999 en el cual prácticamente son los mismos porcentajes para el mantenimiento preventivo y para el correctivo. Esto se busca lograr incrementando las metas de repavimentación para lograr atender lo más pronto posible a la totalidad de la red vial primaria en lo que respecta al mantenimiento correctivo y poder entonces comenzar un programa intensivo de mantenimiento preventivo.

En la siguiente gráfica se muestra la meta alcanzada por los programas de los últimos 5 años y el programa actual:



Gráfica 3.1

Como se puede observar, se ha incrementado de manera importante la meta de repavimentación de la red primaria, buscando atender la totalidad del área en un período aproximado de 6 años.

Es importante mencionar que en las metas indicadas no están considerados los trabajos de mantenimiento correctivo local, consisten principalmente en bacheos y repavimentaciones de tramos cortos, que lleva a cabo la Dirección General de Servicios Urbanos, los cuales durante el año 1998 fueron de 420,000 m<sup>2</sup> y para el año 1999 serán de 800,000 m<sup>2</sup>.

*Mantenimiento de la red vial primaria de la ciudad de México*

Con base en los resultados del diagnóstico y en los recursos económicos disponibles se definen los programas de mantenimiento.

Durante los últimos años los tratamientos más utilizados han sido los siguientes



- Rehabilitado total con mezcla en caliente
- Rehabilitado total con mezcla en frío
- Rehabilitado parcial con una carpeta de graduación abierta como superficie de rodamiento
- Rehabilitado parcial con un tratamiento superficial de mortero asfáltico como superficie de rodamiento
- Rehabilitado mediante reciclados tanto en sitio como en planta

Estos trabajos se realizan mediante contratación de empresas particulares. Es importante mencionar que en los programas 1998 y 1999 se han llevado a cabo licitaciones que consideran únicamente el fresado y tendido por parte de las empresas contratadas y la mezcla asfáltica ha sido suministrada por la Planta de Asfalto del Gobierno de la Ciudad de México.

# CAPITULO IV

---

---

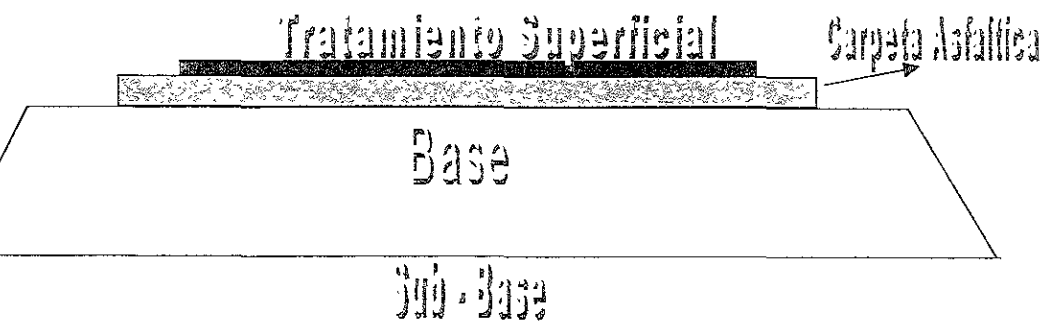
## CAPÍTULO IV

### EL RECICLADO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

#### *Reciclado de pavimentos*

Es la técnica que permite reutilizar (para su rehabilitación), los materiales existentes de pavimentos deteriorados.

Hay que aclarar que el reciclado no se refiere exclusivamente a la carpeta o base negra, sino que en algunas ocasiones será necesario hacer una mejora integral abarcando el total (Full Depth) o parte de la estructura del pavimento. En esta tesis evaluaremos una máquina productora de mezcla asfáltica que acepte una parte o el total de material recuperado (material fresado), por lo que solo nos referiremos a la recuperación de la carpeta asfáltica (agregado y asfalto).



La finalidad técnica de un reciclado de pavimentos es la de restituir las propiedades de las capas que se cortan y reutilizan o incluso mejorarlas. Estas propiedades son básicamente:

- La capacidad estructural, vinculada a la resistencia mecánica (estabilidad).
- La resistencia a la acción del agua.
- La resistencia a la fatiga, parcial o total consumida en el material original.

Estos objetivos, se consiguen mediante operaciones análogas a las que se realizan en el caso de la construcción convencional.

- a) Explotación de un banco granular, (representado por pavimento fresado existente, con aportación o no de materiales vírgenes).
- b) Extensión y compactación de la mezcla

### *Ámbito de aplicación*

El reciclado de pavimentos es una técnica de rehabilitación, que puede usarse en todo tipo de pavimentos, desde los flexibles (mezcla asfáltica) hasta los rígidos (concreto hidráulico), aunque suele emplearse principalmente en pavimentos flexibles, causa de esta tesis.

El campo de aplicación es enorme y va desde el reciclado de carpetas asfálticas con problemas de envejecimiento, hasta el reciclado de carpetas con problemas estructurales, pudiendo formar parte de un proceso de reconstrucción.

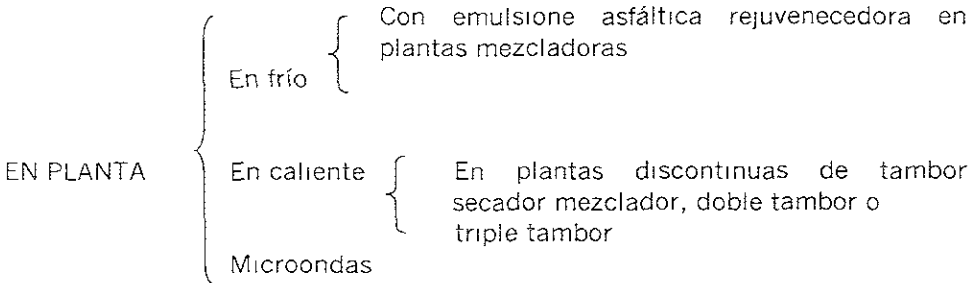
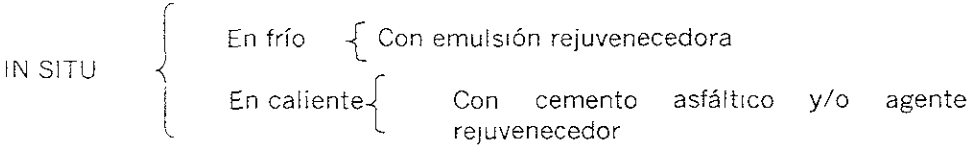
### *Clasificaciones*

- Reciclado de la carpeta asfáltica, como un proceso de renovación y regularización superficial.
- Reciclado de la carpeta y parte de la base granular, con incorporación posterior de una capa asfáltica de poco espesor, como un proceso de esfuerzo ligero.

Cabe hacer la reiteración que esta tesis se refiere solo al reciclaje de la carpeta asfáltica, por lo que el segundo punto anterior no aplica en el escrito.

*Técnicas de reciclado*

En función del procedimiento utilizado para su fabricación y puesta en obra, podemos clasificarlos como:



## *Características de las distintas técnicas de reciclado*

### *Reciclado in situ en frío*

#### Proceso

Se realiza con máquinas autopropulsadas que fresan, disgregan e incorporan la emulsión asfáltica rejuvenecedora o el asfalto espumado

#### Actividades

Muestreo previo de los tramos a reciclar para determinar:

- Emulsión rejuvenecedora o asfalto espumado.
- Agregado virgen.
- Conglomerantes hidráulicos (cal o cemento) en el caso de reciclados de carpetas con plasticidad.
- Diseño de la mezcla reciclada.
- Previo al ataque de la máquina, se coloca sobre el pavimento los conglomerados hidráulicos y agregados pétreos de acuerdo con las proporciones de diseño.
- La máquina corta, mezcla agregados y conglomerantes y añade emulsión o asfalto espumado, dependiendo del tipo de máquina, el tendido del material reciclado lo realiza la misma máquina mediante una rastra, o se efectúa con una motoconformadora
- Compactación por medios convencionales.

#### Consideraciones

- Los reciclados con asfalto espumado proporcionan mezcla asfáltica que no cumplen las especificaciones de calidad, lo que no sucede con emulsiones asfálticas ya que la envuelta con los agregados gruesos es deficiente.
- Este tipo de reciclados permite la realización de tratamientos de bases y carpetas, en grandes espesores (30 a 40 cm.), de esta forma se consiguen bases recicladas de gran calidad
- El tratamiento se debe completar con la colocación de un sello o sobre carpeta

## *Reciclado in situ en caliente*

### Proceso

Se realiza con máquinas continuas que precalientan, fresan, disgregan e incorporan el agente rejuvenecedor, permitiendo la incorporación de mezcla asfáltica virgen simultáneamente, y tendido de la mezcla.

### Actividades

- Muestreo previo y análisis del material a reciclar , determinando el rejuvenecimiento y mezcla asfáltica virgen a añadir.
- Diseño de la mezcla reciclada mediante Marshall o Superpave.
- Ataque con la maquina de reciclado continua, que consisten un tren de equipos autopropulsados que realiza las siguientes operaciones:
  - Precalentamiento de la carpeta asfáltica, utilizando diversas fuentes de calor, como rayos infrarrojos, gas butano o aire caliente
  - Fresado de la carpeta precalentada, disgregado e incorporación de rejuvenecedor.
  - Mezclado y homogeneización del material y colocación mediante el equipo esparcidor, en caso de ser necesario, el equipo esparcidor permite la recepción de mezcla virgen fabricada en planta, que se revuelve con la reciclada; los equipos más modernos permiten la colocación de la mezcla virgen encima de la mezcla reciclada.
- Compactación de la mezcla por medios convencionales.

### Consideraciones

- Las altas temperaturas en la operación de precalentamiento, pueden provocar la ignición del material fresado, por lo que es necesario el control de la fuente de calor, por este motivo, los espesores a reciclar se limitan a 6 – 8 cm.
- Este procedimiento de reciclado es aconsejable en rehabilitaciones de renovación y regularización de la carpeta asfáltica.

## *Reciclado en planta en frío*

### Proceso

- Muestreo del material a fresar, determinación del agregado virgen y emulsión rejuvenecedora a utilizar
- Diseño de la mezcla en frío (Inmersión – compresión, Marshall modificado).
- Fresado del material en frío y traslado a la planta de fabricación.
- Triturado y/o cribado del material fresado.
- Fabricación en planta mezcladora.
- Traslado a obra, tendido y compactación, por medios convencionales.

### Consideraciones

- Los procesos de diseño y fabricación en planta, permiten la fabricación de mezclas en frío de alta calidad.
- Permiten utilizarse tanto en rehabilitaciones de renovación y regularización de la carpeta asfáltica, como en refuerzos incrementando el espesor de la mezcla reciclada o colocando una sobrecarpeta.



## *Reciclado en planta en caliente*

### Proceso

El Proceso de reciclado en planta requiere de las siguientes actividades principales:

- Muestreo de los tramos a reciclar para determinar el agregado virgen y el asfalto y/o rejuvenecedor a añadir.
- Diseño de la mezcla, mediante procedimiento Marshall o Superpave.
- Fresado del material en frío y traslado a la planta de fabricación.
- Triturado y/o cribado del material fresado.
- Análisis del material fresado para ratificar el diseño.
- Proceso de fabricación en planta de tambor – secador – mezclador, doble tambor o triple tambor.
- Traslado a la obra, tendido y compactación por medios convencionales.

### Consideraciones

- Las altas temperaturas en los secadores pueden provocar la ignición del material fresado, con pérdida de características y alta contaminación, las plantas recomendadas disponen de los dispositivos adecuados para proteger de los quemadores la mezcla a reciclar de manera que la homogenización del producto final se produce a temperaturas adecuadas para cada uno de los componentes.
- Los procesos de reciclado en planta fija, permiten la fabricación de mezclas de alta calidad.
- Este procedimiento se utiliza en rehabilitaciones para renovación y regularización de la carpeta asfáltica y en refuerzos, colocando una sobre carpeta.

## *Reciclado en microondas*

Este proceso tiene la ventaja de poder reciclar hasta el 100 % del material fresado a una temperatura de 150°C al usar la aplicación de micro-onda de 915 mega hertz de alta densidad, lo podemos lograr con rejuvenecedores o sin ellos, por supuesto se logra mayor vida útil utilizando algún rejuvenecedor.

### Proceso

- Muestreo de los tramos a reciclar para determinar el agregado virgen y el asfalto y/o rejuvenecedor a añadir.
- Diseño de la mezcla, mediante procedimiento Marshall o Superpave.
- Fresado del material en frío y traslado a la planta de fabricación.
- Triturado y/o cribado del material fresado.
- Precalentamiento: El material fresado fue transmitido a través de un secador de aire tibio que lo precalienta a por lo menos 105°C durante este proceso, polvo y finas partículas en exceso superfluas se acumulan para ser desechadas.
- Análisis del material fresado para ratificar el diseño.
- Mezcla: El agente rejuvenecedor si se requiere es agregado al material fresado y es mezclado.
- Calentamiento Final: el material RAP rejuvenecido es transmitido a través de generadores micro-onda para elevar la temperatura acerca de 150°C.
- Pesado y traslado a la obra, tendido y compactación por medios convencionales

### Consideraciones

- Los procesos de reciclado en micro-ondas, permiten la fabricación de mezclas de alta calidad.
- Este procedimiento se utiliza en rehabilitaciones para renovación y regularización de la carpeta asfáltica y en refuerzos, colocando una sobre carpeta.
- Debido a que se puede reciclar el 100 % del material fresado, constituye un ahorro significativo en la rehabilitación de redes viales.

## *Ahorros y equipo de mezcla asfáltica utilizando reciclado*

La Compañía ASTEC, líder en la construcción de maquinaria de mezcla asfáltica, señala los ahorros, diseño de mezcla, equipo de preparación de RAP y equipo de producción para el reciclaje de mezcla asfáltica, en un boletín técnico distribuido por Arrendadora de Maquinaria para Caminos e Industria, S.A. de C.V. (DIMAQ), el cual por su importancia técnica-económica se enunciará a continuación en esta tesis.

### *Ahorros logrados con el reciclaje*

Además de todas las ventajas obtenidas al fresar y perfilar las calles tanto en trabajos urbanos como en carretera, se generan cantidades grandes de material reciclable (comúnmente denominado RAP, que significa pavimento asfáltico recuperado por sus siglas en inglés). Muchos contratistas no se dan cuenta de los ahorros que podrían lograr al usar el RAP. Por consiguiente, no siempre lo usan a su mayor provecho. El RAP básicamente vale lo mismo que el material que reemplaza. Puede reemplazar una parte del agregado virgen y del asfalto líquido en una mezcla nueva. El costo medio de agregados en los Estados Unidos en la actualidad es de USD \$5 por tonelada, pero oscila entre USD \$2 y USD \$13 por tonelada. En los últimos diez años, el costo del asfalto líquido ha oscilado de USD \$50 a USD \$200 por tonelada.

La tabla siguiente muestra el costo de los materiales en una mezcla superficial con agregados a USD \$5 por tonelada y con asfalto líquido a USD \$120 por tonelada (según precios de Estados Unidos).

### *Costo de Material Virgen*

Concepto	USD \$ por Tonelada	% de Asfalto o Agregado	USD \$ por Tonelada
Costo del Agregado	5.00	0.94	4.70
Costo del Asfalto	120.00	0.06	7.20
		TOTAL	11.90

*Tabla 4.1*

Al usar una máquina fresadora de medio carril para trabajos urbanos, los costos de la máquina y de mano de obra del RAP pueden ser de unos USD \$3 por tonelada. Si cuesta USD \$2 por tonelada para acarrearlo a la planta de mezcla de asfalto, el costo aumenta a USD \$5 por tonelada. Pero si se le está pagando al contratista por fresar y acarrear el material, se reduce considerablemente su costo neto. Por ejemplo, si el contratista recibe USD \$3 por tonelada de material fresado, su costo neto se reduce a únicamente USD \$2 por tonelada (el costo de acarreo por camión).

En trabajos en carretera, se pueden lograr velocidades de producción más altas porque no es necesario mover vehículos estacionados, hay menos obstrucciones, etc. Así, el contratista puede reducir su costo de modo significativo.

Al hacer trabajos en carretera sin recibir pago por el fresado, la diferencia entre el costo del material virgen y del RAP es de USD \$8.10 por tonelada, como se muestra en la tabla siguiente:

*Ahorros por el uso de RAP*

Concepto	USD por tonelada	% de Asfalto o Agregado	USD por tonelada
Costo del Agregado	5.00	0.94	4.70
Costo del Asfalto	120.00	0.06	7.20
<b>Costo Total de Material Virgen</b>			<b>11.90</b>
<b>Costo de RAP</b> (Basado en un costo de US \$ 2.20 Ton y Acarreo y US \$ 1.70 de costo de fresado)			<b>3.70</b>
<b>Ahorros por Tonelada de RAP</b>			<b>8.20</b>

*Tabla 4.2*

### Ahorros por tonelada de mezcla al recuperar el fresado

<b>% de Fresado</b>	<b>Costo USD \$</b>
10	0.82
20	1.64
30	2.46
40	3.28
50	4.10

**Tabla 4.3**

Se ahorran los USD \$8.10 por tonelada de RAP, sin importar la velocidad a la cual se recicle el RAP. Las mezclas que usan 10 % sencillamente lo usan más lentamente que las mezclas que usan 50 % de RAP. Como se explica más adelante, la mezcla es menos sensible cuando se usan porcentajes más bajos de RAP que con porcentajes más altos. Por tanto, existen ventajas en mantener el porcentaje bajo. Siempre y cuando se utilice todo el RAP disponible, se logrará el ahorro representado por su valor.

El añadir 10% de RAP es en una mezcla nueva ahorra USD \$82 centavos por cada tonelada de mezcla nueva. Pero, para usar una tonelada de RAP, éste se añade a 10 toneladas de mezcla, todavía logrando un ahorro total de USD \$8.10 por cada tonelada de material fresado usado.

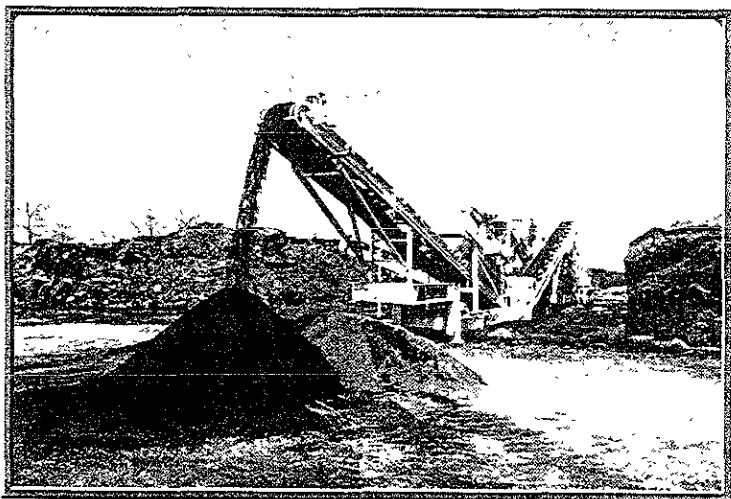
El uso de 50% de RAP en una mezcla nueva ahorra USD \$4.05 por cada tonelada de mezcla nueva, todavía ahorrando USD \$8.10 por tonelada de material fresado. Pero el RAP ahora se combina con sólo dos toneladas de mezcla.

Adquisición y preparación del RAP. Se consigue el RAP en los trabajos de fresado o de perfilado en frío como se describió anteriormente. También puede conseguirse de varias otras fuentes. Las compañías de servicios públicos continuamente hacen cortes y desechan material reciclable valioso. Este material a menudo se encuentra en trozos grandes que requieren ser triturados y procesados.

Para utilizar RAP apropiadamente, es mejor manejarlo como si fuera agregado virgen. Al usarlo en cantidades grandes, se le debe separar en al menos dos tamaños diferentes para controlar apropiadamente la granulometría.

Cuando exista la oportunidad, los contratistas que poseen fresadoras a menudo salen a fresar pavimentos para obtener material reciclable. Esto es más barato que romper y triturar pavimento, por que el material fresado normalmente no requiere trituración.

Se muestra una trituradora de tapa única típica en la Figura 4.1. Ésta es una unidad trituradora de impacto. Está equipada con una criba que produce dos grados de RAP diferentes.



*Figura 4.1*

Cuando se usa una trituradora de etapa única, es difícil triturar el material a un espesor de 13 mm. El alimentar trozos grandes del material requiere el uso de una trituradora muy grande. Las proporciones de reducción de 7 a 1 en las trituradoras de mandíbulas y de 15 a 1 en trituradoras de impacto son factibles. Es difícil obtener productos con un tamaño de menos de 50 mm usando un impactor de eje Horizontal o un impactor de dientes flexibles. Al producir dos tamaños de producto, se puede ajustar la trituradora para un producto de 50 mm y cribarlo, generando un producto de 50 mm a 13 mm y otro producto de 13 mm o más pequeño.

Con una trituradora de dos etapas, se puede generar un producto de 13 mm económicamente. Se hace esto ajustando la trituradora principal para un tamaño de producto de 75 a 100 mm, y después pasando el material de más de 13 mm a través de una trituradora de conos, como se muestra en la siguiente figura:

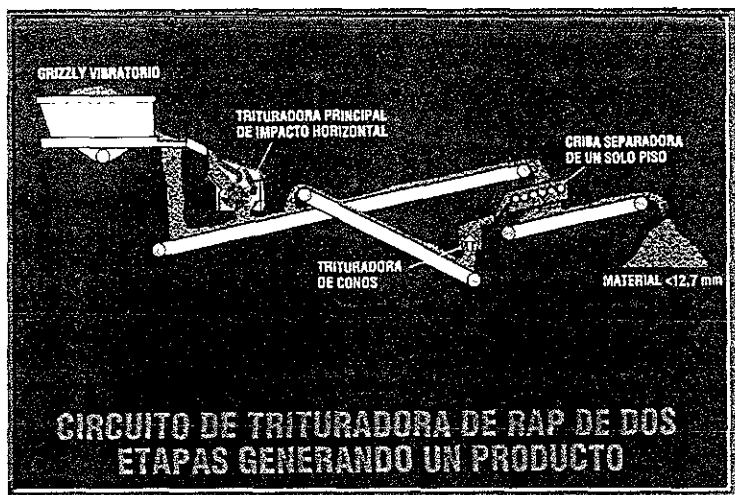


Figura 4.2

Se utilizan un grizzly y una trituradora principal de impacto como primera etapa. En la segunda etapa se usan una criba de uno o dos pisos y una trituradora de conos. El material que pasa a través del grizzly vibratorio se desvía de una trituradora de impacto y es transportado a la criba. El material que pasa a través de la criba es separado en dos tamaños. El material rechazado por la criba superior pasa por la trituradora de conos y es transportado a las cribas, en donde es clasificado nuevamente. La siguiente figura muestra un diagrama de circuito típico de una unidad trituradora de dos etapas que fabrica dos productos.

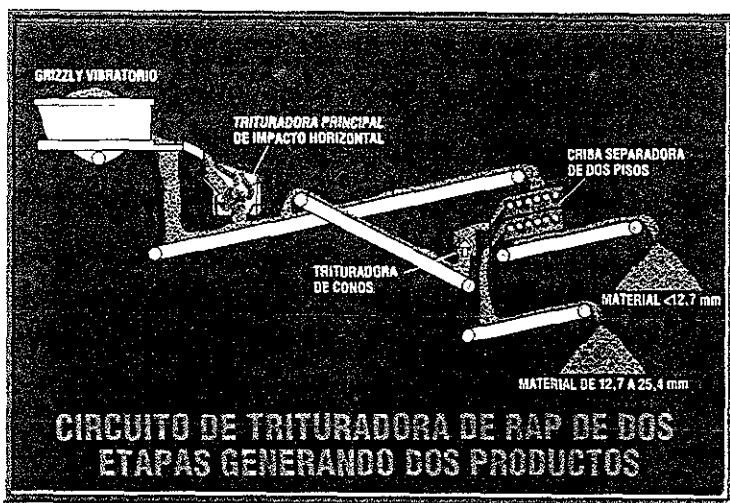


Figura 4.3

Los pedazos grandes podrían bloquear la entrada de una trituradora de impacto, creando un problema significativo. Si se apaga la máquina y el pedazo cae dentro de ésta, no será posible arrancar la trituradora. Y mientras la trituradora este funcionando, no es seguro retirar el trozo atascado de la misma. Por tanto, es necesario reducir el material a un tamaño apropiado para evitar introducir trozos de sobre tamaño en la trituradora. Pero el hacer esto típicamente resulta en una producción baja, porque es necesario romper los trozos grandes con las cargadoras, las topadoras u otros métodos que son lentos y costosos.

Una alternativa es el usar una trituradora principal de impacto extremadamente grande. Pero esto es costoso y una máquina de esta categoría es normalmente capaz de una producción mucho más alta que la necesaria. Sin embargo, esta opción deberá mantenerse en cuenta si se utiliza una trituradora para RAP, puesto que el RAP podría incluir trozos grandes de forma irregular.

Las trituradoras más útiles son las trituradoras de impacto, debido a su capacidad de reducción más alta. Se muestra una sección de una trituradora de impacto típica de barra fija en la siguiente figura:



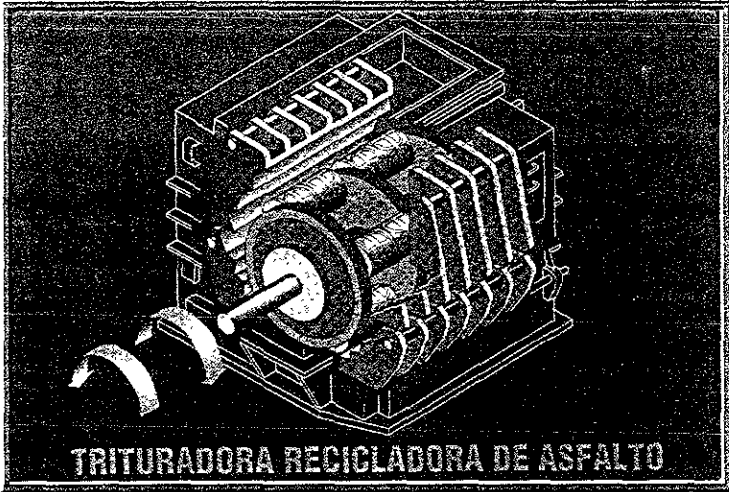


Figura 4.4

Se muestra un tipo de diente flexible alternativo en la siguiente figura;

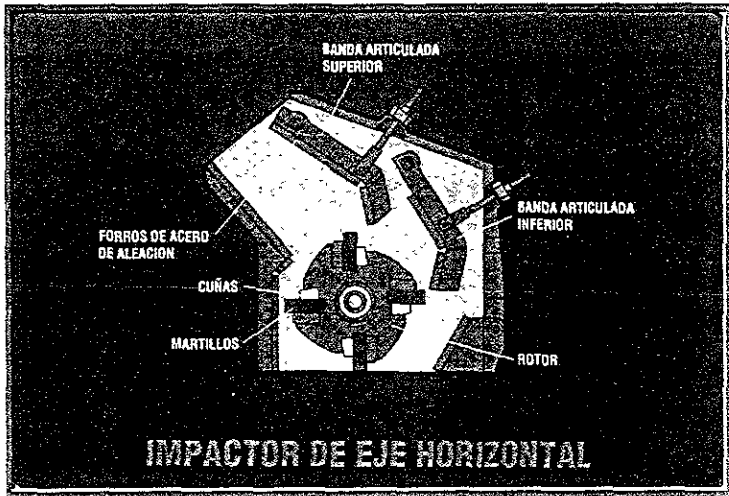


Figura 4.5

Estas trituradoras pueden utilizarse como máquinas sencillas para reducir el material a 50 o 75 mm. Pero cuando se tritura el material a 20 mm o 13 mm, se aumenta su desgaste de modo significativo.

No se utilizan a menudo las trituradoras de mandíbulas y las trituradoras de conos para el RAP porque suelen empacar el material. Sin embargo, se puede usar una trituradora de conos además de una trituradora de impacto de eje horizontal como se muestra en las Figuras 4.2 y 4.3.

Con esta disposición, la trituradora de impacto sirve de triturado principal, reduciendo el material a un tamaño de 40 a 50 mm. Al cribar el material, las partículas pegajosas finas son desviadas de la trituradora de conos. El material más grande, que normalmente no tiene suficiente asfalto para causar el empacado, se dirige a la trituradora de conos. Más aún, la trituradora de conos puede reducir también el tamaño del agregado virgen de sobre tamaño que normalmente se mezcla con el RAP. Este proceso, mostrado en la figura 4.3, produce un material de 13 mm y más pequeño que pueden ser usados en todos los tipos de mezcla. Cuando se usa una fresadora para extraer pavimento asfáltico como se describió anteriormente, el tamaño de los materiales fresados oscila de 50 a 100 mm. Por lo tanto, una fresadora funcional bien no sólo para el perfilado en frío, sino también como una máquina que podría reemplazar a la trituradora principal.

La siguiente figura muestra un método alternativo de triturado, utilizando una fresadora en un almacenamiento de material.



Figura 4.6

Una máquina fresadora de medio carril sirve de trituradora principal de 2.13m de ancho que reduce el material a trozos de 100 mm o más pequeños. Con este método, se puede usar una trituradora secundaria más pequeña en la planta de asfalto como se muestra en las Figuras 4.7 y 4.8

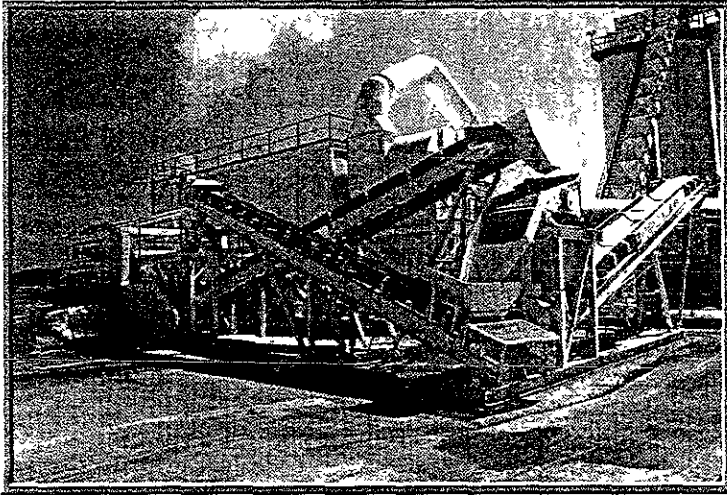


Figura 4.7

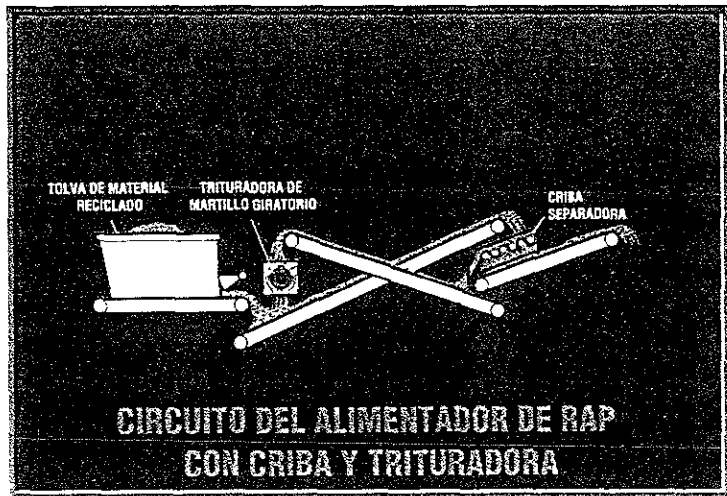
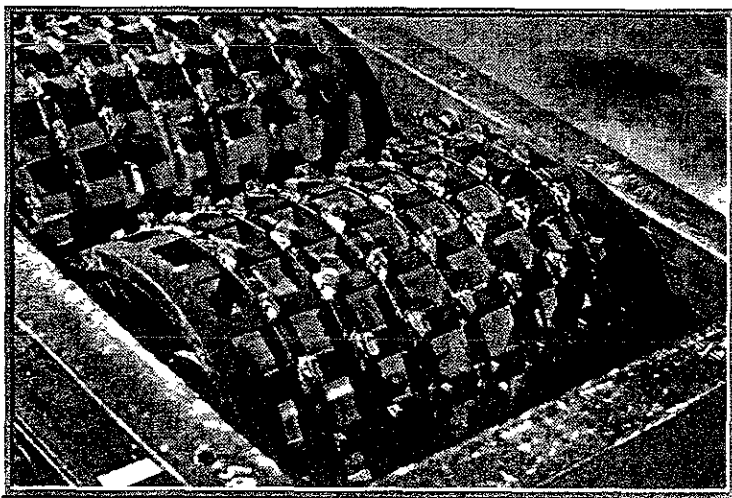


Figura 4.8

La trituradora pequeña permite alimentar el material a través de una tolva convencional para RAP en la planta de asfalto. El material se transporta después a una criba que separa el material de sobre tamaño, el cual se alimenta a una trituradora de impacto de martillo giratorio. La trituradora de martillo giratorio reduce el material a un tamaño de 13 mm o más pequeño y lo devuelve al transportador que lo lleva nuevamente a la criba

La trituradora puede procesar trozos con un tamaño máximo de hasta 150 mm. Por consiguiente, el 100 % del material fresado va a la planta y prácticamente no se genera desperdicio. De este modo, la fresadora se utiliza más completamente y se reduce la complejidad total del sistema comparado con uno que utiliza una trituradora de una o dos etapas.

Cuando se usa RAP triturado apilado, se puede usar una trituradora similar a la mostrada en la figura 4.9 para romper los trozos. Sin embargo, estas máquinas son trituradoras de servicio liviano, únicamente capaces de romper pedazos. Estas no evitan que se envíe material de sobre tamaño al mezclador. Esto se debe a que en realidad no trituran pedazos de material fresado duro o piedras como la trituradora mostrada en la figura 4.7.



*Figura 4.9*

## *Diseño de la mezcla*

Cuando se usa de modo apropiado, la introducción de RAP en una mezcla nueva puede producir una mezcla de calidad igual o superior que una obtenida con sólo materiales vírgenes. Como se mencionó anteriormente, el RAP debe manejarse como cualquier otro material virgen. Se desarrollan cursos especiales de diseño de la mezcla para la mezcla con RAP en las instalaciones de la National Asphalt Pavement Association y de Chicago Testing Laboratories.

A menudo, los productores desean usar cantidades grandes de RAP prestando poca atención al diseño de la mezcla. El análisis de la economía antes mencionada demuestra que no importa realmente el porcentaje de RAP que se añada a la mezcla, siempre y cuando se use todo el RAP disponible. Si un propietario de planta usa 20.000 toneladas de RAP por año preparando 100.000 toneladas de mezcla, experimentará menos problemas si añade 20 % de RAP en toda la mezcla, en lugar de añadir 50 por ciento de RAP en 40.000 toneladas de mezcla y ningún RAP en 60.000 toneladas de mezcla. Sus ahorros totales serán exactamente iguales.

La sensibilidad del diseño de la mezcla se hace mucho más grande conforme aumenta el porcentaje de RAP añadido. Típicamente, los reglamentos requieren el uso de líquidos vírgenes más suaves cuando la proporción de RAP exceda el 29 ó 30 %. El uso de líquidos más suaves afecta a menudo la calidad de los líquidos y causa problemas de emisión cuando se usan mezcladores de tambor de flujo paralelo.

## *Equipo para reciclaje*

Las necesidades han cambiando y las técnicas también, al transcurso de los años las plantas de asfalto han ido cambiando su diseño, de acuerdo a las necesidades y los cambios de especificaciones. Muchos de los cambios han sido causados por ahorros, mayor producción o por el mejoramiento de las emisiones contaminantes.

Hace 40 años, las plantas productoras de mezcla asfáltica, eran del tipo dosificadoras, y producían con una gran calidad, de estas plantas aún hay algunas en operación y siguen produciendo con gran calidad, aunque algunas se dediquen a mezclas asfálticas especiales de menor consumo

Debido a las restricciones por contaminar el ambiente y en especial el aire, a las plantas se les tuvo que adicionar equipos más grandes y difíciles de transportar. Por necesidad de un mejor control de las emisiones y de la contaminación, se les agregan a las plantas lavadoras húmedas y/o cámaras de filtro.

A comienzos de los años 70's, se introducen a la industria de las mezclas asfálticas las secadoras y mezcladoras de tambor, que aunadas a los silos de almacenamiento y a la disponibilidad de controles electrónicos más automatizados permite tener plantas productoras continuas y que con funcionamientos más sencillos y mayor facilidad de traslado, se logra una mayor economía en la producción.

De igual forma y debido a la escasez y dificultad de conseguir agregados pétreos y al aumento de precios del petróleo se comienza a considerar el reciclaje nuevamente como económicamente factible, por lo cual comienzan a instalarse plantas a las cuales se les introduce material reciclado.

Experimentalmente fue aumentando el 1 % de material del reciclado y fusión, apareciendo diferentes técnicas para obtener mezclas tanto técnica como económicamente adecuadas, lo cual conduce al diseño de plantas mezcladoras con separador con flujo paralelo que manejan material virgen y reciclado, logrando que el asfalto líquido virgen se uniera con el material reciclado, dando como resultado una mezcla homogénea. Las desventajas de éste tipo de plantas fueron evidentes, ya que requerían altas temperaturas y como consecuencia las plantas emitían mayor cantidad de gases y humos.

Entonces se diseñaron plantas con secador de contra flujo en lugar de secador de flujo paralelo, que trata de calentar en mayor grado a los agregados vírgenes y a menor temperatura los productos reciclados, reduciendo las emanaciones de gas y su temperatura de salida. Estas plantas tenían el inconveniente del corto tiempo de mezcla, por lo cual se producía una mezcla menos homogénea.

Para fines de los años 80's, era evidente que las plantas que se requerían debían manejar altos porcentajes de reciclado, con menor contaminación atmosférica. De igual forma deberían poder usar diversos productos de reciclado.

Se diseñan otros tipos de plantas, como la de doble y triple barril y la que tiene un mezclador de contra flujo con quemador incorporado, donde el material reciclado se introduce después del quemador y se mezcla con el agregado virgen caliente y el asfalto virgen líquido. Algunas desventajas de este tipo de plantas, son sus altas temperaturas en la carcasa y su corto tiempo de mezclado de materiales reciclados y vírgenes.

En las plantas más modernas los agregados vírgenes se secan a mayor temperatura, de 316°C a 343°C, para unirse después con el material reciclado. El material virgen supercalentado, funde los asfaltos viejos del material de reciclado y se mezclan, posteriormente se agrega asfalto líquido virgen a la mezcla. Todo esto, cuidando que el tiempo de mezcla sea el suficiente para producir una mezcla homogénea.

En el presente, ya se usan métodos de calentamiento, como las microondas, y se están desarrollando cada vez más rápido nuevas técnicas, haciendo obsoletas hasta las plantas que aún no han tenido el 50 % de su vida económica.

Las plantas mezcladoras continuas de tambor pueden preparar mezclas de alta calidad usando RAP. Sin embargo, los operadores deben tomar ciertas precauciones y evitar problemas relacionados con el uso de RAP. En las siguientes líneas se describen 3 plantas continuas de mezcla asfáltica en caliente las cuales según proveedores han entregado resultados favorables.

En conjunto, el equipo que compone una planta de estas características es básicamente el siguiente, cambiando solamente la estructura del tambor y en el caso de la planta micro-ondas la adición del dispositivo patentado.

- Tambor ( sencillo, doble o triple).- Es la zona de secado y mezclado, se explicara más adelante.
- Tolvas.- Su función radica en el almacenaje de material pétreo triturado y material fresado.
- Bandas transportadoras.- Estas bandas son el vehículo de el material triturado para llevarlo a la entrada de el tambor.
- Quemador.- Este es el generador de energía calorífica, el cual se ubica a la entrada del tambor y su función es aumentar la temperatura del agregado virgen.
- Bomba de asfalto y actuados.- Su función radica en abastecer el asfalto al mezclador de asfalto indicándo los litros por minuto.

- Silos.- Estos dispositivos permiten almacenar el producto final con un promedio de 180 Toneladas.
- Tanques de diesel y asfalto.- Los tanques permiten almacenar diesel y asfalto en tanques por separado de 40,000 litros promedio.
- Caseta de Control.- en esta se manipulan todas las actividades del proceso.

Cabe señalar que existen plantas para cada una de los métodos de reciclado enunciados al principio de este capítulo, sin embargo, se consideran las plantas continuas de tambor en caliente, debido a la calidad obtenida en la mezcla, además de ser un proceso más controlable, fácil y confiable.

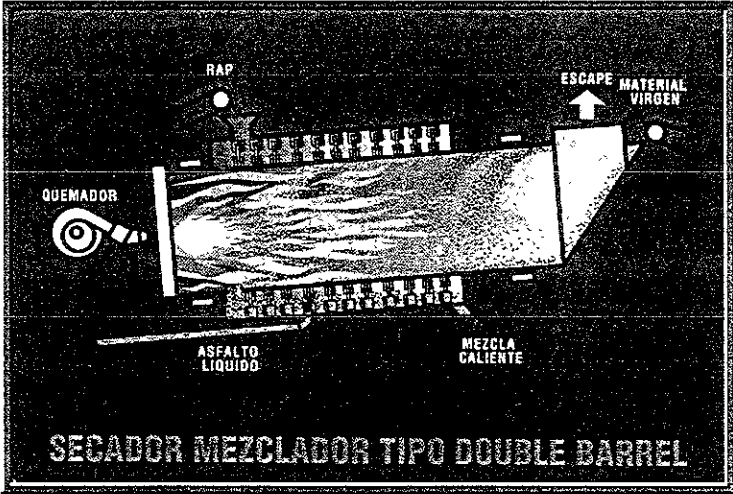
#### *Plantas mezcladoras de tambor*

- Planta Doble Tambor
- Plantas Triple Tambor
- Plantas de Tambor tecnología Micro - Ondas



*Planta ASTEC Doble Tambor*

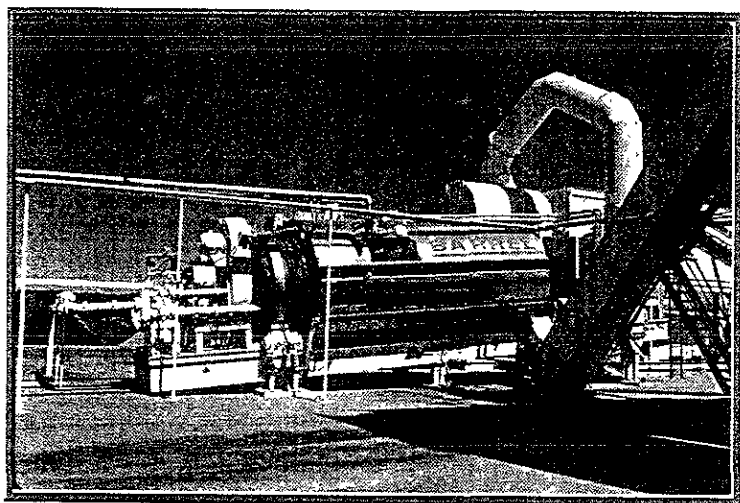
La siguiente figura muestra la planta mezcladora de doble tambor. Esta planta se compone de un secador de contraflujo y un mezclador. El mezclador de doble tambor funciona como un dispositivo grande ubicado debajo de la parte inferior del secador. Es un mezclador de tambor interior de 2,44 m de diámetro sirve como el eje mezclador de una cámara de mezcla muy grande, de 3,35 m de diámetro y 7,32 m de largo.



*Figura 4.10*

Este mezclador de gran tamaño da tiempo suficiente para que el RAP se funda completamente después de haberse mezclado con el material virgen sobrecalentado. El tiempo de mezcla es suficientemente largo para obtener una mezcla muy homogénea antes de que se inyecte el líquido nuevo en la mezcla.

Y hay un tiempo suficiente para que los materiales combinados se enfríen a la temperatura normal de mezcla después de haber añadido el RAP. Durante el proceso de mezcla, toda la cámara de mezcla se llena de vapor.

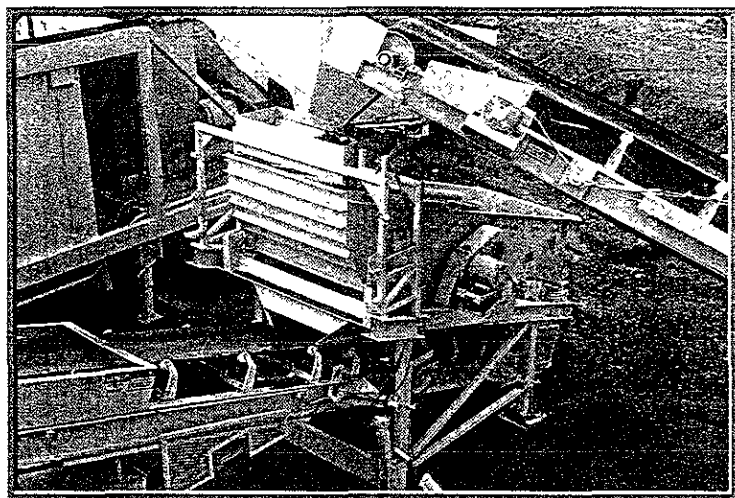


*Figura 4.11*

El vapor causa una atmósfera inerte en la sección de mezcla. El vapor tiende a separar el aceite ligero, pero ya que ningún gas fluye por el mezclador, el aceite permanece en la mezcla y hace más brillante el RAP, dándole la apariencia de una mezcla de puro material virgen.

El mezclador doble tambor permite que una planta de asfalto trabaje con volúmenes de alta producción con proporciones de RAP de hasta 50 por ciento sin contaminar la atmósfera. Tiene eficacia térmica alta, lo cual reduce los costos de operación considerablemente. El calor del tambor del secador va directamente a la sección de mezcla en vez de escapar a la atmósfera.

Para que cualquiera de las plantas antes mencionadas produzca buenas mezclas con RAP, el RAP deberá clasificarse como se muestra en la figura siguiente. El material de sobre tamaño deberá triturarse y pasarse nuevamente por el sistema. La inclusión de pedazos grandes de RAP en la mezcla no dará tiempo suficiente para que el calor penetre el material. Por consiguiente, los pedazos de RAP grandes no se fundirán adecuadamente.



*Figura 4.12*

En general, para preparar una buena mezcla que contenga RAP, éste debe reducirse a su tamaño original. Si el RAP consiste en una combinación de materiales de base, de ligante y de superficie, su tamaño deberá reducirse al del agregado virgen del material que se está produciendo. Este debe triturarse usando uno de los sistemas mencionados antes. Si se hace esto, se obtendrá un producto reciclado excelente igual o mejor que el que puede producir una mezcla de material virgen.

#### *Ahorro en la instalación de la Planta.*

La Planta ASTEC es fácilmente reubicable. No es lo mismo que una planta portátil o una completamente estacionaria, sin embargo, cuenta con características de ambas. Todos sus componentes, excepto los silos, representan una construcción modular y son rápidamente instalados.

La mayor parte de la instalación puede realizarse por la misma gente de la Planta de Asfalto del Gobierno de la Ciudad de México o la empresa ASTEC puede realizarlo. Esto ofrece un mejor control, con lo cual la Planta de Asfalto de la Ciudad puede fácilmente calcular con toda exactitud el presupuesto necesario para la instalación.

### *Ventajas en comparación con una Planta Estacionaria.*

Las Plantas ASTEC cuentan con las características claves de una planta estacionaria. Sin embargo, las ASTEC requieren mucho menos tiempo y dinero para su instalación. Por lo tanto, aunque la planta nunca sea reubicada en otro sitio, los ahorros iniciales en la instalación hacen de ésta una buena opción. Por supuesto, la planta está diseñada para ser reubicada en algún otro sitio sin mayores esfuerzos.

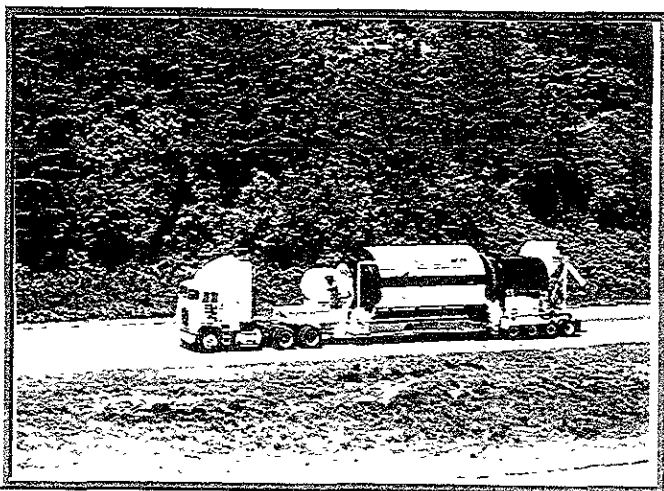
Su construcción modular elimina la necesidad de colocar bases de concreto y conductos, excepto los silos; de este modo, el sitio es fácil de preparar.

En este mismo sentido, una ventaja importante es el hecho de que la planta ASTEC puede comenzar a operar tan sólo tres semanas después de su entrega, mientras que otras plantas tardan hasta doce semanas en hacerlo.

### *Ventajas en comparación con una Planta Portátil.*

La Planta ASTEC tiene muchas ventajas importantes en comparación con una planta portátil. La planta puede usar mayor número de silos, además de más largos. El acceso para el mantenimiento es mejor. Pueden usarse cuartos de control más grandes. La cubierta interna del tambor mezclador es más gruesa.

Las Plantas ASTEC están construidas para ser transportadas por trailers de un solo remolque. No tienen suspensiones, volantes o llantas, por lo que el costo de mantenimiento de dichos componentes es nulo.



*Figura 4.13*

La eficiencia representa notables ahorros.

El mezclador de Doble Barril es más eficiente que los mezcladores convencionales.

No hay emisiones visibles con 50 % de RAP.

El diseño patentado de doble barril permite añadir hasta un 50% de material reciclado. Esto representa ahorros considerables sin ninguna pérdida en la calidad de la mezcla y sin causar emisiones visibles desde el colector de polvos. De esta manera, las emisiones se encuentran por debajo de los estándares internacionales aún cuando la mezcla se hace a temperaturas de hasta 165 °C.

Vida útil larga y costos bajos de mantenimiento.

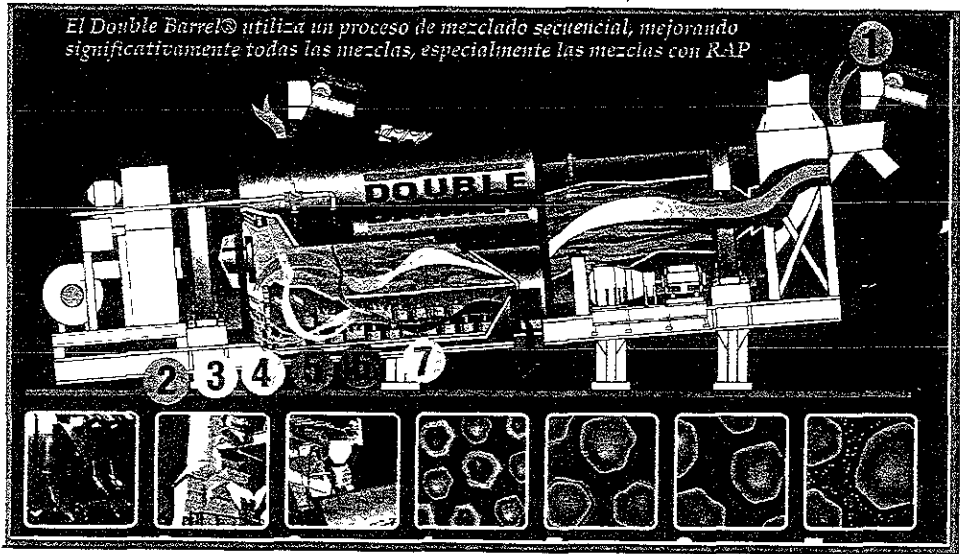
El costo de mantenimiento de un mezclador de doble barril es inusualmente bajo.

### *Proceso Planta de Asfalto ASTEC*

El proceso de elaboración de mezcla asfáltica es básicamente igual que en los demás casos de mezcla asfáltica en caliente, la diferencia radica en el tambor el cual se explica a continuación.

- Las tolvas de almacenamiento de triturado virgen y material fresado previamente acondicionado abastecen por medio de bandas transportadoras al tambor en las entradas que les corresponde a cada una.
- El agregado virgen entra al tambor, en donde se seca y se supercalienta.
- El agregado supercalentado sale del tambor y entra a la cámara de mezclado.
- El RAP sin calentarse se añade al agregado virgen.
- El RAP absorbe el calor del agregado virgen. El calor evapora la humedad.
- El asfalto viejo en el RAP se derrite y cubre el agregado virgen con una capa delgada cuando éste se enfría a la temperatura normal de mezclado.
- El cemento asfáltico virgen se inyecta, revistiendo el agregado virgen y el agregado viejo con una película gruesa de asfalto.

- Los materiales finos se agregan y se incrustan en la película asfáltica gruesa. El mezclado continúa hasta que la mezcla salga de la cámara.
- A la entrada del agregado virgen se encuentra un ducto que esta conectado al colector de polvo, que es el lugar donde capta todo el filler (polvo) por medio de unas bolsas de tela nomex, las cuales se sacuden por medio de aire comprimido, provocando que por gravedad el filler caiga y un helicoidal lo transporte al proceso final del mezclado.
- El material, ya producto terminado, es transportado por medio de un elevador de rastras a los silos que es el lugar en donde se despacha.



*Figura 4.14- Los recuadros llevan el número secuencial que se indica en la máquina.*

## ***Planta de asfalto de tambor tecnología micro-ondas CYCLEAN INC.***

CYCLEAN Inc., ofrece una nueva tecnología de energía de microondas para convertir el pavimento de asfalto recuperado (RAP) en concreto de asfalto reciclado (RAE) con una calidad al menos equivalente a la del asfalto virgen de la mezcla en caliente, todo esto a través de una propiedad a la cual ellos llaman Cool-Flow.

El proceso, propiedad de Cyclean, restaura la capacidad de unión y las propiedades mecánicas del cemento de asfalto líquido ("AC-20") en RAP. Esto permite que la roca y el cemento de asfalto trabajen juntos otra vez, como lo hicieron en la mezcla original del producto, creando una superficie de camino duradera y evitando una pérdida de dinero y de recursos naturales. Las pruebas de campo y de laboratorio han demostrado que el proceso de Cyclean produce asfalto que es física y químicamente incapaz de distinguirse del asfalto virgen de mayor calidad. El proceso Cyclean evita el daño a la calidad del asfalto provocado por el calor que comúnmente resulta de la adición de RAP en las alternativas convencionales de manufactura. La instalación que ellos proponen, incorpora varias innovaciones patentadas que permiten el uso de más del 85% de material reciclado - agregado de piedra y AC-20 - en el RAP.

### *Equipo*

- Tambor/Secador, el cual emplea la tecnología de transferencia de calor Cool-Flow.
- Almacenamiento del gabinete del quemador, quemador principal y oxidificador termal para eliminar las emisiones que contaminen el aire.
- Cuarto de control computarizado.
- Centro de control del motor, compatible con otros equipos CYCLEAN.
- Sistema de manejo de aire, compatible con el cargador de polvo y con la velocidad del aire del proceso Cool-Flow.
- Bombas de micro movimiento para medir con exactitud el agente de reciclaje.
- La unidad de microondas para aplicar el proceso patentado de energía de microondas.
- El transportador de tablilla de arrastre corto para alimentar el material ala unidad de microondas.
- Silos y separador de lotes, tablilla de arrastre principal para manejar la producción de múltiples productos.
- Sensores y controles adaptados para el proceso de Cool-Flow.



*Figura 4.15.-Planta Cycleclean*

#### *Experiencia en el extranjero.*

Las plantas de Cycleclean operadas por esta empresa en los Ángeles California, pueden producir actualmente más de 1500 toneladas al día, en un periodo de 8 horas, con un contenido mayor al 85% de RAP.

Dichas plantas han logrado producciones de 200 toneladas por hora, además de cumplir y exceder los estándares de calidad y las normas de emisión de contaminantes.

#### *Tiempo para la instalación*

El tiempo de instalación será de 180 días desde el aviso de inicio hasta la calibración final, excluyendo cualquier retraso inusual, como la obtención de permisos y aprobaciones.

#### *Consideraciones ambientales*

La planta de asfalto requiere instalaciones de reciclaje y producción de asfalto que sean seguros para el medio ambiente.



En el futuro, la planta de asfalto tal vez quiera usar la planta para manufacturar asfalto virgen con un porcentaje más bajo de contenido reciclado, o para manufacturar asfalto usando aditivos de polímeros de asfaltos modificados. Las innovaciones propuestas por Cyclean podrán ser ajustadas a la producción de asfalto virgen con concentraciones más bajas de RAP, incluyendo 100% de material virgen. En fin, no existe alguna barrera técnica o mecánica para producir mezcla asfáltica con material virgen 100 % con el equipo propuesto por Cyclean. La instalación de Cyclean en Donnegal Pennsylvania ha producido materiales 100% vírgenes. El proceso también ha sido probado en las instalaciones de Georgia.

El diseño de Cyclean para esta propuesta utiliza la tecnología de silo asfáltico que es compatible con la mezcla de asfalto de alta calidad producida por los procesos de producción de asfalto patentados Cool - Flow y de microondas. El personal de Cyclean tiene gran experiencia en la especificación, diseño, ingeniería, manufactura, instalación y operación de las instalaciones de almacenamiento por un largo periodo de tiempo incluyendo, aproximadamente, 100 silos en docenas de instalaciones en Norteamérica y Europa.

#### *Programa de aseguramiento de calidad*

La calidad de los materiales usados en el proceso Cyclean comienza con la observación de que al menos el 85% del contenido del producto final es material añadido que ha sido de una calidad suficientemente alta. Las rocas duran millones de años y no se deterioran al estar en el concreto asfáltico. El proceso propuesto por Cyclean cuidadosamente filtra, grava y mezcla los materiales reciclados con una pequeña porción de los más apropiados materiales vírgenes para asegurar que cumplen con las especificaciones de calidad al ser entregadas a las instalaciones de manufactura.

#### *Asuntos ambientales*

La mezcla de asfalto producida por el proceso Cyclean ha demostrado que a su vez puede ser reciclada repetidamente mediante este mismo proceso.

A diferencia de los procesos convencionales de manufactura de asfalto que usan pequeñas cantidades de RAP, esencialmente no hay ningún humo contaminante lanzado durante el proceso de reciclado Cyclean. Los procesos de energía de microondas y Cool - Flow se combinan para calentar el cemento asfáltico en el RAP sin quemarlo. Las emisiones de Cyclean están

muy por debajo de los límites del Distrito Federal, de la Administración de la Calidad del Aire de la Costa Sur de California, una de las más estrictas de Estados Unidos.

Según datos recopilados de la experiencia de otras plantas con el proceso en estudio, todas ellas cumplen o exceden todos los estándares de la calidad del aire y emisiones de los más exigentes de los Estados Unidos.

Las plantas Cyclean que producen la mezcla de asfalto con más del 85% de contenido reciclado típicamente reducen significativamente las emisiones producidas por las tecnologías de las plantas de mezcla asfáltica convencionales usando no más del 15% de contenido reciclado.



*Figura 4.16.-Planta Cyclean en los Angeles California.- El cielo totalmente limpio sin ninguna emisión de partículas*

#### *Proceso Cyclean*

- Las tolvas de almacenamiento de triturado virgen y material fresado previamente acondicionado abastecen por medio de bandas transportadoras al tambor.
- En el tambor se calienta el fresado y el agregado virgen con aire tibio a una temperatura de 105°C.
- Si se requiere se agrega un agente rejuvenecedor al RAP y al triturado virgen y se mezclan. De no utilizar un rejuvenecedor se agrega asfalto AC-20 a 140°C.

- Se pasa al generador micro-ondas que calientan el RAP alrededor de 150°C, esto se hace sin quemar el asfalto y sin producir emisiones dañinas para el medio ambiente, aquí la mezcla asfáltica toma la apariencia de haber utilizado solo material virgen.
- A la entrada del tambor se encuentra un ducto que esta conectado al colector de polvo electroestático, que es el lugar donde capta todo el filler (polvo) por medio de unas placas cargadas eléctricamente, las cuales dejan caer el polvo al cambiarlas de polaridad, provocando que por gravedad el filler caiga y un helicoidal lo transporte al proceso final del mezclado
- El material, ya producto terminado, es transportado por medio de un elevador de rastras a los silos que es el lugar en donde se despacha.

### ***Planta de asfalto de mezcla en caliente con triple tambor CMI.***

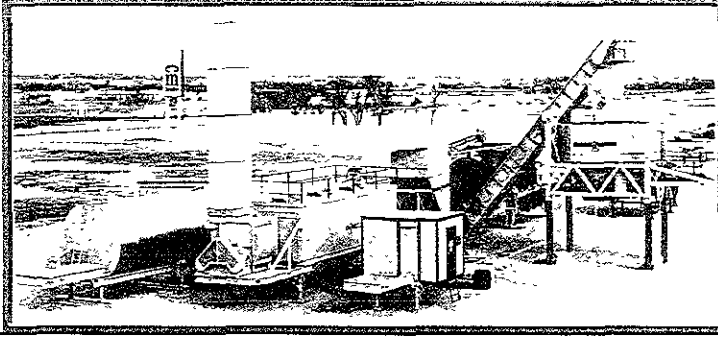
La planta de asfalto en caliente de triple tambor ofrece tres zonas de secado y calentamiento en un solo tambor, con el fin de proveer una mayor capacidad de producción para material virgen y mezclas de RAP.

El diseño de la planta tiene como característica única el cambio, en muy poco tiempo, de las zonas de transferencia de calor, lo cual permite un aumento significativo en la producción, además de permitir el fácil cambio del secador al mezclador. Dicha característica también representa una mayor transferencia de energía calorífica al agregado y un menor escape a través del revestimiento del tambor.

De hecho, el triple tambor está proyectado para ofrecer la mayor productividad en la industria tanto del agregado virgen, como en las mezclas asfálticas recicladas producidas a través de un solo tambor. Esto, combinado con una menor pérdida de calor a través del revestimiento del tambor en la zona de combustión, así como una menor temperatura de salida de los gases producidos en las operaciones de mezcla de agregados vírgenes, hacen de dicha planta una buena opción, puesto que cuenta con uno de los mejores balances en lo que a operación y desempeño ambiental se refiere.

Debido a que todas las operaciones de secado, calentado y mezcla toman lugar en el triple tambor, los costos de adquisición, instalación y mantenimiento de la planta son significativamente bajos comparados con la capacidad de producción con la que cuenta dicha tecnología.

La reducción en la velocidad de salida de los gases significa que el triple tambor necesita un menor manejo en cuanto a recolector de polvos se refiere, lo cual representa una buena ventaja en comparación con otras plantas que utilizan esta misma tecnología.



*Figura 4.17.-Planta de Asfalto de Triple Tambor*



*Figura 4.18.-Planta de Asfalto de Triple Tambor, se observa la alimentación de Reciclado*

#### *Proceso CMI triple tambor*

- Las tolvas de almacenamiento de triturado virgen y material fresado previamente acondicionado abastecen, por medio de bandas transportadoras al tambor en las entradas que les corresponde a cada una.
- El agregado virgen entra al primer tambor en donde se seca y se supercalienta

- El agregado virgen se distribuye pasando una parte al segundo tambor para mezclarse con el RAP, y la otra parte sigue sobre el mismo tambor hasta llegar al tercer tambor mezclador.
- El RAP sin calentarse entra al segundo tambor, en donde por medio de radiación absorbe calor, además de que una parte de material virgen supercalentado se mezcla en el RAP absorbiendo calor en este caso por conducción. En este tambor la humedad se evapora y el asfalto viejo en el RAP se derrite y cubre el agregado virgen con una capa delgada.
- El cemento asfáltico virgen se inyecta, revistiendo el agregado virgen y el agregado viejo con una película gruesa de asfalto.
- Los materiales finos se agregan y se incrustan en la película asfáltica gruesa.
- A la entrada del agregado virgen se encuentra un ducto que esta conectado al colector de polvo, que es el lugar donde capta todo el filler (polvo) por medio de unas bolsas de tela nomex, las cuales se sacuden por medio de aire comprimido, provocando que por gravedad el filler caiga y un helicoidal lo transporte al proceso final del mezclado.
- El material, ya producto terminado, es transportado por medio de un elevador de rastras a los silos que es el lugar en donde se despacha.

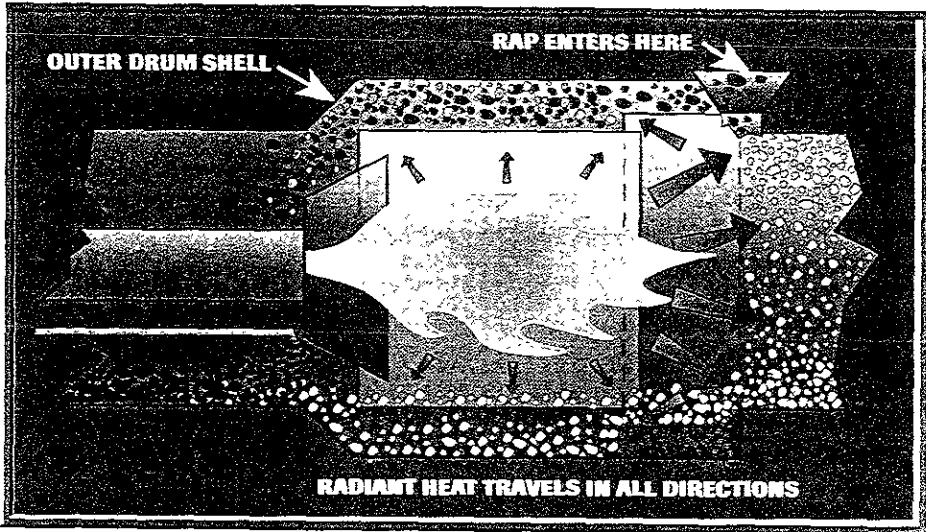


Figura 4.19.-Principio de Mezclado Triple Tambor

## *El hule de llanta en pavimentos, una alternativa ecológica*

Como ya vimos el pavimento se puede recuperar manteniendo las mismas propiedades de estabilidad y durabilidad, no así con el hule de llanta de los automóviles, pues no se puede recuperar para producir nuevamente llantas sin embargo se puede utilizar para producir pavimentos asfálticos ahulados. La siguiente información fue proporcionada por el Ing. Carlos Mora Vanegas, en una conferencia sobre el hule de llanta en pavimentos en agosto de 1999.

El hule de llanta en pavimentos fue desarrollado en Phoenix, Arizona de 1964 y actualmente se utiliza en muchos países del mundo, como en Europa, Estados Unidos, Canadá, México y otros.

En nuestro país, su uso ha estado orientado a la construcción de carpetas de graduación abierta a partir de 1994, CAPUFE inició la rehabilitación de autopistas con la especificación de asfalto ahulado.

El asfalto modificado con hule molido de llantas esta definido como: una mezcla de cemento asfáltico, hule reciclado y ciertos aditivos en los que el hule representa por lo menos el 15 % del peso total de la mezcla, el cual ha reaccionado con el cemento asfáltico lo suficiente para provocar la fusión e integración de las partículas de los componentes.

Los mejores resultados se han alcanzado utilizando un mínimo de 17% de hule, mezclados a temperaturas entre 177 y 205°C para su reacción.

Por otro lado, el concreto asfáltico ahulado de graduación abierta (ARC), es un concreto asfáltico convencional con la diferencia que en vez de utilizarse solo cemento asfáltico, se utiliza *cemento asfáltico ahulado*, con un residuo asfáltico mucho mayor (9 a 10%) que el de concretos asfálticos convencionales. Este concreto proporciona una carpeta con mayor resistencia a la fricción, más durable a la oxidación al desmoronamiento, a la reflexión de grietas y al desgaste en general. Otras características importantes de este concreto asfáltico son:

- Proporciona bajos niveles de ruido
- Superficie porosa que evita la acumulación de agua y protege contra hidroplaneo y proyección de la misma
- Acabado superficial antiderrapante y antirreflejante
- Aumenta la comodidad en el manejo
- Ayuda a un frenado más efectivo
- Sobre pavimentos ahulados se incrementa la comodidad y seguridad del conductor, así como también se ahorra por desgaste del vehículo.

Comparando con otras alternativas de rehabilitación, como sobrecarpetas, fresado, repavimentación o reconstrucción, las carpetas de concretos asfálticos ahulados, ocupan el primer lugar de ahorro en costos. Su resistencia superior al agrietamiento, flexionamiento, así como su efecto impermeable, logran mayor extensión entre los periodos de mantenimiento, en comparación con los materiales convencionales, lo que reduce significativamente sus costos de mantenimiento a futuro.

El Departamento del Transporte de Arizona ha evaluado costos usando asfalto ahulado. Sus evaluaciones muestran que una tonelada de concreto asfáltico ahulado es del 25 al 75% más costosa que una tonelada de concreto asfáltico convencional. Sin embargo el Departamento de Arizona establece que el concreto ahulado es menos costoso por los espesores más delgados que se requieren, lo cual reduce la cantidad de materiales a utilizar, además de su desempeño libre de mantenimiento, lo que en suma reditúa en menores costos.

En conclusión, las experiencias más antiguas indican que las propiedades del asfalto ahulado, pueden extender la vida de los pavimentos entre seis y diez veces, comparativamente con la utilización del asfalto convencional.

Los espesores de las carpetas pueden ser reducidos al utilizar asfalto ahulado para la fabricación del concreto asfáltico.

La capa impermeable que forma el asfalto ahulado protege eficazmente la estructura del pavimento, al evitar la filtración de humedad en sentidos descendente y ascendente.

La mayor cantidad de aglutinante de asfalto ahulado requerido para la mezcla con agregados, debido a su alta viscosidad, proporciona mayor elasticidad, flexibilidad, así como soporte estructural a la carpeta.

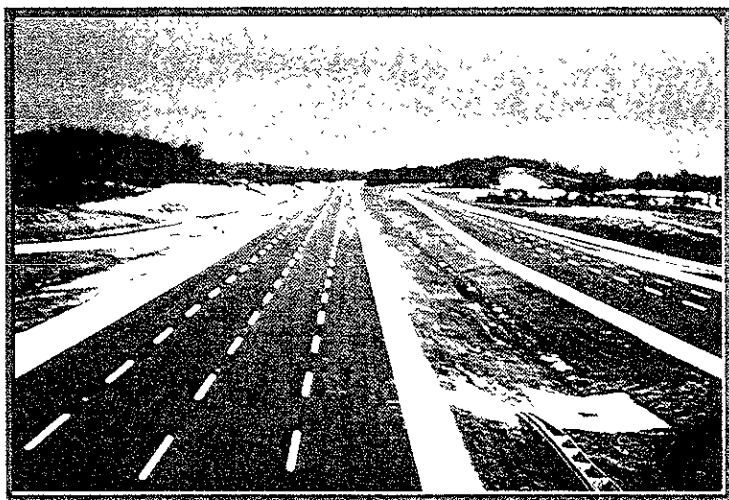
El aprovechamiento de un recurso no degradable que se encuentra en nuestro ambiente causando contaminación y problemas es razonable y necesario, toda vez que su utilización se encuentra sustentada por los resultados y la experiencia.



## *Ventajas del RAP*

El reciclaje ofrece enormes ventajas para la industria de pavimentación con asfalto. Las carreteras de asfalto, que se muestran en la figura de abajo, logran un ciclo de vida infinito como consecuencia de la capacidad de extraer un material superficial viejo y volverlo a procesar.

El uso de material generado del fresado puede reducir de modo significativo el costo de la mezcla de asfalto. El reciclaje es y continuará siendo una importante ventaja para la industria. Seguramente llegará a formar parte de las operaciones de todas las plantas de mezcla del mundo.



*Figura 4.20*

Por otro lado, generalmente las plantas de asfalto de reciclado en frío son plantas que trabajan en el sitio el trabajo, ésta ventaja si contrarresta las especificaciones de calidad de la mezcla, puesto que la mezcla asfáltica generada por éste proceso no es apta para vías primarias por requerir características que soporten circulación de tránsito pesado y constante, además de que su vida útil se ve reducida, por lo que su campo de aplicación es para bacheo, estacionamientos o incluso vías secundarias o terciarias.

En la actualidad existen emulsiones asfálticas que permiten aumentar la vida útil de la mezcla asfáltica en frío y nos arrojan resultados favorables incluso para tráfico pesado, sin embargo la Planta de Asfalto del Distrito Federal ha monitoreado el comportamiento de diferentes pavimentos de mezcla en frío en el D.F. y ha obtenido resultados negativos, es por eso que la Gerencia Técnica de la propia Planta recomienda mezcla asfáltica producida en caliente.

Por lo anterior no se considera la tecnología de reciclado en frío para fines de evaluación.

# CAPITULO V



# CAPÍTULO V

## EVALUACIÓN DEL PROYECTO

### *Fases del proyecto*

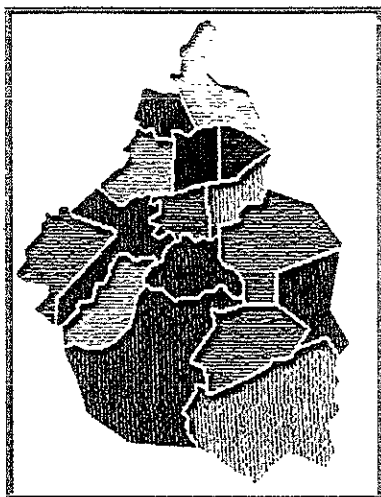
La siguiente evaluación esta dividida en tres fases:

- La primera incluye la información reunida sobre el mercado local de la mezcla asfáltica. Estos datos permitirán analizar el mercado actual y prever la futura demanda de mezcla asfáltica en el Distrito Federal.
- La segunda presenta los resultados del estudio de mercado realizado y define las variantes técnicas que ésta contempla.
- La tercera compara las diversas variantes considerando las necesidades de la Planta de Asfalto del Gobierno de la Ciudad.

### *Datos relativos al mercado local de mezcla asfáltica*

#### *Situación económica general*

El Distrito Federal cuenta con una superficie de 1, 486.45 km<sup>2</sup> (de acuerdo con el marco geoestadístico de INEGI), representa el 0.08 % de la superficie total del país. Está dividida administrativamente en 16 Delegaciones, las cuales realizan obras de repavimentación y bacheo por lo que se consideran clientes seguros, puesto que el 100% de la mezcla asfáltica requerida por dichas Delegaciones la provee la Planta de Asfalto. Por otro lado existe la Secretaria de Obras Públicas, la cual se encarga de pavimentar, repavimentar y dar mantenimiento a las vialidades primarias, como periférico, viaducto, ejes viales y carreteras Federales que conectan a la ciudad con las zonas aledañas. La demanda de la Secretaría de Obras Públicas es cubierta por la Planta de Asfalto en el 70% del total de mezcla requerida. El mapa del Distrito Federal aparece a continuación.



*Figura 5.1 Mapa del Distrito Federal*

La tasa de crecimiento económico del Distrito Federal es aproximadamente de 4.67 % anual<sup>1</sup>. Durante el periodo 1992-1999, la evolución del producto interno bruto (PIB), calculado a precios constantes de 1993, fue como se muestra en el siguiente cuadro:

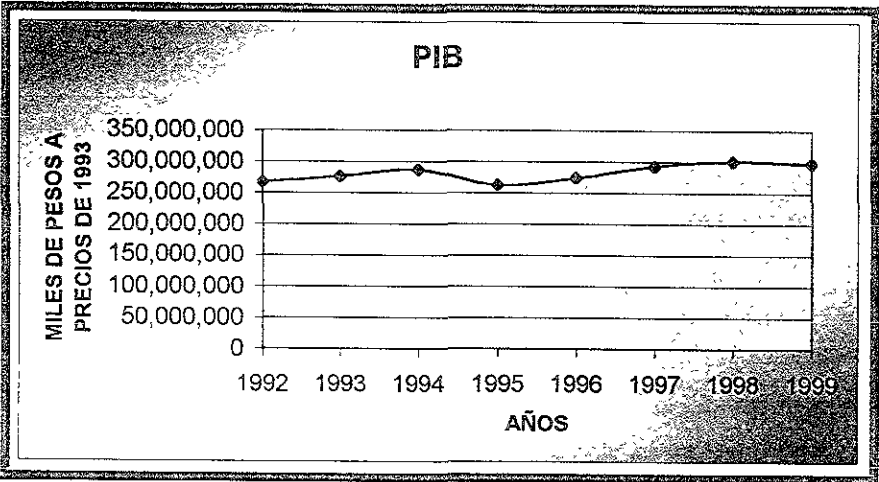
<b>AÑOS</b>	<b>PIB del D.F. (Miles de pesos a precios de 1993)</b>
1992	266,753,192
1993	276,461,702
1994	286,463,350
1995	261,890,107
1996	273,421,566
1997	292,321,731
1998	300,980,225
1999	297,093,035
<b>Coefficiente de correlación</b>	<b>0.736</b>

*Tabla 5.1*

*Fuente: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México*

*1. Fuente: Página en internet de INEGI*

Si se lleva a una gráfica los valores del PIB en función del tiempo, muestran un comportamiento sensiblemente lineal en el periodo 1992-1999, como se muestra en la gráfica 5.1.



Gráfica 5.1

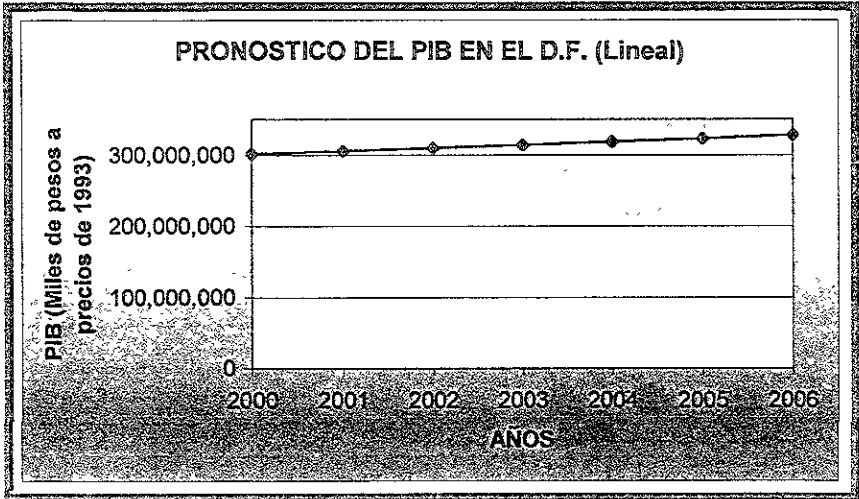
Se estima que, habida cuenta de los planes de desarrollo previstos, la tasa de crecimiento del PIB observada en los últimos años deberá mantenerse más o menos al mismo nivel durante los venideros.

Para establecer el PIB del D.F. de los próximos años, se utilizan dos métodos de pronósticos, es decir, se aplican fórmulas que suponen el crecimiento del PIB tanto en función lineal como en función exponencial del tiempo.

PRONOSTICO LINEAL DEL PIB D.F. ( MILES DE PESOS A PRECIOS DE 1993)		
AÑOS	LINEAL	EXPONENCIAL
2000	301,427,298	301,602,126
2001	305,761,562	306,238,249
2002	310,095,825	310,945,637
2003	314,430,088	315,725,385
2004	318,764,352	320,578,606
2005	323,098,615	325,506,429
2006	327,432,878	330,510,001
Coefficiente de correlación	0.942	0.946

Tabla 5.2

Prácticamente los coeficientes de correlación son los mismos y representan una liga bastante significativa, ahora bien, se podrían considerar cualquiera de los pronósticos, sin embargo se utilizan los obtenidos por el método lineal ya que son más conservadores.



Gráfica 5.2

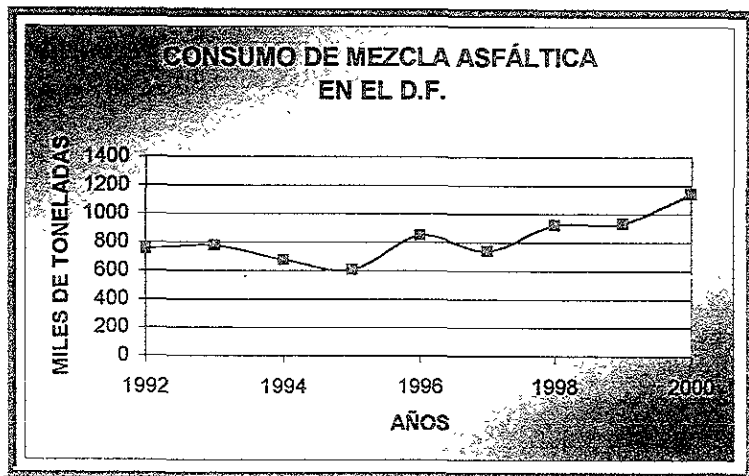
## Condiciones de la demanda

En la siguiente tabla se muestra la evolución del consumo total de mezcla asfáltica durante el periodo 1992-2000. La tasa de crecimiento durante ese lapso fue de 6.92 % al año.

AÑOS	CONSUMO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN EL D.F. (Miles de toneladas)
1992	751
1993	777
1994	675
1995	607
1996	846
1997	740
1998	921
1999	933
2000	1143
Coefficiente de correlación	0.754

Tabla 5.3

Fuente: Planta de Asfalto del Gobierno del D.F.



Gráfica 5.3



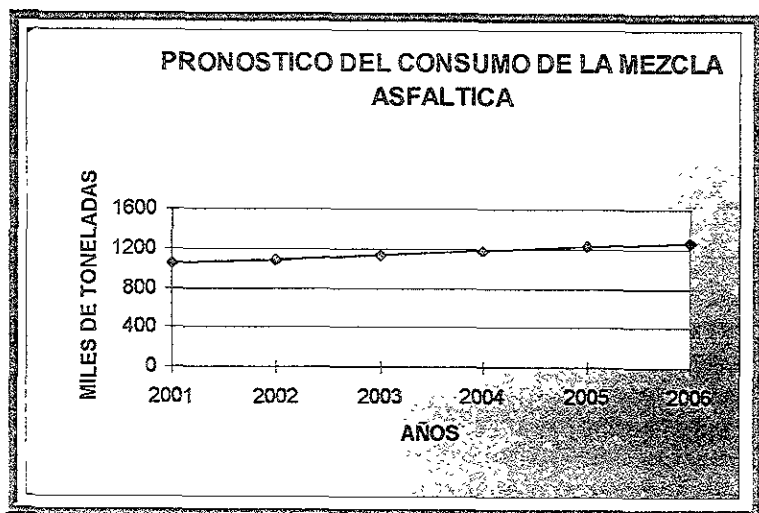
Para el cálculo del consumo de mezcla asfáltica durante los próximos seis años, se utilizan dos métodos de pronósticos, uno como función lineal del tiempo y otro como función exponencial.

AÑOS	MILES DE TONELADAS (LINEAL)	MILES DE TONELAS (EXPONENCIAL)
2001	1043	1142
2002	1088	1096
2003	1132	1153
2004	1176	1213
2005	1221	1277
2006	1265	1343
Coefficiente de correlación	0.928	0.936

Tabal 5.4

Cabe señalar que estos datos se basan en fuentes diferentes, un análisis de la producción por sectores, (sector público y privado).

Aunque el coeficiente de correlación del método exponencial es mejor, se utilizará el pronóstico lineal con respecto al exponencial, dado que los valores obtenidos por el método elegido son más conservadores.



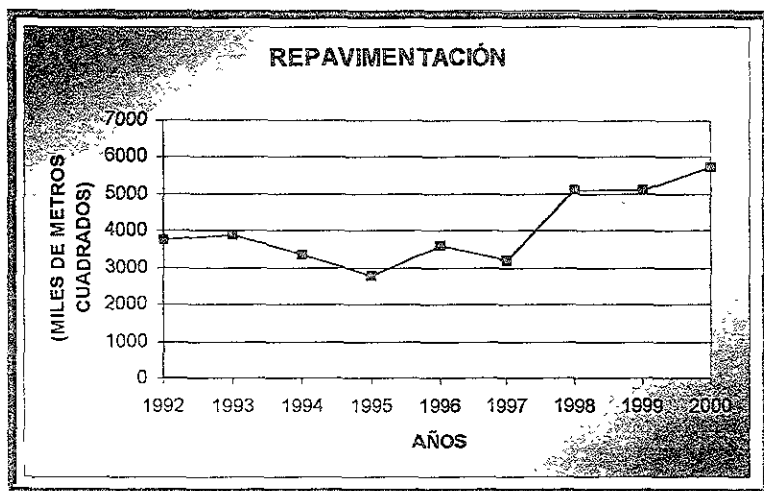
Gráfica5.4

Finalmente, existe una interesante serie de cifras anuales sobre la repavimentación en el Distrito Federal, la cual es mostrada a continuación:

AÑOS	REPAVIMENTACIÓN (Miles de metros cuadrados)
1992	3755
1993	3885
1994	3375
1995	2800
1996	3600
1997	3200
1998	5100
1999	5100
2000	5715
Coefficiente de correlación	0.6985

Tabla 5.5

Fuente: Planta de Asfalto del D.F.



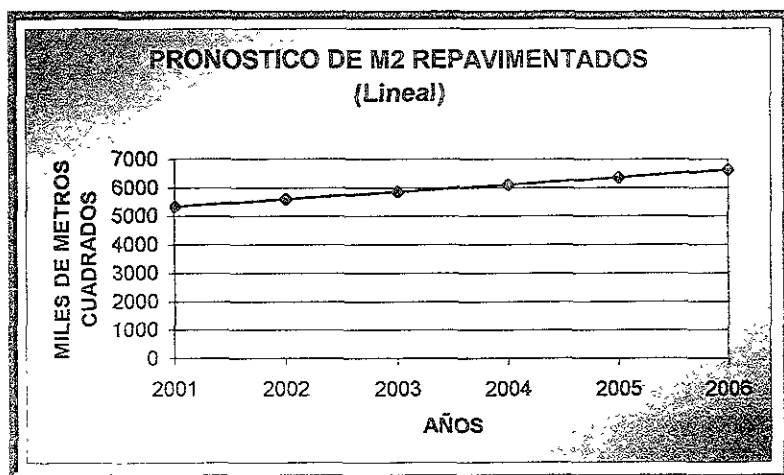
Gráfica 5.5

Ahora se calcula bajo el mismo esquema de la metodología antes empleada el pronóstico de los metros cuadrados que se repavimentarán durante los próximos seis años

AÑOS	MILES DE m <sup>2</sup> (LINEAL)	MILES DE m <sup>2</sup> (EXPONENCIAL)
2001	5337	5273
2002	5592	5586
2003	5848	5917
2004	6104	6268
2005	6359	6639
2006	6615	7033
Coefficiente de Correlación	0.9035	0.9129

Tabla 5.6

Nuevamente se elige el método lineal por las razones antes mencionadas.



Gráfica 5.6

## Condiciones de la oferta

A continuación se muestra un análisis de la capacidad instalada de producción de mezcla asfáltica de cada una de las empresas que se encuentran en la Ciudad de México o en zonas aledañas. Cabe señalar que dos de estas empresas son proveedoras vigentes del Gobierno del Distrito Federal, además de la propia PADF.

EMPRESA	CAPACIDAD INSTALADA	TECNOLOGÍA	IMAGEN DE CALIDAD
150 TRIBASA Iztapalapa Atlipac Edo. De Mex.	350 ton/hr	Tecnología para reciclaje hasta 35%	Cumple especificaciones
2. Apicsa Chimalhuacán Edo. De Mex.	250 ton/hr	Similar PADF Con reciclado	No cumple especificaciones
3. Xometla (ICA) Acoiman Edo. De Mex.	250 ton/hr	Tecnología de punta reciclable 35%	Cumple especificaciones
4. Cotepsa Venta de Carpio Ecatepec, Edo. De Mex.	350 ton/ hr 150 ton/ hr	Tecnología similar PADF número 5 con reciclaje	En ocasiones cumple especificaciones
5. Camasa (masa) ventas de carpio ecatepec, Edo. De Mex.	100 ton/ hr	Reciclan aunque contaminan similar PADF número 5	No cumple especificaciones
6. Pegusa Villa del Carbón Edo. De Mex.	250 ton/hr	Similar PADF número. 6 (detenida actualmente)	No cumple especificaciones
7. Asfaltos Industriales Tultepec-Coacalco Edo. De Mex.	150 ton/hr	Similar PADF no. 5 más antigua	No cumple especificaciones
8. J V A Huixquilucan Edo. De Mex.	300 ton/ hr	Similar PADF no. 5 más antigua	No cumple especificaciones
9. Majesa Cuajimalpa Edo. De Mex.	150 ton/hr	Similar PADF número 5	No cumple especificaciones

EMPRESA	CAPACIDAD INSTALADA	TECNOLOGÍA	IMAGEN DE CALIDAD
10. PROBICA Iztapalapa, D.F.	250 ton/hr	Mezcla en frío con material reciclado Usan tezontle	No cumple especificaciones
11. Montserrat Iztapalapa, D.F.	150 ton/hr	Similar D.F. No.5 reciclan contaminando	No cumple especificaciones
12. G C I Portátil se ubica donde la requiere la S.C.T.	200 ton/hr	Tecnología de punta con reciclado	Cumple especificaciones
13. PADF. Coyoacán, D.F.	480 ton/hr	Sin tecnología de punta, sin automatización con buenos materiales de acuerdo a experiencia de los trabajadores	Cumple especificaciones
14. LASA Mantenimiento carretera Jorobas Guerrero	150 ton/hr	Similar D.F. número 5 con automatización	En ocasiones cumple con especificaciones

**Tabla 5.7**

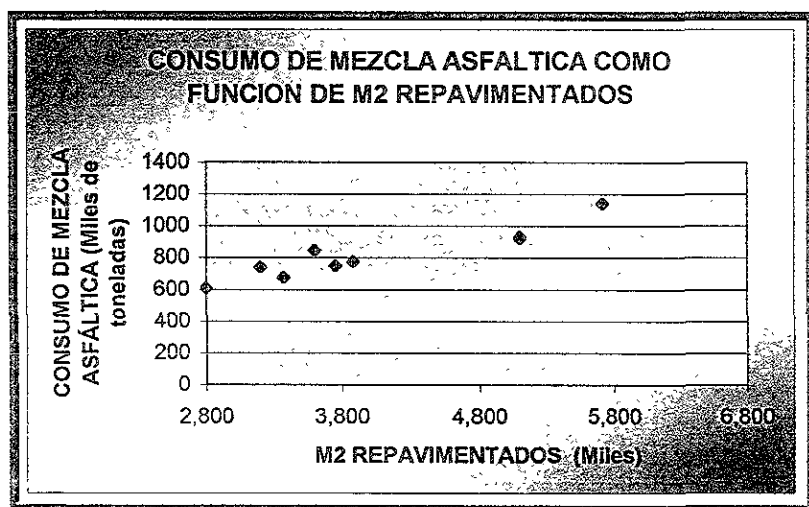
**Fuente: Subgerencia de Laboratorio de Control de Calidad de la Planta de Asfalto del D.F.**

Como podemos observar en la tabla anterior muchas de las empresas no cumplen con las especificaciones de calidad del Gobierno del D.F., varias de ellas no lo cumplen puesto que su material esta diseñado para bacheo, estacionamientos o vialidades donde no exista tráfico pesado.

## Resultados del estudio de mercado

### Estimación del consumo de mezcla asfáltica a partir del número de metros cuadrados repavimentados

La correlación lineal del consumo de mezcla asfáltica con el número de metros cuadrados de repavimentación por cada año, como se muestra en la siguiente gráfica, conduce a una línea de regresión cuya ecuación es:



Gráfica 5.7

$$C = 0.1506 x + 282$$

donde:

C = consumo de mezcla asfáltica en miles de toneladas

x = metros cuadrados de repavimentación anuales

El coeficiente de correlación es de 0.9376. Con base en el pronóstico de 6615 metros cuadrados por repavimentar en el año de 2006, se tiene una segunda estimación del consumo de mezcla asfáltica para dicho año de 1,278,000 toneladas.

## Conclusiones del estudio de mercado

Las dos estimaciones del consumo de mezcla asfáltica en el periodo del 2000 al 2006, obtenidas anteriormente, son bastante concordantes, puesto que sólo difieren en menos del 4 % como se puede observar en la tabla 5.8, por lo que el pronóstico se puede considerar confiable.

Por otra parte la estimación del PIB del D.F. hace suponer que éste continuará aumentando por lo menos durante los próximos seis años, lo que hace pensar que no se tendrán problemas económicos en el D.F. y por lo tanto la PADF no sufrirá restricciones económicas.

En suma, puede estimarse razonable y conservadoramente que el consumo de mezcla asfáltica llegará cuando menos a 1,000,000 de toneladas por año en el periodo 2000–2006, por lo que ésta cifra se utilizará en adelante para cualquier cálculo.

PRONÓSTICO DE CONSUMO DE MEZCLA ASFÁLTICA			
AÑOS	MILES DE TONELADAS (Lineal)	MILES DE TONELADAS (Con base en m <sup>2</sup> repavimentados)	DIFERENCIA DE PRONÓSTICO
2001	1043	1086	3.96
2002	1088	1124	3.20
2003	1132	1163	2.67
2004	1176	1201	2.08
2005	1221	1240	1.53
2006	1265	1278	1.01

Tabla 5.8

Si bien las empresas que pueden competir con calidad, tales como TRIBASA e ICA, actuales proveedores del Gobierno del D.F., no se pueden considerar como una competencia importante, puesto que el mercado principal de éstas compañías es el Estado de México, además su precio por tonelada es superior al de la PADF.

Incluso la propia GCI de la SCT la cual cumple con las especificaciones de calidad, no se considera competencia puesto que su incursión al D.F. es nula ya que sus clientes son las carreteras y autopistas Federales que conectan con la Ciudad de México.

En la siguiente tabla se presentan los proveedores de mezcla asfáltica del Gobierno del Distrito Federal.

<b>EMPRESA</b>	<b>CAPACIDAD INSTALADA</b>	<b>TECNOLOGÍA</b>
1. TRIBASA Iztapalapa Atlapac Edo. de Mex.	350 ton/hr	Tecnología para reciclaje hasta 35%
2. Xometla (ICA) Acolman Edo. De Mex.	250 ton/hr	Tecnología de punta reciclable 35%
3. PADF. Coyoacán, D.F.	480 ton/hr	Sin tecnología de punta, sin automatización con buenos materiales de acuerdo a experiencia de los trabajadores

*Tabla 5.9*

A continuación se muestran los porcentajes de las plantas de asfalto que le proveen al Gobierno del D.F.

<b>EMPRESA</b>	<b>ATENCIÓN A LA DEMANDA DEL GOBIERNO DEL D.F. %</b>
PLANTA DE ASFALTO	70
TRIBASA	21
XOMETLA (ICA)	9
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

*Tabla 5.10*



## *Principales problemas de las Plantas actuales*

La demanda anual de mezcla asfáltica en el periodo 2000 - 2006 será cuando menos de 1'000,000 toneladas, según los cálculos realizados anteriormente, además con ésta producción se piensa cubrir en su totalidad la demanda del D.F.

En la actualidad la Planta de Asfalto cuenta con equipos de más de 20 años, es decir, plantas de asfalto que ya cubrieron su vida útil, es por eso que requieren constante mantenimiento preventivo, dejando de funcionar la planta programada para mantenimiento en periodos de hasta 48 horas, motivo por el cual en ocasiones no se cubre el pedido del día.

La Pianta de Asfalto del Distrito Federal tiene entre sus planes la modernización de su proceso productivo, sustituyendo paulatinamente o totalmente las tres Plantas de Asfalto.

A continuación se describen los principales problemas ambientales y técnicos de las tres plantas con las que actualmente opera la Planta de Asfalto.

La planta 5 emite partículas suspendidas visibles, las cuales son generadas como consecuencia de la ineficiencia de su controlador de polvos, aunado con fugas que sufre la propia planta. Sin embargo la planta No. 5 entrega un material de calidad a pesar de haber sufrido infinidad de modificaciones.

La planta 6 tiene problemas de emisión de gases al momento de iniciar la operación, pues la carburación del quemador se hace inmediatamente después de la arrancada.

La planta 7 a pesar de haber cumplido su vida útil se mantiene como la máquina que otorga calidad, no emite partículas suspendidas ni gases fuera de las normas de la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente, sin embargo el costo de mantenimiento es el más alto de las tres plantas, pero que se comprende por el rendimiento que ha otorgado, ya que ha logrado producir hasta el 50 % de la producción total.

Entre las innumerables causas técnicas por las que las plantas actuales tienen que ser restituidas se encuentran las siguientes:

PLANTA	CAUSA
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La vida útil se cumplió.</li> <li>✓ El costo de mantenimiento es alto y no se justifica puesto que la planta solo produce el 10% de la producción total.</li> <li>✓ El sistema de cribado de agregado no funciona, dejando caer el material directo a la tolva de calientes, lo cual implica no poder producir mezcla asfáltica de diferentes tipos, solo puede producir mezcla de ¾ “.</li> <li>✓ El secador emite por la mampara partículas de polvo que no se han monitoreado pero que sin embargo son visibles, sobre todo en los arranques y paros.</li> <li>✓ Las tuberías de asfalto y la bomba del mismo tienen fugas.</li> <li>✓ Las partículas de polvo que recupera el colector, no se reingresan al proceso, se desechan, puesto que el transportador de rastras no funciona, además se requiere una mayor temperatura durante el proceso para que la planta pueda reprocesar los polvos y dicha temperatura ya no la proporciona el quemador.</li> <li>✓ Los silos de almacenamiento no funcionan.</li> <li>✓ No admite reciclado.</li> <li>✓ El control de producción es manual y se confía en la experiencia de los operarios dado que la máquina no tiene los dispositivos de medición en funcionamiento.</li> <li>✓ La máquina no opera bajo las funciones o características de diseño, puesto que ha sufrido innumerables modificaciones.</li> </ul>

PLANTA	CAUSA
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La vida útil se cumplió</li> <li>✓ El costo de mantenimiento es alto.</li> <li>✓ La merma producida (rechazo) es del 2%, siendo la máquina que más merma produce.</li> <li>✓ Existen problemas de calidad en la mezcla, puesto que se disgrega el material, es decir, que el agregado no cumple con las especificaciones de tamaño.</li> <li>✓ El elevador de rastras de calientes, no esta cubierto, ocasionando que partículas volátiles del asfalto se emitan a la atmósfera, además de disgregar el material.</li> <li>✓ El tanque lavador es ineficiente, tiene fugas de agua.</li> <li>✓ Al iniciar la producción emite gran cantidad de gases hasta lograr su estabilización.</li> <li>✓ Existen fugas de asfalto en las tuberías que se conectan al actuador (regulador de asfalto).</li> <li>✓ No admite reciclado.</li> <li>✓ El control de producción es manual y se confía en la experiencia de los operarios dado que la máquina no tiene los dispositivos de medición en funcionamiento.</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La vida útil se cumplió.</li> <li>✓ Costo de mantenimiento alto.</li> <li>✓ No admite reciclado.</li> <li>✓ Produce el 1 % de rechazo (merma) al arranque.</li> </ul>

Tabla 5.11

Por lo anterior se ha decidido restituir las plantas, sin embargo hay que tomar en cuenta que la planta 7 ha recibido mantenimiento mayor en los últimos años, razón que nos llevarían a explotar su capacidad sin ningún problema durante los siguientes 6 años considerando un costo de mantenimiento de \$4.00 por tonelada. La desventaja de esta última opción es que el costo de mantenimiento es muy elevado.

**Consideración del RAP**

Actualmente se cuenta con datos de fresado de tan solo tres años atrás, esto porque anteriormente se consideraba el fresado un desecho, que en ocasiones se ocupa para rellenar zanjas o actividades como las que hoy ocupa el escombros. En los últimos tres años solo Obras Públicas se ha dedicado a fresado las vialidades primarias del D.F. para repavimentarlas nuevamente, fresando 9.5 millones de metros cuadrados. En contraste las Delegaciones solo pican las vialidades secundarias y terciarias, repavimentando por encima de la carpeta asfáltica ya existente.

<b>Año</b>	<b>Metros Cuadrados</b>	<b>Toneladas Aproximadas de Fresado</b>
1998	2,800,000.00	466,666
1999	3,200,000.00	533,333
2000	3,500,000.00	583,333

**Tabla 5.12**  
*Se considera un bloque de fresado con las siguientes dimensiones 1m de largo, 1m de ancho y 10cm de espesor.*

Se espera que para los años venideros se conserve esta misma tendencia, sin embargo la Planta de Asfalto pudiera comenzar una campaña impulsando una nueva cultura de reciclado para que las Delegaciones también desbasten las vialidades y recuperen el material fresado. Los datos anteriores son muy pocos para realizar un pronóstico en los próximos 6 años, sin embargo el fresado seguirá realizándose en las vialidades primarias dado que Obras Públicas así lo exige.

Muy probablemente el fresado será una actividad que adopten las Delegaciones en poco tiempo, sin embargo, este es un estudio conservador que tomará como base 500,000.00 toneladas de fresado anuales para los próximos 6 años, cifra que se ocupará para calcular el porcentaje de reciclado que utilizarán las diferentes plantas.

El costo de la extracción del fresado es de \$25.00 por tonelada y el acarreo a la Planta de Asfalto es de \$40.00 lo que constituye un precio de \$65.00 la tonelada puesto en la Planta de Asfalto.<sup>1</sup>

Se considera que la mezcla asfáltica contiene 93 % de triturado y 7 % de asfalto, misma proporción para el material fresado.

En la Planta de Asfalto se produce mezcla asfáltica con el 91 % de agregado que se tritura en Parres con un costo por tonelada de \$80.00 pesos y el 9% restante es material que se compra a proveedores, a un precio de \$85.50 pesos.

El asfalto AC-20 se adquiere directamente de PEMEX, otorgando un rendimiento de 70 Kg por tonelada de mezcla asfáltica producida. El costo del AC-20 es de \$1,328.60 por tonelada de asfalto

La siguiente tabla muestra el costo de la materia prima para producir una tonelada de mezcla asfáltica en cualquiera de las tres plantas de asfalto del Gobierno del D.F.

CONCEPTO	\$/TON
91% Triturado Parres	67 7
9% Triturado Terceros	7 15
AC-20	93
<b>Costo Total de la Materia Prima</b>	<b>167.85</b>

*Tabla 5.13*

*Fuente: Unidad Departamental de Recursos Materiales y Financieros*

<sup>1</sup> Fuente: Seminario de diseño, construcción y conservación de pavimentos en la Ciudad de México, Agosto del 2000

En la siguiente tabla se muestran los ahorros por tonelada considerando que se reciclará el 100 % del fresado.

Ahorros al reciclar por TON	\$/TON
Costo MP Virgen	167.85
Costo Reciclado	65
<b>Ahorros por tonelada</b>	<b>102.85</b>

Tabla 5.14

En la tabla siguiente se observa el costo total por tonelada y los ahorros de materias primas considerando diferentes porcentajes de material reciclado.

% Reciclado	% Material Virgen	Costo/TON	Ahorro \$
5	95	162.71	5.14
10	90	157.57	10.29
20	80	147.28	20.57
30	70	137.00	30.86
40	60	126.71	41.14
50	50	116.43	51.43
60	40	106.14	61.71
70	30	95.86	72.00
80	20	85.57	82.28
90	10	75.29	92.57
100	0	65.00	102.85

Tabla 5.15

Los ahorros son considerables al mismo tiempo que se aumenta la vida útil de la mina de Parres, e incluso la maquinaria existente para triturar roca será suficiente para cubrir la demanda futura, por lo que los proveedores de material triturado que posee la planta ya no serían necesarios, ahorrándose \$5.50 por tonelada de triturado.

La vida útil de la mina aumentará en proporción con el reciclado que se requiera, es decir si se trabaja con un 50 % de reciclado la vida de la mina será entonces el doble, es decir, de 34 años considerando un ritmo de producción de 2,500 toneladas al día.

## ***Exposición de las variantes***

### *Tecnologías*

De acuerdo a la consideración por parte de la Planta de Asfalto y al cumplimiento y control de calidad de la producción de la mezcla asfáltica se consideraron los tres tipos de Tecnologías de Reciclado más vanguardistas existentes hoy en día, las cuales ya se mencionaron y se explicaron en el capítulo IV, dichas tecnologías son las de reciclado en caliente.

Como se explicó en el capítulo anterior, el material reciclado tiene que someterse a un proceso antes de ser recuperado. Dicho proceso consiste en un cribado y triturado del material reciclado, es por eso que para la evaluación de las plantas se considera la maquinaria necesaria para la realización de ésta actividad.

Se consideran tres tipos de plantas de reciclado de mezcla asfáltica en caliente que permiten el reciclado de asfalto en diferentes porcentajes. Asimismo se seguirá considerando la Planta 7 con la que actualmente cuenta la PADF. De acuerdo a las ventajas ambientales, de producción, calidad y costo se elegirá la mejor opción:

- Planta de Asfalto CMI, modelo PTD-400 Triple Tambor en caliente con producción continua de 400 ton/hr, que permite reciclar el 50 % de material fresado.
- Planta de Asfalto ASTEC doble tambor flujo continuo en caliente que permite reciclar el 50 % del material fresado, con capacidad de 450 ton/hr.
- Planta de asfalto CYCLEAN modelo DDP-200 con tambor secador de flujo continuo con tecnología "Coolflow" (microondas) con capacidad de reciclar el 100 % del material fresado y con capacidad de 200 ton/hr junto con Planta 7 con capacidad de producción de 180 ton/hr sin capacidad de reciclaje.

Estas plantas tienen una vida útil de 20 años, excepto la Planta 7 la cual ya cumplió su ciclo de vida, sin embargo se encuentra en buenas condiciones de operación. Cabe señalar que estas plantas cumplen con las normas de calidad del aire, NOM-043-ECOL.1993, Norma Oficial Mexicana que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas y NOM-085-ECOL.1994, Norma Oficial Mexicana que regula la contaminación atmosférica en fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos, o cualquiera de sus combinaciones.

### *Inversión*

<b>CONCEPTOS</b>	<b>CMI TRIPLE TAMBOR (USD)</b>	<b>ASTEC BOBLE TAMBOR (USD)</b>	<b>CYCLEAN "Cool Flow" (USD)</b>
<b>Compra de equipo y servicios técnicos</b>	<b>1, 919, 783.00</b>	<b>2, 800, 000.00</b>	<b>3, 750,000.00</b>
<b>Equipo Complementario</b>	<b>70, 290.00</b>	<b>70, 290.00</b>	<b>70, 290.00</b>
<b>Obras de Infraestructura e instalación</b>	<b>75, 000.00</b>	<b>75,000.00</b>	<b>75,000.00</b>
<b>Supervisión de Instalación y capacitación</b>	<b>28, 500.00</b>	<b>20, 000.00</b>	<b>46, 875.00</b>
<b>Total</b>	<b>2,093,573.00</b>	<b>2,965,290.00</b>	<b>3, 942, 165.00</b>

*Tabla 5.16*

*Nota: El equipo complementario comprende Trituradora, Criba, Tolva, Celda de Pesaje de Reciclado y Transportador.*



Considerando el tipo de cambio de 10 pesos por dólar, a continuación se presentan los costos anteriores en moneda nacional.

<b>CONCEPTOS</b>	<b>CMI TRIPLE TAMBOR</b>	<b>ASTEC BOBLE TAMBOR</b>	<b>CYCLEAN "Cool Flow"</b>
<b>Compra de equipo y servicios técnicos</b>	<b>19,197,830.00</b>	<b>28,000,000.00</b>	<b>37,500,000.00</b>
<b>Equipo Complementario</b>	<b>702,900.00</b>	<b>702,900.00</b>	<b>702,900.00</b>
<b>Obras de Infraestructura e instalación</b>	<b>750,000.00</b>	<b>750,000.00</b>	<b>750,000.00</b>
<b>Supervisión de Instalación y capacitación</b>	<b>285,000.00</b>	<b>200,000.00</b>	<b>468,750.00</b>
<b>Total</b>	<b>20,935,730.00</b>	<b>29,652,900.00</b>	<b>39,421,650.00</b>

*Tabla 5.16 BIS.*

#### *Costo fijo*

Los costos fijos ascienden a \$30,630,000 por año lo que comprende \$2,552,500 por mes.<sup>1</sup>

#### *Costos variables*

Los costos variables excluyen el costo de transporte puesto que la mayor parte de los clientes pagan éste servicio. Las Delegaciones y Obras Públicas tienen sus propios camiones que van hasta la planta a cargar material. Sin embargo, la Planta de Asfalto tiene contratada a una compañía fletera para ocasiones especiales, por ejemplo cuando el cliente quiere su producto puesto en obra, pagando \$1.20 km/ton<sub>2</sub>, sumándose éste monto al precio de la mezcla asfáltica.

1 - Fuente Subgerencia de Recursos Humanos de la Planta de Asfalto

2 - Fuente Unidad Departamental de Distribución de la Planta de Asfalto

Costos variables Plantas 5, 6 y 7

CONCEPTO	PESOS POR TONELADA
** Asfalto AC-20	93
** Triturado de Parres	67.7
** Triturado de terceros	7.1
** Diesel	37
** Energía	35
* Mantenimiento Planta 5	8
* Mantenimiento Planta 6	3
* Mantenimiento Planta 7	4
** Mano de obra dedicada a la fabricación	40

*Tabla 5.17*

*\* Fuente: Unidad Departamental de Mantenimiento de la PADF.*

*\*\* Fuente: Unidad Departamental de Recursos Materiales.*

Costos variables CMI Triple Tambor.

CONCEPTO	PESOS POR TONELADA
* 50 % de material reciclado y 50 % de material virgen	116.43
*** Diesel	26
*** Energía	25
*** Mantenimiento	0.07
** Mano de obra dedicada a la fabricación	40

*Tabla 5.18*

*\* Estos porcentajes incluyen triturado y AC-20.*

*\*\* Fuente: Unidad Departamental de Recursos Materiales.*

*\*\*\* Fuente: Proveedor Argaez Representaciones, S.A.*

Costos variables ASTEC Doble Tambor.

CONCEPTO	PESOS POR TONELADA
* 50% de material reciclado y 50% de material virgen	116.43
*** Diesel	26
*** Energía	25
*** Mantenimiento	0.11
** Mano de obra dedicada a la fabricación	40

*Tabla 5.19*

*\* Estos porcentajes incluyen triturado y AC-20*

*\*\* Fuente: Unidad Departamental de Recursos Materiales.*

*\*\*\* Fuente: Distribuidora y Arrendadora de maquinaria para Caminos e Industria.*

Costos variables CYCLEAN "Cool Flow".

CONCEPTO	PESOS POR TONELADA
* 71.5 % de material reciclado y 28.5 % de material virgen	94.31
*** Diesel	15
*** Energía	35
*** Mantenimiento	0.27
** Mano de obra dedicada a la fabricación	40

*Tabla 5.20*

*\* Estos porcentajes incluyen triturado y AC-20*

*\*\* Fuente: Unidad Departamental de Recursos Materiales.*

*\*\*\*Fuente: Proveedor Cyclean San Fernando California USA*

Los costos de operación comprenden asfalto, triturado (ambos virgen y reciclado), diesel, energía y mano de obra dedicada a la fabricación.

Por otro lado los costos administrativos comprenden los departamentos de Ventas, Compras, Distribución, Contabilidad, Sistemas, Recursos Humanos.

Asimismo los costos de calidad cubren las pruebas de agregados (granulometría, porcentaje de humedad y desperdicio), de asfalto (punto de ignición, punto de inflamación, penetración y ductilidad), Marshall (estabilidad y flujo) y de mezcla asfáltica (porcentaje de asfalto y granulometría).

**CIM TRIPLE TAMBOR**

VI (USD) 19197830  
 n 20  
 Vs (USD) 1919783

n	Dr	Vlr
1	863902.35	18333927.7
2	863902.35	17470025.3
3	863902.35	16606123
4	863902.35	15742220.6
5	863902.35	14878318.3
6	863902.35	14014415.9
7	863902.35	13150513.6
8	863902.35	12286611.2
9	863902.35	11422708.9
10	863902.35	10558806.5
11	863902.35	9694904.15
12	863902.35	8831001.8
13	863902.35	7967099.45
14	863902.35	7103197.1
15	863902.35	6239294.75
16	863902.35	5375392.4
17	863902.35	4511490.05
18	863902.35	3647587.7
19	863902.35	2783685.35
20	863902.35	1919783

**ASTEC BOBLE TAMBOR**

VI (USD) 36000000  
 n 20  
 Vs (USD) 3600000

n	Dr	Vlr
1	1620000	34380000
2	1620000	32760000
3	1620000	31140000
4	1620000	29520000
5	1620000	27900000
6	1620000	26280000
7	1620000	24660000
8	1620000	23040000
9	1620000	21420000
10	1620000	19800000
11	1620000	18180000
12	1620000	16560000
13	1620000	14940000
14	1620000	13320000
15	1620000	11700000
16	1620000	10080000
17	1620000	8460000
18	1620000	6840000
19	1620000	5220000
20	1620000	3600000

**CYCLEAN "Cool Flow"**

VI (USD) 37500000  
 n 20  
 Vs (USD) 3750000

n	Dr	Vlr
1	1687500	35812500
2	1687500	34125000
3	1687500	32437500
4	1687500	30750000
5	1687500	29062500
6	1687500	27375000
7	1687500	25687500
8	1687500	24000000
9	1687500	22312500
10	1687500	20625000
11	1687500	18937500
12	1687500	17250000
13	1687500	15562500
14	1687500	13875000
15	1687500	12187500
16	1687500	10500000
17	1687500	8812500
18	1687500	7125000
19	1687500	5437500
20	1687500	3750000

Tabla 5.21

### *Cálculo del porcentaje de reciclado con el que operaran las diferentes plantas*

Debido a que se fresaran 500,000 toneladas de RAP al año y se tiene una demanda de 1,000,000 de toneladas de mezcla asfáltica al año, se puede ultimar que se tendrán ahorros del 50 % de material virgen, puesto que la totalidad del material fresado será reutilizada.

Lo expuesto anteriormente podrá llevarse a cabo gracias a que las tecnologías propuestas permiten la reutilización de hasta un 50 % de RAP, en el caso de la tecnología ASTEC y CMI, y de hasta un 100 % en el caso de la tecnología CYCLEAN.

Sin embargo, el escenario en el cual se propone utilizar la tecnología CYCLEAN en conjunto con la Planta 7, por cuestiones de capacidad, la tecnología CYCLEAN sola no podrá cubrir la demanda, dicha situación fue la causa que obligo a tomar en cuenta la Planta 7 dentro de este proyecto. El cálculo en el cual se basa la decisión de utilizar el 71.48 % de RAP para la tecnología CYCLEAN, se muestra a continuación:

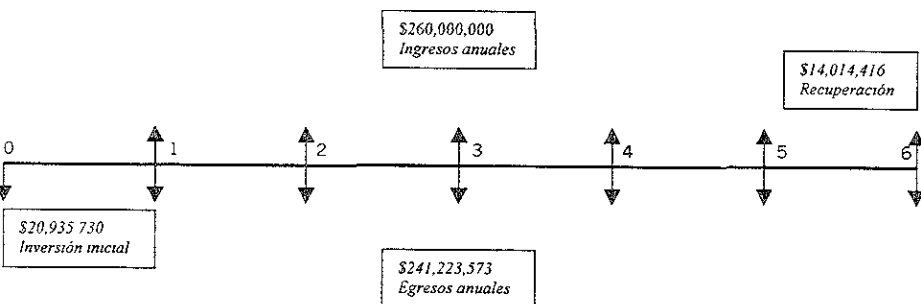
- ✓ CYCLEAN puede producir 700,000 toneladas por año.
- ✓ Se cuenta con 500,000 toneladas de material fresado por año.
- ✓ Por lo tanto, se realiza la siguiente regla de tres, la cual dará el porcentaje de RAP para ser utilizado por la Planta CYCLEAN:

700,000	→	100 %
500,000	→	x %

$$x = 71.48 \%$$

**Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) para cada una de las variantes propuestas**

**CMI**  
**50 % de RAP**



Los egresos anuales se dividen como sigue:

\$70,000	Mantenimiento CMI
\$207,430,000	Costos de operación
\$30,630,000	Costos de administración
\$1,000,000	Costos de control de calidad
\$2,099,573	Gastos de imprevistos

A continuación, se encontrará el valor de la TIR con base en los valores presentes de todos los ingresos y egresos involucrados en el respectivo diagrama de flujo:

$$260,000,000 \frac{(1+i)^6 - 1}{(1+i)^6 \times i} + \frac{14,014,416}{(1+i)^6} - 20,935,730 - 251,885,000 \frac{(1+i)^6 - 1}{(1+i)^6 \times i} = 0$$

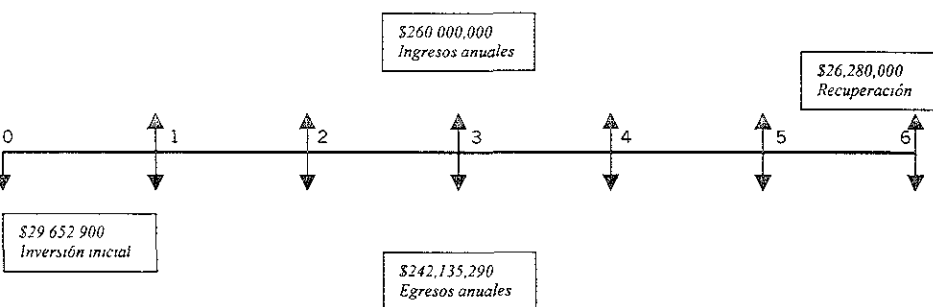
Reduciendo la ecuación se obtiene:

$$18,776,427 (1+i)^6 - 20,935,730 (1+i)^6 \times i + 14,014,416 \times i = 18,776.427$$

Despejando  $i^*$  se obtiene:

$$i^* = 89.03 \%$$

**ASTECC**  
**50% de RAP**



Los egresos anuales se dividen como sigue:

\$110,000	Mantenimiento ASTEC
\$207,430,000	Costos de operación
\$30,630,000	Costos de administración
\$1,000,000	Costos de control de Calidad
\$2,099,573	Gastos de imprevistos

A continuación, se encontrará el valor de la TIR con base en los valores presentes de todos los ingresos y egresos involucrados en el respectivo diagrama de flujo:

$$260,000,000 \frac{(1+i)^6 - 1}{(1+i)^6 \times i} + \frac{26,280,000}{(1+i)^6} - 29,652,900 - 242,135,290 \frac{(1+i)^6 - 1}{(1+i)^6 \times i} = 0$$

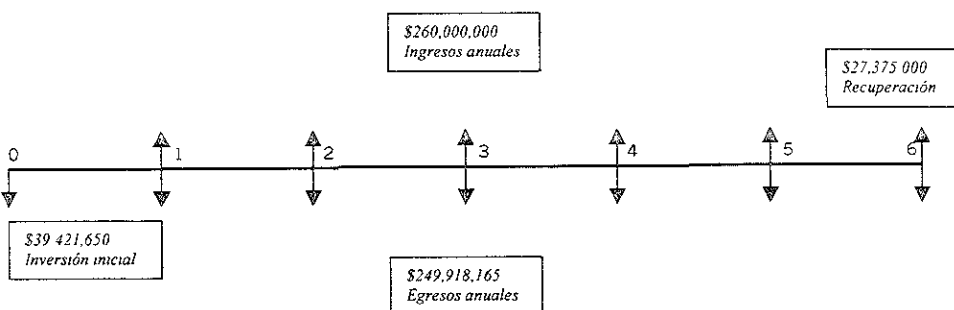
Reduciendo la ecuación se obtiene:

$$17,864,710 (1+i)^6 - 29,652,900 (1+i)^6 \times i + 26,280,000 \times i = 17,864,710$$

Despejando  $i^*$  se obtiene:

$$i^* = 59.81 \%$$

**CYCLEAN y PLANTA 7**  
**71.5 % de RAP**



Los egresos anuales se dividen como sigue:

\$189,000	Mantenimiento CYCLEAN
\$1,200,000	Mantenimiento planta 7
\$129,017,000	Costos de operación CYCLEAN
\$83,940,000	Costos de operación planta 7
\$30,630,000	Costos de administración
\$1,000,000	Costos de control de calidad
\$3,942,165	Gastos de imprevistos

A continuación, se encontrará el valor de la TIR con base en los valores presentes de todos los ingresos y egresos involucrados en el respectivo diagrama de flujo:

$$260,000,000 \frac{(1+i)^6 - 1}{(1+i)^6 \times i} + \frac{27,375,000}{(1+i)^6} - 39,421,650 - 249,918,165 \frac{(1+i)^6 - 1}{(1+i)^6 \times i} = 0$$

Reduciendo la ecuación se obtiene:

$$10,081,835 (1+i)^6 - 39,421,650 (1+i)^6 \times i + 27,375,000 \times i = 10,081,835$$

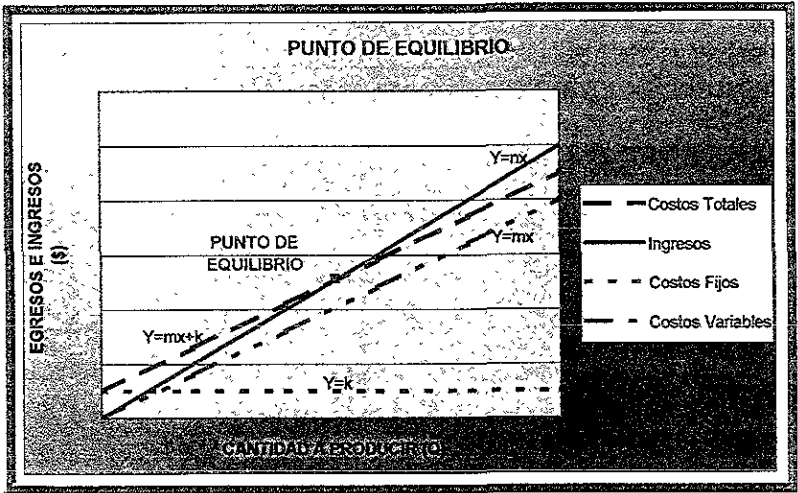
Despejando  $i^*$  se obtiene:

$$i^* = 22.70 \%$$



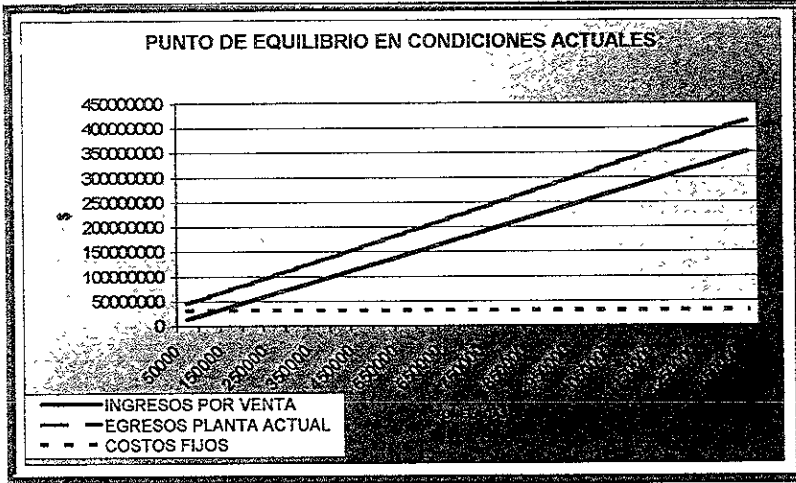
*Punto de equilibrio*

A continuación se muestran las tendencias de los ingresos y egresos a través del punto de equilibrio.



Gráfica 5.8

Actualmente la Planta de Asfalto no ha alcanzado el punto de equilibrio; lo anterior debido a los altos costos con los que cuenta en comparación con los ingresos percibidos, por lo que la diferencia entre éstos, a través del tiempo, ha tenido que ser subsidiada por el Gobierno del Distrito Federal.



Gráfica 5.9

Para la Planta CMI, aceptando el 50 % de reciclado, los costos e ingresos se reflejan en la siguiente tabla.

Concepto	Pesos
Costos variables	208.50 por tonelada
Costos Fijos al año	30, 630, 000.00 anual
Ingresos por venta	260.00 por tonelada

Tabla 5.22

Por lo tanto la ecuación de ingresos es:

$$I = 260 X$$

donde:

- I = Ingresos por venta
- X = Número de toneladas producidas

Y, la ecuación de los egresos totales es:

$$E = 208.50X + 30,630,000$$

donde:

E = Egresos totales

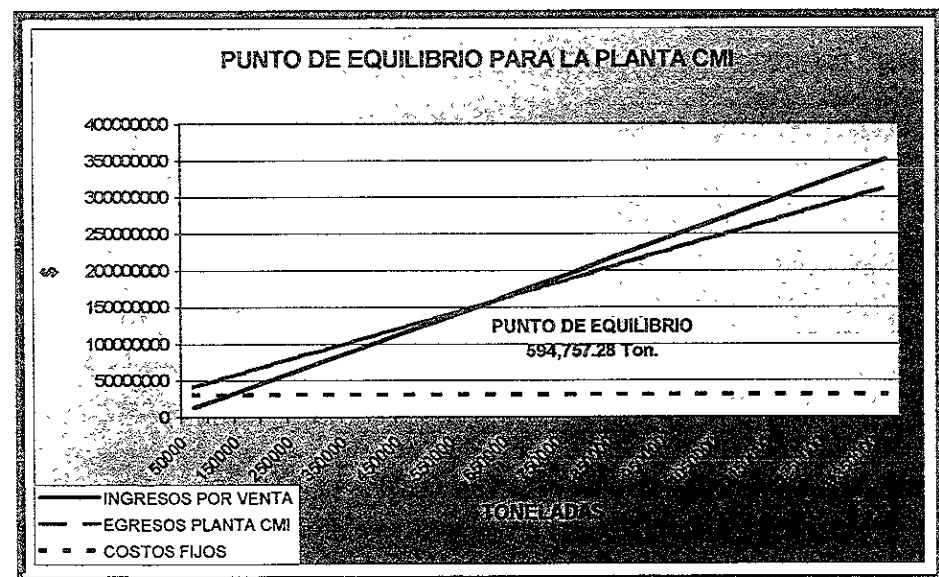
X = Número de toneladas producidas

Igualando las ecuaciones se obtiene:

$$260X = 208.50X + 30,630,000$$

Obteniéndose el punto de equilibrio en:

$$X = 594,757.28 \text{ toneladas}$$



Gráfica 5.10

### **Conclusiones con respecto a las tasas internas de retorno obtenidas**

Como se puede observar en los cálculos realizados anteriormente, en los cuales se obtuvo la tasa interna de retorno para cada una de las tecnologías propuestas, la tasa más atractiva resultó ser la de la tecnología ofrecida por la compañía CMI.

<b>TECNOLOGIA</b>	<b>TIR</b>
<b>CMI</b>	<b>89.03%</b>
<b>ASTEC</b>	<b>59.81%</b>
<b>CYCLEAN/Planta 7</b>	<b>22.7%</b>

**Tabla 5.22**

De este modo, se muestra que cualquiera de las tres propuestas ofrecidas representa una buena opción de inversión, puesto que, al realizar una comparación con la tasa anual de cetes a 28 días y la TIE anual a 28 días las cuales son 17.07 y 17.99 %<sup>1</sup>, respectivamente, observamos que las tasas ofrecidas por cada una de las tecnologías propuestas en esta tesis en cualquiera de éstas últimas son mayor a la de los cetes y la TIE, lo cual las hace atractivas.

Sin embargo, la TIR resultante de la inversión con la tecnología CMI es aún más atractiva, puesto que indica una recuperación anual de la inversión del 89.03 %. Al ser la TIR tan alta, permite ser aún más flexibles en cuanto al precio al que se puede ofertar el producto, esto es, se puede sin ningún problema sacrificar más el precio del producto con el fin de hacerlo más atractivo para los clientes, sin afectar significativamente los ingresos.

A continuación se muestran, para la tecnología **CMI** (que resultó ser la mejor inversión), las distintas tasas internas de retorno que se obtendrían en caso de que se decidiera ofertar el producto a un menor precio.

1.-Fuente. El Financiero, Miércoles 10 de enero del 2001, Año XX No 5697

PRECIO POR TONELADA (\$)	TIR (%)
260	89.03
259	84.63
258	79.77
257	74.91
256	70.03
255	65.13
254	60.22
253	55.29
252	50.34
251	45.37
250	40.36
249	34.85
248	29.76
247	24.63

Tabla5.23

Como se muestra en la tabla 5.23, aún ofertando el producto a un mejor precio, las tasas internas de retorno para la inversión seguirían siendo atractivas.

Por otro lado, al considerar que los costos involucrados en la aplicación de esta tecnología pudiesen aumentar por cuestiones fuera de control, resulta provechoso calcular la tasa interna de retorno para un aumento en los egresos totales de hasta el 5%.

Dicho cálculo se realiza tomando en cuenta los egresos mostrados en la Tabla 5.18.

% de Aumento en los Costos	Tasa Interna de Retorno (TIR)
5	29.95 %

Tabla5.24

Como se puede observar, la combinación de un aumento en el 5 % en los costos y el mantener el mismo precio por tonelada de mezcla asfáltica, da como resultado una tasa interna de retorno del 29.95 %, lo cual resulta aún atractivo en comparación con la tasa ofrecida por los cetes y la TIIE.

Por lo tanto, se concluye que la mejor inversión para modernizar la Planta de Asfalto de la Ciudad de México es la ofrecida por la compañía **CMI**, debido a la flexibilidad que ofrece el tener una TIR tan alta.

Finalmente se visualiza que el punto de equilibrio se alcanza a 594, 757.28 toneladas.

# **CONCLUSIONES GENERALES**

---

---

## CONCLUSIONES GENERALES

La Planta de Asfalto del Distrito Federal necesita modernizarse administrativa y operativamente, dado que las plantas de asfalto actuales ya cumplieron su vida útil, generando con esto problemas de mantenimiento, asimismo las plantas han sufrido varias modificaciones que les impiden trabajar conforme a su diseño original, teniendo problemas como fugas de polvo y AC-20 en los dispositivos necesarios para operar.

La inversión en la nueva planta de asfalto marca CMI, con recuperación de material fresado, nos otorgará una tasa interna de retorno de 89.03 %, inversión que esta por arriba de los cetes y la TIE anuales a 28 días con una tasa del 17.07 y 17.99% respectivamente. Además podemos ofertar aun más la mezcla asfáltica, puesto que se podrá ofertar hasta un precio de \$247.00 obteniendo una TIR del 24.63 %.

De subir los insumos en un 5 % la TIR será entonces de 29.95 %, considerando que el precio siguiera siendo el mismo.

La calidad de la mezcla asfáltica cumplirá con las especificaciones que dicta el Gobierno del Distrito Federal, puesto que la tecnología CMI cuenta con estrictos controles durante todo el proceso de producción, dejando a un lado la utilización de distintos criterios por parte de los operarios.

La modernización repercutirá en la utilización de los recursos naturales, puesto que la cantera de Parres incrementará en 17 años su vida útil, es decir, pasará de 17 a 34 años.

El objetivo de la Planta de Asfalto se verá cubierto, puesto que se obtendrá un punto de equilibrio. En este mismo sentido, podrá seguir considerándose la misma plantilla de trabajadores, la cual representa un costo muy alto, siendo este de \$40.00 por tonelada producida. Cabe señalar que dicho factor pudiese ser tema para estudios posteriores.

Técnicamente la planta CMI forma parte de las plantas más cotizadas a nivel mundial, por no haber calcinación del asfalto viejo y por recuperarse el polvo del colector, la planta no emite gases ni partículas visibles a la atmósfera, cumpliendo con las normas de ecología y medio ambiente.

Por lo anterior la planta de asfalto en caliente CMI resulto ser la mejor opción entre las tres evaluadas.



De acuerdo al análisis del mercado se demostró que se cubrirá la demanda de por lo menos un millón de toneladas al año con todas las probabilidades de vender esa producción en el próximo sexenio, pudiendo absorber toda la demanda del Gobierno del D.F., con una producción de hasta 400 toneladas por hora con una sola planta, por lo que se tendrá una capacidad instalada de 1,400,000.00 toneladas al año. El material fresado RAP, ya no será un desperdicio, puesto que se recuperará en el proceso, incursionando la Planta de Asfalto del Gobierno del D.F. en la cultura de reciclado.

La Planta de Asfalto del D.F. seguirá siendo la reguladora de precios apoyándose en poder absorber una ligera alza en los insumos. También seguirá cubriendo los requisitos de calidad de la mezcla.

Puesto que la Planta de Asfalto se encuentra en una zona estratégica de distribución para el D.F., el moverla de ahí representaría perder una gran ventaja. Lo anterior no será necesario, debido a que con la nueva tecnología se verán beneficiadas las relaciones entre la nueva planta y sus alrededores.

La inestabilidad económica, que históricamente ha azotado a nuestro país, representa una constante amenaza para cualquier proyecto. En este sentido, una posible devaluación echaría abajo el presente proyecto.

El incorrecto uso de la nueva planta representaría una gran desventaja, puesto que se pudiese retrasar considerablemente la producción estimada, debido a algún problema de dicha índole.

# BIBLIOGRAFÍA

---

---

## BIBLIOGRAFÍA

Asphalt Institute  
Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente  
Editado por la administración Federal de Autopistas (FHWA)  
Departamento de Transporte de los Estados Unidos  
Agosto de 1982

Asociación Mexicana del Asfalto  
Primer Congreso Nacional del Asfalto, Memoria Tomo I y II  
Ed. AMAAC  
Ciudad de México  
Agosto de 1999

Planta de Asfalto  
Segundo Seminario de Construcción y Conservación de Pavimentos en la Ciudad de México, Memoria  
Ciudad de México  
Julio de 1999

Planta de Asfalto  
Tercer Seminario Diseño, Construcción y Conservación de Pavimentos en la Ciudad de México, Memoria  
Ciudad de México  
Agosto del 2000

Planta de Asfalto  
Historia de la Planta de Asfalto del Distrito Federal  
Casa editorial Oros  
México 2000

J. Don Brock, PhD., P.E.  
Fresado y Reciclaje  
Boletín Técnico T-127S  
ACTEC Industries  
1997  
Impreso en U.S.A.

Centro de Desarrollo de la Organización de Cooperación y Desarrollo  
Económico  
Análisis Empresarial de Proyectos Industriales en Países en Desarrollo  
Ed. CEMLA  
Primera Edición 1972, segunda Reimpresión 1989.  
Impreso en México  
1989

John Kenneth  
Introducción a la Economía  
Ed. Grijalbo  
1992

Blank Tarquin  
Ingeniería Económica  
Tercera Edición  
Impreso en México  
1994