



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
CAMPUS GUANAJUATO
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

TESINA

**PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA
IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS RECICLADOS EN
CARRETERAS**

**PRESENTA
ING. DIANA TERESA PÉREZ HERNÁNDEZ**

**ASESOR
DR. LUIS ELÍAS CHÁVEZ VALENCIA**

GUANAJUATO, GTO., AGOSTO 2020



DR. LUIS ENRIQUE MENDOZA PUGA

Director de la División de Ingenierías

Universidad de Guanajuato

PRESENTE.

Por este conducto me permito comunicar que de acuerdo con las asesorías que se le han brindado a la **C. DIANA TERESA PÉREZ HERNÁNDEZ** durante el periodo comprendido de enero a agosto de 2020, ha desarrollado satisfactoriamente la Tesina intitulada: **ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS RECICLADOS EN CARRETERAS**, conforme a las indicaciones y recomendaciones al respecto, presentando un documento acorde con el tema señalado y que en lo personal estimo ha cumplido con los objetivos académicos contenidos en el Plan Curricular de la Especialidad en Economía de la Construcción.

Lo anterior lo pongo a su consideración para efectos a que haya lugar. Sin más por el momento, le reitero las seguridades de mi más alta consideración.

ATENTAMENTE

“LA VERDAD OS HARÁ LIBRES”

Guanajuato, Gto., 20 de agosto de 2020

Director de la Tesina



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA
DE LA CONSTRUCCIÓN

DR. LUIS ELÍAS CHÁVEZ VALENCIA

**CAMPUS GUANAJUATO
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS**

Sede Belén: Av. Juárez 77, Centro
Guanajuato, Gto., México; C.P. 36000
Teléfonos: (473) 102 01 00, ext. 2207 y 2212, Fax: ext. 2230

Sede San Matías: ExHacienda de San Matías s/n, Col. San Javier
Guanajuato, Gto., México; C.P. 36020
Teléfonos: (473) 732 72 77, 732 72 78 y 732 63 21



CONTENIDO

Introducción.....	3
Capítulo I. Tema de investigación.....	5
1.1 Contexto	5
1.2 Reseña Histórica	7
1.3 Planteamiento del Problema.....	9
1.4 Pregunta de Investigación	9
1.5 Objetivos Generales.....	10
1.6 Objetivos Específicos	10
1.7 Hipótesis	10
1.8 Justificación.....	10
1.9 Delimitación	11
Capítulo II. Técnicas para recolección de datos.....	12
2.1 Enfoque de investigación.....	12
2.2 Población.....	12
2.3 Muestra.....	13
2.4 Técnicas utilizadas para la recolección de datos	13
Capítulo III. Referentes teóricos.....	14
3.1 Marco teórico.....	14
❖ Mezclas asfálticas	14
❖ Mezclas asfálticas recicladas.....	16
❖ Ventajas de utilizar asfalto reciclado	18
❖ Manipulación y procesamiento de mezclas asfálticas recicladas	20
❖ Aditivos rejuvenecedores y su influencia en las mezclas recicladas.....	29
❖ Precios Unitarios	30
Capítulo IV. Investigaciones relacionadas	37
Capítulo V. Caso de estudio	42
5.1 Evaluación de los pavimentos propuestos para reciclado en caliente en el lugar.....	42
5.2 Proceso constructivo	43
❖ Trabajos por ejecutar en una rehabilitación con asfalto virgen.....	44
❖ Trabajos por ejecutar en una rehabilitación con asfalto reciclado.....	45



**ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

❖ comparativa de dos técnicas de rehabilitación superficial	47
Capítulo VI. Resultados	49
Conclusiones.....	51
Referencias bibliográficas	52
Anexo.....	54
Anexo 1. Avance en el ejercicio del presupuesto de inversión en la SCT.	55
Anexo 2. Presupuesto de rehabilitación con mezcla asfáltica virgen.	56
Anexo 3. Análisis de precios unitarios a costo directo de rehabilitación con mezcla asfáltica virgen.	57
Anexo 4. Presupuesto y análisis de precios unitarios a costo directo de rehabilitación con mezcla asfáltica reciclada.....	61
Anexo 5. Explosión de insumos de rehabilitación con mezcla asfáltica virgen.	63
Anexo 6. Explosión de insumos de rehabilitación con mezcla asfáltica reciclada.	64



Introducción

Los pavimentos se construyen con el objetivo de satisfacer necesidades urbanas y sociales de manera rápida y eficiente, como el movimiento y traslado de personas, bienes y servicios. Para alcanzar estas metas, es necesario elaborar una combinación de estrategias sustentables que permitan el empleo racional de los elementos sin comprometer su disponibilidad para las futuras generaciones y teniendo en cuenta el ahorro económico que esto representa.

El pavimento de una carretera está sujeto a la acción continua del tráfico y del medio ambiente, estos dos factores, junto con el envejecimiento natural de los materiales, hacen que el pavimento sufra un proceso de deterioro. Este envejecimiento y deterioro del pavimento conlleva una disminución en los niveles de seguridad y confort del tráfico, que al sobrepasar ciertos valores hacen necesaria una operación de conservación.

La conservación de la red vial es en la actualidad un aspecto de gran importancia debido a los recursos que integra. El presupuesto necesario para el mantenimiento, así como los problemas ambientales que de él se derivan, justifican la búsqueda de nuevas técnicas que permitan reducir costos y sean respetuosas con el medio ambiente.

Durante o al final de su vida útil, los pavimentos asfálticos deben ser rehabilitados o reconstruidos, lo que involucra importantes inversiones del orden de millones de pesos. Sin embargo, los costos directos de estas actividades pueden disminuir dependiendo de las cantidades de reciclado consideradas en estas operaciones, así como el uso de materiales vírgenes que incrementan los costos directos. Aunado a lo anterior, existen consecuencias ambientales que incluyen el agotamiento de recursos naturales (agregados y aglutinantes asfálticos), emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, NO_x) y problemas relacionados con la disposición de materiales desechados.

Los pavimentos reciclados son una innovación tecnológica que busca reducir el impacto ambiental y económico en la construcción. Se trata de un concepto con atributos ambientales y económicos que consiste en la aplicación de un sistema de acciones sustentables en las fases de proyecto, construcción y mantenimiento en carreteras.



ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS RECICLADOS EN CARRETERAS. ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

Cuando realizamos un proyecto de red vial consideramos la parte técnica y económica al igual que en otros proyectos.

En esta investigación nos enfocaremos a la parte económica del proyecto orientada al análisis de precios unitarios a costo directo que nos generara el realizar una rehabilitación con asfalto reciclado.

Los costos directos de acuerdo con la Ley de Obra Pública y Servicios relacionados con la misma para el Estado y los Municipios de Guanajuato (Artículo 63, Fracción I) los podemos entender como: Los cargos por concepto de materiales, mano de obra, incluidos los de previsión y seguridad social, herramienta, maquinaria y equipo de construcción que requiera nuestro proyecto.

Además de las ventajas ecológicas y sociales que pueda tener el reciclado de asfalto podemos reducir costos directos del proyecto.



Capítulo I. Tema de investigación

1.1 Contexto

De acuerdo con la Red Nacional de Caminos (RNC) en México se cuenta con 171,347 km de carreteras pavimentadas¹, los cuales podemos verificar en el cuadro 1.1 donde nos muestra la red federal pavimentada por entidad federativa.

Cuadro 1.1 Red Federal Pavimentada por Entidad Federativa

ENTIDAD	Longitud (km)							
	Lineal				Equivalente			
	Total	Corredor	Básica	Secundaria	Total	Corredor	Básica	Secundaria
Aguascalientes	343.89	71.44	101.99	170.46	481.05	161.53	130.92	188.60
Baja California	1636.58	628.26	259.68	748.64	1857.85	716.02	319.29	822.54
Baja California Sur	1199.60	930.35	140.91	128.34	1384.14	991.11	264.69	128.34
Campeche	1244.13	635.19	175.15	433.79	1375.96	767.02	175.15	433.79
Coahuila	1483.67	476.23	582.91	424.53	1987.90	785.71	649.14	553.05
Colima	285.21	48.30	125.83	111.08	361.66	98.90	147.38	115.38
Chiapas	2099.21	381.80	1292.75	424.66	2445.12	659.25	1350.01	435.86
Chihuahua	2111.42	304.00	749.83	1057.59	2588.42	608.00	826.83	1153.59
Ciudad De México	60.08	0.00	39.38	20.70	76.82	0.00	56.12	20.70
Durango	1968.23	94.20	651.77	1222.26	2083.66	122.90	693.18	1267.59
Guanajuato	924.98	208.21	91.35	625.42	1144.46	407.23	104.94	632.29
Guerrero	1906.29	0.00	843.11	1063.18	1983.07	0.00	893.60	1089.47
Hidalgo	727.30	32.40	262.84	432.06	1026.04	77.50	460.96	487.58
Jalisco	1955.60	108.05	993.26	854.29	2253.97	154.85	1124.41	974.72
México	783.57	48.65	320.56	414.36	1122.47	114.95	484.06	523.46
Michoacán	2180.42	228.95	1149.00	802.47	2383.87	312.65	1208.25	862.97
Morelos	258.04	33.00	108.20	116.84	360.45	73.42	158.18	128.85
Nayarit	765.68	111.46	261.32	392.90	818.47	111.46	298.35	408.66
Nuevo León	1116.00	352.78	528.32	234.90	1549.88	720.32	592.86	236.70
Oaxaca	2844.75	461.43	735.13	1648.19	2904.30	487.68	740.83	1675.79
Puebla	1005.96	203.82	420.00	382.14	1042.86	232.12	427.80	382.94
Querétaro	487.43	13.92	86.30	387.21	670.69	32.94	196.63	441.12
Quintana Roo	767.48	403.00	166.23	198.25	910.36	535.76	176.35	198.25

Fuente: SCT, Dirección General de Conservación de Carreteras, Dirección de Planeación y Evaluación, Edición 2018.

La Red Nacional de Caminos es la representación cartográfica digital y georreferenciada de la infraestructura vial del país con alta precisión y escala de gran detalle; modelada y estructurada con el fin de facilitar el cálculo de rutas está

¹ La suma de kilómetros simplifica aquellas líneas paralelas modeladas por existencia de camellón o barra separadora (flujo y contraflujo de un solo sentido de circulación vehicular), dividiendo el total de kilómetros entre dos, para obtener un valor unificado en longitud.



conformada bajo estándares internacionales y el riguroso marco normativo aplicable del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica.

Cada año el gobierno federal presenta el Presupuesto de Egresos de la Federación, documento que autoriza la Cámara de Diputados del Congreso de la Unión.

El Presupuesto de Egresos especifica el monto y destino de los recursos económicos que el Gobierno requiere durante un ejercicio fiscal, es decir, un año, para obtener los resultados comprometidos y demandados por los diversos sectores de la sociedad.

Dentro de este gasto público se considera un porcentaje del mismo para construir Infraestructura vial.

De acuerdo con el presupuesto de egresos de la federación para el ejercicio fiscal 2019 (Artículo 2) el gasto neto total previsto fue de \$5,838,059,700,000.00. De los cuales 370,522.9 millones de pesos están destinados a invertirse en infraestructura física.

Del monto que se designa a infraestructura, 18,975.8 millones de pesos son destinados a conservación de carreteras ver Anexo 1.

Con este presupuesto se realizaron aproximadamente 1,244 obras en toda la República Mexicana.

Al proponer una técnica de reciclado como proceso constructivo con el mismo presupuesto destinado a conservación se podrían realizar más obras que beneficien a la sociedad.

Además de los benéficos económicos que pueda tener el reciclaje de materiales que proviene de los pavimentos deteriorados existentes es una alternativa para reducir los efectos ambientales negativos y permite tener ahorros económicos en materias primas, puesto que el Recuperado de Pavimento Asfáltico (RAP) 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 RAP es una fuente valiosa de este insumo. Lo anterior indica que el uso de RAP es una medida que asegura la construcción de caminos y carreteras de una manera ambientalmente responsable y rentable.



1.2 Reseña Histórica

Las mezclas asfálticas son el principal componente de aproximadamente el 95% de la infraestructura carretera mexicana proporcionando características de confort, seguridad y durabilidad. Sin embargo, aunque es un material de gran importancia, aun en la actualidad no se cuenta con mucha información documentada sobre su evolución en México.

En México, la entidad normativa que vigila y regula, a nivel nacional, la construcción, conservación y reconstrucción de carreteras y por lo tanto el diseño y elaboración de mezclas asfálticas, es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la cual dentro de sus normas acepta el uso de varios métodos de diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa como lo son el Hveem y el Marshall, de éstos el más popular y usado en la mayoría de los diseños de mezclas en México es el Método Marshall, con el inconveniente de ser muy antiguo y como se sabe, las condiciones a las que se encuentra sometida la mezcla en los pavimentos han cambiado drásticamente, así como también han evolucionado de manera trascendental los materiales asfálticos y los procesos constructivos para la elaboración de las mezclas.

En México los primeros reciclados en caliente en el lugar se realizaron entre los años de 1978 a 1985 en las siguientes ciudades y tramos, las cuales se muestran en el cuadro 1.2.

Cuadro 1.2 Primeros Reciclados en México

No.	Lugar	Periodo	Área m ²
1	Chihuahua	1978-1980	1,500,000.00
2	Toluca	1979-1980	350,000.00
3	Paseo Tollocan	1980-1981	220,000.00
4	Cd. de México	1979-1982	3,500,000.00
5	Cuernavaca Mor.	1980-1981	200,000.00
6	Guadalajara, Jal.	1981-1983	1,400,000.00
7	Cd. Juárez, Chih.	1984-1985	800,000.00
8	Autopista México-Puebla	1979	300,000.00
9	Autopista México-Querétaro	1980	240,000.00
10	Aeropuerto de Chihuahua	1979-1980	140,000.00
		Total	8,650,000.00

Fuente: Limón Limón, R. El Reciclado en Caliente de Pavimentos en México. Trabajo Presentado en el VI Congreso Mexicano de Asfalto.



Fuera de las autopistas mencionadas y el aeropuerto de Chihuahua, el procedimiento que se siguió fue de reciclar en caliente a 140°C de 2 a 3 cm aplicando emulsión de rejuvenecedor (0.8 a 1.2 litros m²) y sobre esta una capa de Open Graded o Gap Graded de 3 a 5 cm según las condiciones.

El equipo utilizado era una plancha de aluminio o de refractario que se calentaba a través de quemadores de gas hacia los refractarios después se escarificaba, compactaba y se le aplicaba un riego de emulsión rejuvenecedora que se dosificaba de acuerdo con el grado de envejecimiento del asfalto mediante penetración y viscosidad o tabla de penetración-viscosidad.

En algunas avenidas principales y las autopistas se colocó una capa de concreto asfáltico de 8 cm y en el aeropuerto de Chihuahua de 12 cm de espesor.

Previo a todos estos trabajos, se llevó a cabo un estudio de evaluación de pavimentos para determinar si procedía el tratamiento o si se requería reforzar, de igual manera, de acuerdo con el grado de envejecimiento del asfalto era la cantidad de rejuvenecedor que se incorporaba.

En la Autopista México-Querétaro se empezó a utilizar el reciclado en planta central utilizando fresadoras para recuperar el material de carpeta incorporando rejuvenecedor a la mezcla asfáltica; con 60% de material nuevo y 40% de recuperado (RAP) y asfalto AC-10 para el material virgen.

Se hicieron del orden de 20 km de mezcla asfáltica reciclada previo un tramo experimental en que se aplicó la mezcla en el acotamiento para disminuir el escalón de los carriles de circulación.

En todos estos trabajos primero se estudiaba la estructura del pavimento con técnicas destructivas y no destructivas (sondeos, viga BENKELMAN, DIINA FLECT) y después la calidad de las mezclas existentes y su rehabilitación. Los diseños de rehabilitación de la mezcla y los estudios se realizaban de acuerdo con las metodologías existentes en la época.

Actualmente países como EE.UU. han realizado una lectura muy inteligente teniendo un uso de reciclaje muy alto; según un estudio de la Asociación Nacional de Pavimentos Asfálticos de Estados Unidos (NAPA en sus siglas inglesas), realizado a petición de la Administración Federal de Autopistas (FHWA), el uso de pavimentos reciclados en el país supuso en 2013 un ahorro de cerca de 2,000 millones de dólares. En reciclado también destaca Holanda donde el reciclado alcanza el 70% aunque en este caso un poco forzado por las peculiaridades del país donde no hay muchas fuentes de áridos.



1.3 Planteamiento del Problema

En la pavimentación de vialidades, caminos o carreteras, se tiene la problemática de que la construcción implica el uso de una gran cantidad de recursos de distinta naturaleza, lo que causa una importante disminución en la disponibilidad de los materiales necesarios que, además, durante su procesamiento o manufactura, afecta al medio ambiente con la producción de gases que esterilizan los suelos y elevan los costos de producción.

En la mayoría de los casos, los bancos de material se encuentran retirados de la obra en ejecución lo que ocasiona que aumente su costo y el de su transporte hasta la obra, ya que casi nunca se producen en el lugar donde se necesitan. De igual manera, es creciente la dificultad para encontrar un depósito para los materiales retirados del pavimento a precio razonable. Estos problemas son especialmente ciertos en ámbitos urbanos.

Los principales deterioros que presentan las carpetas asfálticas en México consisten en agrietamientos, roderas, baches, desgranamientos, ondulaciones y desplazamientos. Las técnicas más utilizadas hoy en día para corregir estos deterioros son fresado y reemplazo de la carpeta, renivelaciones y sobrecarpetas. Una alternativa relevante para sustituir estas aplicaciones es la técnica de reciclado en caliente en el lugar de carpetas asfálticas, que presenta innovaciones en las metodologías de diseño, uso de nuevos agentes rehabilitadores y equipos tecnificados.

Los métodos tradicionales de rehabilitación consumen grandes cantidades de recursos naturales además de que conllevan más tiempo en su ejecución y por consiguiente involucran un presupuesto mayor.

1.4 Pregunta de Investigación

La intención de esta investigación es realizar un análisis de costo efectividad a través de la realización de precios unitarios a costo directo sobre que resulta más económico y sustentable.

¿Realizar rehabilitaciones carreteras con asfaltos reciclados o seguir utilizando procesos constructivos tradicionales como el reemplazo total de la carpeta?

Esta interrogante la responderemos a lo largo de esta investigación para así poder llegar al mejor resultado, donde las condiciones técnicas y económicas del proyecto no representen ningún riesgo y sean la mejor opción.



1.5 Objetivos Generales

El objetivo principal de esta investigación es elaborar los costos de producción y construcción de carreteras con pavimentos reciclados mediante la elaboración de sus precios a costo directo y así demostrar que se pueden tener mejores ventajas económicas y ambientales que con las técnicas tradicionales de rehabilitación.

1.6 Objetivos Específicos

- Identificar el beneficio económico y ambiental al reutilizar la carpeta asfáltica existente en un alto porcentaje.
- Generar los datos básicos que sirvan para cuantificar la disminución en costos de los trabajos.
- Demostrar que se reducen los costos de construcción asociados con materiales.
- Demostrar que se puede reducir los materiales de desecho.

1.7 Hipótesis

Mediante el análisis comparativo a costo directo entre mezclas asfálticas con material reciclado y material virgen se pretende demostrar que resulta más económico y sustentable utilizar asfaltos reciclados para ser utilizados en la rehabilitación o bacheo de pavimentos, obteniendo así un ahorro económico considerable en el proyecto.

1.8 Justificación

Los costos juegan un papel muy importante en cualquier obra, ya que dependiendo del presupuesto con el que se cuente serán los trabajos que se realicen. Al implementar una rehabilitación con materiales reciclados estamos estimando un ahorro significativo en materiales de bancos, acarreo y tiempo de ejecución.

En la construcción de vías de comunicación como lo son las carreteras entran en juego diversos elementos entre ellos los recursos naturales, de aquí se deriva uno de los principales problemas en el mundo es la contaminación ambiental. La



necesidad de reciclaje de los residuos de construcción no solamente concierne a los países más grandes ni a las comunidades más industrializadas, sino también a una demanda global. Muchos países, que van desde los más desarrollados hasta otros en vías de desarrollo como el nuestro podrían experimentar el ahorro de recursos naturales y preservación del medio ambiente utilizando estas técnicas de reciclaje. Por lo que se hace necesario inculcar esta cultura recicladora además de la de preservar el medio ambiente, cultura que tendría ventajas económicas que favorecerían al desarrollo de nuestros pueblos ya que no existen iniciativas que permitan dar soluciones a corto plazo como es el caso de las mezclas asfálticas con materiales de construcción y demolición.

Los residuos de construcción son contaminantes que infertilizan los suelos, constituyéndose un problema para el medio ambiente, además de la falta de nuevas alternativas para su reciclado. De ahí la importancia de incorporar técnicas de reciclado que nos permitan reducir la contaminación ambiental por residuos de construcción y que disminuirán la cantidad de materiales de banco utilizados, además de abaratar costos y obtener la resistencia exigida por norma en la construcción de pavimentos.

1.9 Delimitación

Esta investigación hace referencia a las vialidades con pavimentos asfálticos en caliente especializándose en los asfaltos reciclados en el sitio, para esta investigación analizaremos como varían los costos de rehabilitación en una sección longitudinal de un kilómetro.



Capítulo II. Técnicas para recolección de datos

2.1 Enfoque de investigación

El enfoque de esta investigación es de carácter cuantitativo ya que tiene una secuencia de análisis, cada etapa precede a la siguiente.

El problema de estudio es delimitado y concreto, se refiere al análisis costo beneficio de la implementación de asfaltos reciclados, enfocándonos solo en el reciclaje de asfalto en caliente in situ.

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa antecede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis.

2.2 Población

Mi población de estudio son las mezclas asfálticas en caliente, una mezcla asfáltica en caliente se define como la combinación de áridos con un ligante. Las cantidades relativas de ligante y áridos determinan las propiedades físicas de la mezcla.

El proceso de fabricación implica calentar el agregado pétreo y el ligante a alta temperatura, muy superior a la ambiental. Enseguida esta mezcla es colocada en la obra.



2.3 Muestra

De todas las mezclas asfálticas en caliente tomaremos como muestra las mezclas asfálticas en caliente recicladas en situ.

La mezcla asfáltica reciclada en sitio se reutiliza casi en su totalidad, los materiales extraídos del firme envejecido mediante un tratamiento con aportación de calor que se realiza en el mismo lugar de la obra.

2.4 Técnicas utilizadas para la recolección de datos

En esta investigación realizaré diversas consultas bibliográficas nacionales y extranjeras para tener en cuenta las ventajas o desventajas económicas del reciclado de asfalto.

Así mismo se realizarán cotizaciones para integrar el análisis de precios unitarios y poder realizar una comparación de propuestas y poder llegar a una conclusión, cuál es la forma más económica de realizar una rehabilitación de alguna Vialidad.



Capítulo III. Referentes teóricos

3.1 Marco teórico

❖ Mezclas asfálticas

Una mezcla asfáltica es el producto obtenido de la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en uno pétreo.

Las mezclas asfálticas, según el procedimiento de mezclado, se Clasifican como:

- Mezclas Asfálticas en caliente

Las mezclas asfálticas en caliente son las que se elaboran utilizando cemento asfáltico y materiales pétreos, en una planta mezcladora estacionaria o móvil, provista del equipo necesario para calentar los componentes de la mezcla.

Las mezclas asfálticas en caliente se clasifican a su vez en:

- ✓ Mezcla asfáltica de granulometría densa.

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados, con tamaño nominal entre treinta y siete punto cinco (37.5) milímetros (1 ½ in) y nueve punto cinco (9.5) milímetros (3/8 in).

- ✓ Mezcla asfáltica de granulometría abierta.

Es la mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme con tamaño nominal entre doce punto cinco (12.5) milímetros (1/2 in) y seis punto tres (6.3) milímetros (1/4 in).



- Mezclas Asfálticas en frio

Son las elaboradas en frio, en una planta mezcladora móvil, utilizando emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados y materiales pétreos.

Las mezclas asfálticas en frio se clasifican a su vez en:

- ✓ Mezcla asfáltica de granulometría densa.

Es la mezcla en frio, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado y materiales pétreos bien graduados, con tamaño nominal entre treinta y siete punto cinco (37.5) milímetros (1 ½ in) y nueve punto cinco (9.5) milímetros (3/8 in).

- ✓ Mortero Asfaltico

Es la mezcla en frio, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado, agua y arena con tamaño máximo de dos punto treinta y seis (2.369 milímetros (Nº 8).

- Mezclas asfálticas por el sistema de Riego

Son las que se construyen mediante la aplicación de uno o dos riegos de un material asfaltico, intercalados con una, dos o tres capas sucesivas de material pétreo triturado de tamaños decrecientes.

Las carpetas por el sistema de riegos se clasifican en carpetas de uno, dos y de tres riegos. Las carpetas de un riego o la última capa de las carpetas de dos o tres riegos pueden ser premezcladas o no. Normalmente se colocan sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, nueva o existente, como capa de rodadura con el objeto de proporcionar resistencia al desparramamiento y al pulimiento.



❖ Mezclas asfálticas recicladas

Según Montejo, (2005), se entiende por reciclaje de pavimentos, la reutilización de materiales que forman parte de alguna de las capas estructurales de pavimentos existentes y que han cumplido su finalidad inicial, mediante la transformación de un pavimento degradado en una estructura homogénea y adaptada al tráfico que debe soportar.

Las técnicas y metodologías que se han desarrollado para el reciclaje de pavimentos obedecen, tal como la evolución de la ciencia en el tema básico de la teoría general de pavimentos, a conceptos empíricos y a comprobaciones de campo por medio de experimentaciones directas.

Las técnicas convencionales se tratan de las técnicas usuales que se utilizan de forma generalizada en la actualidad. Con estos métodos, los deterioros más importantes se corrigen colocando una capa de refuerzo superficial a base de materiales vírgenes. Si los deterioros son muy importantes, se procede a eliminar el grosor defectuoso y se substituye por nuevas capas bituminosas.

En cambio, las técnicas de reciclado se basan en la reutilización de los materiales del firme defectuoso. Junto con estos materiales envejecidos, se pueden añadir otros elementos (agentes rejuvenecedores, nueva mezcla bituminosa, etc.). Estas técnicas se pueden dividir en diferentes tipos, para el caso de esta investigación nos centraremos en el reciclado en caliente in situ.

En el reciclado en caliente “in situ”, se reutiliza casi en su totalidad los materiales extraídos del firme envejecido mediante un tratamiento con aportación de calor que se realiza en el mismo lugar de la obra.

El firme se calienta mediante unos quemadores y se fresa un grosor determinado. Este material es mezclado normalmente con agentes químicos rejuvenecedores y con nueva mezcla. Finalmente, la nueva mezcla se extiende y se compacta mediante procedimientos convencionales.



El reciclado en caliente in situ es una técnica de rehabilitación superficial que permite corregir fallas de carpeta, en la cual podemos observar los siguientes tres procesos.

- Reciclado superficial: Se usa para corregir principalmente deterioros superficiales menores, rehabilitándose espesores típicos de carpeta de 2 a 4 cm, con el uso de un agente rehabilitador, sin adicionar mezcla o agregado virgen.
- Remezclado: Se usa cuando se requieren modificaciones significativas de las propiedades físicas de la carpeta existente para corregir fallas específicas. Cambios en las características del agregado, contenido y grado del asfalto, propiedades de la mezcla, pueden realizarse con una apropiada selección de la mezcla de aporte y del agente rehabilitador. Con esta técnica típicamente se rehabilitan espesores de carpeta de 2.5 a 7.5 cm.
- Repavimentación: Se usa si las dos técnicas anteriores no pueden restaurar el perfil del pavimento o los requerimientos de la superficie como la fricción; si la aplicación de una sobrecapa posterior de mezcla en caliente no es práctica; si se requiere una capa de rodamiento a base de una mezcla en caliente o una mezcla especial; si una cantidad significativa de pavimento es requerida, por ejemplo 5 cm o menos. Típicamente se rehabilitan espesores de 2.5 a 5 cm con colocación de una capa superior de 2.5 a 5 cm con el mismo equipo.

Los puntos básicos a tener en cuenta para obtener un buen desempeño se pueden resumir en:

- Costos
- Experiencia
- Equipos disponibles
- Tiempos requeridos de ejecución
- Análisis de la estructura y condiciones existentes
- Selección de materiales y métodos que cumplan con los reglamentos de construcción.



❖ Ventajas de utilizar asfalto reciclado

Al plantear el reciclado de una carretera podremos apreciar beneficios en tres grandes áreas: la social, la ambiental y la 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 costo.
- Logra en un tiempo menor la conclusión del proyecto.
- Mayor durabilidad de los pavimentos.

✓ Ambiental

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

- ✓ Además de los benéficos mencionados 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.

El cuadro 3.1 resume algunos hallazgos reportados por diferentes investigadores con respecto a los ahorros económicos logrados a través del uso de mezclas asfálticas recicladas en caliente. En dicha tabla se comparan mezclas asfálticas con distintos contenidos de reciclado contra una mezcla asfáltica virgen.



Cuadro 3.1 Ahorros económicos reportados en mezclas asfálticas recicladas.

Fuente	Porcentaje de RAP en la mezcla (%)	Porcentaje de ahorro económico (%)
Zaumanis, Mallick, & Frank, 2014	100	50-70
Ammann Group, 2013	100	40
Cooper. 2011	20	16.5

Fuente: Ramos Villanueva, O. (2017). *Procesamiento del RAP para su utilización en mezclas asfálticas recicladas en caliente.*

- ✓ Además de los ahorros económicos también tenemos ahorros en consumo de energéticos necesarios para la fabricación de mezclas asfálticas, así como reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, generados durante la producción de aglutinantes asfálticos y elaboración de las mezclas nuevas.
- ✓ El cuadro 3.2 enlista la reducción de ambos conceptos cuando se utiliza asfalto reciclado. En esta comparación, las actividades de procesamiento de agregados y asfalto, fabricación, traslado y tendido de la mezcla asfáltica es considerado, mientras que el consumo energético es expresado en Mega-Joules por tonelada de mezcla.

Cuadro 3.2 Reducción de consumo Energético y de emisiones de gases reportados en mezclas asfálticas recicladas.

Fuente	Porcentaje de RAP en la mezcla (%)	Porcentaje de ahorro económico (%)
(Zaumanis et al., 2014)	100	20
(Aurangzb, Al-Qadi, Ozer, & Yang, 2014)	50	12
Cooper. 2011	25	20

Fuente: Ramos Villanueva, O. (2017). *Procesamiento del RAP para su utilización en mezclas asfálticas recicladas en caliente.*



- ✓ Reducción de desechos provenientes de la molienda y extracción de subproductos de pavimentos viejos, así como de los lugares para su disposición.
- ✓ El asfalto es un producto 100% renovable, lo que convierte al asfalto reciclado en una alternativa altamente rentable y sostenible de restauración de pavimentos flexibles, siendo el material de construcción de caminos más reciclado en el mundo.

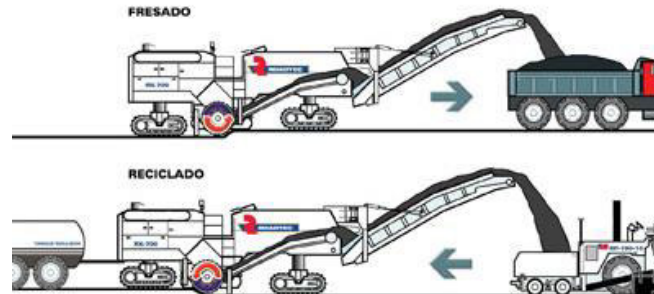
El reciclado de pavimentos asfálticos supone en primer lugar un aprovechamiento de los recursos disponibles en la obra. Los materiales envejecidos pueden ser reutilizados mediante una técnica adecuada de forma que son nuevamente válidos para la construcción del firme. Con este tipo de técnicas, en las operaciones de conservación se puede disminuir mucho la demanda de materiales, se elimina la necesidad de encontrar bancos de material cerca de la obra, se mejoran los rendimientos de fabricación, además los métodos de reciclaje “in situ” permiten eliminar las operaciones de transporte de los materiales, tanto de los envejecidos hasta un vertedero como de los nuevos desde su punto de suministro hasta la obra. Todas estas mejoras repercuten en importantes ahorros y en un mayor respeto hacia el medio ambiente.

❖ **Manipulación y procesamiento de mezclas asfálticas recicladas**

Como parte de las actividades de rehabilitación o reconstrucción de pavimentos flexibles, el Recuperado de Pavimento Asfáltico (RAP) es un subproducto derivado de la demolición de pavimentos asfálticos envejecidos y deteriorados, los cuales concluyeron su vida útil. Algunas formas de obtenerlo son el fresado en frío (Figura 3.1), la reclamación a profundidad completa, y los desperdicios asfálticos en planta de mezclado.



Figura 3.1 Máquina de Fresado removiendo una capa existente de pavimento asfáltico



Fuente: Enrique Saez. (2010). Rehabilitación de carreteras a menor costo. 2019, de Construcción Pan-Americana Sitio web: <https://www.construccion-pa.com/productos-y-tecnologia/rehabilitacion-de-carreteras-a-menor-costo/>.

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, menor será la cantidad que pueda ser utilizado en una mezcla reciclada.

Es por esto que las características y la composición de una MAC que incorpora RAP (ya sea que se produzca en planta o en el lugar), dependen de las propiedades iniciales del RAP y de los agregados y aglutinantes vírgenes, incluso, de los agentes rejuvenecedores, si es que se requieren.

En cualquiera de los casos, se pretende proporcionar una mezcla reciclada que iguale la calidad de las mezclas elaboradas con materiales nuevos, donde se satisfagan los requisitos granulométricos especificados por los diseñadores, además de que la combinación de aglutinantes asfálticos provea una viscosidad adecuada que asegure trabajabilidad, al tiempo de cumplir los requisitos volumétricos de la mezcla: vacíos de aire (V_a), vacíos en el agregado mineral (V_{AM}) y vacíos llenos con asfalto (V_{FA}). No obstante, existe información documentada acerca del manejo del RAP para asegurar confiabilidad y buen comportamiento de las mezclas recicladas, así que antes de pensar en el diseño de estas, es importante conocer las siguientes actividades necesarias para el manejo adecuado del rap.



Almacenamiento. Una vez que el RAP es retirado del sitio de obra, es importante que no se contamine y que sea transportado a una planta de mezclado que cuente con la tecnología necesaria para realizar el reciclado. El RAP debe ser almacenado formando pilas cónicas que se construyan en capas, evitando que camiones o maquinaria pesada transiten por encima de la pila, esto para evitar alguna compactación o aglutinamiento, además de evitar segregar el material por desplazamientos en los bordes de la pila.

Otra práctica recomendable es construir las pilas cónicas sobre una superficie pavimentada o revestida, que ofrezca buen drenaje y preferentemente esté techada, con la finalidad de evitar tanto la contaminación con materiales ajenos como la acumulación de agua en el interior de la pila.

Una práctica muy común en los Estados Unidos es separar o fraccionar el RAP en al menos dos pilas: una de fracción gruesa (mayor a 12,5 o 9,5 mm) y una fracción fina (menor a 12,5 o 9,5 mm), para que, de esa manera, se tenga control del tamaño de las partículas, reduciendo así la variabilidad del rap.

Sin embargo, cuando se planea incorporar 15% o menos de RAP a una mezcla nueva, no es necesario la separación en distintas pilas. Por otro lado, la forma habitual de trituración, cribado (separación o fraccionamiento) y almacenamiento del rap, puede poner en peligro al aglutinante asfáltico contenido en él, ya que tanto el contenido de asfalto como la velocidad de envejecimiento del asfalto, dependen del tamaño de partículas, es decir, bajo las mismas exposiciones ambientales, el RAP con fracciones más pequeñas está expuesto a un grado de envejecimiento mayor. Bajo esta premisa, se recomienda que el RAP sea extraído en partículas grandes, almacenado en pilas protegidas y que cuando vaya a ser utilizado, se someta a trituración y cribado para realizar una dosificación adecuada. Para este último paso, la práctica más recomendable es que las excavadoras o cargadores frontales, recojan el material cortando todas las capas de la pila.

Muestreo. Esta actividad es tan importante como la anterior y la que le sigue, ya que tomar una muestra representativa determinará la variabilidad del rap. Comúnmente, se pueden tomar una cierta cantidad de muestras aleatorias de un almacén de rap, para después combinarlas y formar la muestra definitiva. Sin embargo, para desarrollar una buena estadística sobre la consistencia del rap, es necesario



analizar al menos 10 muestras. La práctica más recomendable es tomar un conjunto de muestras por cada 1 000 toneladas de rap.

El método de muestreo más aconsejable se lleva a cabo con un cargador frontal, el cual introduce la pala en uno de los lados del almacén y vierte su contenido en una superficie limpia, para formar una mini pila cónica. Con el filo del cucharón se extiende el material hasta formar una superficie plana. Con una pala de borde plano se obtienen las muestras de tres puntos de la superficie de la mini pila, para finalmente ser combinadas en una sola muestra definitiva, lista para ser ensayada (Figura 3.2).

Figura 3.2 Procedimiento de muestreo de RAP en planta.



Fuente: Ramos Villanueva, O. (2017). Procesamiento del RAP para su utilización en mezclas asfálticas recicladas en caliente.

Caracterización del rap. Una vez que se ha obtenido la muestra de rap, se requiere conocer las dos características más importantes del mismo: la distribución granulométrica de los agregados y el contenido de asfalto. Adicionalmente, los ensayos para determinar la gravedad específica bruta (GSB), las propiedades de consenso y las propiedades de origen de los agregados, así como las propiedades físicas y geológicas de los aglutinantes asfálticos también deben ser realizados.

El primer paso es determinar el contenido de asfalto de la muestra reducida de rap, lo cual puede llevarse a cabo mediante el método ASTM D6307 “Método de Prueba Normalizado para el Contenido de Asfalto de Mezclas Asfálticas en Caliente por el Método de Ignición”, o conforme a lo indicado en ASTM D2172 “Métodos de Prueba Normalizados para la Extracción Cuantitativa de Asfalto a partir de Mezclas de Pavimento Asfáltico”. El método de ignición es el más utilizado en los Estados Unidos, y presenta ventajas tales como una elevada rapidez de la ejecución del ensayo y la nula necesidad de solventes.



Sin embargo, la desventaja estriba en que mediante este método se pueden romper o fracturar algunas partículas de agregado. Por otro lado, los métodos de extracción centrífuga o la extracción por reflujo no dañan a los agregados, aunque presentan el inconveniente de utilizar solventes como el “Tricloroetileno”, que son cancerígenos y hasta prohibidos en algunos países, además de que no remueven todo el asfalto envejecido del rap. No obstante, el método de extracción centrífuga parece ser un buen procedimiento si se utiliza Bromo-propano, en lugar del mencionado solvente. El método de extracción por reflujo no es muy recomendado, puesto que acelera el envejecimiento del asfalto sometido en el solvente.

El proceso continúa con la separación del aglutinante asfáltico de los solventes, realizado mediante uno de los métodos siguientes: ASTM D1856 “*Método de Prueba Normalizado para la Recuperación de Asfalto a partir de Soluciones mediante el Método ABSON*” o ASTM D5404 “*Práctica Estándar para la Recuperación de Asfalto a partir de Soluciones utilizando el Evaporador Rotatorio*”. Ambos métodos han demostrado ser adecuados para realizar esta tarea.

Caracterización de los agregados del RAP. Los agregados recuperados del rap por lo general deben cumplir los mismos requisitos de calidad que se les exigen a los agregados vírgenes. Esto incluye la evaluación de las propiedades de consenso tales como la angularidad de la fracción gruesa y de la fracción fina, cantidad de partículas planas y alargadas y el equivalente de arena, así como las propiedades de origen como lo es la dureza, la sanidad y el contenido de materiales deletéreos. Además de estas características, es de suma importancia conocer la composición granulométrica y la gravedad específica bruta (GSB) de los agregados que han sido separados del aglutinante envejecido.

Por otro lado, en el apartado anterior se comentó que el método de separación de extracción tiene efectos importantes sobre los agregados de RAP, por lo cual es importante escoger el método de extracción, según la propiedad que se pretenda evaluar. El cuadro 3.3 muestra un resumen de recomendaciones.



Cuadro 3.3 Recomendaciones de Metodologías de extracción de asfaltos y agregados, en función de sus características por obtener agregados.

Características	Método de Extracción Recomendado	Observaciones
Contenido de asfalto	Ignición	Los solventes no remueven todo el asfalto del RAP.
Granulometría	Ambos	El Centrifugado no se recomienda en mezclas con 25% o más de RAP.
Equivalente de arena	Ambos	En algunos casos no se recomienda la ignición
Angularidad de agregado grueso	Ambos	Sin observaciones
Dureza (*Los Ángeles*)	Solventes	El reflujo es mejor que el centrifugado para mezclas con 25% o más de RAP.
Sanidad	Ambos	El centrifugado es preferible para mezclas con 25% o más de RAP.
Gravedad Especifica Bruta (G_{sb})	Ambos	La ignición no se recomienda para cierto tipo de agregados. El centrifugado es preferible para mezclas con 25% o más de RAP.

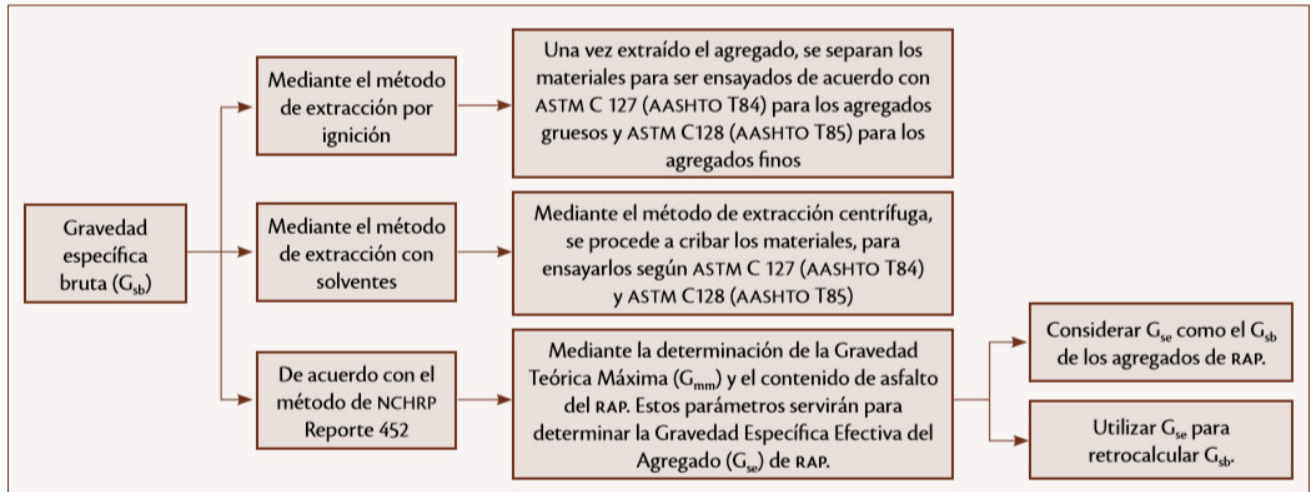
Fuente: Ramos Villanueva, O. (2017). Procesamiento del RAP para su utilización en mezclas

El parámetro de gravedad específica bruta (GSB) es ampliamente utilizado para calcular las propiedades volumétricas de una mezcla asfáltica, en especial los vacíos en el agregado mineral (VAM).

Tres metodologías han sido identificadas como las más usuales para determinar este valor ver Figura 3.3.



Figura 3.3 Métodos posibles para obtener la gravedad específica bruta de los agregados de RAP.



Fuente: Ramos Villanueva, O. (2017). Procesamiento del RAP para su utilización en mezclas asfálticas recicladas en caliente.

Se recomienda utilizar un valor estimado para el porcentaje de asfalto absorbido (PBA) de 1,5%, así como utilizar un valor de 1 020 para la gravedad específica del asfalto (GB), ya que este valor oscila en un muy pequeño rango. Otra manera de estimar el PBA es considerarlo igual al 60-65% del valor de absorción de agua del agregado. Sin embargo, esta manera de obtener la GSB es muy dependiente de qué tan bien se estime el PBA, ya que, pequeños errores en su suposición originarán errores importantes al calcular el VAM para el diseño de la mezcla. Preferentemente se debe utilizar este método cuando se tenga suficiente confianza en los valores propuestos para PBA, pues de lo contrario la determinación del VAM erraría en 0,5% o más. Se determina que los agregados de RAP deben ser evaluados por separado de los agregados vírgenes, pero sus propiedades combinadas deben satisfacer los mismos requisitos que se le solicitan a una mezcla asfáltica nueva.

Caracterización del asfalto del RAP. Las propiedades físicas y reológicas de los asfaltos están íntimamente gobernadas por sus componentes, los cuales son mostrados en la Figura 3.4.



Figura 3.4 Composición general de los aglutinantes asfálticos.



Fuente: Ramos Villanueva, O. (2017). Procesamiento del RAP para su utilización en mezclas asfálticas recicladas en caliente.

Cuando un asfalto se envejece, la fracción de aromáticos reduce su contenido mientras que la de las resinas se incrementa, lo que al final se convertirá paulatinamente en asfaltenos, mientras los saturados se mantienen sin cambios.

Son dos los principales mecanismos para el envejecimiento del aglutinante asfáltico, el primero de ellos se presenta durante la fabricación de la mezcla asfáltica, transporte, tendido y compactación conocido como envejecimiento a corto plazo (simulado en laboratorio mediante el horno rotatorio de película delgada “RTFO”), mientras que el segundo, conocido como envejecimiento a largo plazo se presenta cuando el concreto asfáltico está puesto en servicio (simulado por la vasija de envejecimiento a presión “PAV”) y es debido a factores ambientales y las sollicitaciones impuestas. A saber, los siguientes procesos son los que ocurren como causantes del envejecimiento del asfalto de RAP:

- Oxidación
- Volatilización
- Polimerización
- Tixotropía
- Separación



- Sinéresis

Inclusive la formación de pilas de almacenamiento de RAP es una fuente que acelera el envejecimiento debido a su mayor exposición al aire; además, las propiedades del asfalto envejecido se ven afectadas por el nivel de daño por humedad al que estuvo expuesto el pavimento.

Debido a la pérdida de sus componentes, las propiedades reológicas de los asfaltos envejecidos de RAP también se ven afectadas. Cuando un asfalto envejece, se vuelve más rígido y viscoso, por lo que para algunos investigadores las características más importantes del aglutinante de RAP son la viscosidad, el módulo de corte dinámico (G^*) y el ángulo de fase (δ). En algunos estudios se ha concluido que para bajas temperaturas las características de los materiales reciclados afectan negativamente las propiedades de rigidez de las mezclas asfálticas, añadiendo que las propiedades del material envejecido pueden impactar de manera negativa sobre la durabilidad de un pavimento y su comportamiento ante las bajas temperaturas.

Por otro lado, el módulo de corte dinámico (G^*) es altamente afectado por la cantidad de rap, e incrementa a medida que se incorpora este subproducto a una mezcla asfáltica, aunque se reduce con el incremento en la temperatura. La rigidez medida en un reómetro de viga a flexión (BBR), también incrementa con la inclusión de mayores cantidades de rap, pero afecta la fragilidad a bajas temperaturas, lo que trae consigo fallas por agrietamiento térmico. Por último, el incremento de RAP proporciona un incremento lineal en la viscosidad (viscosidad rotacional).

En conclusión, una alta rigidez solo es buena ante el efecto de formación de roderas, sin embargo, es perjudicial ante el fenómeno de agrietamiento. Aunado a lo anterior, entre más rígido esté un asfalto menor será la posibilidad de que una mezcla de asfaltos envejecidos y nuevos se desempeñe de la mejor manera, trayendo consigo la falla prematura de la mezcla asfáltica.



❖ **Aditivos rejuvenecedores y su influencia en las mezclas recicladas**

Los aditivos o agentes rejuvenecedores son compuestos orgánicos que tienen la finalidad de restaurar las propiedades físicas, químicas y reológicas de los asfaltos degradados, es decir, invertir el proceso de envejecimiento para resistir otro período de servicio. Por otro lado, los agentes ablandadores solo se encargan de reducir la viscosidad de los asfaltos envejecidos, efecto que también logran los rejuvenecedores. El uso de agentes rejuvenecedores trae consigo las siguientes ventajas:

- Amplía el rango de uso de rap, inclusive permiten el uso de 100% de rap.
- Almacenamiento económico, ya que por lo general no requieren calentamiento.
- Fácil adición en la mezcla mediante bombas o sistemas de dosificación en líquido.
- Alta probabilidad de dosificarlos adecuadamente en base a las propiedades del asfalto de rap.
- Por lo general, reducen los costos en la fabricación de mezclas asfálticas recicladas.

Dos aspectos deben ser tomados en cuenta cuando se desea compensar el envejecimiento de un asfalto mediante el uso de rejuvenecedores: la selección del tipo de agente rejuvenecedor y su dosificación. Los agentes rejuvenecedores, deben ser compatibles con el asfalto envejecido, lo cual se logra con aditivos con bajo contenido de saturados pero alta proporción de aromáticos. Además, tanto la incompatibilidad como la sobredosis de estos productos puede ser la causa de deterioros en el pavimento, especialmente daños inducidos por humedad debidos a la falta de adherencia de los agregados con el aglutinante. Una dosis adecuada de agente rejuvenecedor debe ser balanceada de manera que al ablandar al cemento asfáltico se reduzca la rigidez y mejore la resistencia al agrietamiento sin comprometer la resistencia a la formación de roderas.

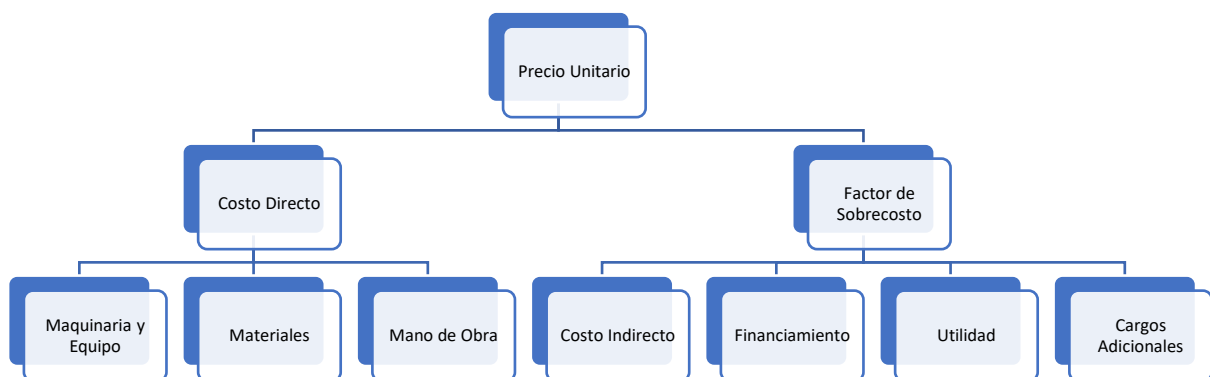


❖ Precios Unitarios

De acuerdo con el Reglamento de obra pública y servicios Relacionados con la misma (Art. 185) se entiende como precio unitario el importe de la remuneración o pago total que debe cubrirse al contratista por unidad de concepto terminado y ejecutado conforme al proyecto, especificaciones de construcción y normas de calidad.

El precio unitario se integra con los costos directos correspondientes al concepto de trabajo, los costos indirectos, el costo por financiamiento, el cargo por la utilidad del contratista y los cargos adicionales.

Figura 3.1 Elementos que integran el precio Unitario.



○ Estructura del precio unitario

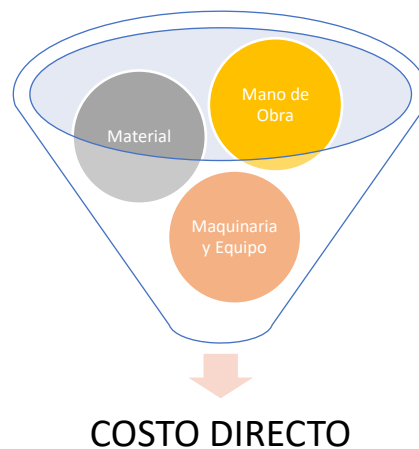
La estructura del precio unitario de un concepto de trabajo está integrada por dos cargos principales: costos directos y sobrecostos.

✓ Costo directo



El costo directo son las erogaciones hechas por la contratista por materiales, mano de obra y maquinaria utilizada para la realización de un concepto de trabajo conforme a las especificaciones de proyecto y las normas aplicables para su correcta ejecución.

Figura 3.5 Composición del costo directo



➤ Materiales

De acuerdo con el Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados Con Las Mismas (Artículo 193), el costo directo por materiales es el correspondiente a las erogaciones que hace el contratista para adquirir o producir todos los materiales necesarios para la correcta ejecución del concepto de trabajo, que cumpla con las normas de calidad y las especificaciones generales y particulares de construcción requeridas por la dependencia o entidad.

Los materiales que se usen en los trabajos podrán ser permanentes o temporales, los primeros son los que se incorporan y forman parte de los trabajos; los segundos son los que se utilizan en forma auxiliar y no forman parte integrante de los trabajos. en este último caso se deberá considerar el costo en proporción a su uso.

El costo unitario por concepto de materiales se obtendrá de la Ecuación 3.1:



**ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

$M = PM * CM$	<i>Ecuación 3.1</i>
<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none">○ “M” Representa el costo por materiales.○ “Pm” Representa el costo básico unitario vigente de mercado, que cumpla con las normas de calidad especificadas para el concepto de trabajo de que se trate y que sea el más económico por unidad del material puesto en el sitio de los trabajos.○ “Cm” Representa el consumo de materiales por unidad de medida del concepto de trabajo.	

Fuente: Reglamento de la ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas, DOF 28-07-2010.

➤ Mano de Obra

El costo directo por mano de obra es el que se deriva de las erogaciones que hace el contratista por el pago de salarios reales al personal que interviene en la ejecución del concepto de trabajo de que se trate, incluyendo al primer mando, entendiéndose como tal hasta la categoría de cabo o jefe de una cuadrilla de trabajadores. No se considerarán dentro de este costo las percepciones del personal técnico, administrativo, de control, supervisión y vigilancia que corresponden a los costos indirectos. (Art. 192 RLOPSRCM)

El costo de mano de obra se obtendrá de la ecuación 3.2:

$Mo = Sr / R$	<i>Ecuación 3.2</i>
<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none">○ “Mo” representa el costo por mano de obra.○ “Sr” representa el salario real del personal que interviene directamente en la ejecución de cada concepto de trabajo por jornada de ocho horas, salvo las percepciones del personal técnico, administrativo, de control, supervisión y vigilancia que corresponden a los costos indirectos, incluyendo todas las prestaciones derivadas de la ley federal del trabajo, la ley del seguro social, la ley del instituto del fondo nacional de la vivienda para los trabajadores o de los contratos colectivos de trabajo en vigor.	

Fuente: Reglamento de la ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas, DOF 28-07-2010.



Para la obtención del salario real se debe considerar la siguiente expresión 3.3:

$Sr = SN * FSR$	Ecuación 3.3
<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none">○ “SN” representa los salarios tabulados de las diferentes categorías y especialidades propuestas por el licitante o contratista, de acuerdo con la zona o región donde se ejecuten los trabajos.○ “FSR” representa el factor de salario real, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 191 del reglamento de la ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas.○ “R” representa el rendimiento, es decir, la cantidad de trabajo que desarrolla el personal que interviene directamente en la ejecución del concepto de trabajo por jornada de ocho horas. Para realizar la evaluación del rendimiento, se deberá considerar en todo momento el tipo de trabajo a desarrollar y las condiciones ambientales, topográficas y en general aquéllas que predominen en la zona o región donde se ejecuten.	

Fuente: Reglamento de la ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas, DOF 28-07-2010.

➤ Equipo y Maquinaria

De acuerdo con el Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados Con Las Mismas (Artículo 194), el costo horario directo por maquinaria o equipo de construcción es el que se deriva del uso correcto de las máquinas o equipos adecuados y necesarios para la ejecución del concepto de trabajo, de acuerdo con lo estipulado en las normas de calidad y especificaciones generales y particulares que determine la dependencia o entidad y conforme al programa de ejecución convenido.

El costo horario directo por maquinaria o equipo de construcción es el que resulta de dividir el importe del costo horario de la hora efectiva de trabajo entre el rendimiento de dicha maquinaria o equipo en la misma unidad de tiempo, de conformidad con la siguiente ecuación 3.4:



**ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

ME: Phm/Rhm	Ecuación 3.4
<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none">○ “ME”: Representa el costo horario por maquinaria o equipo de construcción.○ “Phm”: Representa el costo horario directo por hora efectiva de trabajo de la maquinaria o equipo de construcción considerados como nuevos; para su determinación será necesario tomar en cuenta la operación y uso adecuado de la máquina o equipo seleccionado, de acuerdo con sus características de capacidad y especialidad para desarrollar el concepto de trabajo de que se trate. Este costo se integra con costos fijos, consumos y salarios de operación, calculados por hora efectiva de trabajo.○ “Rhm”: Representa el rendimiento horario de la máquina o equipo considerados como nuevos dentro de su vida económica, en las condiciones específicas del trabajo a ejecutar y en las correspondientes unidades de medida, que debe corresponder a la cantidad de unidades de trabajo que la máquina o equipo ejecuta por hora efectiva de operación, de acuerdo con los rendimientos que determinen, en su caso, los manuales de los fabricantes respectivos, la experiencia del contratista, así como las características ambientales de la zona donde se realizan los trabajos.	

Fuente: Reglamento de la ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas, DOF 28-07-2010.

El sobrecosto contempla los indirectos de oficina central y de campo, los intereses por el financiamiento de la obra en caso de ser aplicable, la utilidad de la contratista ejecutora de los trabajos y los cargos adicionales solicitados por la contratante.

✓ Costos indirectos

“El costo indirecto corresponde a los gastos generales necesarios para la ejecución de los trabajos no incluidos en los costos directos que realiza el contratista, tanto en sus oficinas centrales como en el sitio de los trabajos, y comprende entre otros: los gastos de administración, organización, dirección técnica, vigilancia, supervisión, construcción de instalaciones generales necesarias para realizar conceptos de trabajo, el transporte de maquinaria o equipo de construcción, imprevistos y, en su caso, prestaciones laborales y sociales correspondientes al personal directivo y administrativo.” (Art. 211. RLOPSRM.)



✓ **Financiamiento**

Corresponde a los gastos derivados por la inversión de recursos propios o contratados que realice el contratista para dar cumplimiento al programa de ejecución de los trabajos calendarizados y valorizados por periodos. (Art. 214. RLOPSRM.) Es decir, los intereses que cobra el contratista por financiar la obra.

✓ **Utilidad**

El cargo por utilidad es la ganancia que recibe el contratista por la ejecución del concepto de trabajo; será fijado por el propio contratista. (Art. 219. RLOPSRM.)

✓ **Cargos adicionales**

Los cargos adicionales son las erogaciones que debe realizar el contratista, por estar convenidas como obligaciones adicionales que se aplican después de la utilidad del precio unitario porque derivan de un impuesto o derecho que se cause con motivo de la ejecución de los trabajos y que no forman parte de los costos directos, indirectos y por financiamiento, ni del cargo por utilidad.

Únicamente quedarán incluidos en los cargos adicionales aquéllos que deriven de ordenamientos legales aplicables o de disposiciones administrativas que emitan autoridades competentes en la materia, como derechos e impuestos locales y federales y gastos de inspección y supervisión. (Art. 220. RLOPSRM.)

❖ **¿Porque es importante realizar una comparación de precios unitarios directos para proyectos de inversión en vialidades?**

Para poder entender este interrogante primero debemos conocer los conceptos de proyecto de inversión, análisis comparativo y rentabilidad de un proyecto.

Un proyecto de inversión lo podemos interpretar como un conjunto de planes detallados que tienen por objetivo aumentar la productividad de la empresa para incrementar las utilidades o la prestación de servicios, mediante el uso óptimo de los fondos en un plazo razonable.



Un análisis comparativo es un procedimiento sistemático de contrastación de uno o más fenómenos, a través del cual se buscan establecer similitudes y diferencias entre ellos. El resultado debe ser conseguir datos que conduzcan a la mejor opción.

La rentabilidad es la capacidad que tiene algo para generar suficiente utilidad o ganancia; por ejemplo, un negocio es rentable cuando genera mayores ingresos que egresos, un cliente es rentable cuando genera mayores ingresos que gastos, un área o departamento de empresa es rentable cuando genera mayores ingresos que costos.

Una definición más precisa de la rentabilidad es la de un índice que mide la relación entre la utilidad o la ganancia obtenida, y la inversión o los recursos que se utilizaron para obtenerla.

Por lo tanto, tomamos como caso de estudio una rehabilitación carretera a base de pavimentación asfáltica.

Los elementos para comparar son las Mezclas Asfálticas en Caliente con material completamente nuevo y con material reciclado.

Para poder realizar esta comparación elaboraré los precios unitarios a costo directo de una sección longitudinal de un kilómetro.

Es decir, se elaborarán dos análisis de precios unitarios directos, uno que contendrá el análisis con mezcla asfáltica nueva y otro donde se tome en cuenta la mezcla asfáltica reciclada y en base a los resultados que se obtengan se podrá elegir la mejor opción.

Desde el punto de vista de proyectos de inversión el realizar esta comparación nos permitirá observar que propuesta resulta más rentable ya que debe aumentar la productividad y la utilidad del proyecto.



Capítulo IV. Investigaciones relacionadas

Francisco Javier Fernández Almanza de Coconal SAPI de CV a través de su artículo *Pavimentos Verdes* publicado en la Revista de la Asociación Mexicana de Vías Terrestres nos da una breve explicación sobre los pavimentos reciclados y como esto se ve reflejado en la parte económica del proyecto.

Los pavimentos verdes son una innovación tecnológica que busca reducir el impacto ambiental en la construcción. Se trata de un concepto con atributos ambientales y económicos que consiste en la aplicación de un sistema de acciones sustentables en las fases de proyecto, construcción y mantenimiento en carreteras.

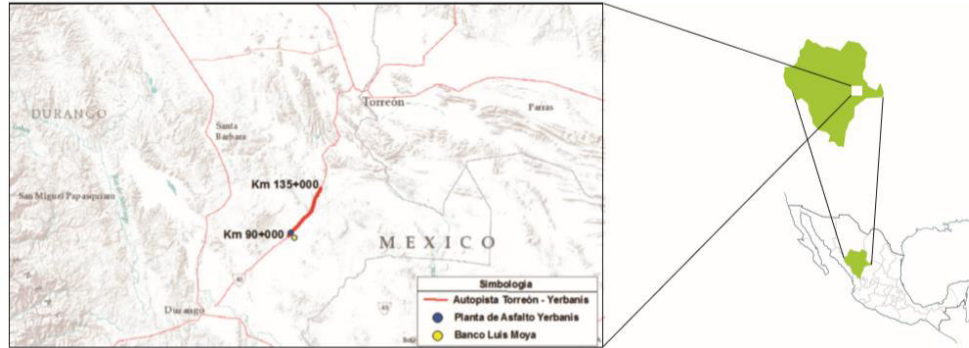
De acuerdo con las experiencias recopiladas en diferentes proyectos constructivos, Coconal ha implementado estas acciones correspondientes a etapas de un sistema integral de planeación, producción, construcción, desarrollo, operación y mantenimiento de un proyecto carretero.

- **ANÁLISIS ECONÓMICO DEL COSTO DE CICLO DE VIDA**

Para evaluar esta alternativa de utilización de RAP se realizó un análisis del costo de ciclo de vida (LCCA), con el cual es posible cuantificar los costos asociados a una concesionaria contratista por las actividades de construcción, mantenimiento, rehabilitación, reconstrucción, demolición y/o remoción de distintas alternativas de mantenimiento. A continuación, se ejemplifica el LCCA en la concesión de la autopista Durango–Gómez Palacio, en donde, por los trabajos de reconstrucción de la carretera que considera el fresado de 10 cm de carpeta, se tendrán aproximadamente 94,500 m³ de material RAP, que necesitan un plan de manejo y reutilización. Gracias a la utilización de este material, sería posible evitar los altos costos asociados con el transporte de los materiales vírgenes del banco a la planta de producción de mezcla en caliente (Figura 4.1).



Figura 4.1. Ubicaciones del banco y planta de mezcla en caliente.



Fuente: Fernández F. (2018). Pavimentos Verdes. Vías Terrestres Asociación Mexicana de Vías Terrestres, 51, 21-26.

El software utilizado es el LCCA 3.1, desarrollado por la Asphalt Pavement Alliance (APA), y que engloba los principios y consideraciones de análisis emitidos por la Federal Highway Administration (FHWA) de Estados Unidos de América. Este software permite calcular el valor presente neto de diferentes alternativas de pavimento mediante análisis determinísticos o probabilísticos; también evalúa la rentabilidad de largo plazo de diseños alternativos tanto para pavimentos nuevos como para los existentes.

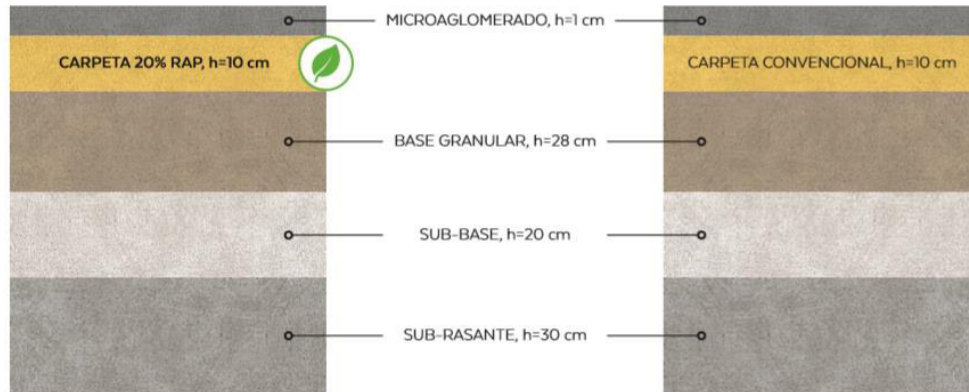
La información de tránsito fue obtenida del (TDPA), la Tasa de Crecimiento y la Distribución Vehicular en los últimos seis años disponibles (2011-2016).

Las alternativas de diseño consideradas son: 1) la utilización de carpeta asfáltica con 20 % de RAP y 2) carpeta asfáltica convencional que contempla la utilización de 100 % de materiales vírgenes.

La sección del pavimento por evaluar consiste en un fresado de la carpeta existente de 10 cm y la colocación de cada una de las alternativas de carpeta asfáltica (con y sin RAP). La Figura 4.2 muestra la estructura del pavimento en el año 0 del periodo de análisis, definida como etapa de construcción.



Figura 4.2 Estructura de pavimento en el año 0 del periodo de análisis.



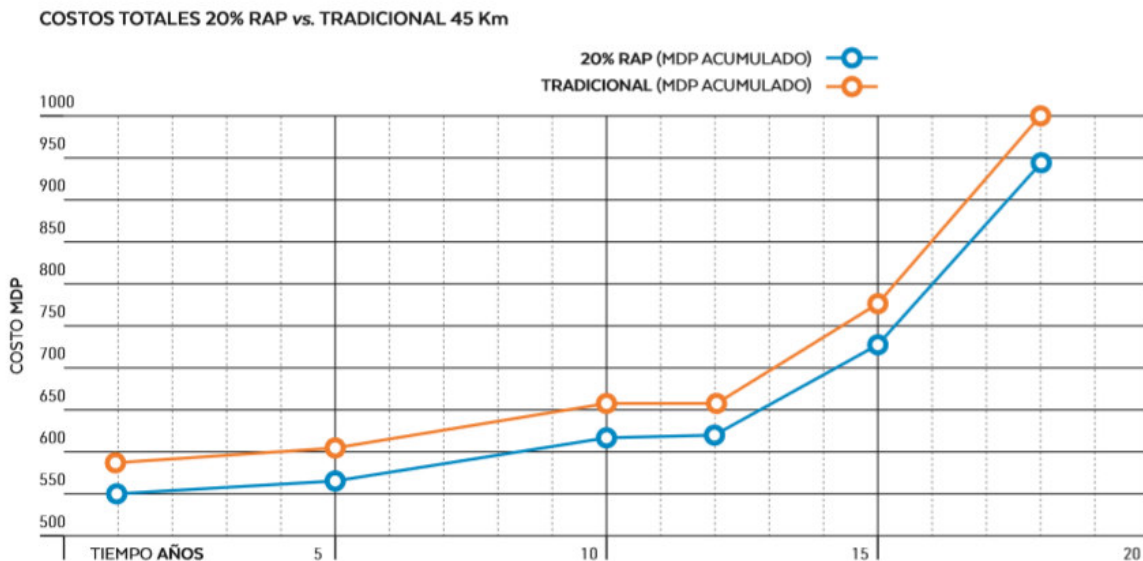
Fuente: Fernández F. (2018). Pavimentos Verdes. Vías Terrestres Asociación Mexicana de Vías Terrestres, 51, 21-26.

- RESULTADOS DEL ANÁLISIS LCCA

En la Figura 4.3 se muestran los costos totales obtenidos en el análisis del costo de ciclo de vida, que resultan de la suma de los costos de la concesionaria contratista más los del usuario. Se puede observar que durante el periodo de análisis estos costos son mayores para la alternativa de pavimento convencional.



Figura 4.3 Costos totales en el tiempo en la longitud total.

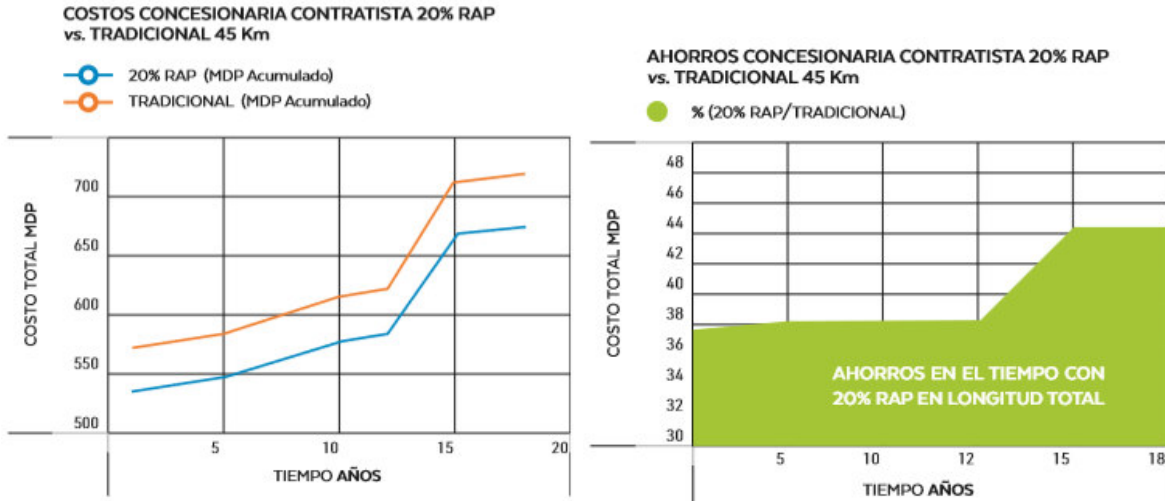


Fuente: Fernández F. (2018). *Pavimentos Verdes. Vías Terrestres Asociación Mexicana de Vías Terrestres*, 51, 21-26.

La Figura 4.4 muestra los ahorros de la concesionaria contratista. Se observa que, desde el primer año, la elección de una carpeta asfáltica con 20 % de RAP en su composición produce ahorros de 38 millones de pesos (MDP), y durante el periodo de análisis entero, el ahorro puede alcanzar los 44 MDP.



Figura 4.4 Costos y ahorros en el tiempo de la concesionaria contratista



Fuente: Fernández F. (2018). Pavimentos Verdes. Vías Terrestres Asociación Mexicana de Vías Terrestres, 51, 21-26.

Tomando en cuenta que el calendario de actividades fue el mismo, y partiendo de la premisa de que ambas mezclas asfálticas tienen un desempeño estructural similar, para este caso de estudio, los costos del usuario fueron iguales para ambas alternativas (Figura 4.5).

Figura 4.5 Costos de los usuarios en el tiempo



Fuente: Fernández F. (2018). Pavimentos Verdes. Vías Terrestres Asociación Mexicana de Vías Terrestres.



Capítulo V. Caso de estudio

5.1 Evaluación de los pavimentos propuestos para reciclado en caliente en el lugar.

El primer paso es evaluar la capacidad estructural del pavimento existente para verificar que la vida remanente sea mayor o igual a la vida de servicio esperada de la capa asfáltica rehabilitada.

- De acuerdo con el tipo de proceso utilizado se estiman los siguientes rangos de durabilidad (Cuadro 5.1).
- Reciclado superficial sin tratamiento superficial subsecuente: 2 a 4 años
- Reciclado superficial con tratamiento superficial subsecuente: 6 a 10 años
- Remezclado: 7 a 14 años
- Remezclado con subsecuente sobrecarpeta en caliente: 7 a 15 años
- Repavimentación: 6 a 15 años

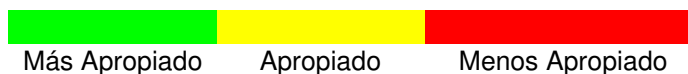
Las durabilidades estimadas y la efectividad y desempeño de los diferentes procesos de reciclado en caliente en el lugar dependen principalmente de que el pavimento esté estructuralmente sano, así como de las condiciones locales, clima, tránsito, tipo de técnica, calidad de los materiales usados y calidad del trabajo.

Las fallas de carpeta que pueden ser corregidas con los diferentes tipos de reciclado en caliente en el lugar se indican en cuadro 5.1.



Cuadro 5.1 Tipos de Fallas en el Pavimento

TIPO DE FALLA DEL PAVIMENTO	PROCESO		
	RECICLADO SUPERFICIAL	REMEZCLADO	REPAVIMENTACIÓN
Desgranamiento			
Baches			
Exudación de Asfalto			
Resistencia al derrape			
Hombros Caídos			
Roderos, Ondulaciones y Desplazamientos.			
Agrietamiento por fatiga y en bordes.			
Agrietamiento menor, longitudinal, transversal reflectivo.			
Agrietamiento Discontinuo.			
Expansiones, hundimientos, Depresiones.			
Calidad de Rodamiento			
Resistencia			



Fuente: Limón Paccsa, R. El Reciclado en Caliente de Pavimentos en México. Trabajo Presentado en el VI Congreso Mexicano de Asfalto.

Adicionalmente se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Típicamente se requiere un mínimo de 3" de espesor de pavimento asfáltico.
- Se requieren ¾" de espesor mínimo de pavimento asfáltico mayor al espesor reciclado para asegurar una correcta adherencia por temperatura.
- Materiales relativamente homogéneos
- Sin telas o intercapas dentro del espesor reciclado
- Fallas estructurales mínimas

5.2 Proceso constructivo

En este apartado compararemos el proceso constructivo de una rehabilitación carretera tomando en cuenta una mezcla con asfalto virgen y otra con asfalto reciclado.



Cuadro 5.2 Comparación de Procesos

Rehabilitación con Mezcla Asfáltica Virgen.	Rehabilitación con Mezcla Asfáltica Reciclada.
I. Demolición de la Carpeta existente.	I. Precalentamiento de la Superficie existente.
II. Mejoramiento y compactación de base Hidráulica.	II. Fresado de la Superficie.
III. Riego de Impregnación con emulsión asfáltica de rompimiento lento.	III. Mezclado de Material.
IV. Riego asfáltico de liga con emulsión de rompimiento rápido.	IV. Tendido y Compactación del material.
V. Colocación de Carpeta Asfáltica.	

❖ **Trabajos por ejecutar en una rehabilitación con asfalto virgen.**

- Demolición de Carpeta Existente: se escarificará y removerá de la carpeta existente construida con anterioridad, desperdiciando el material, por unidad de obra terminada.
- Base Hidráulica: Se procederá al mejoramiento de la capa de Base hidráulica existente, agregando material pétreo en el porcentaje necesario, de tal manera que se obtenga un espesor de 20 cm.
El material que conforme esta capa se deberá humedecer al grado óptimo y compactar al 100% de su peso volumétrico seco máximo (PVSM) de la prueba AASHTO modificada.
Los materiales mezclados previo a su utilización deberán cumplir con las Normas de Calidad especificadas en la Norma N.CMT.4.02.002 y para su ejecución se deberán seguir todos los lineamientos indicados en inciso G de la Norma N.CTR.CAR.1.04.002.
- Riego de Impregnación: Sobre la superficie de la capa de base hidráulica debidamente terminada, superficialmente seca y barrida, se aplicará en todo el ancho de la sección un riego de impregnación con emulsión asfáltica catiónica, a razón de 1.5 lts/m². y en los hombros de los taludes del material que formen el pavimento se aplicara doble riego de impregnación con emulsión asfáltica catiónica, a razón de 1.5 lts/m² en un ancho de 0.50 m.
El producto asfáltico (emulsión catiónica) deberá ser del tipo mencionado en el inciso G de la Norma N.CTR.CAR.1.04.004; así mismo deberá cumplir con las Normas de Calidad establecidas en la Norma N.CMT.4.05.001 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.



- Riego de Liga para la carpeta de concreto asfáltico: Sobre la superficie de la capa de base hidráulica debidamente terminada, se aplicará en todo el ancho de la sección un riego de liga con emulsión asfáltica catiónica, a razón de 0.5lts/m². El producto asfáltico (emulsión catiónica) deberá ser del tipo mencionado en el inciso G de la Norma N.CTR.CAR.1.04.005, así mismo deberá cumplir con las Normas de Calidad establecidas en la Norma N.CMT.4.05.001.
- Carpeta Asfáltica: La carpeta asfáltica que coronará la sección del pavimento tendrá un espesor de 10 cm, la cual debe cumplir con las características establecidas en el proyecto, así como lo indicado en la norma N.CMT.4.05.003. D.1.1.1, de la Normatividad para la Infraestructura del Transporte de la S.C.T., al alcanzar el 95% de su Masa Volumétrica Máxima, determinada por el procedimiento Marshall.

❖ **Trabajos por ejecutar en una rehabilitación con asfalto reciclado.**

- Pre calentadoras: Consiste en 2 calentadores (Figura 5.1), las cuales irradian energía térmica a base de aire caliente de inyección y retorno hacia el pavimento asfáltico existente a la profundidad de la penetración requerida sin romper los agregados, calcinar el pavimento existente o la producción de reacciones adversas contaminantes. El mecanismo de calentamiento está equipado de tal forma que la aplicación de calor se da debajo de las camas cerradas que proporciona asilamiento.

La adición de calor para suavizar la capa superficial del pavimento.

Figura 5.1 Pre calentadoras



Fuente: Ecopavements. (2019). Proceso constructivo. Sitio web:
<http://ecopavements.com/proceso/>

- Fresadora: El material asfáltico es disgregado y no pulverizado por medio de rotores (molino de tambor rotador) en un ancho de 3.50 a 3.95 mts. y cortando de 2.0 hasta 7.0 cm. de profundidad, que es removido y suelto por instrumentos perfiladores, se mezcla juntamente con la adición computarizada de un agente



rejuvenecedor durante el proceso para revivir las propiedades pérdidas durante su oxidación y envejecimiento del asfalto una vez disgregado y adicionado el rejuvenecedor es acamellonado al centro del ancho fresado con una temperatura de salida de 80-110°C.

Figura 5.2 Miller o Fresadora



Fuente: Ecopavements. (2019). Proceso constructivo. Sitio web:
<http://ecopavements.com/proceso/>

- Mezcladora Secadora: Una vez acamellonado el material se agrega al pugmill para su mezcla (tolva de la Mixer) hasta un 25 % de mezcla virgen con características particulares de granulometría y contenido de asfalto, para ser incorporado con el material recuperado, siendo mezclados ambos en pugmill de Mixer para crear una homogeneidad en la mezcla final y depositados en la tolva de la extendedora.

La mezcla final (75 % Recuperado + 25 % Adicionado) se deposita en la extendedora (Finisher) para ser tendida y compactada dando cumplimiento en la curva de diseño Marshall para una carretera de acuerdo con las normas técnicas de la SCT. N-CTR-1-04-006-00.

Figura 5.3 Mixer o (Mezcladora Secadora)



Fuente: Ecopavements. (2019). Proceso constructivo. Sitio web:
<http://ecopavements.com/proceso/>



Una vez que ya conocemos en que consiste cada procedimiento constructivo, procederemos a analizar sus precios unitarios a costo directo para así poder tomar una decisión de que alternativa resulta más rentable.

❖ comparativa de dos técnicas de rehabilitación superficial

A continuación, se presenta una comparativa entre dos técnicas de rehabilitación superficial:

- Sección con sustitución de carpeta y colocación de mezcla nueva.
- Sección con reciclado en caliente en el lugar.

La capacidad estructural de ambas secciones es la misma, con una expectativa de vida útil de la rehabilitación de 10 años en las dos secciones (Figuras 5.4 y 5.5).

Figura 5.4 Sección Tipo Tangente

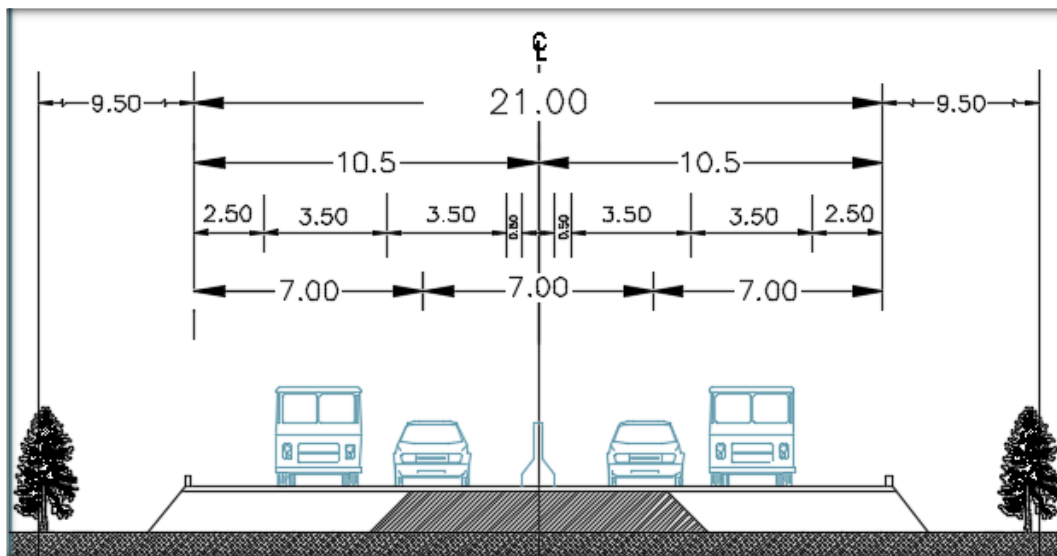
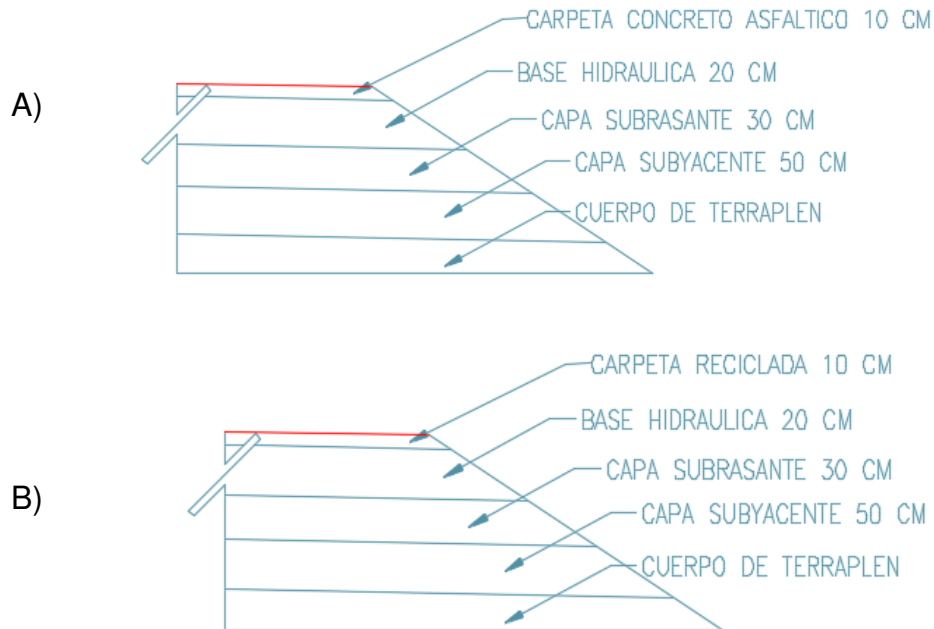


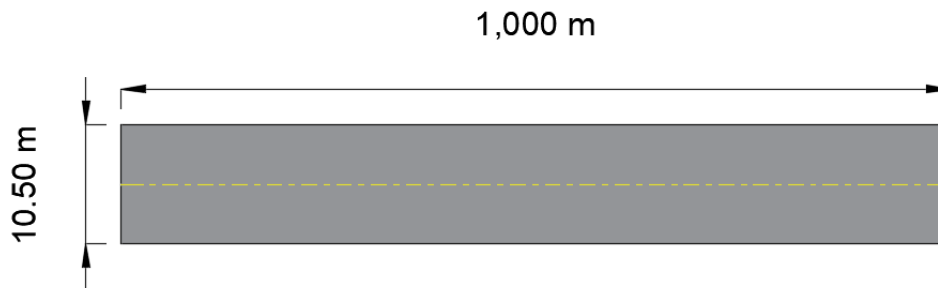


Figura 5.5 Detalle de la Estructura del Pavimento



Se analizará una sección longitudinal de un kilómetro, con un ancho de corona de 10.5 metros.

Figura 5.6 Sección Longitudinal Analizada.



Fuente: Elaboración Propia



Capítulo VI. Resultados

Se Analizó una sección longitudinal de un kilómetro con un ancho de corona de 10.5 metros y un espesor de 10 centímetros, obteniendo los siguientes datos:

Longitud: 1,000.00 m.

Área: 10, 500 m².

Volumen: 1,050 m³.

Tomando en cuenta estas cantidades analizamos los precios unitarios a costo directo (Anexos 3 y 4), obteniendo los datos del cuadro 6.1.

Cuadro 6.1 Comparación de Precio a Costo Directo.

Rehabilitación con Mezcla Asfáltica Virgen.		Rehabilitación con Mezcla Asfáltica Reciclada.	
Cantidad	Costo	Cantidad	Costo
1,050 m ³	\$ 4, 194, 015.00	1,050 m ³	\$3,487,890.00

Por lo tanto, podemos concluir que nos resultaría más económico optar por un sistema de reciclado.

Ya que comparando las dos propuestas obtenemos un ahorro de \$706,125.00 a favor del asfalto reciclado.

El mayor ahorro lo podemos ver en los materiales como se observa en el cuadro 6.2, cuando realizamos nuestra explosión de insumos (Anexo 5 y 6) podemos observar una diferencia de \$3,071,499.3 M/N, a favor del tren de reciclado, pero de igual forma tenemos un mayor gasto en equipo.

Cuadro 6.2 Comparación de Insumos

	Rehabilitación de Carreteras con Mezclas Asfálticas Vírgenes.	Tren de Reciclaje	
Clave	Monto	Monto	Diferencia
Tipo: Materiales	\$ 3,918,524.89	\$ 847,025.56	\$ 3,071,499.3
Tipo: Mano de obra	\$ 138,278.54	\$ 80,641.87	\$ 57,636.7
Tipo: Herramienta	\$ 3,869.52	\$ 3,124.16	\$ 745.4
Tipo: Equipo	\$ 133,342.05	\$ 2,557,098.42	-\$ 2,423,756.4
Total:	\$ 4,194,015.00	\$ 3,487,890.00	\$ 706,125.0



**ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Con estos datos podemos inclinarnos a utilizar un sistema de reciclado siempre y cuando las condiciones técnicas de la vialidad y el lugar no los permitan y así poder obtener ahorros económicos en nuestros proyectos.



Conclusiones

Este análisis comparativo entre estas dos mezclas nos permite observar que podemos lograr un ahorro significativo en materiales y así lograr un ahorro significativo, claramente también se observó que existe un mayor costo en la renta del equipo para realizar la pavimentación, pero cabe recalcar que solo se planteó en un kilómetro de vialidad es decir que en un proyecto de mayor longitud se podrán observar mayores rendimientos de la maquinaria dejando así una mejor utilidad para la empresa.

Además, el uso de materiales reciclados contribuye a la sostenibilidad en carreteras ya que el asfalto puede ser reciclado al 100% y se detiene el agotamiento de los recursos naturales.

El reciclado ofrece significativos ahorros de energía, de materiales no renovables y de los fondos económicos destinados a la conservación de carreteras.

El procedimiento constructivo involucra menores interrupciones de tráfico, mayor seguridad y menores molestias para el usuario que con los métodos convencionales.

El realizar rehabilitaciones con materiales reciclados representaría un ahorro, el cual se puede emplear para conservar, rehabilitar y crear nuevas carreteras en el país.



Referencias bibliográficas

Álvarez y Álvarez, Manuel; Antecedentes históricos de las actividades exploratorias de Petróleos Mexicanos. Alternativas tecnológicas 12, Academia Mexicana de Ingeniería. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, 1984 – 1985.

Fernández F. (2018). Pavimentos Verdes. Vías Terrestres Asociación Mexicana de Vías Terrestres, 51, 21-26.

INEGI. (2018). Estructuración de la Red Nacional de Carreteras escala 1:50 000, Fase IV - Integración de Principales Vialidades de Localidades Urbanas. México.

Instituto Mexicano del Transporte. (2018). Red Nacional de Caminos. 2019, de SCT Sitio web: <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>.

Ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas para el estado y los municipios de Guanajuato, Última Reforma: P.O. Núm. 190, Décima Tercera Parte, 21-09-2018.

Limón Pacca, R. El Reciclado en Caliente de Pavimentos en México. Trabajo Presentado en el VI Congreso Mexicano de Asfalto.

María Fernanda Navarro. (2019). El gasto en infraestructura de 2019 no se verá reflejado en carreteras, edificios, hospitales. Formes México

<https://www.forbes.com.mx/el-gasto-en-infraestructura-de-2019-no-se-vera-reflejado-en-carreteras-edificios-hospitales/>.

Montejo Alfonso. (marzo 2015) Reciclaje de Pavimentos. Primer encuentro nacional de pavimentos.

<http://tycho.escuelaing.edu.co/ecinfo2/educontinuada/EncuentroPavimentos/001PresentacionINVIA.pdf>.

Ramos Villanueva, O. (2017). Procesamiento del RAP para su utilización en mezclas asfálticas recicladas en caliente: una revisión del estado del arte. Asfáltica Revista Técnica, 51, 19-26.



Reglamento de la ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas, DOF 28-07-2010.

Restrepo Sierra, H., Stephens Zapata, s. (2015). Reciclaje de pavimentos estudio de las ventajas económicas del reciclaje en frío in situ de pavimentos asfálticos (Tesis Especialidad). Universidad de Medellín.

Torres Rodrigo, Flores Paola. (2014). Mezclas asfálticas con materiales reciclados de construcción y demolición para la reparación de pavimentos. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, Vol.1 No.1 1-7.



**ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Anexo



ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

Anexo 1. Avance en el ejercicio del presupuesto de inversión en la SCT.

Área	Autorizado (MDP)	Comprometido (MDP)	Ejercido (MDP)
Carreteras Federales	10,114.0	9,354.7	5,282.9
Caminos Rurales y Alimentadores	9,441.2	8,994.5	5,310.0
Conservación de Carreteras	18,975.8	18,701.6	12,045.9
Desarrollo Carretero	3,805.0	3,195.3	2,396.8
Servicios Técnicos	436.8	433.4	193.7
Total Subsecretaría	42,772.9	40,679	25,229.3
Avance respecto al Presupuesto Autorizado		95.1%	59.0%

Área	Tipo de contratación	Obra		Servicios		Total	
		No.	Monto (MDP)	No.	Monto (MDP)	No.	Monto (MDP)
Carreteras Federales	Licitación Pública Nacional	105	6,140.7	57	165.4	162	6,306.1
	Invitación a 3 personas	0	0.0	103	310.6	103	310.6
	Adjudicación Directa	0	0.0	1	0.8	1	0.8
Caminos Rurales y Alimentadores	Licitación Pública Nacional	667	5,531.4	42	65.2	709	5,596.6
	Invitación a 3 personas	73	480.7	231	364.4	304	845.1
	Adjudicación Directa	1	1.7	0	0.0	1	1.7
Conservación de Carreteras	Licitación Pública Nacional	875	11,013.3	218	361.1	1,093	11,374.4
	Invitación a 3 personas	369	2,945.1	21	106.0	390	3,051.1
	Adjudicación Directa	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Desarrollo Carretero	Licitación Pública Nacional	0	0.0	12	36.6	12	36.6
	Invitación a 3 personas	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Adjudicación Directa	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Servicios Técnicos	Licitación Pública Nacional	0	0.0	59	359.8	59	359.8
	Invitación a 3 personas	0	0.0	15	73.6	15	73.6
	Adjudicación Directa	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Total Subsecretaría		2,090	26,112.9	759	1,843.5	2,849	27,956.4
				Licitación Pública Nacional		2,035	23,673.5
				Invitación a 3 personas		812	4,280.4
				Adjudicación Directa		2	2.5

FUENTE: SCT (septiembre 2019), Subsecretaría de Infraestructura



**ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Anexo 2. Presupuesto de rehabilitación con mezcla asfáltica virgen.

Obra: Rehabilitación de Carreteras con Mezclas Asfálticas Virgenes.

PRESUPUESTO						
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Importe acumulado de la hoja anterior		\$0.00
				Precio Unitario		Importe en pesos
				Con letra	Con número	
001	ASFALTOS					
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	1050.00	CUARENTA Y SEIS PESOS 26/100 MXN	\$46.26	\$48,573.00
02	Mejoramiento de base Hidráulica al 100%	m3	2100.00	CUATROCIENTOS CUARENTA Y CINCO PESOS 52/100 MXN	\$445.52	\$935,592.00
03	Riego de impregnación con emulsión asfáltica catiónica, a razón de 1.5 lts/m².	lt	15750.00	ONCE PESOS 31/100 MXN	\$11.31	\$178,132.50
04	Carpeta Asfáltica Compactada al 95%	m3	1050.00	DOS MIL OCHOCIENTOS OCHENTA Y SIETE PESOS 35/100 MXN	\$2,887.35	\$3,031,717.50
	Total de ASFALTOS					\$4,194,015.00
	Subtotal del PRESUPUESTO					\$4,194,015.00
					IVA 16%	\$671,042.40
					Total	\$4,865,057.40



**ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Anexo 3. Análisis de precios unitarios a costo directo de rehabilitación con mezcla asfáltica virgen.

Obra: Rehabilitación de Carreteras con Mezclas Asfálticas Vírgenes.

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 **					



**ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

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 **



ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

Obra: Rehabilitación de Carreteras con Mezclas Asfálticas Virgenes.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
03	Riego de impregnación con emulsión asfáltica catiónica, a razón de 1.5 lts/m ² .	lt			
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 **				



**ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

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 **



ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

Anexo 4. 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



**ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

ANÁLISIS 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 **



**ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Anexo 5. Explosión de insumos de rehabilitación con mezcla asfáltica virgen.

Obra: Rehabilitación de Carreteras con Mezclas Asfálticas Vírgenes.

EXPLOSIÓN DE RECURSOS						
Clave	Descripción	Unidad	Tipo	Cantidad	P.U.	Monto
Tipo: Materiales						Monto: \$ 3,918,524.89
MT-ACEITE	Lubricante Aceite	lt	Material	152.28	80.00	12,182.54
MT-AGRE1 1/2	Agregado de 1 1/2" a fino (Precio incluye Merma, abundamiento y acarreo).	m3	Material	2,100.00	370.20	777,420.00
MT-AGUA	Agua apta para su uso en construcción	m3	Material	630.00	40.00	25,200.00
MT-CTA	Carpeta asfáltica en caliente, gruesa 1/2 Modificada, Cemento Asfáltico Grado PG76-22.	m3	Material	1,050.00	2,400.75	2,520,787.50
MT-DIESEL	Diesel	lt	Material	16,899.81	18.25	308,421.59
MT-EM80	Emulsión catiónica para impregnación, rompimiento lento al 80%	lt	Material	15,750.00	9.25	145,687.50
MT-EM85	Emulsión catiónica de rompimiento rápido al 85%.	lt	Material	14,002.80	9.20	128,825.76
Tipo: Mano de obra						Monto: \$ 138,278.54
MO-CABO	Cabo de Oficios	jor	Mano de obra	13.67	509.91	6,970.98
MO-OEM	Operador de Equipo Mediano	jor	Mano de obra	25.59	509.91	13,050.51
MO-OPERADOR	OPERADOR MAQUINARIA PESADA	jor	Mano de obra	71.14	672.48	47,837.73
MO-R	Rastrillero	jor	Mano de obra	164.05	429.25	70,419.32
Tipo: Herramienta						Monto: \$ 3,869.52
%EQ-SEGURIDAD	Equipo de Seguridad	(%)mo	Herramienta	0.02	77,390.30	1,547.81
%HERR-MENOR	Herramienta Menor	(%)mo	Herramienta	0.03	77,390.30	2,321.71
Tipo: Equipo						Monto: \$ 133,342.05
C.F. EQ-BARR	Barredora frontal ROSCO 4820 autopropulsada motor diesel turbo.	hr	Equipo	21.00	44.40	932.40
C.F. EQ-CAC	Camion cisterna de 8 m3 de capacidad sobre camion t300 Kenworth motor Paccar PX-6 200 HP.	hr	Equipo	157.50	63.80	10,048.50
C.F. EQ-CF	Cargador de Ruedas Caterpillar Modelo 950 GC	hr	Equipo	8.76	504.12	4,414.58
C.F. EQ-CKW	Camion Kenworth t300, motor Paccar PX-6 240 HP, plataforma.	hr	Equipo	253.85	69.60	17,667.82
C.F. EQ-CN	Compactador de neumáticos, marca CATERPILLAR, modelo CW34. Peso de funcionamiento lastre máximo: 27,000 kg. Motor C4.4, potencia de 131 hp	hr	Equipo	35.00	334.01	11,689.18
C.F. EQ-CS	Compactador doble rodillo vibratorio, marca CATERPILLAR, modelo CB-534D. Peso aproximado en orden de trabajo 10,380 kg. Con sistema de vibración de amplitud variable. Motor marca CATERPILLAR, modelo 3054C turbo, con una potencia de 130 Hp.	hr	Equipo	56.00	325.26	18,213.42
C.F. EQ-MT	Motoniveladora Caterpillar Modelo 120k	hr	Equipo	35.02	712.33	24,944.02
C.F. EQ-PAV	Asfaltadora, marca CATERPILLAR, modelo AP855D.	hr	Equipo	26.25	1,063.40	27,914.25
C.F. EQ-PETRO	Petrolizadora Computarizada y Automatizadas Marca SEAMAN GUNNISON Modelo CRC-H. Cap. 6,000 lts.	hr	Equipo	47.48	137.98	6,551.53
C.F. EQ-VOL7	Camion volteo capacidad de 7m3, sobre camion Kenworth t300, motor Paccar PX-6 240 HP	hr	Equipo	167.99	65.28	10,966.35
IMPORTE A COSTO DIRECTO EN PRESUPUESTO:						4,194,015.00



**ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS
RECICLADOS EN CARRETERAS.
ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Anexo 6. Explosión de insumos de rehabilitación con mezcla asfáltica reciclada.

Obra: Tren de Reciclaje						
EXPLOSIÓN DE RECURSOS						
Clave	Descripción	Unidad	Tipo	Cantidad	P.U.	Monto
Tipo: Materiales						847,025.56
MT-ACEITE	Lubricante Aceite	lt	Material	13.93	80.00	1,114.23
MT-AGUA	Agua apta para su uso en construcción	m3	Material	26.25	40.00	1,050.00
MT-CTA	Carpeta asfáltica en caliente, gruesa 1/2 Modificada, Cemento Asfáltico Grado PG76-22.	m3	Material	65.63	2,400.75	157,549.22
MT-DIESEL	Diesel	lt	Material	37,660.94	18.25	687,312.11
Tipo: Mano de Obra						80,641.87
MO-AYD	Ayudante	jor	Mano de obra	87.51	429.22	37,559.75
MO-CABO	Cabo de Oficios	jor	Mano de obra	14.36	509.88	7,319.90
MO-OEM	Operador de Equipo Mediano	jor	Mano de obra	2.30	509.88	1,171.13
MO-OPERADOR	OPERADOR MAQUINARIA PESADA	jor	Mano de obra	25.26	672.46	16,987.48
MO-R	Rastrillero	jor	Mano de obra	41.01	429.22	17,603.60
Tipo: Herramienta						3,124.16
%EQ-SEGURIDAD	Equipo de Seguridad	(%)mo	Herramienta	0.02	62,483.25	1,249.67
%HERR-MENOR	Herramienta Menor	(%)mo	Herramienta	0.03	62,483.25	1,874.50
Tipo: Equipo						2,557,098.42
C.F. EQ-BARR	Barredora frontal ROSCO 4820 autopropulsada motor diesel turbo.	hr	Equipo	5.25	46.70	245.18
C.F. EQ-CAC	Camion cisterna de 8 m3 de capacidad sobre camion t300 Kenworth motor Paccar PX-6 200 HP.	hr	Equipo	6.56	67.10	440.34
C.F. EQ-CN	Compactador de neumáticos, marca CATERPILLAR, modelo CW34. Peso de funcionamiento lastre máximo: 27,000 kg. Motor C4.4, potencia de 131 hp	hr	Equipo	8.75	351.29	3,073.48
C.F. EQ-CS	Compactador doble rodillo vibratorio, marca CATERPILLAR, modelo CB-534D. Peso aproximado en orden de trabajo 10,380 kg. Con sistema de vibración de amplitud variable. Motor marca CATERPILLAR, modelo 3054C turbo, con una potencia de 130 Hp.	hr	Equipo	8.75	342.08	2,992.90
C.F. EQ-PAV	Asfáltadora, marca CATERPILLAR, modelo AP655D.	hr	Equipo	6.56	1,118.41	7,339.57
C.F. EQ-VOL7	Camion volteo capacidad de 7m3, sobre camion Kenworth t300, motor Paccar PX-6 240 HP	hr	Equipo	18.37	68.16	1,252.26
EQ-TREN	Recicladora AR2000 (Incluye: Pre calentadores, Fresadora y Mixer)	hr	Equipo	299.25	8,493.75	2,541,754.69
Importe a costo directo en presupuesto:						3,487,890.00