



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Influencia de la evaluación ambiental y económica del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil

AUTORES

Cordero Morales, Dalila
ORCID: 0000-0003-3812-073X

Riva Mejia, Alex Ivan
ORCID: 0000-0002-2861-1386

ASESOR

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo
ORCID: 0000-0002-7722-8711

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Cordero Morales, Dalila

DNI: 72854175

Riva Mejia, Alex Ivan

DNI: 48255054

Datos de asesor

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo

DNI: 10281360

Datos del jurado

JURADO 1

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 10281360

ORCID: 0000-0002-7722-8711

JURADO 2

Támara Rodríguez, Joaquín Samuel

DNI: 31615059

ORCID: 0000-0002-4568-9759

JURADO 3

Arévalo Lay, Víctor Eleuterio

DNI: 04434662

ORCID: 0000-0002-2518-8201

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 02.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, por todo su amor, sacrificio y motivación en todos estos años. También dedico a mis abuelos Andrea e Irineo que desde el cielo me daban fuerzas para continuar.

(Cordero Morales, Dalila)

Dedico esta tesis a mi madre Julia Mejia Alva, a mi tío Jesús Mejia Alva que siempre estuvieron conmigo durante todo el proceso, muchas gracias por el apoyo incondicional y por creer en mí a lo largo de mi vida universitaria, han sido mi mayor motivación.

(Riva Mejia, Alex Ivan)

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento pleno a nuestro asesor M. Sc. Ing. Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo por las sugerencias en el ámbito temático de la Ingeniería Civil, quien con su larga experiencia y conocimiento en el área de Pavimentos nos asesoró continuamente en el buen desarrollo de nuestro tema de investigación y a nuestro Metodólogo Joaquín Támara Rodríguez por ayudarnos en el proceso de la tesis.

Gracias por transmitirnos sus conocimientos y dedicación que hemos logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de la tesis con éxito y obtener la titulación profesional.

(Cordero Morales y Riva Mejia)

INDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCION	iii
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACION DEL PROBLEMA	1
1.1. Formulación y delimitación del problema	1
1.1.1. Descripción del problema	1
1.1.2. Problema General	1
1.1.3. Problemas Específicos	2
1.2. Objetivo general y específicos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Importancia y justificación del estudio	2
1.4. Delimitación de la Investigación	3
1.4.1. Limitaciones del estudio	3
1.4.2. Limitaciones técnicas	3
1.4.3. Limitaciones económicas	3
CAPITULO II: MARCO TEORICO	4
2.1. Antecedentes del estudio de investigación	4
2.2. Investigaciones relacionadas	5
2.2.1. Investigaciones internacionales	5
2.2.2. Investigaciones nacionales	7
2.3. Bases teóricas	8
2.3.1. Pavimento Asfáltico	8
2.4. Procesos del reciclado de pavimento asfáltico en caliente	27
2.4.1. Tipos de procesos aplicados en caliente	31
2.5. Beneficios en la rehabilitación de vías con pavimento asfáltico	40
2.5.1. Beneficios ambientales	40
2.5.2 Beneficios económicos	41
2.6. Definición de términos básicos	42

CAPITULO III: SISTEMA DE HIPOTESIS	44
3.1. Hipótesis	44
3.1.1. Hipótesis general	44
3.1.2. Hipótesis Secundarias	44
3.2. Variables	44
3.2.1. Definición conceptual de las variables	44
3.2.2. Operacionalización de variables	45
CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	46
4.1. Tipo y Nivel	46
4.1.1. Método de investigación	46
4.1.2. Orientación de investigación	46
4.1.3. Enfoque de investigación	46
4.1.4. Recolección de datos	46
4.1.5. Tipo de la investigación	46
4.1.6. Nivel de la investigación	46
4.2. Diseño de la investigación	47
4.3. Población y muestra	47
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos	48
4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.	48
4.4.3. Procedimiento para la recolección de datos.	48
CAPITULO V: PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS	49
5.1. Diagnóstico y situación actual	49
5.2. Situación del reciclado de pavimentos asfálticos en los siguientes países	50
5.2.1. Experiencia en Estados Unidos	50
5.2.2. Experiencia en Canadá.	50
5.2.3 Experiencia Bélgica	51
5.2.4. Experiencia Dinamarca	52
5.3. Experiencia en el ámbito nacional	54
5.3.1. Procedimiento en planta para el reciclado de pavimentos asfálticos en caliente y equipo necesario.	54

5.4. Proceso del diseño de mezcla utilizando pavimento asfáltico reciclado por el método Marshall.	56
5.4.1 Ejemplo de la mezcla asfáltica en caliente con material reciclado de pavimentos asfálticos envejecidos mediante el método ensayo Marshall.	60
5.4.2. Características comparativas de resultados de diseño de mezclas asfáltica en caliente por el Método Marshall.	61
5.5. Presentación de Resultados	63
5.5.1 Evaluación ambiental de pavimentos asfálticos reciclados en caliente	64
5.5.2 Evaluación económica de pavimentos asfálticos reciclados en caliente	70
5.6. Discusión de resultados	78
5.6.1. Influencia de la evaluación ambiental:	78
5.6.2. Influencia económica	78
5.7. Contrastación de hipótesis	79
5.7.1. Hipótesis específica 1	79
5.7.2. Hipótesis específica 2	79
5.7.3. Hipótesis específica 3	80
5.7.4 Hipótesis Principal	80
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES	82
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	83
ANEXOS	87
Anexo 1: Matriz de Consistencia	87

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1. Fallas tratadas con pavimento asfáltico reciclado en caliente	27
Tabla N°2. Operacionalización de variables	45
Tabla N°3. Experiencia en el reciclado de pavimentos asfálticos en Canadá	51
Tabla N°4. Generación y reutilización anual de MBR en diferentes países	53
Tabla N°5. Granulometría de la Mezcla de material reciclado y agregado nuevo	57
Tabla N°6. Especificaciones Para El Diseño De Marshall	59
Tabla N°7. Diseño de mezcla asfáltica en caliente método Marshall ASTM D 1559 MTC E 504	60
Tabla N°8. Características comparativas de resultados de diseño de mezclas asfáltica en caliente por el método Marshall	61
Tabla N°9. Características de la mezcla asfáltica.	62
Tabla N°10. Clasificación de impacto	65
Tabla N°11. Identificación de impactos vs probabilidad de ocurrencia	65
Tabla N°12. Matriz de impacto ambiental con el uso de pavimento convencional en rehabilitación de vías.	65
Tabla N°13. Matriz de impacto ambiental con el uso de pavimento asfáltico reciclado en caliente.	66
Tabla N°14. Producción de pavimento asfáltico en caliente en planta	67
Tabla N°15. Producción de pavimento asfáltico reciclado en caliente en planta	68
Tabla N°16. Impactos durante la fase de producción.	68
Tabla N°17. Matriz de impacto ambiental con el uso de pavimento asfáltico reciclado para la producción de la mezcla:	69
Tabla N°18. Contenido de Agregados del estudio	70
Tabla N°19. Características de la mezcla obtenidos del ensayo Marshall	70
Tabla N°20. Análisis de costo por m ³ de mezcla asfáltica convencional en planta	71
Tabla N°21. Análisis de costo por m ³ de mezcla asfáltica reciclada en planta	71
Tabla N°22. Ahorro generado por m ³ con el uso de RAP	72
Tabla N°23. Contenido de Agregados del estudio	72
Tabla N°24. Características de la mezcla obtenidos del ensayo Marshall	73

Tabla N°25.Análisis de costo por m3 de mezcla asfáltica convencional en planta.	74
Tabla N°26.Análisis de costo por m3 de mezcla asfáltica reciclada en planta.	74
Tabla N°27.Ahorro generado por m3 con el uso de RAP	75
Tabla N°28.Contenido de Agregados del estudio	75
Tabla N°29.Características de la mezcla obtenidos del ensayo Marshall	76
Tabla N°30.Análisis de costo por m3 de mezcla asfáltica convencional en planta	76
Tabla N°31.Análisis de costo por m3 de mezcla asfáltica reciclada en planta	77
Tabla N°32.Contenido de Agregados del estudio	77

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1. Conformación típica el pavimento como elemento estructural	9
Figura N°2. Elementos que conforma el pavimento asfáltico convencional	10
Figura N°3. Fases de un pavimento sin mantenimiento o rehabilitación	14
Figura N°4. Causas de fallas en pavimentos asfálticos	16
Figura N°5. Curvas Marshall	18
Figura N°6. Motoniveladora con escarificador	22
Figura N°7. Recolección por medio de fresado	23
Figura N°8. Almacenamiento del pavimento asfáltico reciclado.	24
Figura N°9. Reciclado de pavimento asfáltico según su función	25
Figura N°10.Planta discontinua con ingreso de RAP en elevador caliente	28
Figura N°11.Planta discontinua con doble tambor secador para calentamiento del pavimento asfáltico reciclado	29
Figura N°12.Planta continua con secador de flujo paralelo con mezclador separado para el pavimento asfáltico reciclado	30
Figura N°13.Planta continua con secador de contraflujo con mezclador separado para el pavimento afáltico reciclado	30
Figura N°14.Precalentadora	31
Figura N°15.Fresadora o Miller	32
Figura N°16.Mezcladora	32
Figura N°17.Proceso de reciclado de pavimento asfáltico en caliente in situ	33
Figura N°18.Diagrama de ventajas y desventajas de la reutilización del pavimento asfáltico en caliente in situ	33
Figura N°19.Extracción del material envejecido a reciclar	34
Figura N°20.Movilización y depósito del material reciclado	34
Figura N°21.Impactador del material reciclado para reducir el tamaño	35
Figura N°22.Separación de agregados	35
Figura N°23.Anillo de reciclado	36
Figura N°24.Proceso de producción de pavimento asfáltico reciclado	37

Figura N°25. Tambor mezclador	38
Figura N°26. Depósito de la mezcla en volquetes	38
Figura N°27. Reciclaje de pavimento asfáltico en planta	39
Figura N°28. Diagrama de ventajas y desventajas de la reutilización del pavimento asfáltico en caliente en planta	39
Figura N°29. Volúmenes de MBR producido y reutilizado por algunos de los países con mayor experiencia en el reciclado de pavimentos asfálticos	53
Figura N°30. Planta procesadora de asfalto de la dirección regional de transportes y comunicaciones	55
Figura N°31. Componente mecánico de recepción de material para el procesamiento del material reciclado.	56
Figura N°32. Porcentajes de la Mezcla de material reciclado y agregado nuevo o virgen.	57
Figura N°33. Curva granulométrica	58
Figura N°34. Muestras de briquetas	59
Figura N°35. Planta procesadora de asfalto reciclado El Campillo	67
Figura N°36. Comparación de costos por m ³ entre la producción de una mezcla asfáltica convencional y reciclada en caliente	72
Figura N°37. Comparación de costos por m ³ entre la producción de una mezcla asfáltica convencional y reciclada en caliente	75
Figura N°38. Comparación de costos por m ³ entre la producción de una mezcla asfáltica convencional y reciclada en caliente	77

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de la evaluación ambiental y económica del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías en el año 2022, tomando como base investigaciones nacionales e internacionales; el método de estudio de la investigación fue inductivo con una orientación aplicada, del tipo descriptiva con un nivel explicativo y con un diseño no experimental, transversal y retro prospectivo debido a que se tomó información de años anteriores.

Para el desarrollo de la investigación se tomó datos del diseño de mezcla óptimo con pavimentos asfálticos reciclados en caliente de la tesis titulada “Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo”, presentada por el tesista Chuman, J. (2017), además se tomó en cuenta 5 investigaciones adicionales con la finalidad de análisis la parte económica y ambiental usando reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en una rehabilitación de vía para evaluar cómo influye en estos ámbitos.

Finalmente, se concluyó con el análisis de impacto ambiental y económico mediante el uso de los pavimentos asfálticos reciclados en caliente influye positivamente, mejorando la calidad de los factores ambientales y la reducción de costos para proveer en uso de reciclado en nuestro país.

Palabras claves: Pavimento asfáltico reciclado, rehabilitación, influencia, ambiental, económico.

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the influence of the environmental and economic evaluation of the recycling of hot asphalt pavements in the rehabilitation of roads in the year 2022 based on national and international research; the research study method was inductive with an applied orientation, of the descriptive type with an explanatory level and with a non-experimental, cross-sectional and retro-prospective design due to the fact that information from previous years was taken.

For the development of the research, data was taken from the optimal mix design with hot recycled asphalt pavements from the thesis entitled "Reuse of aged flexible pavement through the use of a hot mix asphalt processing plant for pavements in Huancayo", presented by the thesis student Chuman, J. (2017), in addition, 5 additional investigations were taken into account with the purpose of analyzing the economic and environmental part using recycling of hot asphalt pavements in a road rehabilitation to evaluate how it influences these areas.

Finally, it was concluded with the analysis of environmental and economic impact through the use of hot recycled asphalt pavements, which has a positive influence, improving the quality of environmental factors and reducing costs to provide recycling use in our country.

Key Words: Recycled asphalt pavement, rehabilitation, influence, environmental, economic.

INTRODUCCION

A nivel mundial la reutilización de todo el material tiene como finalidad reducir los factores negativos del medio ambiente y costos en la rehabilitación de la red vial, es por eso que es importante el reciclaje del pavimento asfáltico ya que puede resolver los impactos ambientales y económicos para generar una iniciativa del estudio validar la influencia de la evaluación ambiental y económica del uso de pavimentos asfálticos reciclados en caliente. Esta contribución permitiría rehabilitar vías de manera sostenible, considerando que se utilizará menos agregados vírgenes y la disminución de desechos en botaderos

El presente trabajo de investigación consta de la siguiente manera:

Capítulo I, se manifiesta el planteamiento y formulación del problema, objetivos tanto el general y específicos, importancia y justificación, delimitación de la investigación.

Capítulo II, presenta el marco histórico, los antecedentes de investigaciones nacionales e internacionales relacionados con el trabajo de investigación y las bases teóricas que respaldan la investigación.

Capítulo III, se presenta el sistema de hipótesis en la cual se formula la hipótesis general y las específicas, asimismo se define y describe las variables dependiente e independiente.

Capítulo IV, se define el diseño metodológico, el cual abarca el tipo y nivel de la investigación, diseño, población y muestra, las técnicas e instrumentos de la obtención de datos y las técnicas para su procesamiento.

Capítulo V, en este capítulo se determina la influencia ambiental y económica a través del análisis y resultados obtenidos con el uso de pavimentos asfálticos reciclados en caliente para la rehabilitación de vías, para ello se presentan cinco investigaciones tomadas, con el propósito de aportar e incentivar el uso de RAP (reciclado de pavimento asfáltico) existente en nuestro país, de este modo tener un enfoque más amplio de la viabilidad juntos a los beneficios que genera el uso del RAP y promover el uso de la técnica en caliente para rehabilitar vías. Finalmente se realiza la contratación de las hipótesis presentadas en la investigación.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Formulación y delimitación del problema

1.1.1. Descripción del problema

El tema de la rehabilitación de vías de pavimentos asfálticos es muy importante debido al estado crítico en que se encuentra una vía es por ello que se analiza las técnicas de pavimentación para buscar cual es la más factible y así ejecutarla. Como se sabe en el campo de ingeniería civil en el ámbito nacional se busca enfatizar el reciclaje de pavimentos asfálticos utilizando las técnicas en caliente in situ o en planta, estas dos técnicas forman parte del proceso de actividades de manera específica requiriendo maquinarias con las cuales se genera un nuevo pavimento asfáltico. Estas técnicas son aplicadas en diversos países del mundo debido a que permite reutilizar un porcentaje de material asfáltico para poder minimizar costos en el proceso constructivo y en la parte ambiental la reducción de materiales nuevos y también recortar la explotación de recursos en canteras y así evitar la contaminación ambiental.

Desde el punto de vista económico actual del país, se necesita soluciones que puedan ser viables y que impliquen un ahorro significativo sin que afecte la calidad y durabilidad de las obras.

Por esa razón en la presente investigación busca validar la influencia que puede generar la utilización de pavimentos asfálticos reciclados en caliente con el fin de garantizar la calidad de servicio del pavimento de forma técnica y social. (Aguilar & Infanzón, 2020)

1.1.2. Problema General

¿Cuál es la influencia de la evaluación del impacto ambiental y económico del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías?

1.1.3. Problemas Específicos

- a) ¿Cuál es la influencia de la evaluación del impacto ambiental del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías?
- b) ¿De qué manera influye el costo-beneficio en la evaluación económica del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías?
- c) ¿Cuál es el grado de influencia de la evaluación del impacto ambiental y económico del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías?

1.2. Objetivo general y específicos

1.2.1. Objetivo General

Determinar la influencia de la evaluación del impacto ambiental y económico del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías, año 2022.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Analizar la influencia de la evaluación del impacto ambiental del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías.
- b) Analizar la influencia del costo-beneficio de la evaluación económica del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías.
- c) Determinar el grado de influencia de la evaluación del impacto ambiental y económico del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías.

1.3. Importancia y justificación del estudio

La presente investigación nos permitirá evaluar la influencia de los beneficios ambientales y económicos de un pavimento asfáltico reciclado en caliente para su

reutilización en rehabilitación de vías y determinar el grado de influencia en relación costo-beneficio para investigaciones posteriores.

Sin embargo, en el Perú actualmente esta técnica de reciclaje de pavimento asfáltico en caliente no se lleva a cabo comúnmente en la rehabilitación de vías debido a que no se tiene datos relevantes y poca iniciativa, pero si se encuentra estudios y guías de este método que sin duda es una alternativa para disminuir el uso de materiales nuevos, reducir de explotación de canteras y la utilización de materiales químicos en la producción de una mezcla asfáltica virgen.

1.4. Delimitación de la Investigación

1.4.1. Limitaciones del estudio

La presente investigación será del índice documental o bibliográfica.

1.4.2. Limitaciones técnicas

Al ser una investigación bibliográfica se estará limitando a recopilar información de investigaciones anteriores, artículos, vídeos, fichas referentes a obras de rehabilitación de vías utilizando pavimento asfáltico reciclado en caliente.

Con la recopilación bibliográfica obtenida de nuestro tema estudio, nos limitaremos a la evaluación de estudios realizados y de los resultados obtenidos, con la finalidad de tener una herramienta que conlleve a conseguir los objetivos ya planteados en base a información teórica y detallada de la influencia ambiental y económica que genera el uso del reciclaje de pavimento en caliente.

1.4.3. Limitaciones económicas

Debido al tipo de investigación no presentará ensayos de ningún tipo, ni toma de datos en campo, por lo que no se presentarán gastos en gran magnitud.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio de investigación

La reutilización de pavimentos asfálticos además de ser una técnica aplicada al comienzo del siglo XX, se inició a desarrollar con mayor impacto en Estados Unidos. Inicialmente la técnica de la reutilización de pavimento asfáltico consiste en recoger material asfáltico y trasladar a una maquinaria por la cual se añaden material tanto virgen, rejuvenecedores, agentes suavizantes. Con la finalidad de lograr reintegrar tanto las propiedades químicas y físicas de un mismo asfalto. A lo largo del transporte de reciclaje para pavimentos asfálticos sucedió una nueva técnica para lograr realizar el método in situ aplicado en caliente o frío a través de la implementación de maquinarias en el lugar de trabajo. (Mendoza, Adame, & Marcos, 2020)

También se informan sobre la reutilización pavimento asfáltico en caliente dado que el reciclado en pavimentos no es una novedad hoy en día debido a que en países como: Estados Unidos se empezó aplicar a partir de 1965, a pesar de que fueron muy pocas obras que se realizaron debido a la disminución del costo del asfalto y no contaban con equipos adecuadas para aplicar en la reutilización de pavimentos. A pesar de que eran comienzos de los 70 's que el uso del reciclado empezó a tener mayor relevancia ya que, el costo de asfalto se incrementó. También se sumó a esta causa la crisis del petróleo a la vez hubo un interés por sostenimiento energético lo cual fomenta a Estados Unidos que se enfoque más en las técnicas del reciclaje. Lo que impulsó a que generé de 50.000 toneladas hasta 25000000 de material asfáltico. (Aguilar Saravia & Infanzón Reymundez, 2020).

Otros países también empezaron a reutilizar pavimentos asfálticos un ejemplo pionero es España no solo en carreteras sino también en aeropuertos, pistas deportivas, etc. Lo cual este proceso desde la parte ambiental y económico generó reducción de costos y menor explotación de canteras existentes (Alarcon, 2003, pág. 43)

Actualmente en Alemania se registra un aproximado de 60 millones de toneladas al año de reciclado de pavimento asfáltico lo cual se desarrolla en la parte

construcción, mantenimiento en carreteras y vías urbanas. Así como España, Alemania hay muchos países que aplican esto hoy en día con la finalidad de incluir las técnicas del reciclado para poder combatir la contaminación ambiental y reducción de costos. Artículo revisado de aplicaciones de ingeniería. (Torres et al., 2014)

2.2. Investigaciones relacionadas

2.2.1. Investigaciones internacionales

Según (Méndez, 2015) en su tesis “Evaluación Técnica y Económica del Uso del pavimento asfáltico reciclado (RAP) en vías colombianas” para optar el título de Ingeniero Civil.

El objetivo general fue evaluar las diferentes alternativas para ofrecer soluciones, así mismo convirtiendo el reciclado de pavimentos asfálticos en una solución para ventajas económicas como: costos, transporte y facilidad constructiva. De acuerdo con el análisis de resultados de la reutilización de pavimento asfáltico reciclado en mezclas asfálticas probablemente genere minimizar económicamente además en el análisis de costo -beneficio se consideran ahorro energético y de recursos. Se concluye que las técnicas en reciclado para pavimentos asfálticos en rehabilitación requieren estar atento al diseño y colocación en obra también hay se debe en cuenta las capas en rehabilitación debido a que las mezclas recicladas en buen desempeño podrían ocasionar problemas si el espesor no es lo requerido.

(Batz,2020) en su investigación del “Estudio del uso de pavimento asfáltico recuperado en mezclas asfálticas en caliente, reciclado en la ciudad de Guatemala” para optar el título de Ingeniero Civil.

El objetivo principal fue comprobar las características físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica con pavimento reciclado para verificar el comportamiento con agregados vírgenes. Según el estudio presentado por el investigador analizó muestras de mezclas bituminosas al añadir pavimento asfáltico recuperado en diferentes porcentajes. Como resultado de la investigación se obtuvo por medio del diseño de Marshall analizar el porcentaje de asfalto en

10 %, 20% y 30% en cada muestra tanto en mezcla virgen y recuperado concluyendo que el material recuperado contribuye una cantidad de mezcla asfáltica a nueva mezcla.

Otro antecedente de gran relevancia es “Análisis de Variación de los Costos Económicos y las Ventajas Ambientales, que tiene la Implementación de pavimentos asfálticos reciclados en la construcción de la vía distribuidora del sur en Envigado- Antioquía” presentada por (Del Pilar Álvarez et al., 2021).

En el menciona como objetivo principal el aumento de agregados reutilizables con técnicas en mezclas asfálticas en caliente in situ además determinar los beneficios económicos y ambientales al desarrollarse proyectos constructivos de una vía distribuidora del Sur en el municipio Envigado. Se concluye que el pavimento asfáltico reciclado en construcciones viales mejora costos – beneficios y conservación del medioambiente lo cual disminuye el depósito de materiales fresados es decir disminución de canteras. Además, se muestra que la técnica de pavimentos asfálticos en in situ reduce el impacto de la contaminación del suelo.

Según (Pastás, 2021) en su investigación del “Estudio y análisis de los procesos de obtención, almacenamiento y uso del material de pavimento asfáltico reciclado en las diferentes obras viales” para optar el título de Ingeniero Civil, en la Universidad de Antioquia.

En la presente investigación tiene como objetivo principal investigar los métodos de reciclaje del pavimento asfáltico tanto en su influencia ambiental y económica por lo cual se requiere hacer un estudio e investigación de información para lograr conocer los métodos y procesos de aprovechamiento de pavimento asfáltico. Esta investigación culmina con los beneficios tanto ambiental y económico del aprovechamiento del pavimento asfáltico lo cual se da en las técnicas de reciclaje en mezclas asfálticas disminuyendo gastos económicos en la movilidad de material logrando también reducción de explotación de canteras. Se concluye que hay posibilidad de reutilizar al 100% de material asfáltico.

2.2.2. Investigaciones nacionales

De acuerdo con (Aguilar Saravia & Infanzón Reymundez, 2020) en sus tesis “Aprovechamiento de material de pavimento asfáltico envejecido para reciclaje en caliente y reutilización en mezcla asfáltica en caliente”.

La investigación desarrollada busca el análisis de la reutilización de pavimento asfáltico en caliente basándose en estudios nacionales e internacionales además tomando en cuenta para dicha investigación datos de una propuesta técnica realizada en Perú. Se concluye con el análisis de resultados que se puede reutilizar pavimentos asfálticos debido a que se analizó el diseño de una carpeta de pavimento deduciendo que acortando el uso de la explotación de canteras por otro lado en la parte ambiental disminuye el debilitamiento de la capa de ozono.

Según (Santa Cruz, 2021) su tesis “Análisis de nuevas mezclas asfálticas en caliente utilizando material asfáltico reciclado de la Av. Andrés Avelino Cáceres- Provincia de Concepción 2020”. La investigación desarrolla el diseño mezclas bituminosas en caliente adicionando pavimentos reutilizables para una nueva combinación y evaluando las características del material asfáltico reciclado en pavimentos tradicionales para lograr determinar la forma de diseño y dosificación. Se finaliza a partir del resultado de los ensayos realizados concluyendo que son factibles para la elaboración de mezclas bituminosas en caliente integrando pavimento reutilizable en dicha avenida lo cual se puede insertar hasta el 40% de dicho material a una nueva mezcla.

(Soto, 2021) con su tesis “Diseño de mezcla asfáltica usando material reciclado para optimizar costos de materiales en el tramo km 18+000 al km 19+000 de la Av. Universitaria ubicado en el distrito de Los Olivos- Departamento de Lima” tiene como objetivo general determinar la cantidad de agregados a la mezcla asfáltica adicionando material reciclado para lograr optimizar costos económicos para dicho tramo. Además, se analizó los resultados obtenidos por ensayos. Finalmente se concluye comportamiento con agregados vírgenes. Se concluye de acuerdo con la investigación se

determinó que la reutilización de material reciclado genera un impacto ambiental y económico, en la parte ambiental no sobrexplotar las canteras y en la parte económica reducción costos.

Según (Chuman,2016) en su tesis “Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezclas asfáltica en caliente para pavimentos” para optar el título de Ingeniero Civil. Tiene como objetivo evaluar la reutilización del pavimento asfáltico flexible además tiene como propósito el presente proyecto de investigación, es la utilización de material reciclable para el uso en mantenimiento de vías, construcción de pavimentos flexibles mediante la producción de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente, a fin de reducir costos, contaminación ambiental y depredación de las zonas de extracción de material; correspondan a condiciones adecuadas como si los agregados sean nuevos.

(Chininin & Chafloque, 2021)en su tesis “Calidad y eficiencia del pavimento asfáltico reciclado para su reutilización en el diseño de mezclas de asfalto en caliente” tiene como finalidad el reciclado para luego reutilizarlo y transformado en asfalto bituminoso, en donde que pasar los años es una excelente alternativa para la conservación de caminos como estabilizador, donde se disminuye fuertemente consumo energético y el costo final del proyecto.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Pavimento Asfáltico

De acuerdo con (Vivar G.1995) citado (Vega.D, 2018) “Además, están conformados por una capa sutil de mezcla bituminosa constituida sobre una capa de base y una capa de subbase por lo común son sustancias granuladas. Estas capas reposan en una capa de suelo compactado, llamada subrasante. Por lo cual hay capas superiores donde se halla el máximo esfuerzo, se usan sustancias con mayor potencial de carga y en las capas inferiores donde las cargas son mínimas, se insertan materiales de menor fuerza”

El aprovechamiento de materiales con menor condición logra el uso de dichos materiales mostrando desempeños prácticos en el diseño del pavimento además permite el uso de materiales, generando diseños más prácticos. El pavimento asfáltico está conformado con materiales débiles y menos rígidos (que el concreto), más deformables, que transmiten a la subrasante las cargas de manera más concentrada, distribuyendo el total de la carga en menos área de apoyo. (Crispín Paucar & Helguero Calderón , 2019, pág. 39)

De acuerdo a Vivar.G (1995) citado (Vega.D, 2018) “Este tipo de pavimentos están contruidos de materiales naturales con las capas superiores con algún tipo de ligante (usualmente asfalto y / o levemente cementadas), sólo los pavimentos asfálticos pueden ser reciclados in-situ. Una vez que ha finalizado la construcción de una carretera, ésta se somete a las fuerzas destructivas o solicitudes del medioambiente y tráfico. Ambos factores actúan en forma continua, reduciendo la calidad de rodadura y la integridad estructural del pavimento”.

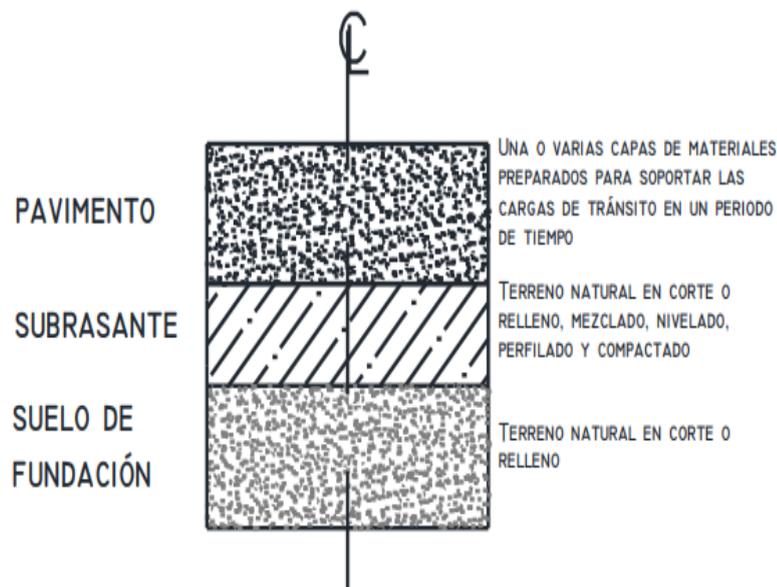


Figura N°1. *Conformación típica el pavimento como elemento estructural*
Fuente: VIVAR (1995)

Elementos que conforma el pavimento asfáltico

(Rodríguez & Rodríguez, 2004, p. 45) afirma que: “El pavimento asfáltico suele ser más rentable en el ámbito de la construcción debido a que su

duración de tiempo va en un rango de 10 a 15 años sin embargo requieren rehabilitación para poder concluir con su vida útil”. El tipo de pavimento se compone de la siguiente forma:

Carpeta Asfáltica: Es la parte superficial del pavimento ya que proporciona las principales funciones:

- Sirve como superficie de rodamiento.
- Es elaborado por material pétreo.
- Ser resistente a los esfuerzos generados por cargas.

Además, es muy importante saber la proporción de asfalto ya que, genera un contenido óptimo. Sin embargo, no puede ser muy gruesa debido a que genera más gastos económicos también puede provocar una pérdida de estabilidad. (Rodríguez & Rodríguez, 2004).

Base: Según (Manual de Carreteras, 2013) “Es la capa que se encuentra ubicado en la parte inferior de la carpeta de asfáltica además sirve como apoyo y emite los esfuerzos generados por el tránsito a las capas inferiores a la base”.

Sub-base: Esta capa cumple con una función económica ya que, ofrece la utilización de menor calidad de acuerdo con el porcentaje del espesor del pavimento es decir depende de la calidad y costo de material. Además, se puede usar la base o la sub-base dependiendo el tipo de construcción. También la sub-base sirve como capa de transición ya que actúa como un filtro que divide la base de la subrasante. (Rodríguez & Rodríguez, 2004).

Subrasante: (Batz, 2020) “Su finalidad es resistir las cargas que el tránsito transmite al pavimento, transmitir y distribuir las cargas al cuerpo del terraplén, evitar que los materiales finos plásticos del cuerpo del terraplén contaminen el pavimento y economizar los espesores de pavimento”.

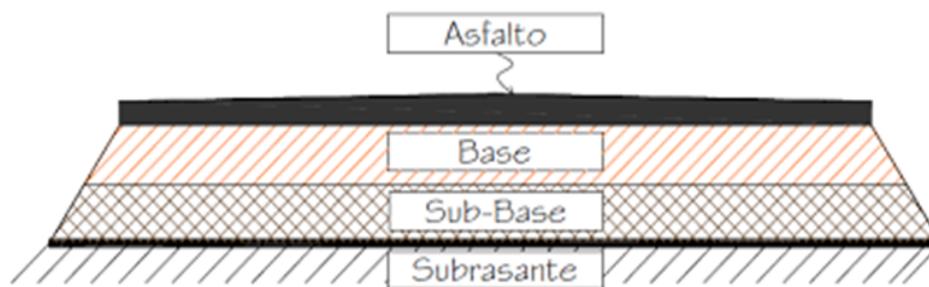


Figura N°2. Elementos que conforma el pavimento asfáltico convencional

Fuente: CASTRO (2003)

Materiales que conforma el pavimento asfáltico:

Los suelos pavimentados son ejecutados con materiales que permiten un alivio de agua y líquidos. Por otro lado, los materiales que conforman el pavimento asfáltico están compuestos por agregados, aglomerados con cemento asfáltico el cual debe ser colocado sobre superficies de apoyos, piedra chanchada proporcionando una superficie de carpeta asfáltica segura.

Los materiales más utilizados para este tipo de pavimento son el agregado fino y grueso, aglomerado asfáltico, agregados pétreos.

- a) Agregado fino: Se considera como tal, a la fracción que pase el tamiz de 4.75 mm (N° 4). Proviene de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas. El porcentaje de arena triturada no podrá constituir más del 30% del agregado fino.
- b) Agregado Grueso: Se denomina agregado grueso a la porción del agregado retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4). Dicho agregado deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas: sus fragmentos deben de ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables.
- c) Agregados Pétreos: El agregado pétreo proviene del latín petreus, es aquel material que proviene de la roca y es utilizado normalmente sin sufrir tantas transformaciones. En la mayoría de las ocasiones se encuentran en forma de macizos rocosos o en fragmentos de los mismos, pero en diferentes tamaños, conocidos como arena o grava. Estos materiales son usados casi

exclusivamente en el sector de la construcción.

d) Aglomerado asfáltico: Está compuesto por áridos, como piedra triturada y arena, y relleno mezclado con asfalto de petróleo. En la construcción de pavimentos, se utiliza no solo para la capa base y la capa superficial que componen la capa superior, sino también para la capa superior de la calzada, y se coloca plano y compactado con rodillos. (Rondón & Reyes, 2015).

Características del pavimento asfáltico:

De acuerdo con Humpiri (2015) citado (Montejo, 2002) “El pavimento asfáltico debe cumplir las funciones y características que permitan la ejecución de construcción”. Deben cumplir los siguientes requisitos:

- Tener una resistencia a las cargas sometidas por el tráfico.
- Tener una resistencia a los agentes de intemperismo.
- Tener una textura superficial óptima para las velocidades previstas de diseño para los vehículos.

Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.

Tener una regularidad óptima, para que brinde un confort de viaje a los usuarios. Debe ser durable y económico.

Tener características en condiciones de lluvia, una buena condición de drenajes.

Comportamiento del pavimento asfáltico:

El comportamiento de los pavimentos asfálticos comprende consideraciones de comportamiento funcional, estructural y de seguridad. En cuanto al comportamiento estructural, se relaciona con la condición física, la cual podría afectar, particularmente, la capacidad de soporte de la estructura del pavimento. Por ejemplo, el desarrollo de agrietamientos, fallas, fisuras, generadas por la falta de mantenimiento. El comportamiento funcional, se

refiere a que tan bien un pavimento asfáltico sirve al usuario. En ese sentido, la característica predominante es el confort o calidad de la transitabilidad. (Tafur G., 2005, p. 75)

Vida útil del pavimento asfáltico:

Los pavimentos siempre están en deterioro debido a al tráfico, los factores ambientales y otros. Al ser sometido por este tipo de factores hacen que se llegue a deteriorar y pueda estar en situación crítica hace que la vía sea intransitable e incómoda no solo para el transeúnte sino también para los vehículos debido a todo estos factores el deterioro de la estructura del pavimento se proponen mantenimientos aunque el mantenimiento no es una acción que se puede efectuar en cualquier momento, sino que es la acción que esta sostenida al tiempo de servicio del pavimento, la cual permite prevenir las deficiencias que se generan los agentes sobre el pavimento.

De acuerdo Humpiri (2015, pág. 19) citado (Menéndez, 2003) indica que el pavimento consta de cuatro fases, la cuales serán descritas a continuación:

Fase A: Se refiere a que “Un pavimento puede ser de construcción sólida o con algunos defectos constructivos. De todos modos, entra en servicio apenas se termina la obra. El pavimento se encuentra, en buenas condiciones para alcanzar plenamente las necesidades de los usuarios” (Humpiri, 2015, pág. 19).

Fase B: Deterioro lento y poco visible en la Fase B se puede establecer que: “Durante años el pavimento va experimentando un proceso de desgaste y debilitamiento lento, principalmente en la superficie de rodadura. Este desgaste se genera por los vehículos livianos y pesados que abordan el pavimento, también el desgaste se puede originar por otros factores como: el clima. Además, en la fase B no se visualiza el deterioro del pavimento (Humpiri, 2015, pág. 19).

Fase C: “A lo largo de los años el uso del pavimento asfáltico en la superficie de rodadura y otros elementos están más debilitados debido a que el pavimento entra en un período de deterioro acelerado y su refuerzo es

cada vez menos el tránsito vehicular. Los daños comienzan siendo puntuales y poco a poco se van extendiendo hasta afectar la mayor parte de la estructura del pavimento” (Humpiri,2015).

Fase D: En esta última fase se presenta la descomposición total de acuerdo a Humpiri (2015) señala que es “Esta fase constituye la última etapa de su existencia y puede durar varios años”. A lo largo del tiempo se lleva a cabo que el paso de vehículos se entorpece ya que, se genera una velocidad de circulación baja. Como se observa en la figura 3.



Figura N°3. Fases de un pavimento sin mantenimiento o rehabilitación
Fuente: MENÉNDEZ (2003)

Fallas existentes en pavimentos asfálticos:

Las fallas en los pavimentos pueden ser de dos tipos (Montejo Fonseca, 1998): Las fallas superficiales son aquellas que abarcan el deterioro de la superficie de rodadura causado por fallas de la capa asfáltica y no tiene relación con la estructura de la calzada. La reparación de estas fallas se hará con la regulación de la superficie además de otorgar la necesaria impermeabilidad y rugosidad. Se resolverá con capas finas que aportan poco desde un punto de vista estructural en forma directa.

Las fallas estructurales son aquellas que consiste en el deterioro de la superficie de rodadura donde su inicio es una falla en la estructura del

pavimento, de una o más capas que constituyen en el pavimento y necesitan soportar el tránsito y factores climáticos.

Para reparar este tipo de falla se necesita un refuerzo en el pavimento existente para que la estructura manifieste a las exigencias del tránsito. Es necesario el diseño de una nueva estructura formada por subrasante - refuerzo - pavimento antiguo. Tomando en cuenta que el pavimento contiene cierto componente estructural contando con una capacidad aspirar como energía elástica potencial de deformación impuesto por la carga circulante del ciclo de vida útil. Además, dicha energía se ha generado durante el tiempo ejecutado por la carga, es decir, la falla es el resultado de dos causas fundamentales (Montejo Fonseca, 1998)

a) Si la capacidad mencionada es reducir más allá de la cantidad que determinan las deformaciones recuperables por elasticidad instantánea y prolongada, se desarrollan deformaciones permanentes en cada aplicación de las cargas, las que se acumulan corrigiendo los perfiles de la calzada hasta valores que resultan imposibles para la comodidad, seguridad y rapidez del tránsito y aún pueden provocar el colapso de la estructura del pavimento. (Montejo, 1998).

b) Si la capacidad mencionada no es traspasar, pero las deformaciones recuperables son elevadas, los agregados y en particular las capas asfálticas sufren del agotamiento del esfuerzo llamado fatiga esto se debe a los esfuerzos elevados de cargas que generan una reducción de características mecánicas ya que puede exceder el límite criterio lo cual se podría generar un fisuramiento (Montejo, 1998).

Causas de fallas en pavimentos asfálticos

De acuerdo (Valeriano,2000) "Las causas de las fallas en pavimentos asfálticos se originan por el tipo de degradación en el cual varia por el orden cuantitativo, cualitativo o aleatorio". En la figura N°4 se muestra las causas principales y a continuación se hace una descripción de estas:

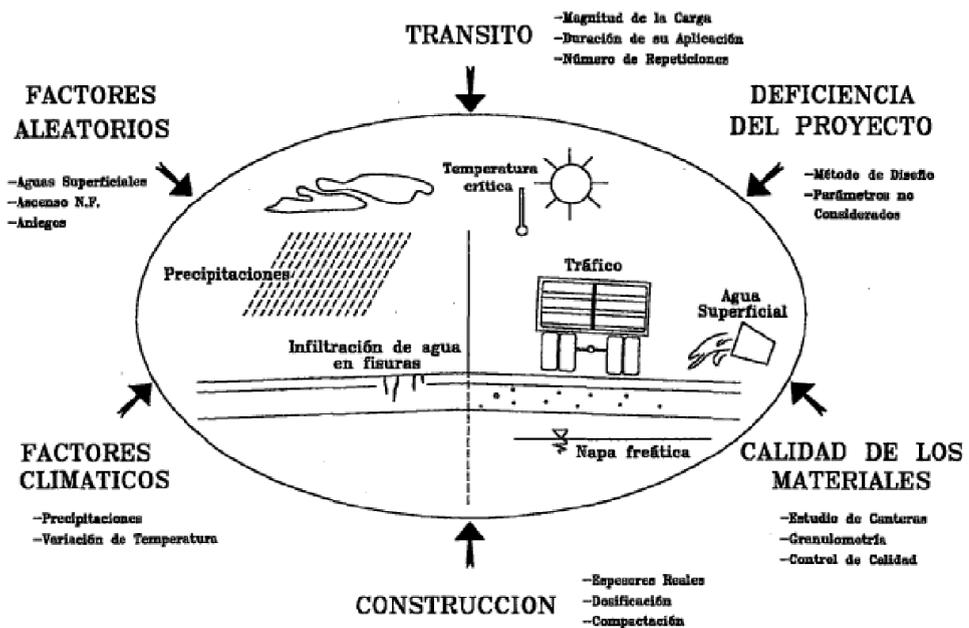


Figura N°4. Causas de fallas en pavimentos asfálticos

Fuente: VALERIANO (2000)

Del mismo modo (Ramos y Ramos 2018) en su investigación define a las causas de fallas en pavimentos asfálticos de la siguiente manera:

Tráfico de diseño: Falla por efecto de cargas mayores con respecto a la carga del diseño con el cual fue proyectado. En muchas oportunidades se hace el diseño del pavimento con estudios de tráfico incorrectos los cuales son los causales de que falle el pavimento, por otro lado, también se debe al incremento de tráfico con el pasar de los años.

Proceso constructivo: Son fallas que se generan por un deficiente proceso constructivo en su ejecución, o el mal empleo y clasificación de los materiales.

Los cuales ocasiona que sea una estructura débil, por efecto de las incorrectas implementaciones de la base y la sub-base, diseños inadecuados de la carpeta asfáltica y generalmente en la mala distribución del material y su defectuosa compactación de la base y subbase.

Deficiencias de proyecto: Estructuras de pavimentos mal elaborados en el proceso de implementación del estudio, mala elaboración de estudio de

mecánica de suelos, asignación de recursos humanos no capacitados en el proceso del estudio y por no haber previstos las futuras imprevisiones en el proceso constructivo.

Factores ambientales: Elevación de la napa freática, inundaciones, lluvias, congelamientos y otros.

Conservación deficiente: La elaboración de los estudios hidrológicos y no tener en cuenta la capa freática, lluvias, nieves, granizos, el efecto de congelamientos y otros aspectos.

Factores Aleatorios: Algunos factores que no son manejables cuantitativamente pero que deben de tomarse en cuenta en el diseño son: los aniegos, saturación de la estructura por fugas en las redes de agua y desagüe, y uno muy importante pocas veces considerado como es el aspecto social: aguas negras y desperdicios orgánicos arrojados sobre el pavimento, el cual depende del nivel socioeconómico-cultural, predominante en los distritos populares. (Tacza y Rodríguez, 2018).

Diseño de las mezclas asfálticas en caliente usando el método Marshall

El método de Marshall consiste sobre el diseño y formulación de mezclas asfálticas en caliente Según el MTC (2013) fundamenta que los ensayos cumplan con la resistencia de mezclas bituminosas mediante la aplicación del método Marshall. Es por ello que este diseño se forma a través de probetas o muestras cilíndricas de 2 1/2 " pulgadas de altura y 4 pulgadas de diámetro con diferentes porcentajes de contenido de asfáltico reciclado. (Gallardo, 2019).

Además, se proponen las características volumétricas de las probetas o muestras:

- Medición del peso específico aparente.
- Cálculo de porcentaje de vacíos de aire
- Cálculo de porcentaje de vacíos del mineral.
- Cálculo de porcentaje de vacíos presente en el cemento asfáltico.

Posteriormente las probetas son ensayadas con el aparato marshal para obtener los siguientes datos:

Estabilidad (kg), es en donde se presentan las probetas con una carga máxima que soporta la muestra antes de llegar a su punto de quiebre; una vez que haya llegado a dicho punto.

Después de eso se mide el flujo(pulg), el cual se determina por la disminución del diámetro vertical de la muestra.

Una vez que ya se tenga los resultados de la estabilidad y flujo el método Marshall da los resultados en forma de curvas como se puede mostrar.

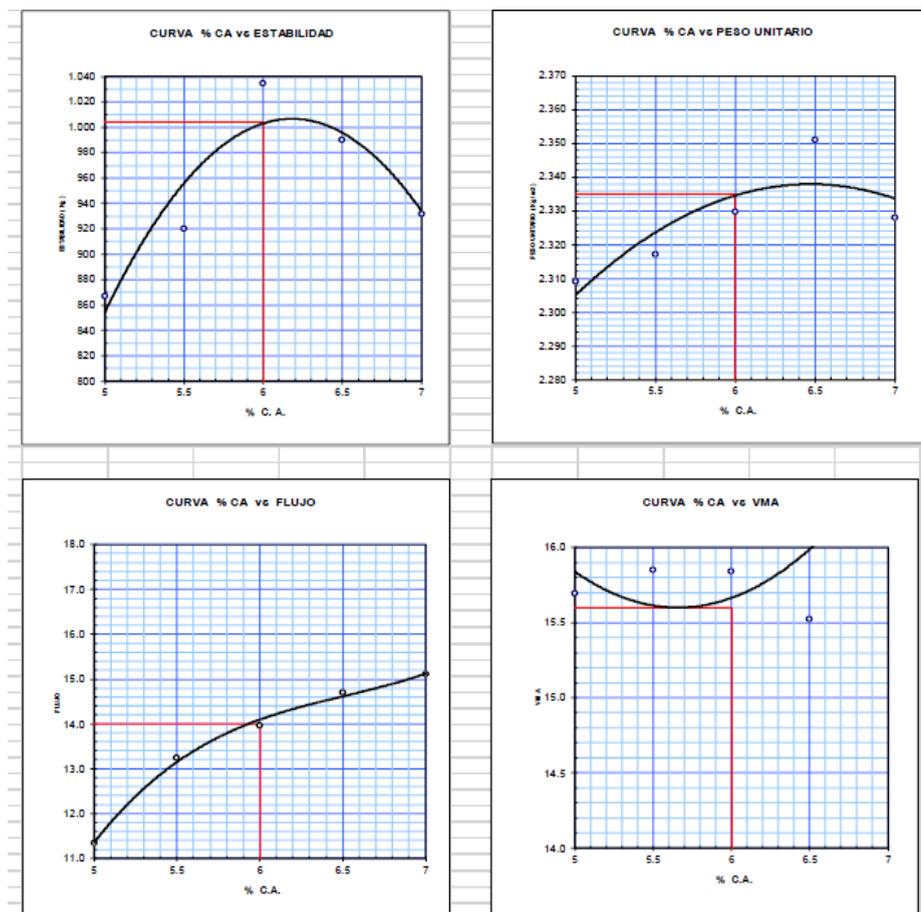


Figura N°5. Curvas Marshall

Fuente: Chuman (2017)

Como se aprecia en las imágenes se comparará el porcentaje de cemento asfálticos presente en cada muestra con respecto a las siguientes magnitudes: el peso específico, la estabilidad, el porcentaje de vacíos, los vacíos llenos con C.A, el porcentaje de vacíos mínimos del agregado mineral y la fluencia.

Después de ellos se realiza la comparación de resultados por la prueba Marshall con las especificaciones establecidas para el pavimento asfáltico. Con la finalidad de determinar la cantidad de asfalto aplicado en la muestra correcta.

Ensayos de laboratorio:

En base al MTC (2013) detalla a través de especificaciones técnicas propuestas, la forma correcta del desarrollo y la elaboración de estos.

- Extracción de asfalto en mezclas para pavimentos.
- Análisis mecánico de los agregados extraídos.
- Análisis granulométrico.
- Resistencia de mezclas asfálticas bituminosas.

Propiedades para los ensayos aplicados con el Método Marshall

Las principales propiedades que se presentan en las mezclas asfálticas y que son la permitirán su aplicación. Estas propiedades juntamente con los factores pueden influir en ellas. (Ibarra, 2013)

Estabilidad: Es la capacidad de soportar cargas del tráfico y resistir las tensiones provocadas con deformaciones tolerables es decir principalmente la cohesión y grado de rozamiento interno de las partículas. La cohesión aumenta con la viscosidad del betún y descende con la angulosidad de las partículas. (Ibarra, 2013)

La combinación entre fricción y cohesión interna evita que las partículas de

agregados se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico. (Ibarra, 2013)

Durabilidad: El envejecimiento de las mezclas asfálticas se manifiesta por micro fisuras, pérdidas de mortero, etc. Es por ello que debido a la variedad de causas provocadas y la dificultad para definir los procesos que producen. Algunos de los procesos irreversibles y otros pueden minimizarse mediante el uso de agente rejuvenecedores que actúan sobre el ligante de la mezcla. Otra manera sería mejorar la durabilidad utilizando una mayor cantidad de betún, con una granulometría densa y buena adhesividad.

Impermeabilidad: Se relaciona con el contenido de huecos de la mezcla compactada, a pesar del grado de impermeabilidad viene determinado por el tamaño de huecos presentados por el acceso que tiene la superficie del pavimento. Es decir, una mezcla mal compactada y con bajo contenido de betún facilitarían el acceso de agua y aire. Sin embargo, esta impermeabilidad no tiene por qué estar confiada a la capa de rodadura, habiéndose desarrollado para ello las denominadas mezclas porosas en las que la impermeabilidad se garantiza mediante la capa inferior. Méndez (2015)

Trabajabilidad: La trabajabilidad depende del tipo de árido y de su granulometría. De esta manera, la tendencia a la segregación de una mezcla gruesa puede disminuirse mediante la adición de un agregado fino o mayor contenido de ligante, procurando que también se verifiquen los criterios de contenido de huecos y estabilidad. El exceso de relleno mineral contribuirá a una mayor viscosidad de la mezcla complicando así su compactación. (Ibarra, 2013)

Resistencia a la fatiga: La resistencia a la fatiga se define como la resistencia a la rotura a flexión bajo el efecto de cargas repetidas del tráfico, manifestada por una pérdida de rigidez y posteriormente por una fisuración

generalizada conocida como “piel de cocodrilo”. También se puede definir como la alteración producida en la respuesta de deformación bajo los efectos de la repetición periódica de una sollicitación inferior a la de rotura. Chuman (2017)

2.3.2. Tecnología del reciclaje en pavimentos

asfálticos

Reutilización de pavimentos asfálticos:

La reutilización de pavimentos asfálticos se acostumbra a incluir en la estructura de una vía además se incorpora en la composición de un nuevo pavimento. Como se sabe que el reutilizado de pavimentos asfálticos son aquellos que han concluido con su vida útil, ya que es retirado y reprocesados con material agregado.

También para el proceso de reciclaje de pavimentos se realiza el fresado para una rehabilitación de vías.

Debido a ello se retiran las capas asfálticas que se encuentran en mal estado ya que posteriormente se mejorará para disminuir el ahuellamiento.

Así mismo también produce una nueva capa asfáltica cumpliendo con las condiciones de la norma técnica para realizar un proyecto. Para lograr con el reciclado de pavimento se necesitan dos requisitos:

- El grosor del revestimiento reutilizado.
- Calidad del material asfáltico.

Los requisitos mencionados son importantes para establecer la vida útil del reciclado de pavimento asfáltico mejoramiento. Para lograr un mejor aprovechamiento de pavimento reutilizado se necesita una buena planificación en construcción. (Chicaiza, 2013).

Proceso para obtener pavimentos asfálticos reciclado

Para obtener el pavimento asfáltico reciclado como material, tenemos dos técnicas: el fresado y la escarificación. Estas técnicas cuentan con ciertas

diferencias según su ejecución y uso los cuales se explicarán a continuación, asimismo ambas son efectivas en gran medida.

Escarificación:

Con este proceso se desprende el material de la carpeta asfáltica que se encuentra en servicio y con rasgos de deterioro, hasta la subrasante, usando un escarificador el cual está ubicado en una motoniveladora, maquinaria efectiva para retirar material existente. Por otro lado, se puede realizar el proceso de escarificación con la pala de la excavadora adaptándose como una herramienta escarificadora, sin embargo, la precisión es menor, ya que estas maquinas no cuentan con las características de una motoniveladora la cual se encuentra diseñada para nivelar las vías. Finalmente, el material obtenido se procede a retirarlo, tratarlo y reutilizarlo. (Carrión, y otros, 1999)

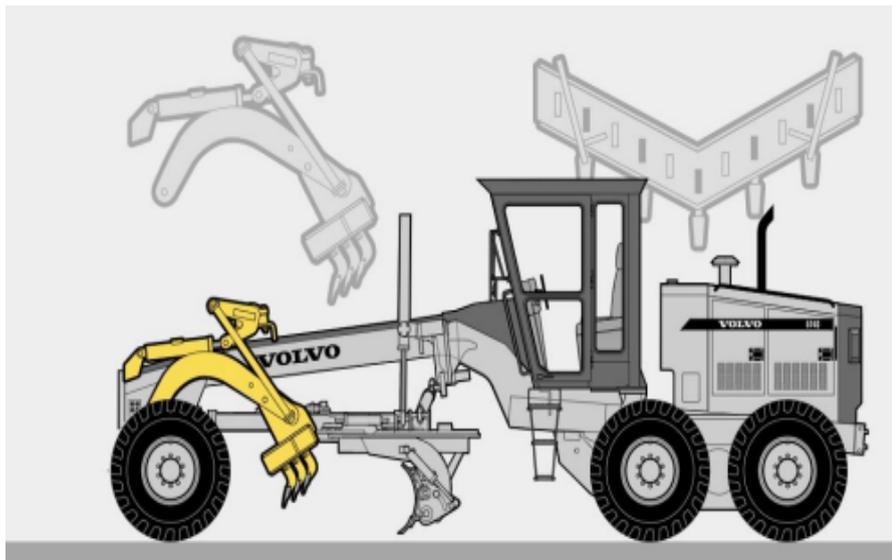


Figura N°6. Motoniveladora con escarificador

Fuente: Volvo.com

Fresado del pavimento asfáltico:

A través de este proceso del mismo modo se logra recibir materiales asfálticos en los revestimientos según el encargado de la obra ya que, la utilización de máquina fresadora implica que el rodillo triture los materiales que se encuentran en dicha zona para poder lograr la disminución del

pavimento asfáltico. Esta técnica se hace con alta precisión y con una estupenda potencia que se realizará en campo. (Galindo, 2019)

A su vez, este proceso del mismo modo se usa para potenciar el perfil de la calzada y la pendiente transversal de ser necesario. Por otro lado, hay que considerar que la profundidad de fresado podrá variar en un mismo sector de vía. Es menester mencionar que un espesor variado puede repercutir la estructura del pavimento y a la consistencia del material molido. (Batz, 2020)



Figura N°7. *Recolección por medio de fresado*

Fuente: Proceso del reciclado de pavimentos asfálticos en México

Almacenamiento del pavimento asfáltico reciclado:

Cuando el pavimento se encuentra en condiciones dañado posteriormente es llevado a la zona en la cual se recauda el material en un buen estado. Un ejemplo es tener el material asfáltico en un lugar al aire libre para poder reducir su calidad y condiciones mecánicas para que posteriormente esté expuesto por mucho tiempo. Estas técnicas permiten unificar y clasificar los materiales, designación del material, etc. (Pastás, 2021)

El reciclado pavimento asfáltico al ser obtenido según el proceso empleado tiene una alta variabilidad, por lo que se debe adoptar técnicas que posibiliten la homogeneización del material, clasificándolos en diferentes grupos, colocándolos en zonas cubiertas, definiendo las características del material y descontaminando cada zona, manteniéndolas en superficies

pavimentadas con cierto desnivel que permitan el drenaje de agua. (Leiva & Vargas, 2017)

Es necesario mencionar la correcta implementación del pavimento asfáltico reciclado, dentro de una nueva mezcla asfáltica asocia el uso de técnicas adecuadas para el almacenamiento y procesamiento del material reciclado, en busca de lograr un material más homogéneo. Por lo que se considera que, si se tiene almacenado el material reciclado a largo plazo, puede acelerarse la oxidación del material debido a que se encuentra expuesto al aire (Macmillan & Palsat, 1985), es por ello que se debe tener un control de las zonas de almacenamiento del pavimento asfáltico reciclado según como se visualiza en la figura:



Figura N°8. *Almacenamiento del pavimento asfáltico reciclado.*

Fuente: Mezclas asfálticas con rap: pavimentos asfálticos reciclados.

Técnicas de reutilización de pavimentos asfálticos:

Las técnicas usadas en los daños de una carpeta asfáltica se arreglan insertando un refuerzo de material virgen. Debido a que se saca el grosor fallido y se colocan nuevas mezclas asfálticas. Estas técnicas se usan en pavimentos dañados también en materiales que ya han cumplido su vida útil

o que han sido dañados por otras sustancias. (Quesada, 2004)

Las técnicas se distinguen de la siguiente manera:

Reciclado in situ en caliente:

A través de este método de reciclaje en pavimentos asfálticos en caliente se realiza con máquinas de fresado lo cual ayuda con el retiro del material. Una vez que se ha utilizado la fresadora se comienza a mezclar el material con agentes rejuvenecedores para lograr un nivel óptimo después expandirse a lo largo de la zona para luego compactar. (Quesada, 2004)

Reciclado in situ en frío:

Para el proceso de la técnica in situ en frío consta del fresado de una sustancia prevaleciente y mezcla con un ligante que puede contener un conglomerante a través de una máquina multiuso que funciona a una temperatura ambiente. Este tipo de método se puede reciclar hasta el 100% además tiene las mejores propiedades mecánicas que posiblemente pueden cambiar su uniformidad del material. (Quesada, 2004)

Reciclado en planta:

Para este tipo de técnica se puede realizar en caliente o frío el proceso consiste en retirar el material de la vía para poder mover al centro de planta para llevar a cabo todo el procedimiento como moler y lograr una uniformidad tanto en caliente con material pétreo virgen o en frío. Luego se obtiene una mezcla asfáltica consistente para insertar en la zona de construcción. (Restrepo & Stephens, 2015).

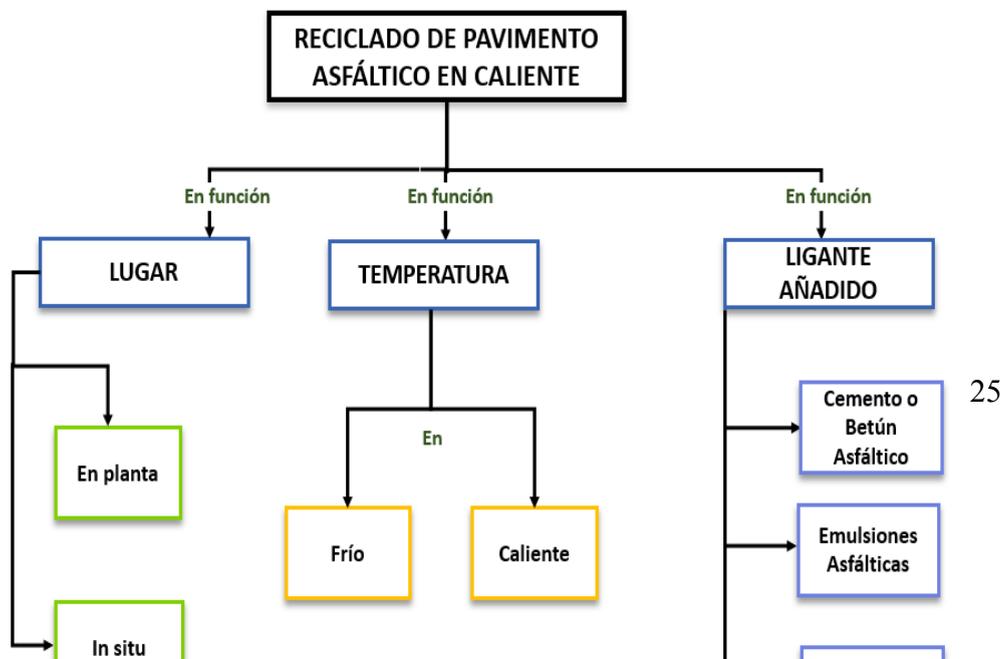


Figura N°9. *Reciclado de pavimento asfáltico según su función*

Fuente: Elaboración Propia.

Rehabilitación de vías con pavimento asfáltico reciclado:

Para las rehabilitaciones de vía este método se realiza con el aprovechamiento de pavimento asfáltico derivado de capas de pavimento para han sido utilizados o han cumplido su vida útil para eso necesitas agentes rejuvenecedores que se dan en los procesos del reciclado. (Castillo, 2013)

Técnicas de rehabilitación Superficial:

La técnica de rehabilitación superficial se realiza por tramos usando el método de reciclado en caliente para dicha zona. Para esta técnica se realiza por tramos sustituyendo la carpeta asfáltica mediante el fresado y añadiendo la mezcla nueva. El desarrollo estructural en secciones es igual con una finalidad de vida útil de rehabilitación de 10 años por dos tramos. Para esta circunstancia el precio inicial del tramo utilizando reciclados es 23% menor al tramo de sustitución en carpeta asfáltica. Cabe resaltar que los riesgos de seguridad para el usuario son menores debido a que se realiza paso a paso.

Remezclado:

Se utilizan cuando es necesario cambiar propiedades mecánicas ya existentes para lograr corregir en la carpeta asfáltica. Dichos cambios se dan en el agregado, grado de asfalto, propiedades de la mezcla.

Repavimentación:

Se emplea si no se logra restaurar el perfil del pavimento con las técnicas mencionadas anteriormente. Asimismo, se debe evaluar los requerimientos de la superficie como la fricción

Fallas tratadas con pavimento asfáltico reciclado:

Generalmente la aplicación de este tipo de reciclaje de pavimentos es para corregir problemas de orden superficial, es decir, los que están derivados del envejecimiento del ligante, pérdida de textura o pulimiento de los materiales

pétreos. No se busca con esta técnica mejorar la capacidad estructural del pavimento. La aplicación de esta técnica está encaminada a mejorar las características superficiales del pavimento, por lo tanto, su campo de acción se encuentra en espesores de 8 cm.

En el siguiente cuadro se visualiza cada uno de los síntomas y la posible solución que brinda esta técnica de reciclaje.

Tabla N°1. Fallas tratadas con pavimento asfáltico reciclado en caliente

SÍNTOMAS	SOLUCIÓN CON EL RECICLADO
Fisuras en la carpeta asfáltica	Las fisuras son eliminadas
Perdida de adherencia en el agregado pétreo	Mezclado y recubierto con ligante
Desniveles y resaltos hasta 6cm en la carpeta asfáltica	Escarificación y renivelación de la carpeta asfáltica
Perdida del drenaje superficial	El bombeo y las mezclas drenantes son reacondicionadas
Perdida de viscoelasticidad del asfalto	Restablecida por medio de rejuvenecedores
Cambio en la granulometría	La gradación es restablecida
Perdida de transitabilidad y confort	Mejora la resistencia al deslizamiento

Fuente: Repaving (2010)

2.4. Procesos del reciclado de pavimento asfáltico en caliente

Las plantas discontinuas y las plantas continuas de tambor-secador-mezclador, son las indicadas para preparar mezclas de alta calidad utilizando mezcla reciclada siempre y cuando se tomen ciertas precauciones para evitar problemas. A continuación, se describen brevemente y de forma general los diferentes tipos de plantas y los procedimientos que deben emplearse para la fabricación de mezclas recicladas en caliente:

Plantas discontinuas: Existen métodos para la reutilización de mezcla asfáltica en una planta asfáltica discontinua, y en todos los casos es necesario sobrecalentar la árida virgen. Una mayor humedad y un porcentaje más alto de utilización de este requerirán temperaturas proporcionalmente más elevadas en el material virgen. A menos que la mezcla asfáltica reciclada esté extremadamente seca no pueden

utilizarse proporciones de superiores al 40% en este tipo de plantas. El sobrecalentar las áridas vírgenes a temperaturas muy altas hace que el acero del secador se caliente mucho más de lo normal, lo que podría dañar el tambor. La solución estaría en utilizar un secador enfriado por aire, pero su utilización, además de encarecer la instalación solo permitiría utilizar proporciones ligeramente superiores al 40%, lo que no justifica la inversión.

El primer método para la fabricación de mezclas recicladas en caliente en una planta discontinua consiste en introducir la mezcla asfáltica reciclada en la funda del elevador caliente junto con la árida virgen sobrecalentado. A medida que el agua se va evaporando, se genera vapor, el cual es extraído de forma continua por el sistema recolector existente en la torre dosificadora. Este método no causa problemas de emisión. Sin embargo, únicamente deben utilizarse proporciones bajas a menos que la tela de la criba de la plataforma inferior exceda de 5 a 6mm. El uso de porcentajes más altos con menos de 5mm de tela de cribado produce una composición pegajosa que, a menudo, destruye o ciega la criba. (Ibarra,2013)

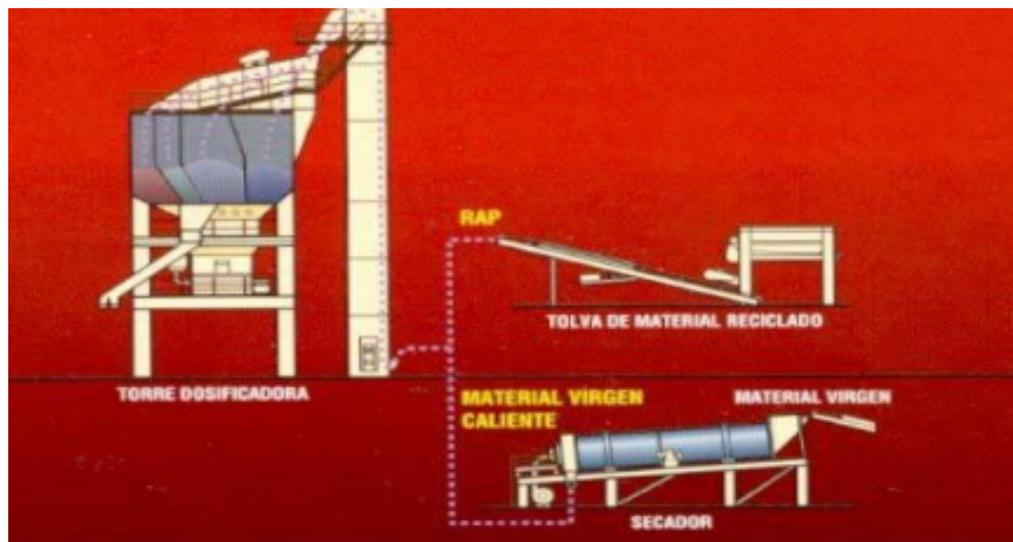


Figura N°10. *Planta discontinua con ingreso de RAP en elevador caliente*

Fuente: ASTEC (1998)

Otro método incorpora un secador separado utilizado para recalentar el pavimento asfáltico reciclado. En la actualidad se utiliza principalmente en países de Europa, comparándolo con el sistema anterior, tiene la ventaja de poder utilizar

proporciones de RAP más altos entre 35% y 40%. En estas plantas, los gases del pre-secador son utilizados como aire secundario y se conduce hacia el secador del agregado virgen, el cual consume el humo para evitar emisiones contaminantes.

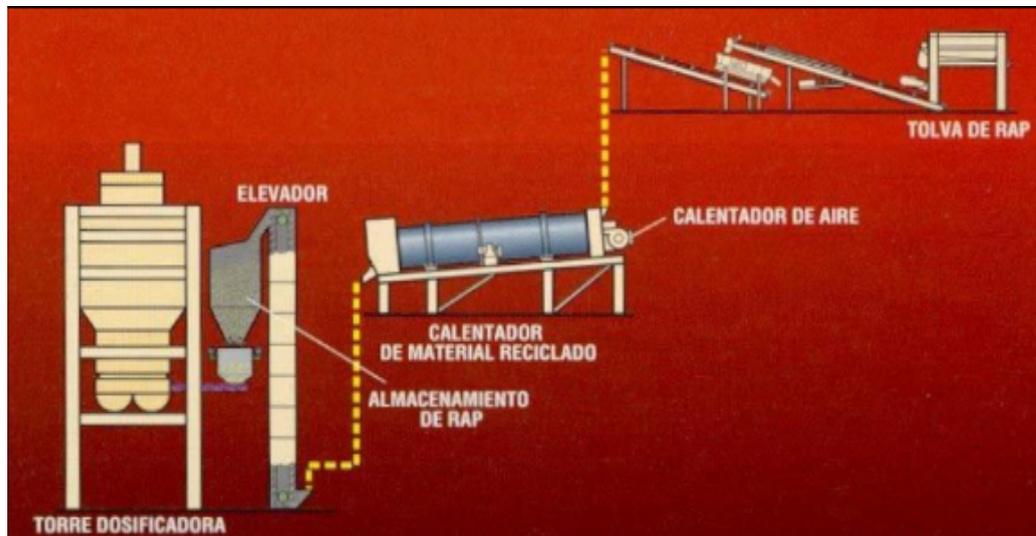


Figura N°11. *Planta discontinua con doble tambor secador para calentamiento del RAP*

Fuente: ASTEC (1998)

Plantas continuas de tambor secador-mezclador:

De acuerdo con ASTEC (1998), las plantas de tambor secador-mezclador, son capaces de manipular mezcla reciclada, aunque cada fabricante presentará variaciones de cada uno de estos tipos. En primer lugar, están las plantas con mezclador de flujo paralelo con un tambor con anillo de entrada central, fueron utilizadas principalmente en las décadas de las 70 y 80 con eficacia, pero no pasaron las estrictas normas de emisión de gases que se fueron implantando en años posteriores. Usaban hasta el 25% mezcla sin producir humos.

En segundo lugar, están las plantas con secador de flujo paralelo con mezclador independiente. También son conocidas como plantas de mezclador Drum Mix Coater I, y tuvieron su apogeo en la década de los 80. Podían utilizar del 30 al 35% de RAP sin producir humo. Sin embargo, tampoco llegaron a superar las nuevas normativas. (Ibarra,2013)

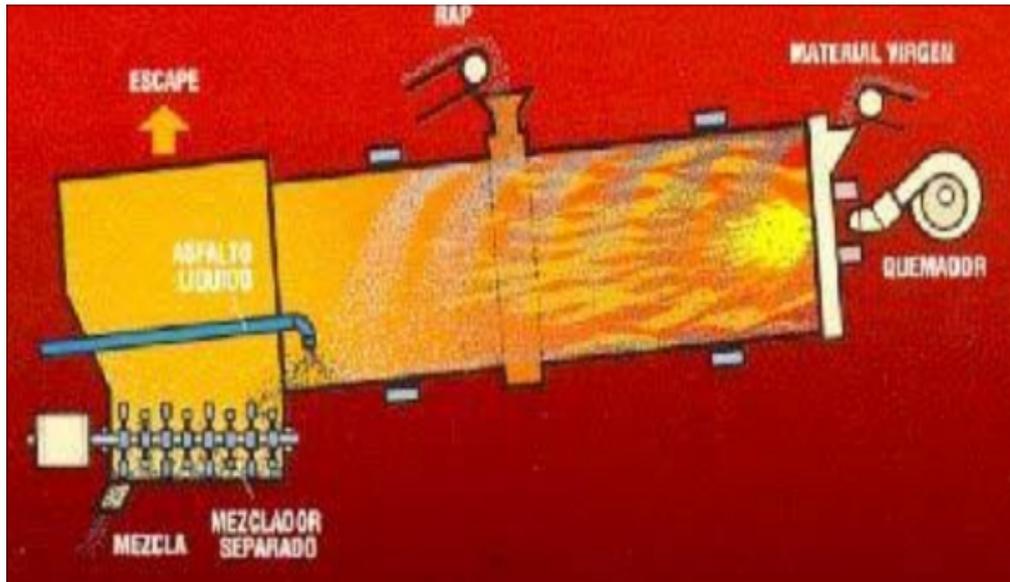


Figura N°12. *Planta continua con secador de flujo paralelo con mezclador separado*
 Fuente: ASTEC (1998)

Posteriormente aparecieron las plantas con secador de contraflujo y un mezclador continuo, que se denominaron plantas de mezclador Drum Mix Coater II y que permiten utilizar del 35 al 50% de RAP. En estas plantas, ni el líquido virgen ni el RAP se exponen al vapor o a las altas temperaturas durante el proceso de secado. Producen mezclas de excelente calidad hasta con un 40% de RAP y cumplen con todas las normas de emisión de gases. (Ibarra,2013)

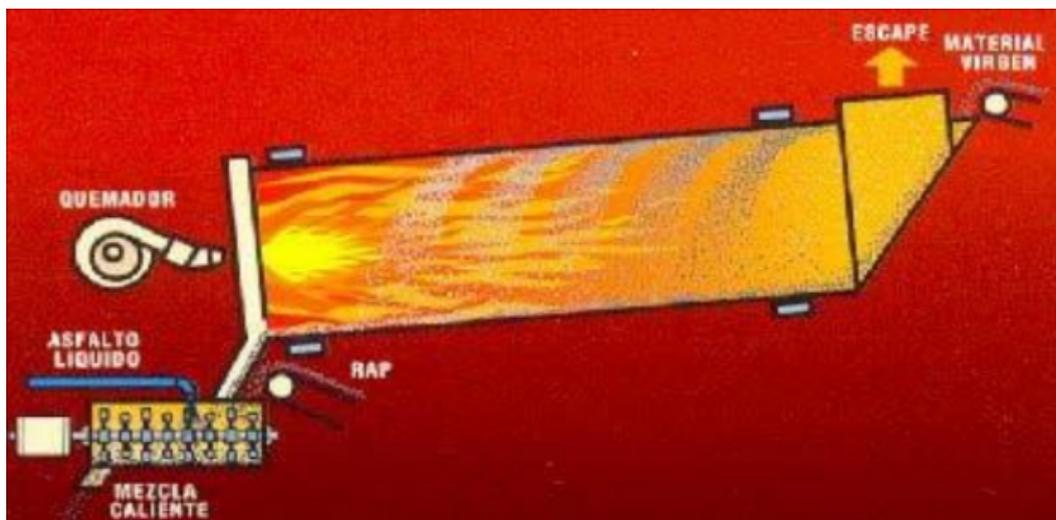


Figura N°13. *Planta continua con secador de contraflujo con mezclador separado*
 Fuente: ASTEC (1998)

2.4.1. Tipos de procesos aplicados en caliente

Proceso para la reutilización de pavimento asfáltico en caliente In situ:

Para realizar un procesamiento de pavimento asfáltico en caliente in situ se requiere el uso de fresadoras que utilicen calefactores que aportan una mejora en la extracción del material reciclado. Luego de tener fresado la superficie se mezcla el material reciclado con betún y de ser necesario aditivos rejuvenecedores que aportan a una tener las condiciones ideales del pavimento. Este proceso no necesariamente requiere de agregados pétreos vírgenes y cuando la mezcla es vertida se debe realizar la compactación. (Quesada, 2004).

Para el proceso de la ejecución de dicha técnica consiste en lo siguiente:

- Máquina precalentadora.
- Una fresadora.
- Vertimiento de un nuevo material.
- Una mezcladora.
- Una máquina pavimentadora.
- Compactadora.
- La utilización de un tren de actividades como el presentado en la Figura 13. Este tren de actividades consta de utilizar dos precalentadores (equipo 1) el cual es colocado en la vía para aumentar la temperatura hasta la profundidad deseada con la finalidad de aflojar el asfalto. (Pérez 2020)



Figura N°14. *Pre calentadora*

Fuente: PÉREZ (2020)

Luego se procede a utilizar un escarificador o fresador (equipo 2), 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.

Vertimiento de nuevo material (equipo 3) 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 N°15. *Fresadora o Miller*

Fuente: PÉREZ (2020)

Equipo mezclador (equipo 4) y pavimentadora (equipo 5). El material se agrega al a la tolva de la Mixer para su mezcla con las características particulares de granulometría y contenido de asfalto, para ser incorporado con el material recuperado, siendo mezclados ambos la tolva del Mixer para crear una homogeneidad en la mezcla final y depositarla en la tolva de la extendedora.



Figura N°16. Mezcladora

Fuente: PÉREZ (2020)

Compactadores (equipo 6) La mezcla final se deposita en la extendedora (Finisher) para ser tendida y compactada dando cumplimiento en la curva de diseño óptimo según el diseño Marshall. (Pérez 2020)

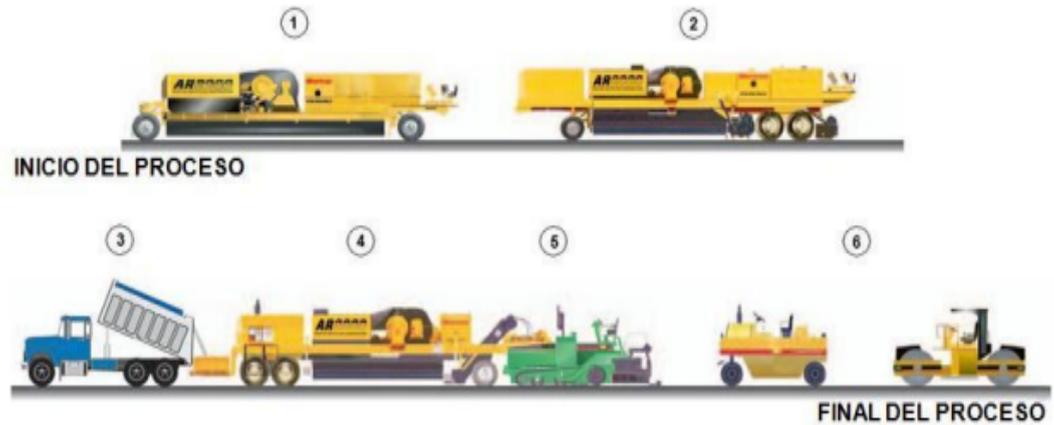


Figura N°17. Proceso de reciclado de pavimento asfáltico en caliente in situ

Fuente: MARTEC (2010)

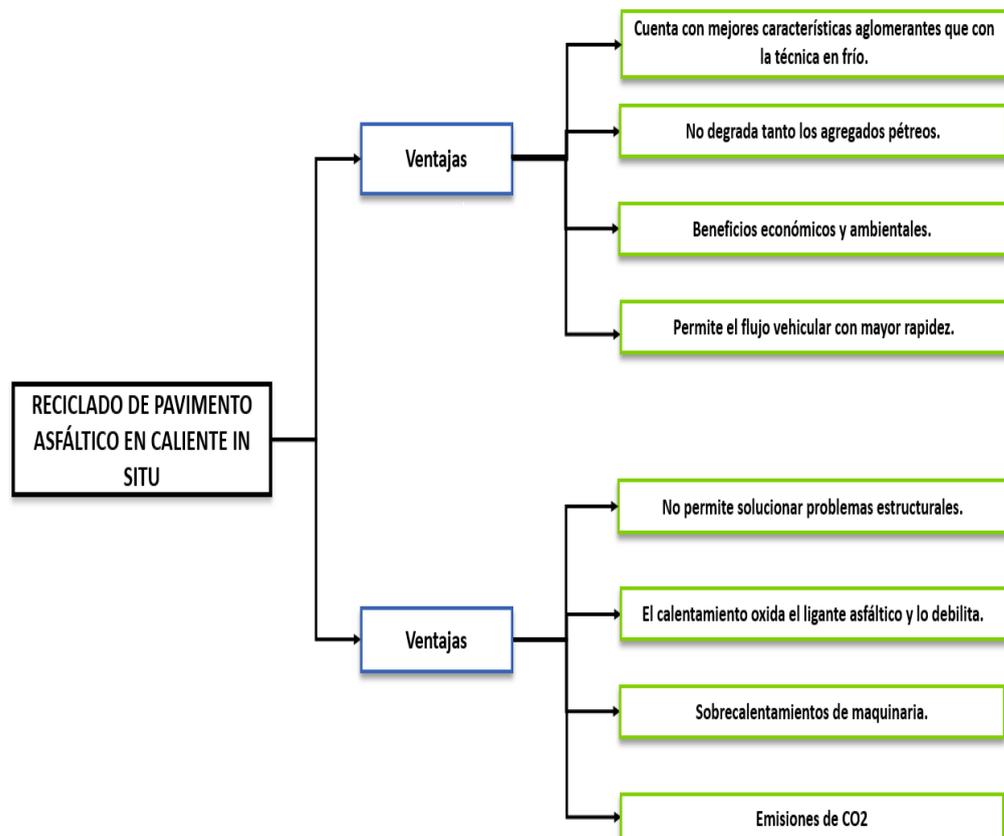


Figura N°18. *Diagrama de ventajas y desventajas de la reutilización del pavimento asfáltico en caliente in situ*

Fuente: Elaboración Propia.

Proceso para la reutilización de pavimento asfáltico en caliente en planta:

Para el proceso del reciclado en caliente, como primera fase se extrae el material existente asfáltico de la vía por medio del fresado y al mismo tiempo retirando el material por medio de una banda transportadora como se puede apreciar en la imagen.



Figura N°19. *Extracción del material envejecido a reciclar*

Fuente: Aro Asfaltos y Riegos de Occidente (2020)

En la segunda fase se procede a movilizar el material reciclado extraído a un almacén de depósito para luego clasificarlo como se aprecia en la imagen.



Figura N°20. *Movilización y depósito del material reciclado*

Fuente: Aro Asfaltos y Riegos de Occidente (2020)

Debido a que el material que se recicla llega a la planta con un tamaño variable es necesario someterlo a un impactador para reducir su tamaño.



Figura N°21. *Impactador del material reciclado para reducir el tamaño*

Fuente: Aro Asfaltos y Riegos de Occidente (2020)

Inmediatamente después en la fase tres el material pasa por un proceso de cribado para separar los agregados en gravas y arenas



Figura N°22. *Separación de agregados*

Fuente: Aro Asfaltos y Riegos de Occidente (2020)

En la cuarta fase se procede a realizar un análisis en laboratorio para determinar el diseño de mezcla con pavimento asfáltico reciclado y el contenido óptimo de asfalto.

La quinta fase es el proceso de producción en la que se debe tener en cuenta que para el material reciclado se debe tener tolvas independientes y el ingreso de este material al tambor mezclador es por medio de un dispositivo denominado anillo de reciclado.



Figura N°23. *Anillo de reciclado*

Fuente: Aro Asfaltos y Riegos de Occidente (2020)

El tambor mezclador es sustentado con los agregados que provienen de la faja transportadora, procedentes de la tolva de agregados, éstos agregados pasan a la zona del secador, donde se ejecuta el proceso de calentado con el uso de un quemador, con el fin de secar completamente los agregados y evitar presencia de humedad. El anillo de reciclado cumple una función muy importante en esta fase la cual es que el material no toque el fuego, ya que el pavimento asfáltico reciclado contiene un porcentaje de asfalto el cual si toca el fuego perdería muchas propiedades que aún mantiene. (Céspedes,2019)



Figura N°24. *Proceso de producción de pavimento asfáltico reciclado*

Fuente: Aro Asfaltos y Riegos de Occidente (2020)

El tambor mezclador, contiene varias paletas en forma de cepillo lo que brinda un calentado uniforme de los agregados, luego se realiza el mezclado de los agregados con el cemento asfáltico, la temperatura de los agregados pétreos debe ser igual a la del cemento asfáltico, para evitar variaciones en los resultados de la mezcla final. Esto se desarrolla en la parte inferior del tambor mezclador. El cemento asfáltico es inyectado al tambor mezclador, por medio de bombeo que está compuesto por un sistema de líneas de salida (manguera flexible acerada) que inician desde el tanque de bitumen, líneas de retorno (tuberías de acero), una válvula de regulación, una válvula de paso y una válvula de retorno. Todo este sistema permite la circulación del cemento asfáltico hacia el interior del tambor secador mezclador.

En el tambor mezclador se realizan las operaciones de secado, calentamiento y distribución de los agregados, la forma cilíndrica del tambor permite generar una mezcla homogénea de los componentes que conforman la mezcla asfáltica. (Cespedes,2019).



Figura N°25. *Tambor mezclador*

Fuente: Aro Asfaltos y Riegos de Occidente (2020)

Finalmente el producto obtenido de la mezcla de los agregados vírgenes, el material reciclado y el cemento asfáltico, es decir la mezcla realizada en el tambor mezclador, es trasladada por un sistema de paletas y faja transportadora hacia la zona de descarga, que está ubicada en la parte terminal superior del elevador, lugar donde se expulsa la mezcla asfáltica en caliente y es depositado en los volquetes, que son las unidades de transporte de la mezcla, los mismos que depositarán la mezcla en el lugar donde se rehabilitará la vía.(Cespedes,2019)



Figura N°26. *Depósito de la mezcla en volquetes*

Fuente: Aro Asfaltos y Riegos de Occidente (2020)



Figura N°27. *Reciclaje de pavimento asfáltico en planta*

Fuente: Aro Asfaltos y Riegos de Occidente (2020)

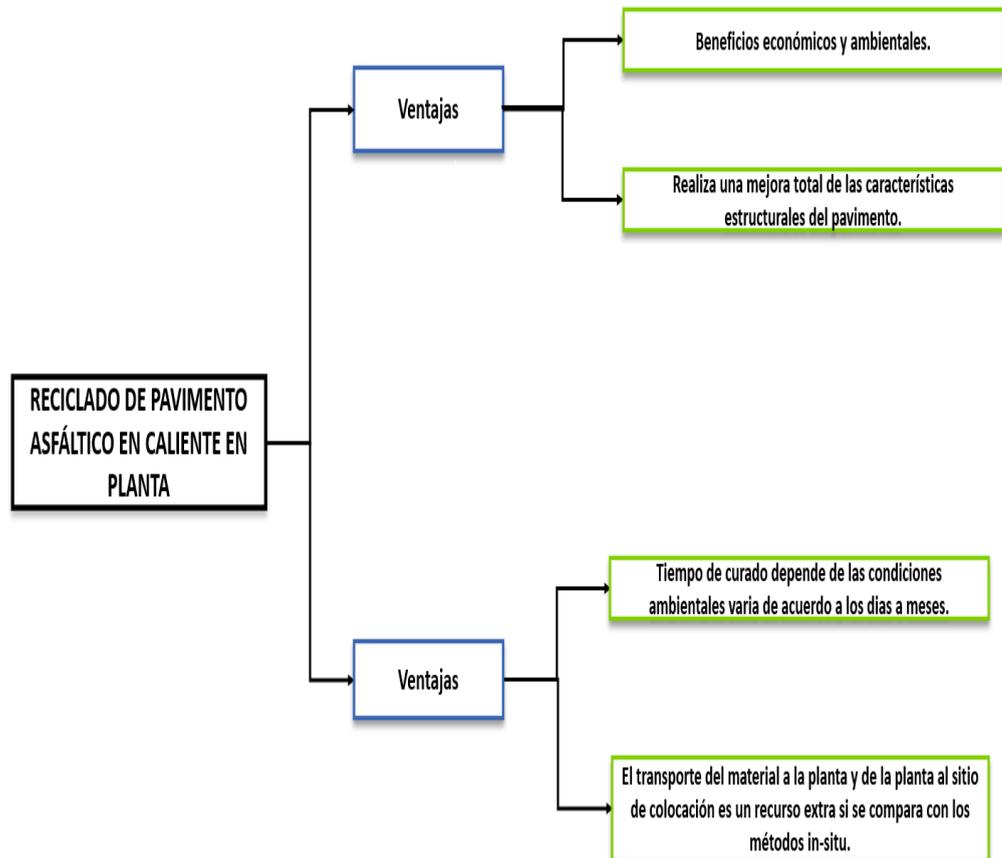


Figura N°28. *Diagrama de ventajas y desventajas de la reutilización del pavimento asfáltico en caliente en planta*

Fuente: Elaboración Propia.

Esta metodología ofrece solucionar problemas con la dosificación de materiales. Cada una de las técnicas de conservación posibles se necesita hacer un análisis en cada una de ellas tomando en cuenta lo siguiente:

Experiencia: La empresa y empleados necesitan tener experiencia con las técnicas mencionadas ya que se considera en la parte económica, social y ambiental.

Costos: Cada técnica consta de cierto costo lo cual hay una reducción de costos en comparación a una técnica convencional.

Equipos Disponibles: Deben estar disponibles equipos y materiales para realizar las técnicas mencionadas.

Tiempo requerido de ejecución: El tiempo depende mucho de la técnica empleada en obra lo cual es determinante para el tiempo de entrega. (Chicaiza, 2013, pág. 50).

2.5. Beneficios en la rehabilitación de vías con pavimento asfáltico

2.5.1. Beneficios ambientales

El beneficio ambiental actualmente toma mayor importancia, debido a la degradación que contemplan los recursos naturales en el mundo. Asimismo, en la rehabilitación de vías se necesita cierta cantidad de volúmenes de materiales, tales como, áridos, ligantes, etc. los cuales se pretende reducir al máximo su consumo.

No obstante, el reciclado de pavimentos en la rehabilitación de vías, es una técnica viable debido a que ayuda a reducir materiales nuevos y también recortar la explotación de recursos en canteras porque al reutilizar capas bituminosas y aprovechar el beneficio del ligante que lo integran, logra disminuir el consumo de betún.

Reutilizando el pavimento asfáltico se disminuye la cantidad de volumen de vertido debido a que es casi difícil ponerlo en práctica debido a que no se

cuenta con el espacio adecuado y por las normas administrativas.

Del mismo modo es indispensable investigar las distintas técnicas desarrolladas en el reciclaje de pavimentos asfálticos para llevar a cabo en el mejoramiento y construcción de vías para prevenir que durante su ejecución dañe al medio ambiente. (Alarcón, 2003, p.46).

Paccori F. (2018) presenta como beneficios ambientales:

El impacto ambiental que se logra en el uso de botaderos es la disminución de los desechos del pavimento envejecido.

Se conservan los recursos naturales debido a que los agregados y el asfalto incorporados en el pavimento reciclado para lograr sacar nuevas sustancias de agregados en forma reducida.

2.5.2 Beneficios económicos

Es necesario señalar la relación que hay entre costo-beneficio ya que debido a esto existe una gran iniciativa del reciclaje de pavimento asfáltico. Es por ello que es muy importante hacer un estudio riguroso para preservar la parte económica al usar reciclado de pavimento asfáltico en distintos proyectos de rehabilitación de vías.

Comúnmente, el libre mercado se encarga de regular e impulsar la reutilización de materiales en la rehabilitación de vías, ya que se genera un ahorro al emplear las diferentes técnicas de reciclaje.

El beneficio económico que se genera a la hora de decidirse por una alternativa de solución u otra para una rehabilitación de vías, que conlleve una propuesta que implica un proceso de reciclado son más económicas por cuestiones evidentes. Por otro lado, en casos particulares, al cotejar la parte económica no es visiblemente favorable en el proceso de reciclado en un ámbito riguroso. Asimismo, el proceso de reciclado siempre presentará un mayor margen económico en términos generales, tomando en cuenta todos

los efectos externos que se producen en una rehabilitación con procedimientos convencionales (Alarcón Ibarra, 2003, p.45).

2.6. Definición de términos básicos

Agregado pétreo: concentración de fragmentos o partículas de gravas, arenas y finos, los cuales son naturales o triturados (Rondón y Reyes, 2015)

Botadero: Lugar físico apropiado para la acumulación de desechos derivados del petróleo, como aceites, emulsiones o asfaltos, que ocasionan daños al medio ambiente. (Batz, 2020)

Cantera: Fuente de materiales de donde se extraen agregados vírgenes que son utilizados para producir mezclas asfálticas y de concreto, y también para el mejoramiento de suelos, base y subbase granular. (Manual de carreteras, 2014 p.45)

Cemento asfáltico: Material bituminoso aglomerante, de consistencia sólida, que se utiliza para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente. (Manual de ensayos de materiales MTC, 2016 p.1175).

Curva Granulométrica: En Asocem (2013), se la conceptualiza como la representación gráfica de los datos emanados en la investigación granulométrica mediante filtros. En esta, se puede representar la repartición de los agregados con el fin de conseguir un bosquejo de mezcla inmejorable.

Ensayo Marshall: Según Recuenco (2014) refiere lo siguiente: “Consiste en la preparación de probetas normalizadas, cada una de ellas con distinto contenido de mezcla bituminosa. Estas probetas son compactadas y sometidas a rotura por tracción” (p. 184).

Escarificación: Extracción de la superficie del terreno para su posterior compactación a efectos de tener una superficie de terreno uniforme. (Padilla, 2004).

Fresado: Proceso importante para la rehabilitación de una vía deteriorada, con la

cual facilita levantar partes degradadas del pavimento sin alterar a las que se encuentran en buenas condiciones. (Valenzuela 2020, 54)

Gradación: Es la distribución del tamaño de partículas de un agregado, que se define a través del análisis granulométrico. (Jara Trujillo & Perez Paítan, 2020, pág. 29)

Granulometría: De acuerdo con Recuenco (2014), es la medición de las dimensiones que presentan las partículas minerales que conforman el agregado. Se realiza mediante el uso de tamices previamente graduados, se clasifican según las normas las técnicas de referencia.

Impactador: Llamada trituradora de impacto la función de esta máquina por lo general da un mejor factor de forma que el resto de tipos de trituradoras, además se trabaja con materiales abrasivos por el gran desgaste que se genera al triturar.

Mezcla Asfáltica en caliente: Formada por la combinación de agregados pétreos y un ligante, sirve para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando una adecuada condición de rodadura. (Padilla, 2004).

Impacto ambiental: “Se refiere a la repercusión y deterioro del medio ambiente, provocado por el hombre con la necesidad de extraer recursos naturales en un lugar específico”. (Zaror, 2002, 47).

Pavimento asfáltico: “Diseñado con materiales naturales con capas superiores y que contienen una clase de ligante convencionalmente puede ser asfalto y en ciertas ocasiones cementadas, solo este tipo de pavimentos pueden ser reciclados in-situ.” (Jara Trujillo & Perez Paítan, 2020, pág. 29)

Pavimento asfáltico reciclado: “Pavimento que estuvo en servicio con propiedades perdidas a lo largo de su vida útil, que puede volver a reutilizarse. (Ibarra, 2003, pág. 38).

Peso unitario: Según Rondón y Reyes (2015) es una magnitud que se caracteriza

principalmente por servir como punto referencia para determinar la cantidad máxima de cemento asfáltico que es requerida, de modo que se pueda obtener el mayor valor del peso unitario.

Rehabilitación de vía: “Proceso en que el pavimento es restaurado a su condición de soporte original. En este proceso, los materiales procedentes de los pavimentos existentes formarán parte de la nueva estructura.” (Jara & Pérez, 2020)

CAPITULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

La evaluación del impacto ambiental y económico del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente influye en la rehabilitación de vías.

3.1.2. Hipótesis Secundarias

- a) Rehabilitar vías con pavimentos asfálticos reciclados en caliente disminuye los daños generados al medio ambiente.
- b) El costo-beneficio influye en la evaluación económica del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías.
- c) En la evaluación del impacto ambiental y económico en el reciclado de pavimentos asfálticos en caliente genera un grado de influencia significativo en la rehabilitación de vías

3.2. Variables

3.2.1. Definición conceptual de las variables

Variable Independiente

-Evaluación: Proceso de reconocer las áreas de decisión importantes, con la finalidad de seleccionar, reconocer y analizar los datos de forma adecuada para dar a conocer datos que contribuyan a la toma de decisiones (Alkin, 1969, cit. Tenbrick, 1988: 2).

Variable Dependiente

-Reciclado de pavimentos asfálticos en caliente: Se reciclan los materiales que constituyen las capas de un pavimento existente en deterioro, con el propósito de potenciar sus propiedades físicas y mecánicas incorporando el material reciclado nuevamente a la estructura. El reciclado puede realizarse en frío o en caliente, tanto in situ como en planta. (Crespín Molina, 2012).

3.2.2. Operacionalización de variables

Tabla N°2. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente				
Evaluación	Proceso de reconocer las áreas de decisión importantes, seleccionar, reconocer y analizar la información apropiada para transmitir datos que ayuden a tomar decisiones para tomar alternativas (Alkin, 1969, cit. Tenbrick, 1988: 2).	Según (Carmen M,2007)" La evaluación del impacto ambiental es aquel proceso de análisis con el fin de establecer los impactos positivos y negativos para lograr analizar actividades que se seleccionan y poder potenciar aquellos que son beneficiosos".	Ambiental	Impacto Ambiental Minimizar la explotación de canteras. Disminución del volumen de desechos sólidos.
		De acuerdo (Villamil,2020)" A partir de la perspectiva de la construcción, la aplicación de los costos del agregado y mezclas para lograr el ahorro económico basándose en los costos de operación".	Económico	Costo-Beneficio
Variable Dependiente				
Reciclado de pavimentos asfálticos en caliente	Se recicla materiales que conforman como capas en un pavimento existente, con la finalidad de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas en donde se reincorporan a la estructura. El material reciclado puede ser frío o en caliente. En ambos casos puede hacerse en obra, en donde será transportando el	El reciclado en planta es aquel pavimento asfáltico desgastado obtenido mediante el fresado que se traslada a una planta procesadora en la cual se tritura y se clasifica la nueva mezcla. Además, debe	Reciclado en planta	Material Reciclado Planta recicladora Almacén de material reciclado

material a una planta donde es procesado.
(Crespin,2012)

contar con los requisitos de calidad de
material" (Invias,2008)

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y Nivel

4.1.1. Método de investigación

El método de estudio de la investigación es inductivo ya que, se interpreta que se irá de lo general a lo particular es decir se enfoca en las observaciones para finalmente proponer un desarrollo de explicaciones.

4.1.2. Orientación de investigación

La orientación de nuestra investigación es inductiva debido a que al analizar la información recopilada del pavimento asfáltico en caliente nos enfocaremos en determinar las evaluaciones ambientales y económicas.

4.1.3. Enfoque de investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, porque se utiliza información y recolección de datos basados en investigaciones anteriores.

4.1.4. Recolección de datos

La recolección de datos es retro selectiva, debido a que la investigación realizada recopila información de fuentes secundarias como: artículos, normas, tesis, etc. con la misma finalidad de la investigación realizada.

4.1.5. Tipo de la investigación

Para este tipo de investigación es descriptiva, porque se aplicó en base a investigaciones anteriores con la finalidad de recopilar información de las investigaciones nacionales e internacionales relacionadas con la reutilización de pavimentos asfálticos en caliente para evaluar el grado de influencia en el impacto ambiental y económico.

4.1.6. Nivel de la investigación

Este estudio es Explicativo porque pretende indicar las evaluaciones ambientales y económicas del reciclaje de pavimentos asfálticos en calientes en rehabilitación de vías. Así mismo, es descriptivo por lo que analizó las

evaluaciones ambientales y económicas en investigaciones nacionales e internacionales.

4.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental, transversal y retro prospectivo. El diseño de investigación fue no experimental, debido a que “la investigación se realizó sin manipular deliberadamente variables y sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos. (Hernández S. R., Fernández C. C & Baptista L. P., 2003, p.31).

El diseño fue de tipo transversal, debido a que “se recolectaron datos en un solo momento, en un tiempo único, su propósito es describir variables y su incidencia de interrelación en un momento dado. (Hernández S. R., Fernández C. C & Baptista L. P., 2003, p.31)

El diseño fue de tipo descriptivo, debido a que “se busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis”. (Hernández S. R., Fernández C. C & Baptista L. P., 2003, p.29)

4.3. Población y muestra

La población de estudio en la tesis estuvo conformada por 10 investigaciones nacionales, 20 investigaciones internacionales, 8 libros, 2 manuales ,8 artículos y papes, las cuales contaron con investigaciones relacionadas con el impacto ambiental y económico en la reutilización del pavimento asfálticos en caliente aplicando la técnica en planta.

Se estableció que el tamaño de la muestra sea igual a la población ya que se empleó la misma totalidad de investigaciones para un mejor análisis de resultados.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación se recopilará información teórica basados en investigaciones anteriores, libros, artículos, manuales para evaluar los impactos ambientales y económicos del reciclado de pavimento asfáltico en caliente realizado con la técnica en planta.

4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos

Análisis Documental: La información de la investigación fue adquirida por diversas fuentes bibliográficas tanto nacionales como internacionales, así como también artículos, manuales, libros, papers y páginas web las cuales están relacionadas con el tema.

4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.

Para el análisis evaluación la influencia del impacto ambiental y económico del reciclado de pavimentos asfálticos, fueron fuentes bibliográficas reconocidas con respaldo institucional.

4.4.3. Procedimiento para la recolección de datos.

El procedimiento para la recolección de datos será la búsqueda bibliográfica, revisión y análisis, estudio de los procedimientos con RAP (Reclaimed Asphalt Pavement). Además, se recopiló información de investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional sobre la reutilización del pavimento asfáltico y su diseño de mezcla.

También se obtuvo información para el proceso del reciclaje de pavimentos para su reutilización en planta. Finalmente se eligió investigaciones que realizaron sobre el impacto ambiental y económico en el reciclado de pavimentos en caliente para evaluar su validez y confiabilidad de la información.

CAPITULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Diagnóstico y situación actual

Con la finalidad de aprovechar el uso de pavimentos asfálticos reciclados, se tomó como referencia estudios con análisis de impacto ambiental en la producción de mezclas asfálticas utilizando pavimento asfáltico reciclado en caliente y propuestas que contienen el diseño de la mezcla asfáltica en caliente para rehabilitación de vías junto al análisis de costos, utilizando pavimentos asfálticos reciclados en caliente; y su vez se ha recopilado información de tesis, revistas, papers, etc., tanto a nivel nacional como internacional, para la elaboración de los demás resultados.

Por otra parte, cada día es más común en la rehabilitación de pavimentos el empleo del procedimiento de fresado de las capas asfálticas envejecidas y reposición con nuevas mezclas, esta técnica da lugar a la generación de materiales con un alto potencial de reutilización de los agregados y ligantes contenidos en ellos, por eso en la mayoría de los casos los residuos son llevados a espacios denominados botaderos a cielo o rellenos sanitario ocasionando un gran problema de impacto ambiental.

Desde el panorama ambiental la técnica del reciclado es realmente beneficiosa, sin embargo, en Perú la reutilización de mezclas asfálticas en caliente en planta no ha sido un procedimiento comúnmente empleado.

Desde el punto de vista económico al reutilizar pavimentos para una rehabilitación de vía se impulsa a un reciclado de materiales, ahorros de materiales en relación a costos – beneficios. Es decir que hay un ahorro económico reutilizando pavimento asfáltico que se genera en la fabricación de mezclas nuevas es por muy importante analizar y evaluar las mezclas recicladas en caliente en planta que cumplan con las especificaciones para validar económicamente su utilización. En el Perú, los gobiernos deben promover el reciclado para reducir el impacto ambiental y económico.

5.2. Situación del reciclado de pavimentos asfálticos en los siguientes países

5.2.1. Experiencia en Estados Unidos

La National Asphalt Pavement Association (NAPA) a través de las encuestas realizadas se llevó a cabo en 49 de los 50 estados de los Estados Unidos desarrollada que la industria del asfalto ocupada el primer lugar es decir son los mayores recicladores de ese país con una tasa alta de reciclaje de pavimentos. (NAPA,2013).

El total estimado de toneladas de RAP utilizadas en las mezclas asfálticas fue de 82,2 millones de toneladas en 2018. Esto representa un aumento de casi el 7,9% con respecto a la temporada de construcción de 2017, y representa un aumento de casi el 46,8% del total de toneladas estimadas de RAP utilizadas en 2009.

Teniendo en cuenta que el total de mezclas producidas en Estados Unidos en 2018 fue de alrededor de 390 millones de toneladas, el RAP utilizado representa el 21%.

Se estima que el uso de RAP durante la temporada de construcción de 2018 ha reducido la necesidad de 4,1 millones de toneladas de ligante asfáltico y más de 78 millones de toneladas de agregado con un valor total estimado de más de 2.800 millones de dólares.

5.2.2. Experiencia en Canadá.

Al igual que los Estados Unidos, Canadá empezó a trabajar con el reciclado de pavimentos asfálticos hace varias décadas y por tanto es uno de los países punteros en la utilización de estas técnicas. Con todos estos años de experiencia en la fabricación de mezclas nuevas de reciclado de pavimentos asfálticos se estableció el empleo del ensayo Marshall. Como se muestra en figura N°13 la experiencia que se tenía en las diferentes técnicas de reciclado de mezclas asfálticas y los porcentajes utilizados en los distintos territorios de Canadá a principio de los 90's.

Tabla N°3. Experiencia en el reciclado de pavimentos asfálticos en

Provincia o Territorio	Experiencia de reciclado in situ	Experiencia de reciclado en planta	Años de experiencia	Porcentajes de MBR
British Columbia	Si	Si	11	20-40
Alberta	Si	Si	9	>40
Saskatchewan	Si	Si	10	30-70
Manitoba	No	Si	3	30-50
Ontario	Si	Si	13	15-50
Quebec	Si	Si	13	15-30
PEI	No	No	No aplicable	No aplicable
New Brunswick	No	Si	10	>45
Nova Scotia	No	Si	6	>35
Newfoundland	No	No	No aplicable	No aplicable
Yukon	No	Si	Se desconoce	Se desconoce
NWT	No	No	No aplicable	No aplicable

Canadá

Fuente: Emery (1993)

Cabe resaltar que el uso del reciclado en planta en caliente ha presentado un significativo crecimiento en Canadá y muchas agencias y empresas se están especializando en esta industria para lograr mejores rendimientos, y no se descarta que en un futuro las mezclas recicladas sustituyan a las convencionales.

5.2.3 Experiencia Bélgica

De acuerdo con Van Heystraeten et. al. (1991 y 1993), el reciclado en planta se inició en este país en 1980, pero fue entre 1983 y 1985 cuando presentó un mayor desarrollo. Ya para 1986 se contaba en Bélgica con 65 centrales preparadas para el reciclado, de las cuales, 5 eran continuas y el resto discontinuas, sin embargo, en ese año el precio del betún cayó, y se perdió en gran medida el interés por reciclar, pero en 1989 las tasas por concepto de vertido de residuos aumentaron drásticamente y desde entonces el reciclado de pavimentos no ha dejado de ser una práctica habitual en la construcción y rehabilitación de carreteras en este país.

5.2.4. Experiencia Dinamarca

Dinamarca, que las han utilizado con regularidad logrando mezclas recicladas con un comportamiento equivalente al de las mezclas convencionales fabricadas en caliente. Reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en planta 47. Desde hace años, algunos países europeos como Bélgica, están investigando y trabajando en la reutilización de los materiales provenientes del fresado.

Los daneses cuentan con una amplia red de plantas asfálticas que se encargan de recibir y reciclar el material asfáltico de pavimentos envejecidos y utilizan las mismas especificaciones para las mezclas recicladas que para las convencionales, basando el diseño de los firmes fabricados con mezclas recicladas en el método Marshall. Durante los últimos años, el uso de materiales reciclados para la construcción de carreteras se ha venido incrementando en todo el mundo. Esto se debe, a que cada día más gobiernos adoptan políticas para minimizar el empleo de materiales nuevos, y promover el empleo de materiales reciclados, además de los grandes avances tecnológicos que en este campo se han logrado en los últimos años y que facilitan cada vez más su empleo. (Ibarra,2013)

Por otra parte, el almacenamiento de los residuos es cada vez más costoso, debido al espacio necesario y a las limitaciones ambientales que se incrementan cada día. Este problema, ha llegado a puntos insostenibles en algunos países con gran densidad de población. Cabe resaltar que España cuenta aún con suelo abundante para vertederos, la preocupación por el medio ambiente y las regulaciones de la Comunidad Europea, restringen cada vez más su utilización. De acuerdo con la Federal Highway Administration (2000), Holanda, Dinamarca, Alemania, Suecia y Estados Unidos son algunos de los países que tienen actualmente los mayores porcentajes de mezclas fabricadas con materiales reciclados y cuentan con la tecnología y experiencia suficiente para considerar una práctica normal el reciclado de pavimentos.

La estrategia comunitaria se dirige a reducir la cantidad de residuos en origen, reutilizando y reciclando todo lo que sea factible para eliminar únicamente lo que no sea posible tratar de otra manera, y es por esto que se está presionando a las diferentes administraciones europeas para que fomenten el reciclado del material fresado de los pavimentos envejecidos y lo reutilicen en la fabricación de nuevas mezclas.

Tabla N°4. Generación y reutilización anual de MBR en diferentes países

País	Reutilización del MBR producido (%)	MBR producido (10 ⁶ t)	MBR reutilizado (10 ⁶ t)
Estados Unidos	80	41	33
Suecia	95	0.88	0.84
Alemania	55	13.2	7.3
Dinamarca	100	0.53	0.53
Holanda	100	0.12	0.12

Fuente: Recycled Materials in European Highway Environments (2000)

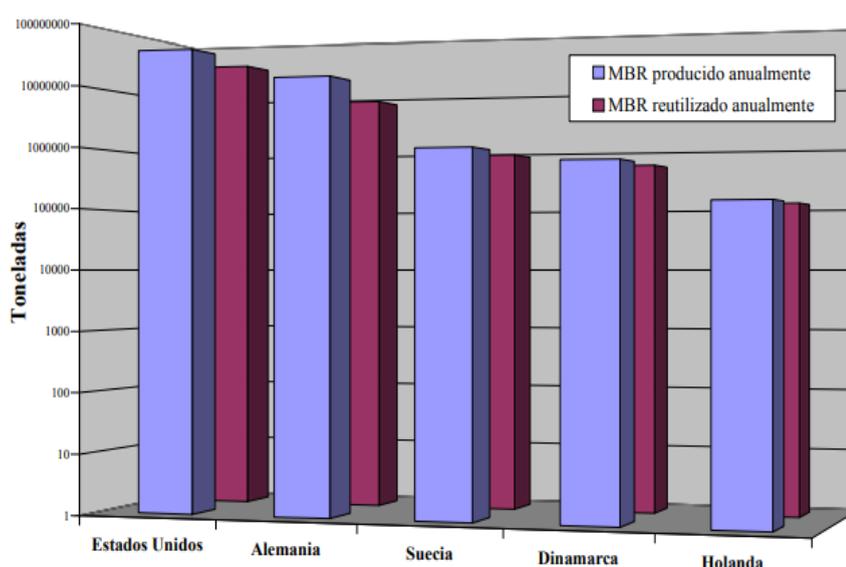


Figura N°29. Volúmenes de MBR producido y reutilizado por algunos de los países con mayor experiencia en el reciclado de pavimentos asfálticos

Fuente: Recycled Materials in European Highway Environments (2000)

Analizando todo lo anterior, se puede decir con certeza, que el reciclado de mezclas asfálticas en planta en caliente es una técnica adecuada y con un gran potencial de futuro a nivel mundial, para la reutilización de los materiales recuperados de pavimentos envejecidos en la fabricación de mezclas nuevas.

5.3. Experiencia en el ámbito nacional

Para la obtención de materiales se tomó en cuenta la investigación realizada en Perú “Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo” presentada por Chuman (2016), nos menciona que por medio del fresado en la vía margen derecha en el tramo la Oroya-Huancayo en la que PROVIAS NACIONAL estuvo a cargo de la rehabilitación, se obtuvo el pavimento asfáltico reciclado. Luego dicho material se llevó a la zona de almacenamiento ya que debe ser cuidado con las condiciones requeridas para que el material no se contamine, no se degrade o disminuya más su calidad. Después de la obtención de material reciclado es evaluado para su demolición en planta chancadora y una zaranda vibratoria que sirve para la reducción del material reciclable para este proceso se tomó en cuenta la planta chancadora de marca ALLIS FACO que tiene tres niveles que pertenece a la Dirección Regional de Transportes Junín.

El Asphalt Institute recomienda que la altura de acopio de los agregados reciclados se limite a un máximo de 3 metros; para evitar la segregación y el tiempo de almacenamiento debe ser mínimo para evitar contenido de humedad.

5.3.1. Procedimiento en planta para el reciclado de pavimentos asfálticos en caliente y equipo necesario.

Como se mencionó la Dirección Regional de Transporte tiene una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente que contiene el tipo de flujo en este caso es continuo y paralelo de capacidad 80-100 ton/hora de producción máxima, esta planta fue diseñada y fabricada en Brasil contando un silo de 45 toneladas de producción máxima, también la planta cuenta con 4 tolvas, pero recomendable es contar con tres tolvas debido a que se optimiza el uso.

La Dirección Regional de Transportes trabaja con una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente de flujo continuo y paralelo de capacidad 80 – 100 toneladas/hora de producción máxima, siendo de fabricación brasileña y con unos silo de 45 toneladas cada uno, en lo que respecta a las tolvas, la planta consta de 4 tolvas, pero se recomienda que tengan tres tolvas para

optimizar su uso, cada uno de los agregados se pre calibran de acuerdo al diseño con los datos que el laboratorio les proporciona, para poder calibrar los motores dosificadores. Además, se deben pre calibrar los agregados para realizar pruebas para verificar si al poder agregar asfalto de acuerdo con el porcentaje que se calcula es decir que asfalto depende del tipo de agregados y temperatura que serán usados. Para la planta normalmente se usa cemento asfáltico PEN 85/100 debido a las condiciones climáticas para su respectivo diseño de mezcla también la temperatura por lo general debe estar en el rango de 145°C y 150°C. De acuerdo con el funcionamiento es una tubería que inyecta la cantidad correcta de asfalto al agregado mediante una programación anticipada.

La planta trabaja con continuamente, pero es debido al tiempo mezclado y eso depende de la velocidad que se trabaja además aproximadamente de 2 a 3 minutos por tonelada contando con una velocidad pareja. Cabe recalcar que para el óptimo de humedad es de 5% es decir entre más humedad contenga el agregado se disminuye la producción de cada ciclo y podría distorsionar la muestra.



Figura N°30. *Planta de asfalto de la dirección regional de transportes y comunicaciones*
Fuente: CHUMAN (2017)



Figura N°31. *Componente mecánico de recepción de material para el procesamiento del material reciclado de pavimento envejecido en la planta de asfalto.*

Fuente: Dirección regional de transportes y comunicaciones Junín

5.4. Proceso del diseño de mezcla utilizando pavimento asfáltico reciclado por el método Marshall.

El desarrollo del diseño de la mezcla asfáltica con el aporte de material reciclado de pavimento asfáltico envejecido, luego del acopio adecuado del material reciclado bajo condiciones adecuadas y controladas a fin de evitar contaminación, o condiciones que deterioren o afecten la calidad del material, se ha procedido a realizar mediante tanteos, y pesadas del material reciclado y dosificado con material nuevo o virgen, de acuerdo con los siguientes pasos:

- a) Porcentajes de la Mezcla de material reciclado y agregado nuevo o virgen.
- b) Granulometría de la Mezcla de material reciclado y agregado nuevo o virgen.
- c) Pesos de los pastones.

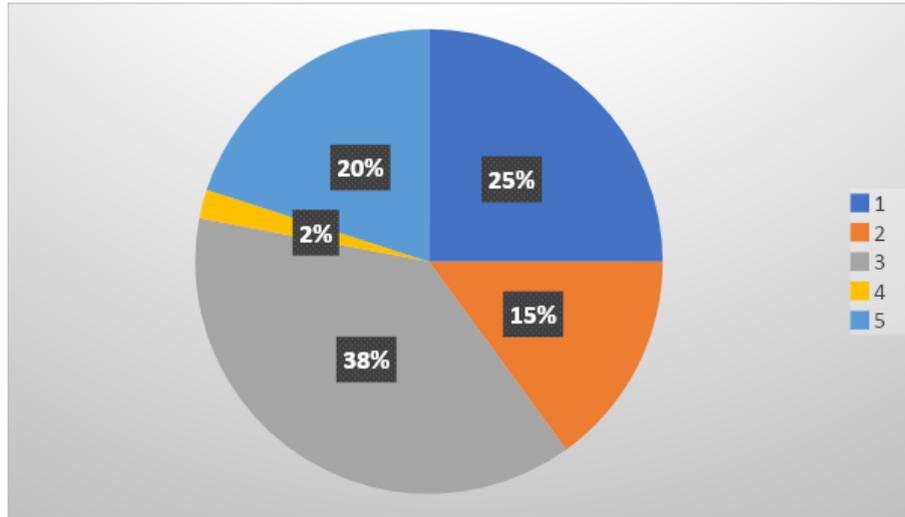


Figura N°32. Porcentajes de la Mezcla de material reciclado y agregado nuevo o virgen.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°5. Granulometría de la Mezcla de material reciclado y agregado nuevo o virgen.

TAMIZ	GRANULOMETRIA					
	MATERIAL RECICLADO 25%	ARENA CHANCADA 20%	ARENA ZARANDEADA 38%	FILLER 2.00%	TOTAL	ESPECIFIC MTC 2013 MAC - 2
	NUEVO 15 %					
3/4"	100.00	100.00	100.00	100.0	100.00	100 100
1/2"	65.58	100.00	100.00	100.0	86.23	80 100
3/8"	32.00	100.00	100.00	100.0	72.80	70 88
Nº 4	6.50	93.50	90.87	100.0	57.83	51 68
Nº 10	5.20	62.99	66.09	100.0	41.79	38 52
Nº 16	0.00	41.22	42.93	100.0	26.56	
Nº 30	0.00	38.56	39.50	100.0	24.72	
Nº 40	0.00	36.23	35.49	100.0	22.73	17 28
Nº 80	0.00	15.75	25.31	100.0	14.77	8 17
Nº 200	0.00	8.52	5.93	96.0	5.88	4 8

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto de la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

Curva Granulométrica de la mezcla o combinación de Agregados o áridos, para el Diseño de Mezcla Asfáltica con el aprovechamiento de material de residuos de pavimento asfáltico envejecido.

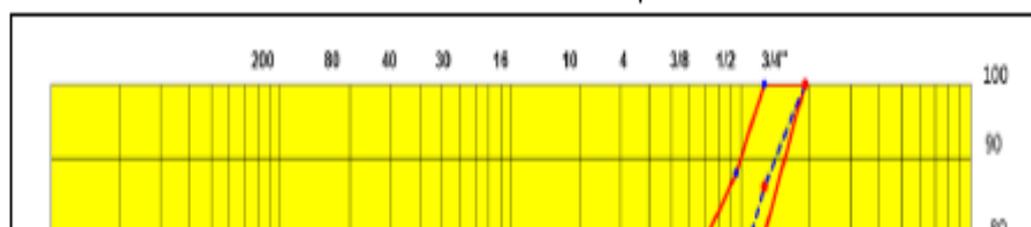


Figura N°33. *Curva granulométrica*

Fuente: Laboratorio Drtc Junín.

Los agregados fueron llevados al horno a una temperatura de 150°C por 24 horas antes de las mezclas para eliminar la humedad del material.

Además, la temperatura de mezcla y compactación se determinó tomando en cuenta la viscosidad del cemento asfáltico lo cual resultó entre 135°C y 145°C.

Para la compactación se ha realizado con 75 golpes por cada cara de briqueta de acuerdo al tráfico alto seleccionado para el diseño de la estructura del pavimento.

Tabla N°6. Especificaciones Para El Diseño De Marshall

Especificación del Método Marshall	Tráfico Liviano		Tráfico Mediano		Tráfico Pesado	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
N° de Golpes	35		50		75	
Estabilidad Newton (Nw)	3336		5338		8006	
Libras (Lb)	750		1200		1800	
Fluencia 0.25 mm (0,01")	8	18	8	16	8	14
% de vacíos	3	5	3	5	3	5

Fuente: Chuman (2017)

Después de que se haya realizado las briquetas se tomó en cuenta el promedio de alturas con 6 mediciones distintas que hallar la altura del promedio y posteriormente se toma en cada briqueta el peso seco al aire, muestra parafinada y peso de la muestra sumergida con la finalidad de obtención del análisis volumétrico



del ensayo.

Figura N°34. *Muestras de briquetas*

Fuente: The asphalt institute's, manual (ms-2).

5.4.1 Ejemplo de la mezcla asfáltica en caliente con material reciclado de pavimentos asfálticos envejecidos mediante el método ensayo Marshall.

De los ensayos Marshall los resultados plasmados mediante gráficos, se determina las características físicas mecánicas, que fueron hallados de los promedios de los resultados en forma gráfica, que son lo óptimo de cada ensayo.

Tabla N°7. Diseño de mezcla asfáltica en caliente método Marshall ASTM D 1559 MTC E 504

DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICA EN CALIENTE	
METODO MARSHALL ASTM D-1559 MTC E 504	
CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA	
Optimo Contenido De Cemento Asfáltico (%)	6
Estabilidad (Kg-Fza)	1004
Peso Unitario (Kg/m ³)	2.335
Vacios De Aire (%)	3
Flujo (%)	14
Vacios En El Agg, Mineral Vma. (%)	15.6
Estabilidad /Flujo (Kg/cm)	2823.4

Fuente: Chuman (2017)

El comportamiento de las características físicas de diferentes mezclas con porcentajes desde 5 % hasta el 75 % de material reciclado, empleando siempre el mismo material ligante, como el cemento asfáltico PEN 85/100, adecuado para este tipo de clima y altitud, tal como establece el manual de especificaciones para la construcción de carreteras EG – 2013.

Las mezclas realizadas han sido caracterizadas a partir de los ensayos empleados para las mezclas asfálticas con material reciclado y material nuevo, los mismos que han sido ensayados por el método Marshall.

De acuerdo con los gráficos de resultados del ensayo Marshall, dan como el contenido de cemento asfáltico óptimo más adecuado el 6.0 %, correspondientes a una mezcla del 25 % de material reciclado de pavimento flexible envejecido y el 75 % de material nuevo o virgen.

Tabla N°8. Características comparativas de resultados de diseño de mezclas asfáltica en caliente por el método Marshall, con material reciclable y material nuevo

Características de la mezcla asfálticas	con pavimento asfáltico reciclado	con material nuevo/virgen
Óptimo contenido de cemento asfáltico (%)	6.00	6.00
Estabilidad (Kg-Fza)	1004	901
Peso Unitario (Kg/m ³)	2.335	2.310
Vacíos De Aire (%)	3	3.80
Flujo (%)	14	8.80
Vacíos En El Agg, Mineral Vma. (%)	15.60	16.38
Estabilidad /Flujo (Kg/cm)	2823.40	1050.00

Fuente: Chuman (2017)

5.4.2. Características comparativas de resultados de diseño de mezclas asfáltica en caliente por el Método Marshall, con material reciclable y material nuevo / virgen.

Para el uso del material reciclado de pavimentos envejecidos se ha comparado los resultados del diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall, con el empleo de materiales nuevo o virgen comparativamente con el material reciclado.

Esta comparación comprende entre las características físicas y mecánicas de mayor importancia comparativa, considerándose como importantes a las demás características.

Tabla N°9. Características de la mezcla asfáltica.

Características De La Mezcla Asfáltica	Resultados Del Diseño Marshal Con Material Reciclado	Especificaciones Técnicas Manual Mtc-Eg2013
Óptimo Contenido Asfáltico (%)	6.00	no indica
Estabilidad (Kg-Fza)	1004.00	831.05
Peso Unitario (Kg/m3)	2.335	no indica
Vacíos De Aire (%)	3.00	3.0 a 5.0
Flujo (%)	14.00	8.0 a 14.0
Vacíos En El Agg, Mineral Vma (%)	15.6	15.00
Estabilidad/Flujo (Kg/cm)	2823.40	1700 a 4000

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín.

El procedimiento de diseño de mezclas Marshall es usados en un gran número de estados para determinar el contenido de porcentaje adecuados para las mezclas recicladas. Los procedimientos para seleccionar la calidad del ligante o de los agentes rejuvenecedores necesarios se resumen en “Standard Test Method for Preparation of Viscosity Blends for Hot-Recycled Bituminous Materials, ASTM D4887”. Esta especificación incluye un gráfico para obtener la viscosidad final de la mezcla de ligante envejecido con ligante nuevo y, en su caso, con un agente rejuvenecedor, la cual ayuda al diseñador a determinar los porcentajes necesarios de cada uno de ellos para llegar al valor solicitado por las especificaciones. El manual del Instituto del Asfalto para el reciclado de mezclas bituminosas en caliente

indica como usar este tipo de gráficos en el diseño de una mezcla reciclada en caliente.

El Instituto del Asfalto sugiere que para mezclas en caliente que contengan al menos más de 20% del material reciclado no es necesario variar la calidad del ligante usado para mezclas convencionales equivalentes. Para contenidos mayores del 20% recomienda utilizar un betún más blando para compensar la alta viscosidad del ligante oxidado. Sin embargo, en algunos estados, utilizan el mismo tipo de ligante que para las mezclas convencionales sin importar el porcentaje contenido en las mezclas.

Por eso el diseño de mezcla según Chuman (2015) una vez fijados todos los parámetros como se presenta en la investigación “Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo” se realizó el ensayo Marshall como si se tratara de una mezcla convencional. El contenido de rejuvenecedor de aporte se verifica en función de los parámetros Marshall obtenidos, para el tipo de mezcla elegido, capa a aplicar, tipo de tráfico, etc. Como el final en el diseño del reciclado es necesario comprobar la idoneidad del diseño de la mezcla y su fórmula de trabajo con los siguientes ensayos:

- a) Granulometría de la Mezcla de material reciclado y agregado nuevo o virgen.
- b) Extracción de porcentaje de Cemento Asfáltico de Material Nuevo o Virgen.
- c) Características de Diseño de Mezclas Asfáltica en Caliente con el Empleo de material Reciclable y Material Nuevo.

5.5. Presentación de Resultados

Para la evaluación del impacto ambiental que se muestran en el presente capítulo provienen de dos investigaciones la primera titulada “Aprovechamiento de material de pavimento asfáltico envejecido para reciclaje en caliente y reutilización en mezcla asfáltica en caliente” presentados por Aguilar & Infanzón (2020) y la

segunda investigación titulada “Evaluación de impacto ambiental simplificada de la planta de reciclado de asfaltos de grupo Campezo ubicado en Abanto-Zierbena” presentado por Gallarta (España,2016); esto debido a que hay escasa información del análisis de impacto ambiental para el uso de pavimento asfáltico reciclado y las investigaciones mencionadas nos sirve para evaluar que impactos ambientales que genera una nueva mezcla asfáltica con pavimento asfáltico reciclado (RAP).

La evaluación económica que se muestra en el presente capítulo proviene de tres investigaciones la primera titulada “Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera canta a huayllay ubicado en el distrito y provincia de canta en el departamento de lima” presentada por Balbin & Chonchon, (2019), la segunda investigación titulada “Análisis comparativo entre pavimento flexible convencional y pavimento flexible reciclado en las cuadras 1 - 29 de la avenida la paz san miguel – lima” presentada por Rengifo & Vargas (2017) y la tercera investigación titulada “Diseño de pavimento con mezcla reciclada para reutilizarlos y optimizar costos” presentada por Valenzuela (2020). Las investigaciones mencionadas en su análisis buscan determinar cómo influye en el costo la técnica de reciclaje de pavimentos asfálticos en caliente para su uso en rehabilitación de vías.

5.5.1 Evaluación ambiental de pavimentos asfálticos reciclados en caliente

Estudio N°1: Se presentan factores ambientales que son evaluados según el riesgo y la actividad que pueden generar impactos, de los cuales determinan que existen algunos más importantes que otros y para poder definir ello, se identifica los factores que se verán afectados de forma directa o indirecta por las actividades del proyecto de rehabilitación para ello especifican que los factores ambientales más importantes ocurren en el proceso de producción en planta de una mezcla asfáltica con pavimento asfáltico reciclado en caliente.

La investigación presenta dos matrices de impacto ambiental según el riesgo y las actividades que generan impactos y los factores ambientales.

Por tal motivo se debe conocer la clasificación de impacto en referencia a la magnitud en la que se encuentre y a su vez, se debe identificar según el impacto la probabilidad en la que ocurra, para ello se necesita personal capacitado que pueda realizar el análisis respectivo en campo, para determinar si el impacto es tolerable al medio ambiente o si se requiere un control de impactos.

Tabla N°10. Clasificación de impacto

Magnitud	Impacto	
1	No es significativo	} Impacto tolerable
2	Bajo	
3	Moderado	} Control de impactos
5	Medio	
6	Alto	
9	Muy alto	

Fuente: Aguilar & Infanzón (2020)

Tabla N°11. Identificación de impactos vs probabilidad de ocurrencia

		Pobabilidad		
		Baja	Medio	Alto
Impacto	Leve	1	2	3
	Moderado	4	5	6
	Severa	7	8	9

Fuente: Aguilar & Infanzón (2020)

Tabla N°12. Matriz de impacto ambiental con el uso de pavimento convencional en rehabilitación de vías.

Riesgos y Actividades que generan impactos	Contaminación atmosférica	Riesgo de contaminación de suelo	Riesgo de contaminación de agua	Generación de residuos	Generación de ruido	Acopio de materiales	Traslado de material (cantera a planta)
Aire, Suelo y Agua	9	6	6	9	4	9	3
Flora y Fauna	2	4	6	6		9	
Socioeconómico	9	2	4	6	5	8	2

Fuente: Aguilar & Infanzón (2020)

Tabla N°13. Matriz de impacto ambiental con el uso de pavimento reciclado en caliente en rehabilitación de vías.

Riesgos y Actividades que generan impactos	Contaminación atmosférica	Riesgo de contaminación de suelo	Riesgo de contaminación de agua	Generación de residuos	Generación de ruido	Acopio de materiales	Traslado de material (cantera a planta)
Aire, Suelo y Agua	7	5	4	5	2	5	1
Flora y Fauna	1	4	5	5		7	
Socioeconómico	7	1	3	5	4	7	1

Fuente: Aguilar & Infanzón (2020)

Estudio N°2: Presentan un análisis ambiental utilizando un 10% de pavimentos asfálticos reciclados para rehabilitación de vías. La planta procesadora unas condiciones normales de trabajo y de recepción de residuos, en la planta se fabrican 215.000 t/año de mezcla de asfalto nuevo, con lo que se reciclarían 21.500 t/año de residuo.

De este modo se consigue un doble beneficio, ya que, por un lado, se gestiona mediante el reciclaje un residuo que de otra forma acabaría en un botadero y por otro lado, se reduce el uso de agregados o material de origen natural.

Por otro lado, el proceso en planta utilizando pavimento asfáltico reciclado no cambiará sustancialmente a la actividad que se realiza en la planta utilizando solamente material virgen. Ya que el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica no se modifica más allá de sustituir parte de los agregados naturales empleados, por residuos generados en el fresado de pavimentos asfálticos.

Los trabajos que se desarrollarán en la planta, en relación con la recepción y reciclado de residuos, serán los siguientes:

Recepción del fresado de firmes y pavimentos asfálticos.

Acopio del fresado, hasta su reciclado.

Reciclado del fresado mediante su empleo como parte de la materia prima en la fabricación de una nueva mezcla asfáltica.

Transporte del nuevo aglomerado asfáltico en volquetes, para su transporte a la obra de destino.



Figura N°35. *Planta procesadora de asfalto reciclado El Campillo*

Fuente: GALLARTA (2016)

Tabla N°14. Producción de pavimento asfáltico en caliente en planta

Producción de pavimento asfáltico en caliente en planta		
Capacidad	Producción media	Producción máxima
t/año	45.15	215000
t/día	210	1000
t/h	26.25	125

Fuente: Gallarta (2016)

Tabla N°15. Producción de pavimento asfáltico reciclado en caliente en planta

Producción de pavimento asfáltico en caliente en planta		
Capacidad	Producción media	Producción máxima
t/año	4.52	21500
t/día	21	100
t/h	2.63	12.5

Fuente: Gallarta (2016)

En el proceso de gestión y reciclado del fresado de firmes y pavimentos asfálticos en la planta, únicamente se producirán impactos en la fase de explotación. No se contempla la fase de rehabilitación, debido a que el proceso de gestión y reciclado se realiza dentro de las instalaciones de la planta de fabricación de la mezcla asfáltico ya construida.

Tabla N°16. Impactos durante la fase de producción.

Actividades causantes de impactos durante la fase de producción	Sistemas Afectados
Contaminación del aire	Salud pública de los trabajadores y comunidades del entorno.
Contaminación del suelo	Salud pública de los trabajadores, comunidades, flora y fauna del entorno.
Contaminación de aguas	Aguas subterráneas y superficiales.
Generación de residuos	Salud pública de los trabajadores y comunidades del entorno.
Reciclaje de residuos	Recursos naturales.

Fuente: Gallarta (2016)

Tabla N°17. Matriz de impacto ambiental con el uso de pavimento asfáltico reciclado para la producción de la mezcla:

Impactos Potenciales	Carácter	Tipo	Acumulación	Dirección	Reversibilidad	Recuperación	Periodicidad	Continuidad	Grado de Significación	Medidas	Caracterización Global

Actividades causantes de impacto	Sistemas afectados	P	N	D	I	S	A	S	T	P	R	l	R	l	P	l	C	D	S	N		C	M	S	C	
		o	e	i	n	i	c	i	e	e	r	r	e	r	e	r	o	i	i	o	S		o	o	e	r
		s	g	r	d	m	u	n	m	r	v	r	e	r	e	r	n	s	g	S			m	d	v	f
		t	a	e	r	p	l	é	p	a	e	v	u	e	ó	g	i	o	n	i			p	e	e	t
		i	t	c	r	e	a	r	o	n	s	e	e	p	d	u	n	n	f	i			a	r	r	i
		v	t	o	e	e	l	g	a	e	i	r	r	u	u	o	i	n	t	i			t	a	o	c
		o	o		o		o	o	l	n	b	s	a	e	a	o	o	i	c	f			i	d		o
										t	e	b	l	e				o	a	t		e	o			
Contaminación aire	Salud pública de los trabajadores y comunidades del entorno.		x	x			x		x		x				x		x		x		SI		x			
Contaminación suelo	Salud pública de los trabajadores y comunidades del entorno.		x		x		x			x		x			x		x		x		SI		x			
Contaminación de aguas	Hidrología flora y fauna del entorno.		x	x			x			x	x				x		x		x		SI	x				
Generación de residuos	Salud pública de los trabajadores y		x		x		x			x					x		x		x		SI	x				

5.5.2 Evaluación económica de pavimentos asfálticos reciclados en caliente

Estudio N°1: Según el estudio para una rehabilitación de vía en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de canta en el departamento de lima.

Presentan un diseño de mezcla con un 40% pavimento asfáltico reciclado en caliente de la siguiente manera:

Tabla N°18. Contenido de Agregados del estudio

N°	Ítem	%
1	Material Reciclado	40
2	Agregado Grueso	10
3	Arena Chancada	50

Fuente: Balbin & Chonchon (2019)

A su vez, presentan las características de la mezcla obtenidos mediante el ensayo Marshall

Tabla N°19. Características de la mezcla obtenidos del ensayo Marshall

N° de golpes por cara	75
Contenido óptimo de cemento asfáltico (%)	4.1
Peso específico bulk (g/cm ³)	2.459
Vacíos (%)	4.1
Vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	70.6
V.M.A. (%)	13.9
Estabilidad (kg)	1315.4
Flujo (pulg)	13.8
Absorción de asfalto (%)	0.05
Relación de estabilidad/Flujo (kg/cm)	3748
Temperatura de la mezcla (°C)	145-150

Fuente: Balbin & Chonchon (2019)

Para determinar la evaluación económica de costos entre la pavimentación con pavimento asfáltico reciclado o pavimento convencional, tomaron en cuenta la mano de obra, el uso materiales y equipos y el flete por transporte de agregados de un lugar a otro; empleando el mismo proceso, pero se debe tener énfasis en la diferencia de materiales utilizados en el análisis de reutilización del material antiguo con la fabricación del material nuevo, sabiendo en que proporciones deben estar dichos materiales.

Análisis de precios unitarios para el pavimento convencional

Tabla N°20. Análisis de costo por m3 de mezcla asfáltica convencional

Mezcla asfáltica convencional en caliente			Unidad: m3	
Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Arena chancada	m3	0.48	76.5	36.72
Piedra chancada	m3	0.26	69.5	18.07
Cemento asfáltico 60/70	galón	36.3	6	217.8
			Total:	272.59

Fuente: Balbin & Chonchon (2019)

Tabla N°21. Análisis de costo por m3 de mezcla asfáltica reciclada en planta

Mezcla asfáltica con material reciclado en caliente			Unidad: m3	
Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Arena chancada	m3	0.4	76.5	30.6
Piedra chancada	m3	0.34	69.5	23.63
Cemento asfáltico 60/70	galón	30.6	6	183.6
			Total:	237.83

Fuente: Balbin & Chonchon (2019)

De acuerdo con los costos presentados se realiza una comparación de costos por m³.

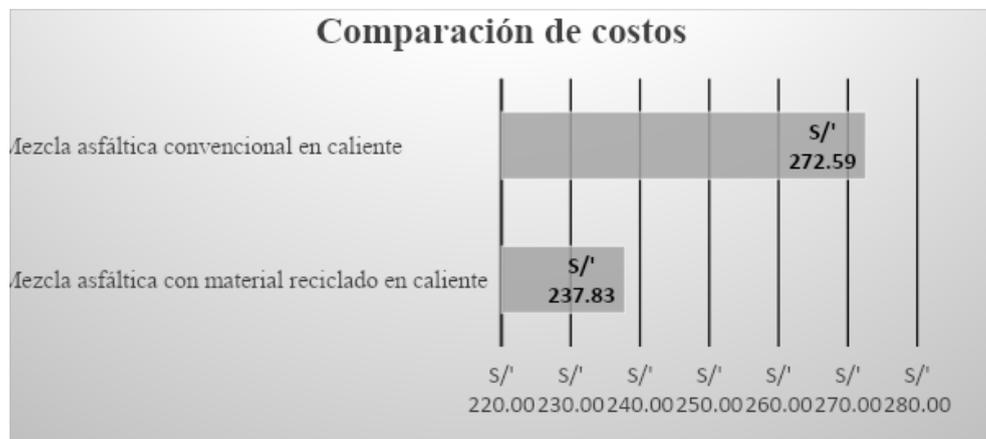


Figura N°36. Comparación de costos por m³ entre la producción de una mezcla asfáltica convencional y reciclada en caliente

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°22. Ahorro generado por m³ con el uso de RAP

% de RAP en mezcla	Costo en S/. de la mezcla por m ³	Ahorro por m ³	Ahorro en %
0	272.59	-	0
40	237.83	34.76	13

Fuente: Elaboración propia

Estudio N°2: En la presente investigación se generó un análisis comparativo entre pavimento asfáltico convencional y pavimento asfáltico reciclado para la rehabilitación de la Av. La Paz, en el distrito de San Miguel, en Lima. Se presentan un diseño de mezcla con un 15% pavimento asfáltico reciclado en caliente para rehabilitar la de la siguiente manera:

Tabla N°23. Contenido de Agregados del estudio

N°	Ítem	%
1	Material Reciclado	15
2	Agregado Grueso	35
3	Arena Chancada	50

Fuente: Rengifo & Vargas (2017)

Tabla N°24. Características de la mezcla obtenidos del ensayo Marshall

N° de golpes por cara	75
Contenido óptimo de cemento asfáltico (%)	5.8
Peso específico bulk (g/cm ³)	2.45
Vacíos (%)	7.5
Vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	70.9
V.M.A. (%)	19
Estabilidad (kg)	1040
Flujo(pulg)	12.8
Relación de estabilidad/Flujo (kg/cm)	3615
Estabilidad retenedia (%)	82.1

Fuente: Rengifo & Vargas (2017)

Para encontrar el coste-beneficio de pavimentación entre el pavimento asfáltico convencional y el pavimento asfáltico reciclado, es necesario estudiar el proceso de fabricación de ambos pavimentos. Para ello se debe manejar información de los materiales, equipos, herramientas y mano de obra que se emplea para ambos procesos.

En relación con los materiales, la única diferencia es en la utilización del pavimento asfáltico reciclado para fabricar un nuevo pavimento asfáltico reciclado. A su vez, los equipos que se utilizan en la fase de fabricación para ambos pavimentos son los mismos.

Considerando que el pavimento asfáltico reciclado será procesado en planta, el flete utilizado en el transporte de material fresado será considerado el

mismo para ambos pavimentos. Del mismo modo, para la mano de obra, ambos procesos utilizarán la misma cuadrilla.

Por consiguiente, la única diferencia para este caso de análisis se basa en la reutilización de material antiguo y la cantidad que éste permita ahorrar en la fabricación de pavimento flexible nuevo.

Por consiguiente, se usará material asfáltico recuperado del pavimento antiguo al 15% en la combinación total de agregados minerales. El material asfáltico recuperado aporta un total de 0.84% de cemento asfáltico tipo 60/70 al total de mezcla asfáltica reciclada en caliente.

En la investigación se menciona que el costo de los agregados fue cotizado por la empresa MENESES S.R.L.

El costo del cemento asfáltico PEM 60/70 fue obtenido de PETROPERU S.A. Los análisis de precios unitarios sólo se consideran en los materiales utilizados para la fabricación de las mezclas asfálticas en caliente para pavimento flexible convencional y pavimento flexible reciclado.

Tabla N°25. Análisis de costo por m³ de mezcla asfáltica convencional

Mezcla asfáltica convencional en caliente			Unidad: m ³	
Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Arena chancada	m ³	0.46	85	39.1
Piedra chancada	m ³	0.29	95	27.55
Cemento asfáltico 60/70	galón	32.3	6.03	194.77
			Total:	261.42

Fuente: Fuente: Rengifo & Vargas (2017)

Tabla N°26. Análisis de costo por m³ de mezcla asfáltica reciclada en planta.

Mezcla asfáltica reciclada en caliente				Unidad: m3	
Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Arena chancada	m3	0.4	85	34	
Piedra chancada	m3	0.29	95	27.55	
Cemento asfáltico 60/70	galón	29.48	6.03	177.76	
				Total:	239.31

Fuente: Rengifo & Vargas (2017)

De acuerdo con los costos presentados se realiza una comparación de costos por m3.

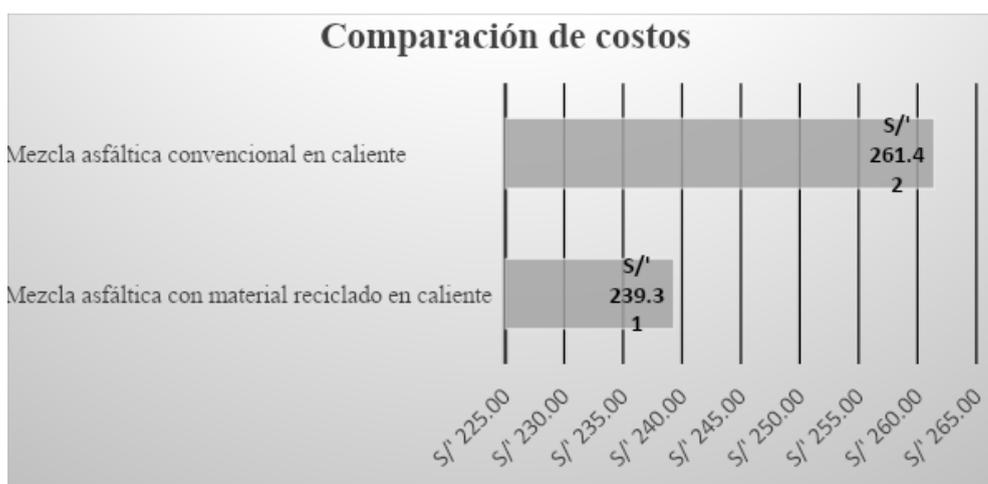


Figura N°37. Comparación de costos por m3 entre la producción de una mezcla asfáltica convencional y reciclada en caliente

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°27. Ahorro generado por m3 con el uso de RAP

% de RAP en mezcla	Costo en S/. de la mezcla por m3	Ahorro por m3	Ahorro en %
0	261.42	-	0
15	239.31	22.10	8

Fuente: Elaboración propia

Estudio N°3: En este estudio se presentó el diseño de pavimento con mezcla reciclada para reutilizarlos y optimizar costos en rehabilitación de vías.

El diseño de mezcla se presenta con un 85% pavimento asfáltico reciclado en caliente mencionada de la siguiente manera:

Tabla N°28. Contenido de Agregados del estudio

N°	Ítem	%
1	Material Reciclado	85
2	Agregado Grueso	5
3	Arena Chancada	10

Fuente: Valenzuela, 2020

Tabla N°29. Características de la mezcla obtenidos del ensayo Marshall

N° de golpes por cara	75
Contenido óptimo de cemento asfáltico (%)	5.8
Peso específico bulk (g/cm ³)	2.39
Vacios (%)	4
Vacios llenos con cemento asfáltico (%)	76
V.M.A. (%)	17
Estabilidad (kg)	1170
Flujo(pulg)	12.8
Relación de estabilidad/Flujo (kg/cm)	3759
Estabilidad retenedia (%)	82.1

Fuente: Valenzuela, 2020

Este proceso se realiza para definir el diseño final de la mezcla y conseguir los valores fundamentales del diseño de asfalto tales como flujo, estabilidad porcentaje de asfalto y peso unitario de la mezcla a continuación se aprecia en la tabla N°26, como resultados el diseño de mezcla reciclada óptimo, lograron un ahorro significativo en comparación a un diseño de mezcla convencional, en este estudio se corroboró el costo en insumos que se logra ahorrar con un 85% de pavimento asfáltico reciclado, antes de su uso verificaron si cumplen con los parámetros de EG-2013 sobre mezclas con material reciclado en

caliente, para el análisis de costo de la mezcla asfáltica para la rehabilitación de la vía donde el único insumo que no sufrió modificación es el gasto general ya que se necesita la misma cantidad de colaboradores y el mismo consumo de fuentes de energía.

Tabla N°30. Análisis de costo por m3 de mezcla asfáltica convencional

Mezcla asfáltica convencional en caliente			Unidad: m3	
Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Arena chancada	m3	0.48	80	38.4
Piedra chancada 1/2	m3	0.28	87	24.36
Piedra chancada 3/8	m3	0.23	92	21.16
Cemento asfáltico 60/70	galón	32	6.09	194.88
			Total:	278.80

Fuente: Valenzuela (2020)

Tabla N°31. Análisis de costo por m3 de mezcla asfáltica reciclada en planta

Mezcla asfáltica reciclada en caliente			Unidad: m3	
Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Arena chancada	m3	0.48	80	38.4
Piedra chancada 1/2	m3	0.28	87	24.36
Piedra chancada 3/8	m3	0.23	92	21.16
Cemento asfáltico 60/70	galón	21	6.09	127.89
			Total:	211.81

Fuente: Valenzuela (2020)

De acuerdo con los costos presentados se realiza una comparación de costos por m3.

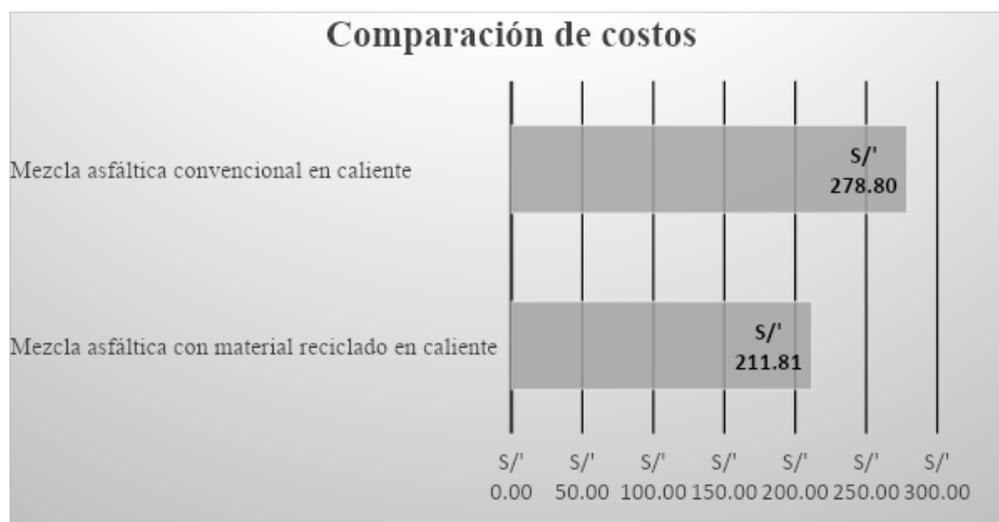


Figura N°38. Comparación de costos por m3 entre la producción de una mezcla asfáltica convencional y reciclada en caliente

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°32. Contenido de Agregados del estudio

% de RAP en mezcla	Costo en S/. de la mezcla por m3	Ahorro por m3	Ahorro en %
0	278.8	-	0
85	211.81	66.99	24

Fuente: Valenzuela (2020)

5.6. Discusión de resultados

De forma general se puede decir que el uso de pavimentos reciclados para rehabilitación de vías, genera ahorros significativos e impactos positivos al medio ambiente ya que como sabemos, los pavimentos retirados de vías que necesitan ser rehabilitadas son desechados en botaderos o rellenos sanitarios, generando contaminación ambiental, motivo por el cual que nuestra alternativa planteada aprovecha estos pavimentos asfálticos envejecidos y se les da nuevamente uso en beneficio de la sociedad y el ambiente, produciendo costes-beneficios y mejorando las condiciones viales de nuestro país.

5.6.1. Influencia de la evaluación ambiental

En el estudio N°1 ambiental al evaluar los impactos que genera el pavimento asfáltico convencional y con RAP producido en caliente, en las Tablas N°12 y N°13, se pudo observar que la probabilidad de contaminación física (aire, suelo y agua) son las que más varían de una manera significativa, por lo tanto, en su análisis se visualiza cómo se comportan los factores ambientales con el reciclado de pavimentos asfálticos en caliente, generando beneficios al medio ambiente y reduciendo los riesgos a los efectos negativos. Del mismo modo ocurre en el estudio N°2, en este se evaluó los impactos potenciales a producir mejoras ambientales con el uso del RAP, mencionando en la tabla N°17 que los daños producidos al aire y el suelo se encuentra a un nivel moderado y al agua de forma compatible según la actividad que se realice.

5.6.2. Influencia económica

En este apartado también se analizó los estudios actuales y relevantes en nuestro país que presentan como alternativa de solución a las rehabilitaciones de vías el uso de pavimento asfáltico reciclado en caliente, de los cuales se obtuvo mejoras económicas con el uso de pavimentos reciclados en caliente validando que se generan ahorros graduales según el porcentaje de material reciclado que se utilice para el diseño de mezcla, mientras más sea el porcentaje mayor será el ahorro y eso se contrasta en la comparación de los costos de cada mezcla con material reciclado y con una mezcla convencional.

5.7. Contrastación de hipótesis

5.7.1. Hipótesis específica 1

Hipótesis Alterna (Hi1): Rehabilitar vías con pavimentos asfálticos reciclados en caliente disminuye los daños producidos al medio ambiente.

Hipótesis Nula (Ho1): Rehabilitar vías con pavimento asfáltico reciclado en caliente no disminuye los daños producidos al medio ambiente.

De acuerdo a la evaluación de los estudios mostrados, la reducción del daño al medio ambiente es una de las principales causas por las que se busca fomentar el uso del pavimento asfáltico reciclado en caliente para rehabilitar vías, el desarrollo de esta técnica, el proceso para adquirir una nueva mezcla y a través de los estudios presentados de análisis ambiental, el uso de pavimento asfáltico reciclado en caliente genera un impacto positivo y la preservación de los recursos naturales existentes; por lo tanto, se rechaza H_01 y H_{i1} es válida.

5.7.2. Hipótesis específica 2

Hipótesis Alternativa (H_{i2}): El costo-beneficio influye en la evaluación económica del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías.

Hipótesis Nula (H_02): El costo-beneficio no influye en la evaluación económica del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías.

Considerando los tres estudios presentados, el costo-beneficio se aplica específicamente en la producción del material de la mezcla asfáltica en caliente. Para ello se comparó los costos de una mezcla convencional y el costo de mezclas utilizando distintos porcentajes de RAP al realizar la comparación se obtuvo ahorros significativos gradualmente al porcentaje de pavimento asfáltico reciclado utilizado respectivamente como se puede apreciar en las tablas N°16, 21 y 26, por ende, H_{i2} es válida.

5.7.3. Hipótesis específica 3

Hipótesis Alternativa (H_{i3}): En la evaluación del impacto ambiental y económico en el reciclado de pavimentos asfálticos en caliente genera un grado de influencia significativo en la rehabilitación de vías.

Hipótesis Alternativa (H_03): En la evaluación del impacto ambiental y económico en el reciclado de pavimentos asfálticos en caliente no genera un grado de influencia significativo en la rehabilitación de vías.

Al evaluar el análisis del impacto ambiental y económico en el reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en cada estudio presentado, se obtuvo un grado de influencia significativo generando mejoras a los factores ambientales más relevantes como el aire y al suelo. A su vez, en la parte económica se generó una reducción de costos de la producción del material mostrando un grado de influencia positivo.

5.7.4 Hipótesis Principal

Hipótesis Alterna (Hi): La evaluación del impacto ambiental y económico del reciclado de pavimento asfáltico en caliente influye en la rehabilitación de vías.

Hipótesis Nula (Ho): La evaluación del impacto ambiental y económico del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente no influye en la rehabilitación de vías.

Los resultados obtenidos en las hipótesis secundarias Hi1, Hi2 y Hi3, generan la aprobación de la hipótesis general, ya que, al aplicar la técnica del reciclado de pavimento asfáltico en caliente, influye generando beneficios ambientales y económicos en la rehabilitación de vía.

CONCLUSIONES

1. Al realizar la evaluación del análisis de impacto ambiental para la producción de una mezcla utilizando pavimento asfáltico reciclado en caliente mediante una planta procesadora se concluye que el uso del RAP influye positivamente, mejorando la calidad del aire y el suelo, principalmente en la reducción de partículas contaminantes y la generación de olores contaminantes en el ambiente, a su vez también se reduce la combustión debido a la reducción de aglomeración

de desechos.

2. El reciclado permite alcanzar metas económicas, los beneficios pueden resumirse en el menor costo de la mezcla y menor cantidad utilizada de material virgen, ahorros energéticos, ventajas operativas y técnicas, debido a que las obras viales consumen elevados volúmenes de recursos no renovables. Por ello, se realizó una evaluación económica del pavimento asfáltico reciclado en caliente basándonos en estudios con diferentes porcentajes de RAP concluyendo que este método es eficaz y rentable.
3. La evaluación de impacto ambiental nos condujo a determinar el grado de influencia de los impactos más significativos al medio ambiente utilizando pavimento asfáltico reciclado en caliente, siendo el aire y el suelo los más beneficiarios reduciendo la contaminación de un impacto severo a un impacto moderado.
4. La evaluación económica, solo presenta costos de la mezcla asfáltica en caliente, debido a que en ese ítem es donde se aprecia el costo-beneficio incorporando RAP en las mezclas asfálticas, por tal motivo se analizó los costos de una mezcla convencional y de mezclas utilizando un 15%, 40% y 85% de RAP al realizar la comparación se obtuvo ahorros de 8%, 13% y 24% respectivamente.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el mayor uso del pavimento asfáltico reciclado en caliente en rehabilitación de vías debido a que esta técnica es eficaz y económica, ya que los costos de materiales, producción y transporte generan ahorros económicos en una rehabilitación de vía, es decir a mayor porcentaje de reciclado utilizado mayor es el ahorro y además contribuye en la reducción del impacto ambiental.

2. Se sugiere a los especialistas en planta, procesar con las condiciones de calidad establecidas en las especificaciones técnicas, el material de residuos de pavimento asfáltico reciclado, tanto en su recopilación, acopio y producción, con la intervención de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente, debidamente equipada con un componente de abastecimiento de material reciclado, ubicado en el tercio intermedio del secador mezclador, que proporcione en esa zona, de una temperatura mínima de 135° C y máxima de 155°C.
3. Se recomienda a las próximas investigaciones aplicar un análisis ambiental para determinar la influencia en el impacto ambiental ya sea negativo o positivo, debido a que se debe disponer de elementos de predicción y de diagnóstico del proyecto en estudio, finalmente en base a los resultados obtenidos, realizar propuestas de mejoras ambientales.
4. Se recomienda seguir investigando con distintas dosificaciones de pavimento asfáltico reciclado en una base deteriorada para poder obtener más beneficios integrales dentro de lo estructural cumpliendo con los estándares establecidos, tiempo, costos y alternativas ambientales a las obras de rehabilitación vial a futuro.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Aguiar, J. & Miranda F. (2018) *Mezclas asfálticas con rap: pavimentos asfálticos reciclados*. Recuperado de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr>

- Aguilar, A. & Infanzón, R. (2020) *Aprovechamiento de material de pavimento asfáltico envejecido para reciclaje en caliente y reutilización en mezcla asfáltica en caliente*. Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú. Recuperado de <https://repositorio.urp.edu.pe>
- Alarcón, J. (2003). *Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta*. Recuperado de <https://www.tdx.cat/>
- Balbin R. & Chonchon V. (2019). *Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de canta en el departamento de lima 2019* (Tesis de pregrado). Universidad de San Martín de Porres Lima-Perú. Recuperado de <https://repositorio.usmp.edu.pe>
- Barahona C. (2021). *Diseño de mezcla asfáltica usando material reciclado para optimizar costos de materiales en el tramo km 18+000 al km 19+000 de la avenida universitaria ubicado en el distrito de los olivos – departamento de Lima*. (Tesis de pregrado) Universidad de San Martín de Porres Lima-Perú. Recuperado de <https://repositorio.usmp.edu.pe>
- Batz, L. (2020). *Estudio del uso de pavimento asfáltico recuperado en mezclas asfálticas en caliente, reciclado en la ciudad de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala-Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/>
- Castillo, D. (n.d.). *Reciclado de pavimentos en carreteras*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Quito-Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/>
- Chicaiza, M. (2013). *Rehabilitación vial con reciclado y emulsión asfáltica con aplicación en las vías de la ciudad de Quito. (av. Simón Bolívar)*”. Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/>

- Crispín, E., & Helguero, L. (2019). *Estructura de un pavimento asfáltico en material reciclado para mejorar sus beneficios integrales*. Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú. Recuperado de <https://repositorio.urp.edu.pe>
- Céspedes (2019) *Proceso de producción y colocación de mezcla asfálticas en caliente empleado una planta de asfalto móvil*. Universidad de Piura, Lima-Perú. Recuperado de <https://pirhua.udep.edu.pe/>
- Del Pilar, J, Acevedo, N, & Hinestroza Arango.S (2021). *Análisis de la variación de los costos económicos y las ventajas ambientales, que tiene la implementación de pavimentos asfálticos reciclados en la construcción de la Vía Distribuidora del Sur en Envigado (Antioquia)*. Universidad Tecnológica Centroamericana, Bogotá-Colombia. Recuperado <https://repositorio.unitec.edu.co/>
- Franke & Ksaibati (2015) *A methodology for cost-benefit analysis of recycled asphalt pavement (RAP) in various highway applications*. Recuperado de <https://ur.booksc.eu/book/>
- Galindo, A. (2019). *Técnicas de fresado de pavimentos flexibles aplicables en la república de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala-Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/>
- Gallarta, E. (2016) *Evaluación de impacto ambiental simplificada de la planta de reciclado de asfaltos de grupo Campezo ubicado en Abanto-Zierbena*. Recuperado de <https://www.euskadi.eus/contenidos/>
- Jara, R. & Pérez G. (2020). *Reutilización de pavimentos asfálticos reciclados en frío, como alternativa para la construcción de vías provisionales en asentamientos humanos en la ciudad de Lima – Perú*. Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú. Recuperado de <https://repositorio.urp.edu.pe>
- Lieva, F., & Vargas, A. (2017). *Mejores prácticas para diseñar mezclas asfálticas con pavimento asfáltico recuperado (RAP)*. Recuperado de <https://www.scielo.sa.cr/>

- Méndez, A. (2015). *Evaluación técnica y económica del uso de pavimento asfáltico reciclado (rap) en vías colombianas*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá- Colombia. Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/>
- Mendoza, F., Adame, E., & Marcos, O. A. (2020). *Beneficios ambientales del reciclaje de pavimentos*. Universidad Tecnológica Centroamericana, Bogotá-Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unitec.edu.co/>
- McCarthy, L. (2020) *Evaluating the Effects of Recycling Agents on Asphalt Mixtures with High RAS and RAP Binder Ratios*. Recuperado de <https://nap.nationalacademies.org/>
- Pastás, R. (2021). *Estudio y análisis de los procesos de obtención, almacenamiento y uso del material de pavimento asfáltico reciclado en las diferentes obras viales*. Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia. Recuperado de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/>
- Pérez (2020) *Análisis de costo efectividad en la implementación de pavimentos reciclados de carreteras*. Universidad de Guanajuato.Guanajato-Mexico Recuperado de <http://www.repositorio.ugto.mx/>
- Quesada, I. (2004). *Evaluación del comportamiento de diferentes tramos de carretera rehabilitados utilizando mezclas recicladas en frío*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona-España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/>
- Rengifo J. & Vargas M. (2017). *Análisis comparativo entre pavimento flexible convencional y pavimento flexible reciclado en las cuadras 1 - 29 de la avenida la paz san miguel – lima* (Tesis de pregrado). Universidad de San Martín de Porres Lima-Perú. Recuperado de <https://repositorio.usmp.edu.pe>
- Restrepo, H., & Stephens, S. (2015). “*Reciclaje de pavimentos estudio de las ventajas económicas del reciclaje en frío in situ de pavimentos asfálticos*”. Universidad de Medellín, Medellín-Colombia. Recuperado de <https://repository.udem.edu.co/>

- Sánchez, J. (2009). *Estudio de las ventajas del reciclado in situ en caliente de pavimentos flexibles*. Universidad de la Salle Bogotá-Colombia. Recuperado de <https://ciencia.lasalle.edu.co/>
- Santa Cruz, P. (2021) *Análisis de nuevas mezclas asfálticas en caliente utilizando material asfáltico reciclado de la Av. Andrés Avelino Cáceres - Provincia de Concepción 2020*. Universidad Continental, Huancayo-Perú. Recuperado de <https://repositorio.continental.edu.pe/>
- Torres, R., Flores, P., Flores, V., & Marion, K. (2014). *Mezclas asfálticas con materiales reciclados de construcción y demolición para la reparación de pavimentos*. Recuperado de <https://www.ecorfan.org/>
- Valenzuela (2020) *Diseño de pavimento con mezcla reciclado para reutilizarlos y optimizar costos* Universidad Peruana los Andes, Huancayo-Perú. Recuperado de <https://repositorio.upla.edu.pe/>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia: “Influencia de la evaluación ambiental y económico del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cuál es la influencia de la evaluación del impacto ambiental y económico del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías?	Determinar la influencia de la evaluación del impacto ambiental y económico del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías, año 2022.	La evaluación del impacto ambiental y económico del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente influye en la rehabilitación de vías.	Variable independiente	Reciclado in situ	Material reciclado	Método: Inductivo
					Máquina recicladora	Orientación: Aplicada
			Reciclado de pavimentos asfálticos en caliente	Reciclado en Planta	Material reciclado	Enfoque: Cuantitativo
					Planta recicladora	Recolección de datos: Retro electivo
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	Variable dependiente			Tipo de la investigación: Descriptivo
a. ¿Cuál es la influencia de la evaluación del impacto ambiental del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías?	a. Analizar la influencia de la evaluación del impacto ambiental del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías.	a. Rehabilitar vías con pavimentos asfálticos reciclado en caliente disminuye los daños producidos al medio ambiente.			Medición del impacto ambiental	Nivel de investigación: Descriptivo-Explicativo
b. ¿De qué manera influye el costo-beneficio en la evaluación económico del reciclado de pavimentos asfálticos en la rehabilitación de vías?	b. Determinar la influencia del costo-beneficio de la evaluación económico del reciclado de pavimentos asfálticos en la rehabilitación de vías.	b. El costo-beneficio influye en la evaluación económica del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías.	Evaluación ambiental y económico	Ambiental	Minimizar la explotación de canteras	Diseño de la Investigación: No experimental, transversal, retro prospectivo.
					Minimizar el volumen de desechos sólidos	
c. ¿Cuál es el grado de influencia de la evaluación del impacto ambiental y económico del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías?	c. Determinar el grado de influencia de la evaluación del impacto ambiental y económico del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en la rehabilitación de vías.	c. En la evaluación del impacto ambiental y económico en el reciclado de pavimentos asfálticos en caliente genera un grado de influencia significativo en la rehabilitación de vías		Económico	Costo-beneficio	Población: 10 investigaciones nacionales, 20 investigaciones internacionales, 8 libros, 2 manuales, 8 artículos y papers. Muestra: La muestra es igual a la población. Teniendo un

tipo de muestra no
probabilístico.

Fuente: Elaboración propia