



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Rehabilitación vial con pavimento flexible reciclado

TESINA

Que para obtener el título de
Especialista en construcción

P R E S E N T A

Arturo López Hernández

DIRECTOR DE TESINA

Ing. Víctor Manuel Martínez Hernández



Vo.Bo.

Ing. Víctor M. Martínez
Jefe Dpto. de Construcción

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Agradecimientos

En medio de este proceso formativo y personal que ha traído consigo cambios, retos y aprendizaje quiero agradecer a:

La vida, por permitirme tener una familia y darme esta oportunidad para mi crecimiento personal y profesional.

A mis hijos Catherine Regina y Diego Alonso por los incontables momentos en que los he privado de mi compañía y atención, en aras de alcanzar esta meta.

A todos los docentes que me impartieron clase durante la especialidad por compartir su conocimiento.

A mi director de tesina, Víctor Manuel Martínez Hernández.

A mi tutor, Marco Tulio Mendoza Rosas.

A todo el personal del SACC.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología – CONACYT – por la beca otorgada para realizar mis estudios de la especialidad.

Índice general

Agradecimientos.....	II
Índice general	III
Índice de tablas	V
Índice de figuras	VI
Introducción	VII
Justificación	VIII
Capítulo 1: PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1.- Planteamiento del problema	1
1.2.- Objetivos	2
1.2.1.- Objetivo general.....	2
1.2.2.- Objetivos específicos.....	2
1.3.- Hipótesis.....	3
Capítulo 2: MARCO TEÓRICO	4
2.1.- Antecedentes	4
2.2.- Marco conceptual	5
2.2.1.- Pavimentos.....	5
2.2.2.- Tipos de pavimentos	6
2.2.3.- Estructura del pavimento flexible.....	7
2.2.4.- Elementos de un pavimento flexible.....	8
2.2.5.- Comportamiento estructural y funcional de un pavimento	11
2.2.6.- Ventajas y desventajas de los pavimentos flexibles	12
2.3.- Mantenimiento vial.....	13
2.4.- Trabajos de reparación en los pavimentos flexibles.....	17
2.4.1.- Sellado de grietas	17
2.4.2.- Bacheo superficial	17
2.4.3.- Bacheo profundo.....	19
2.4.4.- Sellos bituminosos.....	20

2.4.5.- Nivelación de bermas.....	21
2.5.- Reciclado de pavimento	21
2.5.1.- Métodos de reciclado de pavimentos.....	22
2.5.2.- Ventajas del pavimento flexible reciclado	23
2.5.3.- Materiales asfálticos para la elaboración de pavimento flexible reciclado	24
2.5.4.- Proceso de mezclas asfálticas recicladas	26
2.6.- Uso de pavimentos flexibles reciclados como opción para una rehabilitación vial.....	27
2.7.- Beneficios del uso de pavimento flexible reciclado	30
2.8.- Proceso constructivo de un pavimento flexible reciclado	32
Capítulo 3: PROCESO METODOLÓGICO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	34
3.1.- Método de investigación.....	34
3.2.- Tipo de investigación.....	34
3.3.- Nivel de investigación	34
3.4.- Diseño de la investigación	35
Capítulo 4: RESULTADOS OBTENIDOS.....	36
Conclusiones.....	37
Bibliografía.....	38
Anexos	39

Índice de tablas

Tabla 1: comparación de precios.....	35
--------------------------------------	----

Índice de figuras

Figura 1: estructura del pavimento.....	8
Figura 2: estructura de un pavimento flexible.....	11
Figura 3: clasificación de técnicas de reciclado de pavimentos.....	23
Figura 4: costo y energía de producción de mezcla asfáltica.....	29

Introducción

El contenido del actual trabajo de investigación retribuye a la utilización de pavimentos flexibles reciclados para acciones de rehabilitación de carpeta asfáltica. A lo largo de los pasados años se ha observado que en algunas de nuestras vías de comunicación se han venido presentando fallas superficiales y estructurales, creando molestia en los usuarios, transportistas y peatones.

Es debido a esta razón que hoy en día se trata de propagar opciones de rehabilitación de carpetas asfálticas que sean de más provecho que los métodos que convencionalmente se utilizan, ya que nuestro país no tiene grandes presupuestos para la rehabilitación de vías de comunicación terrestres lo que se busca son métodos que vayan acorde a los presupuestos (bajos) que son destinados para dicha práctica. Asimismo, hoy en día la predisposición de cuidar y conservar el medio ambiente, ha provocado la investigación de diferentes opciones de protección, en el proceso constructivo como en los recursos.

El reciclado de pavimentos posee una diversidad de virtudes, entre las que se encuentran con mayor aceptación es la de la parte ambiental, económica, así como el proceso constructivo, etc., de acuerdo a diferentes estudios de investigación acerca del contenido de reciclaje de pavimentos su manera de uso en una rehabilitación llega a ser con una mezcla en frío o en caliente.

Justificación

Este trabajo de investigación toca las carencias del tránsito tanto vehicular como peatonal, esto ya que las condiciones en que se encuentran los pavimentos que cuentan superficialmente con fallas graves y provoca el fastidio de los usuarios. Es por ese motivo que se aspira a efectuar una rehabilitación utilizando pavimento flexible reciclado con el objetivo de crear situaciones viales propicias para la constante transitabilidad vehicular y peatonal, beneficiando directamente a los usuarios.

La información recaudada y procesada se puede aprovechar como mantenimiento para esta y otras investigaciones futuras con tema similar, ya que optimizan el marco teórico con que ya cuenta el tema de pavimentos flexibles reciclados orientado al mantenimiento y/o rehabilitado de vías terrestres.

Capítulo 1: PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.- Planteamiento del problema

En México, los pavimentos flexibles son los más usados para la construcción de vías urbanas ya que tienen un bajo costo que demanda su aplicación, pero, este tipo de pavimentos son más propensos a presentar fallas durante su ciclo de vida.

Para que el pavimento se mantenga en un nivel que brinde un servicio adecuado, se necesita aplicar un mantenimiento de manera oportuna, actualmente en la mayoría de las administraciones municipales se permite que el pavimento llegue a un estado de deterioro crítico, debido a esto se generan diversos problemas viales como la incomodidad en los servicios de transporte público, circular a una menor velocidad alargando tiempos de traslado, así como el riesgo en la seguridad de los usuarios. Además, debido al mal estado se genera una disminución notable en la vida útil de los vehículos (desgaste de llantas, suspensión, amortiguadores) de hasta un 25%.

Ya que se encuentra el pavimento en ese estado, no es posible darle solo una “manita de gato” a las grietas, desprendimientos o fallas presentadas, sino que será necesario una rehabilitación en la que se va a requerir de un mayor gasto para dicha reparación.

Debido a la situación antes mencionada, se hace la propuesta de una metodología de rehabilitación mediante pavimento flexible reciclado que tiene como objetivo mejorar la calidad que brinda el pavimento, de forma social y técnica.

1.2.- Objetivos

1.2.1.- Objetivo general

Establecer una mejoría notable con la utilización del pavimento flexible reciclado en la rehabilitación de las calles.

1.2.2.- Objetivos específicos

- a) Establecer el dominio de la valoración de desperfectos en la propuesta técnica de la rehabilitación vial con pavimento flexible reciclado.
- b) Establecer el modelo de atención del pavimento flexible reciclado en la rehabilitación vial.
- c) Establecer y comparar el costo de una rehabilitación con pavimento flexible de la forma tradicional con respecto a la aplicación de pavimento flexible reciclado.

1.3.- Hipótesis

Empleando en la rehabilitación vial con pavimento flexible reciclado se tendrá una mejoría en la circulación tanto de vehículos como de peatones en las vías donde se aplica.

La valoración de fallas repercute considerablemente en la propuesta técnica de la rehabilitación vial con pavimento flexible reciclado. Las características del pavimento flexible reciclado tienen un impacto en la propuesta técnica. Económicamente tiene un menor impacto la rehabilitación con pavimento flexible reciclado que se realiza de manera tradicional con pavimento flexible.

Capítulo 2: MARCO TEÓRICO

2.1.- Antecedentes

En el actual trabajo se consideraron trabajos de investigación que están relacionadas con la aplicación en rehabilitaciones viales de pavimentos reciclados.

- Antecedentes internacionales

Martucci (2018), menciona en su tesis "*Reciclado de pavimentos in situ utilizando la técnica de asfalto espumado*" "Las carpetas de rodamiento sufren constantes y acelerados deterioros en su estructura debido al incremento de las cargas del tránsito, a las condiciones climáticas y al ineficiente mantenimiento a la cual se ve sometido debido a los presupuestos limitados que manejan las instituciones encargadas de la infraestructura vial. También cita que en los últimos años ha habido un incremento de tránsito el cual se moviliza por pavimentos que no estaban preparados desde el punto de vista estructural para soportar dichas cargas, ocasionando un deterioro muy importante en el estado de la red vial, esto trae como consecuencia que se deban de rehabilitar muchos kilómetros de pavimentos, para reestructurar su condición estructural y funcional".

Puesto que en el anterior estudio se demuestra que los inconvenientes en los pavimentos de las vías en Uruguay presentan fallas generalmente de supervisión, calidad del material usado y criterios de diseño, se han generado temas de estudio para evaluar técnicas de rehabilitación con un menor costo e impacto ambiental a la zona para mejorar el desarrollo urbano.

- Antecedentes nacionales

Pérez (2020), en su tesina titulada “Análisis de costo efectividad en la implementación de pavimentos reciclados en carreteras” señaló en su trabajo “Al plantear el reciclado de una carretera podremos apreciar beneficios en tres grandes áreas: la social, la ambiental y la económica”. Centrándonos en la económica nos dice que “Se logran ahorros sustanciales en costos, se logra en un tiempo menor la conclusión del proyecto y se tiene mayor durabilidad de los pavimentos. Además de los beneficios mencionados anteriormente los ahorros económicos en materias primas serían mayores. También se disminuye el costo de las mezclas fabricadas.

Del trabajo mencionado anteriormente, Pérez prueba la viabilidad económica y técnica de la utilización del pavimento reciclado, ya que hace un estudio donde compara los costos entre un pavimento reciclado in situ y una mezcla asfáltica convencional.

2.2.- Marco conceptual

En este apartado se definirán los diferentes conceptos teóricos que se desarrollaron para la elaboración de esta tesina.

2.2.1.- Pavimentos

Para Humpiri (2015) define al pavimento como:

“Se llama pavimento a la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento. Sus principales funciones

son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistentes a la acción del tránsito, al intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito”

“En otras palabras, el pavimento es la superestructura de una obra vial que hace posible el tránsito expedito de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía previstos en el proyecto” (pág. 16).

2.2.2.- Tipos de pavimentos

Los pavimentos se clasifican en dos tipos:

-Pavimentos rígidos

-Pavimento flexibles

2.2.2.1.- Pavimentos rígidos

Miranda (2010) señala en relación al pavimento rígido:

“La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Por su rigidez distribuyen las cargas verticales sobre un área grande

y con presiones muy reducidas. Salvo en bordes de losa y juntas sin pasajuntas, las deflexiones o deformaciones elásticas son casi inapreciables” (pág. 10).

2.2.2.2.- Pavimentos flexibles

En relación a los pavimentos flexibles, Miranda (2010), ha expresado:

“El pavimento flexible es una carpeta constituida por una mezcla asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; que soporta directamente las solicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales. Estructuralmente, la carpeta absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que las cargas de los vehículos se distribuyen hacia las capas inferiores por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa” (pág. 4).

2.2.3.- Estructura del pavimento flexible

El pavimento flexible tiene una conformación estructural, que de acuerdo a Rodríguez & Rodríguez (2004), “Se refiere a las características relativas de cada una de las capas que constituyen la estructura de la vía tales como: espesor, resistencia y deformabilidad en las condiciones esperadas de servicio”.

Estas características se pueden agrupar de la siguiente manera:

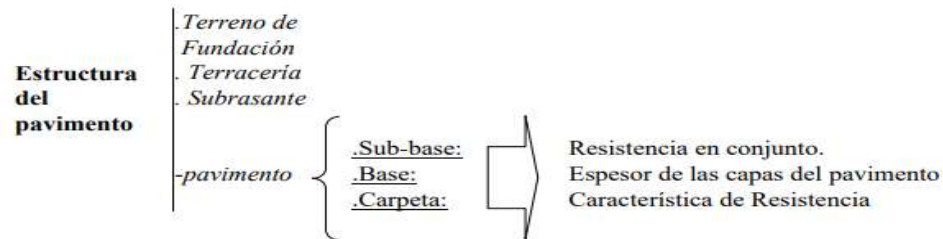


Fig. 1.1 Estructura de un pavimento flexible

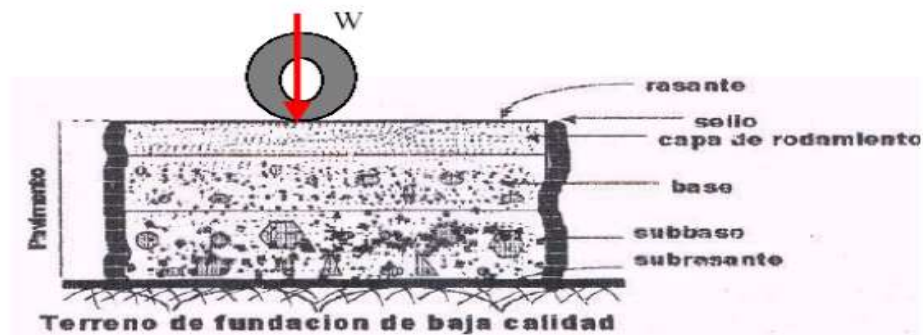


Figura 1: Estructura del pavimento

Fuente: Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método de reciclaje (Rodríguez y Rodríguez, 2004)

2.2.4.- Elementos de un pavimento flexible

Los pavimentos flexibles se integran por estratos o capas con material que se clasifica como no rígido que son las carpetas de rodamiento, la base, la sub-base y la sub-rasante.

2.2.4.1.- Sub-rasante

De acuerdo a Miranda (2010), la capa llamada sub-rasante es:

“Esta capa debe de ser capaz de resistir los esfuerzos que le son transmitidos por el pavimento. Intervienen en el diseño del espesor de las capas del pavimento e influye en el comportamiento del pavimento. Proporciona el nivel necesario para la sub-rasante y protege al pavimento conservando su integridad en todo momento, aun en condiciones severas de humedad,

proporcionando condiciones de apoyo uniformes y permanentes. Con respecto a los materiales que constituyen la capa sub-rasante, necesariamente deben utilizarse suelos compactables y obtener por lo menos el 95% de su grado de compactación” (pág. 3).

La sub-rasante está a cargo de trabajar como la cimentación de la estructura, es por esto que se deben emplear siempre materiales de buena calidad.

2.2.4.2.- Sub-base

Por otra parte, el mismo Miranda (2010) señala que la sub-base es:

“Es la capa situada debajo de la base y sobre la capa sub-rasante, debe ser un elemento que brinde un apoyo uniforme y permanente al pavimento. Cuando se trata de un pavimento rígido, esta capa se ubica inmediatamente debajo de las losas de concreto, y puede ser no necesaria cuando la capa sub-rasante es de elevada capacidad de soporte. Su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su colocación y compactación. Debe ser un elemento permeable para que cumpla también una acción drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales usados carezcan de finos y en todo caso suele ser una capa de transición necesaria. Esta capa no debe de ser sujeta al fenómeno de bombeo y que sirva como plataforma de trabajo y superficie de rodamiento para las maquinas pavimentadoras. En los casos que el transito es ligero, principalmente en vehículos pesados, puede prescindirse de esta capa y apoyar las losas directamente sobre la capa sub-rasante” (pág. 2).

Al estar la sub-base conformada justamente por material granular, tiene la de capacidad de cumplir funciones de drenaje, lo que trae consigo una protección adicional al pavimento.

2.2.4.3.- Base

La base, de acuerdo a Miranda (2010):

“Es la capa situada debajo de la carpeta (pavimento flexible). Su función es eminentemente ser resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tránsito suele corresponder a la intensidad del tránsito pesado. Así, para tránsito medio y ligero se emplean las tradicionales bases granulares, pero para tránsito pesado se emplean ya materiales granulares tratados con un cementante” (pág. 2).

Algunas de las tareas de la base es la de soportar de buena manera las cargas transmitidas por los vehículos, distribuyéndolas de manera gradual; de manera que si se cumple el objetivo de tener una buena base se logran evitar fallas que afectan la estructura del pavimento.

2.2.4.4.- Carpeta asfáltica

De acuerdo a lo que señala Rodríguez & Rodríguez (2004). “La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir. En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de unas partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie. El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a transitar por ese camino” (pág. 12).

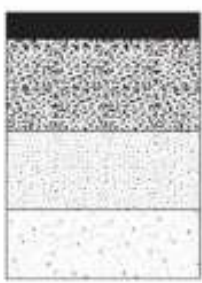
<i>Posición relativa en la estructura</i>		<i>Material de construcción</i>
	Superficie	Asfalto o sello asfáltico
	Base	Mezcla asfáltica/granular estabilizado con asfalto o cemento/granular
	Subbase	Granular estabilizado con asfalto o cemento/granular
	Subrasante	Granular estabilizado con cemento/granular/material in-situ

Figura 2: estructura de un pavimento flexible

Fuente: Diseño de una base emulsificada, para la recuperación de pavimento asfáltico mediante reciclado in situ. (Flores, García y Moscoso, 2012)

2.2.5.- Comportamiento estructural y funcional de un pavimento

Paccori (2018, pág. 17) señala que “Los actuales conceptos sobre el comportamiento, toma como principales consideraciones el comportamiento funcional, estructural y de seguridad de un pavimento. Un aspecto de mayor importancia de este último es la resistencia a la fricción entre el pavimento – neumático”.

“El comportamiento estructural de los pavimentos se rige a la capacidad de soportar o resistir a las sollicitaciones de cargas para las cuales fueron diseñadas. La estructura del pavimento es la de evitar deficiencias tempranas como, por ejemplo, fisuras, agrietamientos y fallas, sin embargo, estas están limitadas al tiempo de servicio para el cual fueron construidas”.

“El comportamiento funcional se asocia a la capacidad del pavimento que tiene para brindar un servicio a los usuarios, en ese sentido las características predominantes son el confort o calidad de transitabilidad en este caso la rugosidad superficial, textura, adecuada fricción, fisuras,

son deficiencias percibidas por los usuarios, en nuestro caso relaciona al nivel de deterioro del pavimento, las posibilidades de dañar mercancías de transporte, el desgaste de los vehículos y consumo de energía”.

2.2.6.- Ventajas y desventajas de los pavimentos flexibles

-Ventajas (Miranda, 2010, pág. 13)

- *Su construcción inicial resulta más económica
- *Tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años

-Desventajas (Miranda, 2010, pág. 13)

- *Para cumplir con su vida útil requiere de un mantenimiento constante
- *Las cargas pesadas producen roderas y dislocamientos en el asfalto y son un peligro potencial para los usuarios. Esto constituye un serio problema en intersecciones, casetas de cobro de peaje, donde el tráfico está constantemente frenando y arrancando. Las roderas llenas de agua de lluvia en estas zonas, pueden causar deslizamientos, pérdida de control del vehículo y, por lo tanto, dar a lugar a accidentes y a lesiones personales.
- *Las roderas, dislocamientos, agrietamientos por temperatura, agrietamientos tipo piel de cocodrilo (fatiga) y el intemperismo, implican un tratamiento frecuente a base de selladores de grietas y de recubrimientos superficiales.
- *Las distancias de frenado para superficies de concreto son mucho mayores que para las superficies de asfalto sobre todo cuando el asfalto esta húmedo y con huellas.

*Una vez que se han formado huellas en un pavimento de asfalto, la experiencia ha demostrado, que la colocación de una sobre carpeta de asfalto sobre ese pavimento no evitara que se vuelva a presentar.

*Las huellas reaparecen ante la incapacidad de lograr una compactación adecuada en las huellas que dejan las ruedas y/o ante la imposibilidad del asfalto de resistir las presiones actuales de los neumáticos y los volúmenes de tráfico de hoy en día.

2.3.- Mantenimiento vial

Humpiri (2015) sostiene que “El mantenimiento vial, en general, es el conjunto de actividades que se realizan para conservar en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos de una carretera: derecho de vial, capa de rodadura, bermas, drenajes, cunetas, taludes, etc. El mantenimiento vial nos permite conservar una vial inclusive más allá de su periodo de diseño, lo que significa a la larga, un ahorro de recursos económicos” (Citado en Paccori, 2018, pág. 34).

La clasificación general de las categorías de mantenimiento se divide en: mantenimiento rutinario, periódico, preventivo, diferido, rehabilitación, reconstrucción y el mantenimiento de emergencia.

Mantenimiento rutinario

El mantenimiento rutinario “consiste en realizar actividades de conservación del pavimento de un estado regular a uno de buen estado, este tipo de mantenimiento se repite una o dos veces al año. El objetivo de estas actividades tiene como finalidad evitar la destrucción gradual de la

estructura básica y carpeta asfáltica de la vía, mediante acciones y reparaciones preventivas” (Paccori, 2018, pág. 35)

Este tipo de mantenimiento va dirigido a la reparación de equipo menor, tal es el caso de señalizaciones verticales y horizontales, fantasmas, bieletas dañadas, etcétera.

Mantenimiento periódico

Este tipo de mantenimiento se lleva a cabo en un tiempo que por lo regular se prolonga en ciclos de más de un año. Humpiri (2015) señala que “El mantenimiento periódico es destinado primordialmente a recuperar los deterioros de la capa de rodadura ocasionados por el tránsito y por fenómenos climáticos, también podrá contemplar la construcción de algunas obras de drenaje menores y protección faltante en la vía” (Citado en Paccori, 2018, pág. 35).

Mantenimiento preventivo

Tal y como su nombre lo indica, este tipo de mantenimiento previene desperfectos, fallas, o alguna otra situación en la que se pueda prevenir cualquier tipo de evento que se pudiera llegar a presentar. “Consiste en actividades y obras de mantenimiento destinadas a prevenir fallas en la vía antes de que ocurra. Tratamientos aplicados a la superficie de pavimentos existentes con capacidad estructural suficiente, con el propósito de mantener su estructura y prolongar su vida útil sin incrementar su valor estructural” (Paccori, 2018, pág. 36)

Mantenimiento diferido

Humpiri (2015) menciona que “realiza acciones y actividades de mantenimiento que deberían haberse efectuado en el pasado, pero que por alguna razón no se realizaron. Su objetivo es detener y restablecer las condiciones de transitabilidad de un pavimento evitando que los deterioros no atendidos con oportunidad sean más graves e irreversibles” (Citado en Paccori, 2018, pág. 36).

Esto es realizar el mantenimiento que debió de haberse efectuado con anterioridad, atendiendo las diferentes fallas que se fueron acumulando durante el paso del tiempo, ejecutando las reparaciones pertinentes para las fallas que se fueron postergando.

Rehabilitación

“Son actividades que permiten restaurar o recuperar las condiciones iniciales de la vía, la reparación es más selectiva dada que esta actividad busca restablecer la capacidad estructural y la calidad original de la superficie de rodadura, considerando que cumplen las especificaciones técnicas con las cuales fueron diseñadas” (Paccori, 2018, pág. 37).

Por lo general en una rehabilitación se emplean recursos económicos mas altos, ya que el objetivo es dejar la vía funcionando “como nueva”, por lo tanto, se emplean mayores recursos desde mano de obra, materiales y maquinaria.

Reconstrucción

“Es la actividad que consiste en la demolición parcial o completa de la vía, esta busca la renovación de la estructura en su totalidad” (Paccori, 2018, pág. 37).

Tal como dice Humpiri (2015), el objetivo es “restaurar los deterioros provocados por desatención o descuido prolongado de las vías, a fin de asegurar el normal funcionamiento de la vía, al menor costo posible” (Citado en Paccori, 2018, pág. 36).

Es decir, se realiza una nueva construcción en el lugar donde se encuentra la construcción deteriorada. Rehaciendo en parte o totalmente los tramos que presentan daños irreparables y que no son posible reparar con alguno de los mantenimientos previamente descritos.

Mantenimiento de emergencia

“Son aquellas actividades que se realizan cuando el estado de la vía o camino está en mal estado e intransitable. Estas consecuencias ejercen una mayor fuerza de intervención como en el caso de desastres naturales, que necesitan de la rehabilitación inmediata de la vía que permita el paso vehicular” (Paccori, 2018, pág. 37).

Este tipo de mantenimiento se atienden de manera inmediata ya que en muchas ocasiones la importancia con que conecta o comunica la vía es vital para el correcto flujo y funcionamiento del tránsito vehicular.

2.4.- Trabajos de reparación en los pavimentos flexibles

“Las técnicas de mantenimiento caen dentro de dos categorías generales: actividades correctivas y actividades preventivas. Las actividades correctivas reparan una falla dada y mejoran la serviciabilidad del pavimento. Las actividades preventivas son actividades que retardan o previenen la aparición de una falla con el fin de mantener una buena serviciabilidad” (Miranda, 2010, pág. 35).

2.4.1.- Sellado de grietas

- Se limpia el pavimento y las fisuras con escobillón y aire comprimido.
- Se rellenan las fisuras con concreto asfáltico de graduación fina.
- Se aplica riego de liga en la sección que se va a reparar.
- Se nivelan los bordes asentados, extendiendo concreto asfáltico. Se comprueba la nivelación con una regla. Posteriormente se compacta con un compactador vibrante plano. Los bordes del parche deben quedar limpios y rectos.
- Se remueve todo tipo de vegetación que se encuentre cercana al pavimento.

2.4.2.- Bacheo superficial

- Instalar señales de prevención y dispositivos de seguridad, así como contar con los bandereros y paleteros requeridos.
- Delimitar el área por remover, marcándola con pintura; darle forma rectangular o cuadrada comprendiendo toda la zona deteriorada y hasta unos 0.30 m dentro del pavimento circundante en buen estado.
- Cortar por líneas que delimitan el área por remover dejando paredes verticales (de preferencia con sierra). Remover la mezcla hasta la profundidad en que se encuentre

mezcla sana, sin grietas. En los baches alcanzar como mínimo hasta el punto más profundo. Poner especial cuidado en no dañar ni soltar la base granular subyacente.

- Retirar los materiales sobrantes y trasportarlos solo a botaderos autorizados donde deben colocarse en forma ordenada y recubrirse completamente con, a lo menos, 0.30 m del suelo.

2.4.2.1.- Bacheo manual

- Limpiar las paredes y el fondo de la zona removida mediante barrido energético y/o aire comprimido (presión mínima, 120 psi), hasta eliminar todas las partículas sueltas y el polvo.
- Colocar el imprimante o liga, mediante escobillones u otros procedimientos que permitan un cubrimiento uniforme del fondo y paredes, a razón de 1.3 a 2.4 l/m².
- Antes de colocar la mezcla asfáltica verificar que la imprimación haya penetrado al menos 10 mm en las bases granulares y que la emulsión para la liga haya quebrado.
- Extender y nivelar la mezcla asfáltica mediante rastrillos y colocar la cantidad justa y necesaria para cubrir toda el área por rellenar y dejarla 6 mm sobresaliendo del pavimento circundante. En los bordes recortar la mezcla dejando paredes verticales y retirar cualquier exceso.
- Compactar con rodillo manual. El desnivel en los bordes no debe sobrepasar los 3 mm.

2.4.2.2.- Bacheo mecanizado

Mediante una bacheadora mecanizada, especialmente diseñada para estos efectos, en forma secuencial:

- Limpiar el área con aire a presión.
- Aplicar el imprimante o riego de liga.
- Mediante proyección a presión colocar la mezcla de relleno.

2.4.3.- Bacheo profundo

- Mezclar la zona a reparar, extendiéndose al menos 0.3 metros fuera del área dañada.
- El área a delimitar debe ser rectangular, con dos de sus lados perpendiculares al eje del camino.
- Posteriormente, deberá cortarse sobre la demarcación realizada, utilizando un equipo de corte.
- Excavar hasta la profundidad definida por el espesor diseñado recortando las paredes de forma vertical, de modo que el fondo quede plano y horizontal.
- Para finalizar se deberá compactar el fondo hasta alcanzar el 95% del proctor modificado, de acuerdo con AASHTO T180.
- Las paredes y fondo de la zona en que se realizó la remoción deben limpiarse mediante un barrido enérgico.
- La superficie se recubrirá con el ligante que corresponda, para lo cual se utilizaran escobillones u otros elementos similares que permitan esparcirlo uniformemente.
- Antes de colocar la mezcla asfáltica de relleno deberá verificarse que la imprimación haya penetrado según lo especificado.
- La mezcla asfáltica se extenderá y nivelará mediante rastrillos, colocando la cantidad adecuada para que sobresalga unos 6 mm sobre el pavimento circundante, en los extremos, y coincidiendo con las líneas de corte de la zona.
- La compactación deberá realizarse con un rodillo neumático o liso de 3 a 5 t de peso. Alternativamente podrá usarse un rodillo manual, dependiendo del espesor de la capa por compactar.
- El desnivel máximo tolerable entre la zona reparada y el pavimento que la rodea será de 3 mm.

2.4.4.- Sellos bituminosos

- Se deberán efectuar los trabajos de bacheo y de sellado de grietas si corresponde.
- Inmediatamente antes del sellado, deberá removerse de la superficie todo el polvo, suciedad y cualquier otro material extraño, mediante escobas mecánicas, escobillas, chorros de agua, sopladores u otros.
- El asfalto deberá aplicarse mediante un distribuidor a presión, cuando la superficie a sellar este completamente limpia y seca. En los lugares de comienzo y termino de los riegos asfálticos, se deberá colocar una protección transversalmente al eje del camino, compuesta por una tira de papel o cartón de un ancho no inferior a 0.80 m. Una vez utilizado, este deberá ser retirado de inmediato.
- El asfalto deberá distribuirse uniformemente sobre la superficie a sellar, aplicado la dosis establecida con una tolerancia de +/-5%. Se deberá de verificar la tasa de aplicación del riego cada 500 m de sello por pasada.
- Una vez aplicado el asfalto sobre la superficie a sellar, se deberá proceder a cubrirlo de inmediato con los áridos. La distribución del árido deberá efectuarse de manera que las ruedas del esparcidor, en ningún momento entren en contacto directo con el material bituminoso recién aplicado. Tan pronto como se haya cubierto un determinado tramo, este deberá revisarse para verificar si existen zonas deficientes de áridos, las que deberán recubrirse con material adicional. Las eventuales áreas con exceso de asfalto, deberán recubrirse de inmediato con arena limpia. Los áridos aplicados en exceso o sobre superficies regadas con un sobre ancho casual, deberán ser removidos de inmediato.
- Un rodillo neumático deberá operar en todo momento detrás del equipo esparcidor de áridos, efectuando la compactación inicial del sello bituminoso con traslapes del rodillo de mínimo 0.30 m, hasta cubrir el ancho total de la superficie. La faena de compactación se deberá continuar utilizando equipo complementario hasta lograr un perfecto acomodo de las partículas. En todo caso, la faena de compactación consistirá en un mínimo de tres pasadas completas de rodillo sobre la misma superficie, incluida la compactación inicial.

2.4.5.- Nivelación de bermas

- Se desmarcará la zona nivelada con respecto del pavimento.
- Colocar estacas que definan el área y las cotas que deben quedar.
- La pendiente transversal de la berma estará comprendida un 4 y 5 % en tramos rectos, en curvas se ajustará de manera que la diferencia entre el peralte y la pendiente de la berma no supere el 8%.

Bermas no revestidas en asfalto

- Se deberá retirar todo el material sin dañar la superficie de pavimento adyacente, con una profundidad de 50 mm, retirando también toda piedra superior a 50 mm.
- Se procederá a recabar y a compactar.

Bermas revestidas en asfalto

- Cortar con sierras u otras herramientas dejando cortes limpios, luego se retirará material con una profundidad de 50 mm y toda piedra superior a 50 mm,
- Se procederá a recabar y compactar.

2.5.- Reciclado de pavimento

“Se le denomina en la construcción reciclaje de pavimentos a la reutilización de materiales que conformaban las capas estructurales del pavimento, puesta que aquellas ya cumplieron su finalidad inicial. Mediante el reciclado se busca transformar el pavimento degradado en una

estructura con calidad y capacidad homogénea, que cuente con las características de soportar cargas como al inicio de su construcción” (Paccori, 2018, pág. 40).

Como lo hace saber Restrepo & Stephens (2015) “Consiste en la buena graduación del material existente como residuo, puesto que ese material ya sufrió los procesos de selección, clasificación y trituración, que lo hicieron apto para la producción de materiales que conforman las estructuras de pavimento (bases granulares y mezclas asfálticas). Por otra parte, se fundamenta en principios químicos que trabajan sobre el ligante asfáltico presente en los residuos o escombros de pavimentos, que, aunque envejecido y de cantidad variable, puede ser reutilizado con la ayuda de aditivos químicos, agentes rejuvenecedores o complementado con la acción de emulsiones asfálticas o crudos pesados tratados” (Citado en Paccori, 2018, pág. 40).

Los procedimientos sistematizados que se han llevado a cabo en el reciclaje de pavimentos atienden, a un avance fundamental de ideas empíricas y validaciones en campo las cuales deben de ser evaluadas de primera mano en el proceso de ejecución.

2.5.1.- Métodos de reciclado de pavimentos

“Las tendencias tecnológicas en la ingeniería actualmente promueven al máximo tener en consideración el aprovechamiento de recurso e insumos que existen en las vías. Los tratamientos de pavimentos reciclados son una de ellas el cual busca la reutilización de su propia estructura como fuente de materia prima para el desarrollo de su propio mantenimiento rehabilitación. El reciclado de pavimentos o RAP se clasifican según su temperatura y según el lugar de ejecución” (Paccori, 2018, pág. 41).

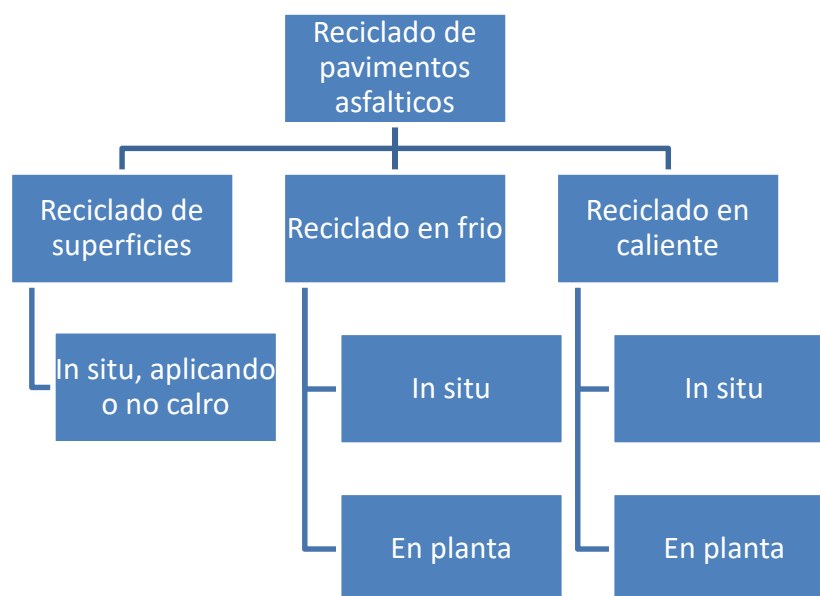


Figura 3: clasificación de técnicas de reciclado de pavimentos

Fuente: Elaboración propia

2.5.2.- Ventajas del pavimento flexible reciclado

Cuando se habla de ventajas, se tienen que tomar en cuenta no solo las que evidentemente se pueden llegar a presentar en obra, sino también los beneficios que se presentan en ámbitos sociales, llegando a ser estos de vital importancia para que este tipo de trabajos se sigan ejecutando.

Al realizarse el reciclado de pavimento flexible se encuentran beneficios en tres áreas: social, ambiental y económica:

Social

- Se logran ahorros sustanciales de tiempo.
- Se conserva la seguridad de los usuarios al minimizar la interrupción del tráfico.
- Se evitan las superficies peligrosas.

Económica

- Se logran ahorros sustanciales en costos.
- Logra en un tiempo menor la conclusión del proyecto.
- Mayor durabilidad de los proyectos.

Ambiental

- Se conserva recursos naturales no renovables.
- No se emana gases tóxicos.
- Ahorro de energía en maquinaria.

“Además de los beneficios mencionado anteriormente los ahorros económicos en materias primas serían mayores, puesto que el reciclado ya contiene agregado, lo que reduce costos debido a la explotación, triturado, transporte y secado de estos materiales. También se disminuye el costo de las mezclas fabricadas, al disminuir la cantidad necesaria de aglutinante asfáltico, ya que el asfalto reciclado es una fuente valiosa de este insumo. Lo anterior indica que el uso de asfalto recuperado es una medida que asegura la construcción de caminos y carreteras de una manera ambientalmente responsable y rentable” (Pérez, 2020, pág. 18).

2.5.3.- Materiales asfálticos para la elaboración de pavimento flexible reciclado

“Del proceso de obtención de los materiales asfálticos se consideran dos grupos, los productos naturales y productos manufacturados. En los productos naturales se consideran a los asfaltos naturales y las rocas asfálticas, estos productos son formados por la composición natural de petróleo. Y en los productos manufacturados se encuentran los cementos asfálticos del petróleo, los asfaltos diluidos y las emulsiones asfálticas estos productos son obtenidos después del proceso de destilación del petróleo crudo” (Paccori, 2018, pág. 50).

- *Asfalto*

Es un material que viene de la parte más pesada del petróleo en su estado crudo o natural. Es un producto de color negro que a su vez tiene una consistencia pegajosa, tiene un comportamiento elástico y a la misma vez plástico. Tiene una viscosidad que va variando de acuerdo a la temperatura en que se encuentra.

- *Agregados pétreos*

Es todo aquel material que tiene como origen las rocas como tal y que comúnmente se utiliza así de manera natural, sin tener alguna alteración. El nombre común que se les da es el de arena o grava y se encuentra en la mayoría de las ocasiones en fragmentos.

- *Emulsiones asfálticas*

Son productos elaborados a base de agua y un emulsificante que tiene como función mezclar estas 2 sustancias que de manera normal serian difícil de mezclar. Se utiliza para tender la carpeta en frío.

2.5.4.- Proceso de mezclas asfálticas recicladas

Dentro de los trabajos que se realizan en la reconstrucción y/o rehabilitación de los pavimentos flexibles se encuentra el RAP por sus siglas (recuperado de pavimento asfáltico) que es proveniente de los pavimentos asfálticos que ya no son útiles, es decir que cuentas con un deterioro importante y de los cuales se determina que ya concluyeron con su vida útil; por lo tanto son opción para ser reutilizados mediante el proceso de fresado, la reclamación a profundidad completa o mediante los desperdicios asfálticos en planta de mezclado.

“Las mezclas asfálticas presentan ciertas características especiales, por ejemplo, toda mezcla de este tipo está sujeta a variaciones de homogeneidad, la cual se ve altamente afectada por la graduación de los materiales minerales (agregados) y su dosificación. Así, el rap no es homogéneo, debido a que, en algunos casos, se le encuentra adicionado con otros materiales utilizados para la reparación de daños tales como baches, roderas, grietas, entre otros. Entre menor sea la homogeneidad del rap, menos será la cantidad que pueda ser utilizado en una mezcla reciclada” (Pérez, 2020. Pág. 21).

El objetivo principal de esta mezcla reciclada es que la calidad sea la misma a las que son fabricadas con materiales nuevos, donde los requisitos de granulometría cumplas con las especificaciones indicadas por los diseñadores y que a la vez efectuó los requisitos de volumetría de la mezcla.

2.6.- Uso de pavimentos flexibles reciclados como opción para una rehabilitación vial

Se puede llegar a ver que en las obras que abarcan la recuperación de vías se llegan a presentar grandes inconvenientes que están relacionados con el efecto negativo del medio ambiente y el valor que crean las soluciones propuestas para la rehabilitación del pavimento y el posterior uso de los materiales sobrantes producto de la limpieza y despeje de las capas.

Las mezclas usadas por lo regular en las rehabilitaciones de vías, como opción de resolución técnica para los proyectos de conservación son las mezclas asfálticas en caliente. Las mezclas asfálticas en caliente dan al pavimento características mecánicas y de adherencia, en cambio, esta utilización necesita de una inspección meticulosa ya que, al estar la mezcla sujeta a factores de calentamiento, se llegan a presentar problemas de fisuramiento, deformaciones y otras fallas en el pavimento, en relación al tiempo de diseño.

“Al presentar las fallas la mayoría de los trabajos incluyen la remoción de carpeta asfáltica o tratamiento de fisura, bacheo, slurry seal, tratamientos superficiales, entre otras. El uso de estos trabajos con mezclas asfálticas en caliente genera incomodidad y malestares a los usuarios, aparte de que en la actualidad estos tratamientos ya no logran satisfacer los requerimientos técnicos y ambientales para la rehabilitación o mantenimiento de una vía” (Paccori, 2018, pág. 38).

Con respecto a las dificultades ambientales provocadas por este método de mezclas de asfalto en caliente son causadas ya que las mezclas contienen componentes dañinos como lo son la nafta, el petróleo y el keroseno, ellos son utilizados para reducir los asfaltos esto se debe a que el asfalto en su presentación natural es muy denso, lo que hace que se dificulte su uso al momento de realizar la mezcla de materiales, por lo que a lo largo del desarrollo de su elaboración y uso estos elementos dañinos se escapan al medio ambiente teniendo como resultado contaminación ambiental.

Debido a la cantidad múltiple de métodos de conservación y rehabilitación de las calles y generando una opinión que parte desde lo técnico, ecológico y económico se puede llegar a ver en los cuidados superficiales y rehabilitación de vías en el nivel de carpeta asfáltica, los materiales que son sacados a lo largo del proyecto son tirados y desechados, en cambio actualmente existe una técnica llamada rap (pavimento asfáltico reciclado) y no obstante que existen sistemas metodológicos para su uso en la reparación de vías no se es muy usado en México, es justo recalcar que hay trabajos de investigación acerca del rap que han indicado que este método crea beneficios de mejora de la vía económicamente y ambientalmente.

“La aplicación del pavimento flexible reciclado o rap (pavimento asfáltico reciclado) también requiere de una mezcla asfáltica. Dada al poco interés que se le toma a esta técnica aún no hay especificaciones técnicas que se deba cumplir para este tipo de actividad, sin embargo, para su aplicación estas se rigen a las especificaciones de una mezcla convencional las cuales buscan que el pavimento presente de nuevo el comportamiento similar al de un pavimento recién construido” (Paccori, 2018, pág. 38).

De acuerdo a diversos trabajos de investigación las mezclas asfálticas en caliente crean contaminación en el medio ambiente, sin embargo la utilizar el rap para hacer restituir el porcentaje remanente en la nueva mezcla, se puede observar que existe una disminución de la contaminación en el medio ambiente así como también se presenta una disminución en el factor económico, por otro lado se cuenta igualmente con las mezclas asfálticas en frío que normalmente usan diferentes agregados y emulsiones asfálticas que determinan las características reológicas en paridad con un asfalto convencional. También existe una mejoría de las características y se tiene un menor costo del proceso y un menor impacto ambiental.

A continuación, se presenta en la figura la gráfica donde se puede ver una reducción de costo y energía que son necesarios para su producción.

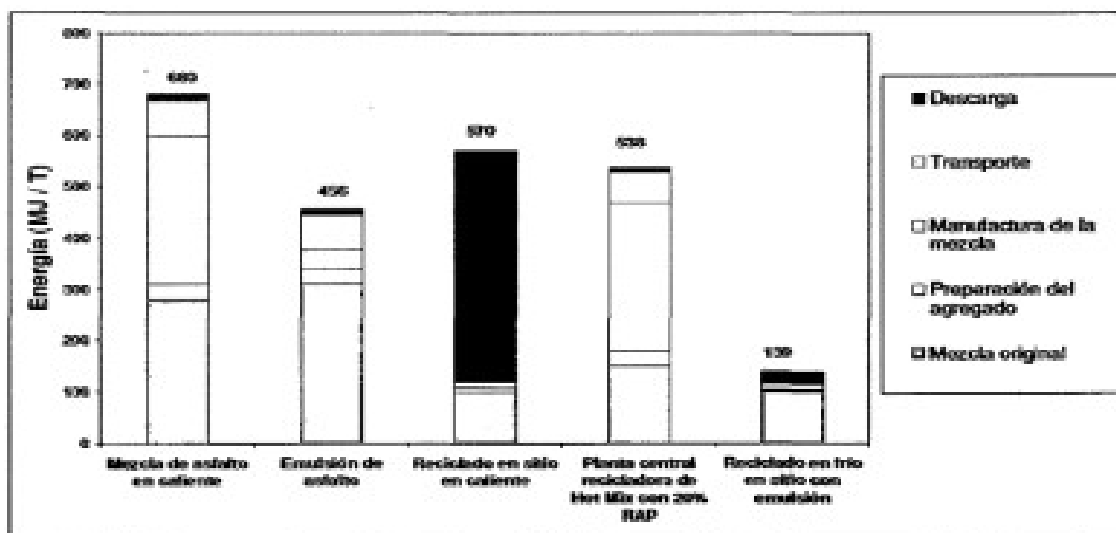


Figura 4: costo y energía de producción de mezcla asfáltica

Fuente: Criterios de análisis de diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica

Como lo hace saber Montejo F. (2006) “En 1983 el Instituto del asfalto comienza integrando métodos para el reciclado de pavimentos en caliente y frío, usando el tipo de reciclaje en planta. Apareciendo, por esos años artículos con el mismo fin como, por ejemplo: “Introducción al reciclado de pavimentos” de Elvira M. en la región de Madrid, España, enfocándose en las jornadas sobre la maquinaria y “Estudio y proyecto de obras de reciclado en caliente mediante técnicas de reciclado” de Dorfman en la región de Buenos Aires, Argentina. Luego de un periodo de aplicación del método de reciclado, este se retoma en el 2002 dentro de la guía AASHTO del 2002 como rehabilitaciones” (Citado en Paccori, 2018, pág. 39).

Se entiende por reciclado, al uso que se le vuelve a dar a un material de pavimento que ya fue utilizado y que ha desempeñado todo su uso para el que en un principio fue diseñado, es decir que ya cumplió vida útil. Siendo a su vez usado para rehabilitar o construir un tramo en el mismo lugar de donde previamente se levantó, método llevado a cabo debido a que al ser este un recurso natural que se ha venido explotando y por ende existe un agotamiento de los lugares de donde se

obtiene este material, así como un aumento significativo en canteras a causa del elevado precio del transporte.

“Los aspectos ecológicos y la necesidad de conservar el medio ambiente, razones por las cuales es notoria la tendencia hacia la reutilización de los materiales existentes en lugar de proceder a la explotación de yacimientos y canteras, contaminando la zona donde se realizan estas actividades. El corto presupuesto destinado a la conservación, rehabilitación y reconstrucción de los sistemas viables existentes, ha obligado a estudiar y aplicar técnicas de mantenimiento menos oneroso, pero con un comportamiento similar a las actuaciones convencionales” (Paccori, 2018, pág. 40)

2.7.- Beneficios del uso de pavimento flexible reciclado

En el momento en que, propuesto un método de reciclado para llevar a cabo una rehabilitación, se debe tener en cuenta tres áreas a beneficiar que son, la económica, la ambiental y la técnica.

Economía

- La disposición, como desechos de los materiales de los pavimentos es reducida o en gran parte eliminada por lo que hay un ahorro de combustible.
- Genera conservación de consumo de combustible al construirse in-situ y no requiere calentamiento de los materiales.
- Preservación de los recursos naturales, gracias a reutilización de los agregados pétreos y del asfalto en los pavimentos existentes.
- Dependiendo del sistema a aplicar de puede ahorrar el transporte de materiales.

- El periodo de construcción es menor.
- El material reciclado se recupera en por lo menos un 50%.

Medio ambiente

- No hay impacto ambiental tan negativo como el necesitar tiraderos pues la disposición como desecho de material es reducida o en gran parte eliminada.
- Se preservan recursos naturales gracias a que se reutilizan los agregados y el asfalto contenido en el pavimento reciclado, de esta forma la cantidad para extraer nuevos materiales de agregados pétreos es reducida.
- Si el proceso de mezclado se realiza in-situ se puede conservar la energía al construirse en el lugar y no requiere combustible para el calentamiento de los materiales.
- Si la mezcla es en frío se evita la evaporación de elementos nocivos al medio ambiente.

Técnico

- Se evita elevar la rasante, de esta manera no se varia el diseño original y no se llega a afectar los niveles de brocal.
- Se corrige las deficiencias superficiales y estructurales.
- Se reduce al mínimo las perturbaciones causadas por las operaciones de construcción, a las capas por lo que se logra conservar intacta la resistencia del pavimento.
- Si el proceso de rehabilitación se realiza todo in-situ se tiene un periodo de construcción menor.
- Si la aplicación del proceso se realiza en frío se genera el beneficio de no tener que pasar por un proceso del calentamiento del agregado.

2.8.- Proceso constructivo de un pavimento flexible reciclado

El proceso constructivo del pavimento flexible reciclado es muy similar al realizado de manera tradicional, con la diferencia de que en el reciclado se llevan a cabo los trabajos de recorte de las capas asfálticas para su posterior traslado a la planta de reciclado, una vez realizado el proceso de reciclaje se vuelve a transportar al tramo donde se colocará finalmente, este proceso y el posterior se describirá de manera ordenada a continuación:

1.- Se realizará el recorte de las capas asfálticas con equipo autopropulsado y con capacidad suficiente para cortar (20) veinte centímetros en todo lo ancho de la sección, en aproximadamente 10 metros, restableciendo el bombeo del 2%, de una sola pasada y siguiendo una trayectoria paralela al eje de vía, iniciando y terminando en líneas normales a dicho eje, cuya ejecución será de acuerdo al inciso F de la norma N-CSV-CAR-3-02-007/10, del subtramo contratado.

2.- El 50% del material producto del recorte se depositará en el derecho de vía del tramo, en los taludes del lado exterior de la carretera, en zonas de paraderos y/o sitios que ordene la supervisión, para aprovechar la humedad se extenderá el mismo día del recorte con motoconformadora de manera uniforme y compactándolo con dos pasadas del compactador rodillo liso, de al menos 8 toneladas.

3.- El resto del material producto del recorte (50%), se transportará y depositará en el lugar donde se ubique la planta de asfalto para utilizarse en la elaboración de la base asfáltica.

4.- Una vez concluido el recorte de las capas asfálticas existentes, sobre la superficie de recorte se construirá una base de capa asfáltica de 15 centímetros de espesor compactos. Para la

elaboración de la base asfáltica se utilizarán 10 cm de material producto del recorte de las capas asfálticas y 5 cm de material procedente de banco 100% triturado T.M.A. de 1 ½”, debiendo cumplir con la granulometría para el tránsito esperado.

5.- La construcción del concreto asfáltico de 15 cm de espesor compactados se realizará conforme a lo establecido en la norma N-CTR-1-04-003/14, utilizando mezcla asfáltica de granulometría densa elaborada en caliente, con cemento asfáltico PG 64-22, y material pétreo de T.M.A. 1 ½”, de acuerdo a como se señala en el párrafo anterior, compactada mínimamente al 95% de su masa volumétrica máxima, cuya mezcla deberá ser diseñada mediante el método Marshall para el tránsito esperado en cuestión.

6.- Para el diseño de a mezcla asfáltica y particularmente en la obtención del contenido óptimo de cemento asfáltico, deberá considerarse el contenido de asfalto que contiene el material producto del recorte de las capas asfálticas que se utilizara en la elaboración de dicha mezcla.

7.- La colocación de la base asfáltica deberá llevarse a cabo con entendedora, la cual deberá estar equipada con sensores sónicos; la aplicación de riego de liga será con emulsión asfáltica modificada, a razón de cero punto ocho (0.8) l/m². Se colocará en una sola capa, por lo que deberá de considerarse con el laboratorio de control de calidad, la forma de compactación de esta, previa colocación de la base asfáltica deberá compactarse la superficie sobre la que se va a colocar para posteriormente aplicar el riego de liga.

Capítulo 3: PROCESO METODOLÓGICO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

3.1.- Método de investigación

El actual estudio que se presenta se realizó basándose en el método científico con un enfoque cuantitativo, esto debido a que los diferentes trabajos de investigación consultados están realizados a base de valores numéricos y son aptos para darles sentido, la información obtenida nos da un parámetro para realizar el diseño y posterior aplicación del pavimento flexible reciclado.

3.2.- Tipo de investigación

Se considera a este trabajo como una investigación aplicada, esto debido a que utiliza los conocimientos que previamente se adoptaron para después ser puestos en práctica, este tipo de investigación se caracteriza por tener un problema el cual ya está establecido y en donde el investigador lo conoce; por lo tanto, la investigación es usada para responder a preguntas puntuales.

3.3.- Nivel de investigación

El nivel de investigación al que está apegado este trabajo de investigación es descriptivo – explicativo, debido a que contribuirá a abordar el acontecimiento más importante de la investigación por medio del almacenamiento y procesamiento de datos, estos grados facilitan la búsqueda de la definición de los motivos que generaron el tema de estudio.

3.4.- Diseño de la investigación

El diseño es no experimental porque la investigación no altera ni manipula las variables, es decir que la investigación se realiza tal y como se da en su contexto natural, para luego ser analizado e interpretado.

Capítulo 4: RESULTADOS OBTENIDOS

1. En el transcurso de los diferentes apartados del marco teórico de esta tesina se ha venido recopilando datos e información propicia que aporta beneficios a los efectos del uso de pavimento flexible reciclado en rehabilitaciones viales.
2. Al hacer uso de pavimentos flexibles reciclados en las rehabilitaciones viales se tiene un beneficio económico, ambiental y técnico a comparación de una rehabilitación tradicional.
3. Se realizó el ejemplo de un estudio económico con precios unitarios en un tramo supuesto en 1000 m con un ancho de 10.5 m y una capa de 0.10 m. Considerando los datos anteriores se realizó el análisis de precios unitarios (Anexos 1 y 2) y se obtuvo como resultado lo siguiente:

Mezcla asfáltica realizada de manera tradicional		Mezcla asfáltica realizada con el método de reciclado	
Cantidad (m3)	Costo (\$)	Cantidad (m3)	Costo (\$)
1050	4 194 015.00	1050	3 487 890.00

Tabla 1: comparación de precios

4. De lo anterior se puede deducir que en consecuencia es más económico elegir el método de reciclado de pavimento. Este se debe de elegir si se cumplen ciertos requisitos como lo son que se reúnan las condiciones técnicas de la vialidad a rehabilitar, así como que el lugar cuente con las condiciones propicias para llevar a cabo este método.

Conclusiones

1. El uso de pavimento flexible reciclado en recarpeteos, bacheo u otra reparación vial posibilita modificar los desperfectos tanto superficiales como severos, dando un perfeccionamiento vial y peatonal.
2. Una de las singularidades de este método de recuperación vial es que logra alcanzar a presentar un trabajo parecido a un pavimento reciente o a uno realizado mediante el método convencional.
3. Este mismo método de rehabilitación vial (pavimento flexible reciclado) da la ventaja de realizarse con mayor velocidad en el momento de la ejecución, brinda ventajas en temas ambientales, así como ventajas económicas comparadas con otras técnicas de rehabilitación vial.
4. De la bibliografía consultada se concluye que, la rehabilitación vial con pavimento flexible reciclado toma mayor relevancia con el paso del tiempo, su utilización viene al alza y es un método que se puede aplicar tanto para reparaciones menores como para tramos largos.
5. El procedimiento constructivo utilizado mediante este método arroja un menor tiempo de interrupción de tráfico al momento de ejecutarse la reparación, por lo que se traduce en menores molestias para los usuarios.

Bibliografía

1. Paccori Mori, F. L. (2018). *Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial – Pachacamac*. Tesis.
2. Martucci, J. L. (2018). *Reciclado de pavimentos in situ utilizando la técnica de asfalto espumado*. Tesis.
3. Pérez Hernández, D. T. (2020). *Análisis de costo efectividad en la implementación de pavimentos reciclados en carreteras*. Tesina.
4. Humpiri Pineda, K. (2015). *Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región de Puno*. Tesis.
5. Miranda Rebolledo, R. J. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. Tesis.
6. Rodríguez Molina, J. A. (2004). *Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclaje*. Tesis.
7. Garzón Reina A. M. & Hernández Méndez L. Y. (s.f.). *Cartilla-guía ilustrativa del proceso constructivo de un pavimento flexible para bajos volúmenes de tránsito*. Guía.

Anexos

Anexo 1. Análisis de precios unitarios a costo directo de rehabilitación con mezcla asfáltica virgen.

Obra: Rehabilitación de Carreteras con Mezclas Asfálticas Virgenes.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
01	Escarificación y remoción de las capas de pavimentación distintas a la carpeta existente construida con anterioridad, desperdiciando el material, por unidad de obra terminada, EP 01.T				m3
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Equipo costo horario					
EQ-MT	Motoniveladora Caterpillar Modelo 120k	hr	0.016686	\$ 1,154.02	\$ 19.26
EQ-CF	Cargador de Ruedas Caterpillar Modelo 950 GC	hr	0.008343	\$ 1,034.99	\$ 8.63
Suma de Equipo costo horario					\$ 27.89
Auxiliar					
AUX-001	Acarreo de material para el 1er km	m3-KM	1.000000	\$ 10.21	\$ 10.21
AUX-002	Acarreo de material para los km subsecuentes.	kms-sub	1.000000	\$ 8.16	\$ 8.16
Suma de Auxiliar					\$ 18.37
Costo directo					
					\$ 46.26
Indirectos de oficina				0.00 %	\$ 0.00
Indirectos de campo				0.00 %	\$ 0.00
Financiamiento				0.00 %	\$ 0.00
Utilidad				0.00 %	\$ 0.00
Cargos adicionales				0.00 %	\$ 0.00
Otros porcentajes				0.00 %	\$ 0.00
Total sobrecostos				%	\$ 0.00
PRECIO UNITARIO					\$ 46.26
** CUARENTA Y SEIS PESOS 26/100 MXN **					

Obra: Rehabilitación de Carreteras con Mezclas Asfálticas Virgenes.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO						
02	Mejoramiento de base Hidráulica al 100%				m3	
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe	
Material						
MT-AGRE1 1/2	Agregado de 1 1/2" a fino (Precio incluye Merma, abundamiento y acarreo).	m3	1.000000	\$ 370.20	\$ 370.20	
Suma de Material					\$ 370.20	
Auxiliar						
AUX-003	Operaciones de mezclado, tendido, compactado al 100% de su PVSM, incluye: incorporación de humedad.	m3	1.000000	\$ 56.95	\$ 56.95	
AUX-001	Acarreo de material para el 1er km	m3-KM	1.000000	\$ 10.21	\$ 10.21	
AUX-002	Acarreo de material para los km subsecuentes.	kms-sub	1.000000	\$ 8.16	\$ 8.16	
Suma de Auxiliar					\$ 75.32	
Costo directo					\$ 445.52	
Indirectos de oficina				0.00 %	\$ 0.00	
Indirectos de campo				0.00 %	\$ 0.00	
Financiamiento				0.00 %	\$ 0.00	
Utilidad				0.00 %	\$ 0.00	
Cargos adicionales				0.00 %	\$ 0.00	
Otros porcentajes				0.00 %	\$ 0.00	
Total sobrecostos				%	\$ 0.00	
PRECIO UNITARIO					\$ 445.52	

**** CUATROCIENTOS CUARENTA Y CINCO PESOS 52/100 MXN ****

Obra: Rehabilitación de Carreteras con Mezclas Asfálticas Virgenes.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO						
03	Riego de impregnación con emulsión asfáltica catiónica, a razón de 1.5 lts/m².				lt	
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe	
Material						
MT-EM60	Emulsión cationica para impregnación, rompimiento lento al 60%	lt	1.000000	\$ 9.25	\$ 9.25	
Suma de Material					\$ 9.25	
Equipo costo horario						
EQ-CKW	Camion Kenworth t300, motor Paccar PX-6 240 HP, plataforma.	hr	0.001667	\$ 616.74	\$ 1.03	
EQ-PETRO	Petrolizadora Computarizada y Automatizadas Marca SEAMAN GUNNISON Modelo CRC-H. Cap. 6,000 lts.	hr	0.001667	\$ 619.33	\$ 1.03	
Suma de Equipo costo horario					\$ 2.06	
Costo directo					\$ 11.31	
Indirectos de oficina				0.00 %	\$ 0.00	
Indirectos de campo				0.00 %	\$ 0.00	
Financiamiento				0.00 %	\$ 0.00	
Utilidad				0.00 %	\$ 0.00	
Cargos adicionales				0.00 %	\$ 0.00	
Otros porcentajes				0.00 %	\$ 0.00	
Total sobrecostos				%	\$ 0.00	
PRECIO UNITARIO					\$ 11.31	

**** ONCE PESOS 31/100 MXN ****

Obra: Rehabilitación de Carreteras con Mezclas Asfálticas Virgenes.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO						
04	Carpeta Asfáltica Compactada al 95%				m3	
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe	
Material						
MT-CTA	Carpeta asfáltica en caliente, gruesa 1/2 Modificada, Cemento Asfáltico Grado PG76-22.	m3	1.000000	\$ 2,400.75	\$ 2,400.75	
Suma de Material					\$ 2,400.75	
Equipo costo horario						
EQ-BARR	Barredora frontal ROSCO 4820 autopropulsada motor diesel turbo.	hr	0.020000	\$ 284.29	\$ 5.69	
Suma de Equipo costo horario					\$ 5.69	
Auxiliar						
AUX-001	Acarreo de material para el 1er km	m3-KM	1.000000	\$ 10.21	\$ 10.21	
AUX-002	Acarreo de material para los km subsecuentes.	kms-sub	4.000000	\$ 8.16	\$ 32.64	
OPE-TEND	Operaciones de tendido y compactado de CARPETA y BASE asfáltica, en caliente.	m3	1.000000	\$ 169.17	\$ 169.17	
AUX-004	Aplicación de Riego de Liga.	lt	16.670000	\$ 16.13	\$ 268.89	
Suma de Auxiliar					\$ 480.91	
Costo directo					\$ 2,887.35	
Indirectos de oficina				0.00 %	\$ 0.00	
Indirectos de campo				0.00 %	\$ 0.00	
Financiamiento				0.00 %	\$ 0.00	
Utilidad				0.00 %	\$ 0.00	
Cargos adicionales				0.00 %	\$ 0.00	
Otros porcentajes				0.00 %	\$ 0.00	
Total sobrecostos				%	\$ 0.00	
PRECIO UNITARIO					\$ 2,887.35	

** DOS MIL OCHOCIENTOS OCHENTA Y SIETE PESOS 35/100 MXN **

Anexo 2. Presupuesto y análisis de precios unitarios a costo directo de rehabilitación con mezcla asfáltica reciclada.

Obra: Tren de Reciclaje

PRESUPUESTO						
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Importe acumulado de la hoja anterior		\$ -
				Precio Unitario		Importe en pesos
				Con letra	Con número	
001	ASFALTO RECICLADO					
001	Tren de Reciclaje	m3	1050.00	TRES MIL TRESCIENTOS VEINTIUN PESOS 80/100 MXN	\$3,321.80	\$3,487,890.00
Total de ASFALTO RECICLADO						\$3,487,890.00
Subtotal del PRESUPUESTO						\$3,487,890.00

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO					
001	Tren de Reciclaje				m3
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Material					
MT-DIESEL	Diesel	lt	35.000000	\$ 18.25	\$ 638.75
	Suma de Material				\$ 638.75
Mano de obra					
MO-C1	Cuadrilla 1 (1/4 de Cabo + 2 Ayudantes)	jor	0.041667	\$ 1,035.21	\$ 43.14
MO-OPERADOR	OPERADOR MAQUINARIA PESADA	jor	0.020833	\$ 672.46	\$ 14.01
	Suma de Mano de obra				\$ 57.15
Equipo					
EQ-TREN	Recicladora AR2000 (Incluye: Precalentadores, Fresadora y Mixer)	hr	0.285000	\$ 8,493.75	\$ 2,420.72
	Suma de Equipo				\$ 2,420.72
Auxiliar					
MT-CARPETA	Carpeta Asfáltica Virgen 25%	m3	0.250000	\$ 820.73	\$ 205.18
	Suma de Auxiliar				\$ 205.18
	Costo directo				\$ 3,321.80
	Indirectos de oficina			0.00 %	\$ 0.00
	Indirectos de campo			0.00 %	\$ 0.00
	Financiamiento			0.00 %	\$ 0.00
	Utilidad			0.00 %	\$ 0.00
	Cargos adicionales			0.00 %	\$ 0.00
	Otros porcentajes			0.00 %	\$ 0.00
	Total sobrecostos			%	\$ 0.00
PRECIO UNITARIO					\$ 3,321.80
** TRES MIL TRESCIENTOS VEINTIUN PESOS 80/100 MXN **					