

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**APROVECHAMIENTO DE MATERIAL DE PAVIMENTO  
ASFÁLTICO ENVEJECIDO PARA RECICLAJE EN CALIENTE Y  
REUTILIZACIÓN EN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. AGUILAR SARA VIA, ANGIE CAROLINA**

**Bach. INFANZÓN REYMUDEZ, RICHARD**

**Asesor: M. Sc. Ing. HUAMÁN GUERRERO, NÉSTOR WILFREDO**

**LIMA – PERÚ**  
**2020**

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente investigación a mis padres Félix Aguilar Tornero y Mariela Saravia Tasayco, a mis hermanas Brenda y Mercy, a mi abuela Estela por su apoyo incondicional en todo momento a lo largo de mi etapa universitaria, y a toda mi familia gracias por sus ejemplos de superación y humildad.

Angie Carolina Aguilar Saravia

La presente investigación está dedicado a mis padres, Vicente Infanzón Quintanilla y Corina Reymundez Hinostroza, a mis hermanos Wadson y José Luis, a mis tías Yolanda y Felicitas, por su amor y apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de los años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta donde estoy ahora, todos mis logros van para ustedes.

Richard Infanzón Reymundez

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por guiarnos en todo momento y llegar a culminar nuestra etapa universitaria. A nuestro asesor el Ing. Néstor W. Huamán Guerrero y al Ing. Wilder Rodríguez Mogollón, por su constante apoyo y guía, por brindarnos su experiencia profesional durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

Angie Aguilar y Richard Infanzón

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción y formulación del problema general y específico .....	3
1.1.1 Problema general .....	4
1.1.2 Problemas específicos .....	4
1.2 Objetivo general y específico .....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos .....	4
1.3 Justificación e importancia de la investigación .....	5
1.4 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática .....	5
1.4.1 Delimitación temporal.....	5
1.4.2 Delimitación espacial.....	6
1.4.3 Delimitación temática .....	6
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes .....	7
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema .....	8
2.2.1 Investigaciones nacionales .....	8
2.2.2 Investigaciones internacionales .....	10
2.3 Bases Teóricas .....	11
2.3.1 Pavimentos .....	11
2.3.1.1 Tipos de Pavimentos.....	12
2.3.1.2 Características que debe reunir un pavimento .....	13
2.3.1.3 Ciclo de vida de un pavimento.....	13
2.3.2 Pavimentos Flexibles o Asfálticos .....	16
2.3.2.1 Estructura del Pavimento Asfáltico.....	17
2.3.2.2 Comportamiento del Pavimento Asfáltico.....	19

2.3.2.3	Causas del surgimiento de Fallas .....	19
2.3.2.4	Tipos de deterioros o fallas en Pavimentos Asfálticos .....	20
2.3.2.4.1	Tipos y causas de los daños estructurales .....	20
2.3.2.4.2	Tipos y causas de los daños superficiales .....	21
2.3.3	Mezclas Asfálticas .....	21
2.3.3.1	Composición de las Mezclas Asfálticas .....	23
2.3.3.1.1	Asfalto .....	23
2.3.3.1.2	Agregados.....	26
2.3.3.2	Tipos de las Mezclas Asfálticas .....	29
2.3.3.2.1	Mezclas Asfálticas en Caliente.....	29
2.3.3.2.2	Mezclas Asfálticas en Frío .....	30
2.3.4	Reciclaje de Pavimentos Asfálticos .....	30
2.3.4.1	Factores Ambientales .....	31
2.3.4.1.1	Categorización de Impactos Ambientales .....	32
2.3.4.1.2	Consideraciones Ambientales .....	34
2.3.4.2	Factores Económicos.....	36
2.4	Definición de Términos Básicos.....	38
2.4.1	Pavimento flexible: .....	38
2.4.2	Pavimento rígido:.....	38
2.4.3	Reciclaje de pavimentos:.....	38
2.4.4	Mezcla Asfáltica en caliente:.....	38
2.4.5	Ligante asfáltico:.....	38
2.4.6	Conservación vial: .....	39
2.4.7	Rehabilitación de pavimentos:.....	39
2.4.8	Medio Ambiente: .....	39
3.	CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....	40
3.1	Hipótesis.....	40
3.1.1	Hipótesis principal .....	40
3.1.2	Hipótesis secundarias .....	40
3.2	Variables .....	40
3.2.1	Definición conceptual de las variables.....	40
3.2.2	Operacionalización de las variables.....	41

4.	CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	42
4.1	Tipo y Nivel.....	42
4.2	Diseño de investigación .....	42
4.3	Población y muestra.....	43
4.3.1	Población .....	43
4.3.2	Muestra.....	43
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	43
4.4.1	Tipos de técnicas e instrumentos .....	43
4.4.2	Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos .....	44
4.4.3	Procedimientos para la Recolección de Datos.....	44
4.5	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información .....	44
5.	CAPÍTULO V: RECICLAJE DE PAVIMENTO ASFÁLTICOS EN CALIENTE 45	
5.1	Introducción.....	45
5.2	Experiencias en el Reciclado de Material Asfáltico .....	48
5.2.1	Experiencia Belga .....	48
5.2.2	Experiencia Canadiense .....	50
5.2.3	Experiencia en los Estados Unidos .....	50
5.2.4	Experiencia en España .....	51
5.2.5	Experiencia en Cataluña.....	54
5.3	Clasificación del Reciclado en Caliente.....	54
5.3.1	Reciclado en caliente in situ .....	55
5.3.2	Reciclado en caliente en planta.....	58
5.4	Procedimiento para el reciclado de mezclas asfálticas en caliente en planta y necesario para realizarlo.....	54
5.4.1	Recuperación de materiales de los pavimentos asfálticos deteriorados para su reciclado .....	60
5.4.2	Proceso y acopio del RAP en planta .....	60
5.4.3	Caracterización de los materiales que formarán parte de las mezclas recicladas .....	65
5.4.3.1	RAP.....	65

5.4.3.2	Ligante Bituminoso .....	67
5.4.3.3	Agentes rejuvenecedores .....	67
5.4.3.4	Agregados .....	69
5.4.4	Plantas para la fabricación de mezclas asfálticas recicladas en caliente .....	70
5.4.4.1	Plantas discontinuas .....	70
5.4.4.2	Planta continuas de tambor secador - mezclador .....	74
5.4.4.3	Plantas especiales a base de microondas .....	78
5.5	Ventajas de la técnica del Reciclado de Pavimentos Asfálticos en Caliente .....	78
5.5.1	Reciclado in – situ.....	78
5.5.2	Reciclado en planta .....	78
6.	CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	80
6.1	Diagnóstico y situación actual.....	80
6.2	Presentación de Resultados .....	80
6.2.1	Contenido de Asfalto Extraído del RAP .....	80
6.2.2	Características de la Carpeta Asfáltica con 0%, 10%, 20% 30% y 40% de RAP .....	81
6.2.3	Resultados del Ensayo Marshall .....	80
6.2.4	Resumen de Agregado Pétreos .....	84
6.2.5	Resumen del Óptimo contenido de Cemento Asfáltico .....	84
6.2.6	Resumen de las propiedades de la carpeta asfáltica.....	85
6.2.7	Resultados del Ensayo Marshall .....	87
6.2.8	Impacto Ambiental.....	88
6.2.8.1	Impacto Ambiental sin Reciclar el Pavimento Asfáltico envejecido ..	88
6.2.8.2	Impacto Ambiental Reciclando el Pavimento Asfáltico envejecido ...	89
6.2.9	Costos .....	89
6.3	Análisis de Resultados .....	90
6.4	Contrastación de Hipótesis.....	91
6.4.1	Contrastación de Hipótesis Secundaria N°01 .....	91
6.4.2	Contrastación de Hipótesis Secundaria N°02 .....	93
6.4.3	Contrastación de Hipótesis Secundaria N°03 .....	94
6.4.4	Contrastación de Hipótesis Principal .....	95

CONCLUSIONES .....	96
RECOMENDACIONES .....	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	98
ANEXOS .....	100
ANEXO 1 - MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	104
ANEXO 2 - OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES .....	105



## INDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Requerimiento del Agregado Grueso para una Mezcla Asfáltica en CALIENTE.....	27
Tabla N°2: Requerimiento del Agregado Fino para una Mezcla Asfáltica en CALIENTE .....	28
Tabla N°3: Factores ambientales – Causa y Obtención de asfalto modificado .....	32
Tabla N°4: Caracterización de impacto.....	34
Tabla N°5: Operacionalización de variables .....	41
Tabla N°6: Uso de material reciclado de pavimentos en Bélgica desde 1977 a 1985 ....	49
Tabla N°7: % de RAP utilizados en algunos tramos de la red de carreteras belga en los años 1984 - 86.....	49
Tabla N°8: Uso del RAP en Canadá .....	51
Tabla N°9: Terminología inglesa y española de los procesamientos de reciclado en caliente in situ .....	56
Tabla N°10: Resumen de los porcentajes de agregados pétreos .....	84
Tabla N°11: Resumen del óptimo contenido de asfalto .....	84
Tabla N°12: Resumen de las propiedades de los diseños de carpeta asfáltica .....	85
Tabla N°13: Matriz de Impacto Ambiental sin reciclar el pavimento asfáltico envejecido .....	88
Tabla N°14: Matriz de Impacto Ambiental reciclando el pavimento asfáltico envejecido .....	89
Tabla N°15: Costos de Operación de una planta de producción en caliente .....	89
Tabla N°16: Costos Totales de Producción de Mezclas Asfálticas con 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de RAP.....	90
Tabla N°17: Ahorros por el uso de RAP .....	90
Tabla N°18: Propiedades de los diseños de carpeta asfáltica .....	92

Tabla N°19: Costo y ahorros en el uso del RAP .....94

## INDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Estructura del Pavimentos Rígidos .....	12
Figura N°2: Condición de la vía sin mantenimiento .....	15
Figura N°3: Diagrama de flujo del ciclo de vida “fatal” y “deseable” .....	16
Figura N°4: Tipos de Pavimentos Asfálticos.....	17
Figura N°5: Estructura del Pavimento Asfáltico .....	19
Figura N°6: Maquinaria de tratamiento en caliente in situ.....	58
Figura N°7: Demolición mecánica de un pavimento .....	60
Figura N°8: Fresado de capas asfálticas envejecidas.....	61
Figura N°9: Alimentación de planta con proceso de Machaqueo.....	63
Figura N°10: Trituradora de RAP de una sola criba .....	63
Figura N°11: Trituradora de RAP para obtener diferentes fracciones .....	64
Figura N°12: Planta discontinua con ingreso de RAP en elevador caliente.....	71
Figura N°13: Planta discontinua con tolva caliente de la torre dosificadora.....	72
Figura N°14: Planta discontinua con alimentación controlada a la tolva de pesaje .....	73
Figura N°15: Planta discontinua con doble tambor secador para calentamiento del RAP de la empresa PABASA .....	73
Figura N°16: Planta discontinua con doble tambor secador para calentamiento del RAP .....	74
Figura N°17: Planta continua con secador de flujo paralelo con mezclador separado (DMC) .....	75
Figura N°18: Planta continua con secador de contraflujo con mezclador separado (DMC II).....	75
Figura N°19: Planta continua con tambor secador – mezclador de contraflujo .....	76
Figura N°20: Planta continua con tambor secador – mezclador de doble tambor.....	77

Figura N°21: Planta continua con tambor secador – mezclador Double Barrel.....	77
Figura N°22: Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) .....	81
Figura N°23: % Vacíos de Aire.....	81
Figura N°24: % Vacíos Agregado Mineral.....	82
Figura N°25: % Vacíos Cemento Asfáltico .....	82
Figura N°26: Flujo (mm) .....	83
Figura N°27: Estabilidad (kg) .....	83
Figura N°28: % de Agregados .....	84
Figura N°29: Óptimo contenido de Asfalto y Asfalto adicional en el diseño .....	85
Figura N°30: Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) .....	86
Figura N°31: % Vacíos de Aire.....	86
Figura N°32: % Vacíos Agregado Mineral.....	86
Figura N°33: % Vacíos Cemento Asfáltico .....	87
Figura N°34: Flujo (mm) .....	87
Figura N°35: Estabilidad (kg) .....	88

## RESUMEN

El proyecto denominada “Aprovechamiento de material de pavimento asfáltico envejecido para reciclaje en caliente y reutilización en mezcla asfáltica en caliente”, tiene por objetivo evaluar el aprovechamiento del reciclaje en caliente de los pavimentos asfálticos en caliente, para su reutilización en una nueva mezcla asfáltica, en base a investigaciones nacionales e internacionales; se tiene como tipo de metodología de investigación básico o fundamental, con un diseño de investigación de tipo no experimental, transversal – descriptivo, la población de estudio estuvo conformada por 11 investigaciones nacionales y 11 investigaciones internacionales. De la cual solamente tomamos los datos de la tesis titulada “PROPUESTA TÉCNICA DE DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA UTILIZANDO PAVIMENTO RECICLADO PARA EL MEJORAMIENTO DE AV. MESONES MURO 0+000 -2+066 CHICLAYO”, presentada por el tesista Fustamante Fustamante, Jhonatan Pier (2018), ya que en Perú no contamos con datos estadísticos debido a que esta técnica de reciclado en caliente no es aplicada y no contamos con mucha información; por eso el análisis de esta tesis se basa en un solo caso, y se nos es imposible realizar experimentos en laboratorios ni salidas a campo.

Finalmente concluimos que al realizar una nueva mezcla asfáltica patrón con 10%, 20%, 30% y 40% de RAP, pudimos verificar el uso de pavimentos envejecidos como aporte de una nueva mezcla asfáltica en caliente; esta tecnología de reciclado en caliente de mezcla asfáltica será de gran utilidad ya que, obtendremos beneficios ambientales y reducciones de costos.

**Palabras Clave:** Reciclado en caliente, Diseño de mezcla asfáltica en caliente.

## ABSTRACT

The project called "Use of aged asphalt pavement material for hot recycling and reuse in hot asphalt mix", aims to evaluate the use of hot recycling of hot asphalt pavements, for its reuse in a new asphalt mix, based on national and international researches; it has as a type of basic or fundamental research methodology, with a non-experimental, transversal - descriptive research design, the study population was conformed by 11 national and 11 international researches. From which we only took the data from the thesis entitled "TECHNICAL PROPOSAL FOR THE DESIGN OF ASFALIC FOLDER USING RECYCLED PAVEMENT FOR THE IMPROVEMENT OF AV. MESONES MURO 0+000 -2+066 CHICLAYO", presented by Jhonatan Pier (2018), testamentary researcher Fustamante Fustamante, since in Peru we do not have statistical data due to the fact that this technique of hot recycling is not applied and we do not have much information; therefore the analysis of this thesis is based on a single case, and it is impossible for us to carry out experiments in laboratories or field trips.

Finally, we concluded that by making a new standard asphalt mix with 10%, 20%, 30% and 40% RAP, we could verify the use of aged pavements as a contribution to a new hot mix asphalt; this hot mix recycling technology will be very useful since we will obtain environmental benefits and cost reductions.

**Keywords:** Hot Recycling, Hot Mix Design.

# INTRODUCCIÓN

Hoy en día tenemos una gran demanda de consumo desmedido de los recursos naturales siendo utilizado en las diferentes obras de construcción y también en el área de las obras viales lo que genera daños ecológicos irreparables.

Por lo cual, actualmente, se han generado diferentes sistemas de gestión y producciones más eficientes, desarrollándose técnicas de reciclado de pavimentos asfálticos como soluciones a esta problemática, minimizando el impacto ambiental de nuestro planeta y la reducción de costos en los proyectos.

En este contexto, surge la investigación y análisis en la presente tesis.

En el capítulo I, se describe la problemática del tema de investigación, consultando temas similares para la formulación del problema, justificación y delimitación del tema. Las carreteras de la Red Vial en todo el Perú no tienen una política de conservación adecuada, a tal punto que muchas de esas vías se encuentran en estado de deterioro de transitabilidad, por ello tenemos como objetivo general, aprovechar la técnica de reciclaje en los pavimentos asfálticos, para su reutilización en un nuevo diseño de mezcla asfáltica en caliente, en base a las investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional, y teniendo como datos estadísticos a un solo caso, mencionado anteriormente.

En el capítulo II, se explica el marco teórico en dónde se profundiza con la ayuda de antecedentes, definiciones con las cuales podemos dar a conocer un mayor alcance de los conceptos relacionados al tema de investigación planteada. Apoyándonos en diversas fuentes para poder tener un mayor respaldo. Además, agregamos definiciones de términos básicos.

En el capítulo III, se formula la hipótesis general con las hipótesis específicas; así como también definimos nuestras variables dependientes e independientes con la operacionalización de variables.

En el capítulo IV, se realiza el diseño metodológico, donde definimos el tipo y nivel de la investigación, el diseño empleado en la investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y las técnicas para el procesamiento y análisis de la información.

En el capítulo V, se explica teóricamente el Reciclaje de Pavimento Asfáltico en Caliente, mencionando las experiencias realizadas en diferentes partes del mundo, su clasificación

tanto en planta como en in-situ, el procedimiento para el reciclado de mezclas asfálticas en caliente en planta y el equipo necesario para realizarlo y las ventajas en el reciclado de pavimentos asfálticos en caliente.

En el capítulo VI, se realiza la presentación y análisis de resultados obtenidos por una investigación realizada en el ámbito nacional titulada “Propuesta técnica de diseño de carpeta asfáltica utilizando pavimento reciclado para el mejoramiento de Av. Mesones Muro km 0+000-2+066 Chiclayo”, presentada por el tesista Fustamante Fustamante, Jhonatan Pier (2018), ya que en el Perú no contamos con datos estadísticos debido a que esta técnica de reciclado en caliente aún no se aplica y no se cuenta con mucha información; por eso el análisis de esta tesis se basa en un solo caso, mencionado anteriormente, de donde se obtendrán gráficos estadísticos y tablas de resultados para así poder obtener análisis con el 10%, 20%, 30% y 40 % de RAP, así como también obtener un análisis de costos. Finalmente se presenta la contrastación de hipótesis planteadas en la tesis.



## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción y formulación del problema general y específico**

Las carreteras de la Red Vial en todo el Perú no tienen una política de conservación adecuada, a tal punto que muchas de esas vías se encuentran en estado de deterioro de transitabilidad. Es necesario recuperar muchos de esos kilómetros de carretera; ya que estas son vías de Integración de corredores económicos para conformar un desarrollo sostenido en todo el Perú, puesto que se tiene que conservar el patrimonio vial debido a que los recursos financieros siempre son escasos.

La rehabilitación de las vías mediante el reciclado del pavimento asfáltico, es una alternativa utilizada por diferentes países en todo el mundo. El desarrollo vial ha crecido debido a que es importante para el desarrollo de un país, facilitando la movilización e integración de los individuos, satisfaciendo sus necesidades de transporte; exigiendo que deben contar con mejoras físicas, para así prestar serviciabilidad acorde al crecimiento del parque automotor. El diseño estructural exige que las superficies de rodaduras presenten condiciones adecuadas a fin de prestar confort y sostenibilidad, por ello el mantenimiento debe contar con eficacia acorde a sus necesidades.

La industria de la construcción desarrolla nuevas tecnologías para poder reciclar los residuos de los procesos constructivos y poder ser reutilizados después de cumplir su ciclo de vida.

La importancia de contar con nuevas tecnologías que ayuden a preservar el medio ambiente y optimicen en el proceso de construcción y/o rehabilitación de las carpetas asfálticas, conlleva a que los avances en esta materia sean más prácticas y significativas.

Entre las tecnologías que se han desarrollado, se encuentra el reciclado de mezcla asfáltica caliente en planta y reciclado de mezcla asfáltica caliente en in-situ de carpetas asfálticas, la cual funciona a partir de un tren de trabajos constituidos de una serie de maquinarias y procedimientos específicos.

Entre los beneficios que nos ofrecen las tecnologías se encuentran la preservación del medio ambiente, la disminución de materiales para la construcción de pavimentos

flexibles y el aumento en el rendimiento de ejecución en obra. El reciclaje por los métodos mencionados, logran disminuir el consumo de cemento asfáltico y materiales pétreos como también reducción del volumen de los desechos sólidos mejorando el medio ambiente. Sin embargo, en Perú y en otros países de Latinoamérica es más utilizado el reciclaje de pavimentos en planta que en in-situ, por lo tanto, el propósito de siguiente investigación es dar a conocer la importancia del reciclaje y la reutilización de la mezcla asfáltica en caliente, aprovechando los nuevos métodos y tecnologías que se encuentran en el mercado de la construcción.

#### 1.1.1 Problema general

¿Cómo aprovechar la técnica del reciclaje en caliente de los pavimentos asfálticos envejecidos, para su reutilización en una nueva mezcla asfáltica en caliente?

#### 1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿Se podrá utilizar pavimentos envejecidos como aporte de una mezcla asfáltica nueva?
- b) ¿Cuáles son las ventajas ambientales que se obtendrá con la reutilización, aplicando la técnica de reciclaje del pavimento asfáltico en caliente?
- c) ¿Se puede reducir los costos durante la ejecución de los proyectos, realizando la técnica de reciclaje en los pavimentos asfálticos?

### 1.2 Objetivo general y específico

#### 1.2.1 Objetivo general

Evaluar el aprovechamiento de la técnica de reciclaje en caliente de los pavimentos asfálticos envejecidos, para su reutilización en una nueva mezcla asfáltica en caliente, en base a las investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional.

#### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Utilizar un pavimento envejecido como aporte de una mezcla asfáltica nueva.
- b) Conocer las ventajas ambientales que se obtendrá con la reutilización del reciclaje del pavimento asfáltico en caliente.

- c) Reducir los costos durante la ejecución de los proyectos, realizando la técnica de reciclaje en los pavimentos asfálticos en caliente.

### 1.3 Justificación e importancia de la investigación

La presente investigación nos permitirá emplear materiales de reciclaje para la reutilización en mezclas de pavimentos asfálticos en caliente y así poder determinar la relación costo-beneficio para investigaciones posteriores, mediante un análisis el cual tomamos como referencia una sola tesis titulada “PROPUESTA TÉCNICA DE DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA UTILIZANDO PAVIMENTO RECICLADO PARA EL MEJORAMIENTO DE AV. MESONES MURO 0+000 -2+066 CHICLAYO, presentada por el tesista Fustamante Fustamante, Jhonatan Pier (2018). Ya que en el Perú esta técnica de reciclaje de pavimento asfáltico en caliente no se aplica y no se cuenta con datos estadísticos ni con mucha información, pero si existen estudios y manuales, es como una alternativa para disminuir materiales nuevos y al mismo tiempo la reducción de explotación de canteras y el consumo de materiales químicos (asfalto).

Así mismo permitirá tener cuidado con el medio ambiente, ya que se disminuirá los volúmenes de desechos sólidos mejorando la condición del medio ambiente.

La conservación vial hoy en día, es un aspecto de gran importancia debido a los recursos que moviliza. Los presupuestos que son necesario para su mantenimiento y el tiempo de ejecución serán más eficientes y menos costosos.

### 1.4 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática

#### 1.4.1 Delimitación temporal

El estudio abarcará en el periodo comprendido entre los de junio a diciembre del 2020, el análisis se efectuará utilizando investigaciones pasadas conformadas por 11 investigaciones nacionales, 11 investigaciones internacionales, 5 libros, 3 manuales y 7 revistas y papers, para así poder determinar el aprovechamiento del Reciclado de Pavimento Asfáltico en Caliente.

#### 1.4.2 Delimitación espacial

La presente investigación se realizará para todo el territorio nacional, la cual está conformada por 11 investigaciones nacionales, 11 investigaciones internacionales, 5 libros, 3 manuales y 7 revistas y papers.

#### 1.4.3 Delimitación temática

La realización de la presente investigación, busca estudiar el Aprovechamiento de material de pavimento asfáltico para Reciclaje en Caliente y su Reutilización en Mezcla Asfáltica en Caliente, debido a que no se cuenta con suficiente información a nivel nacional.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

El reciclado de pavimento asfálticos en caliente no es una idea nueva ya que en Estados Unidos se comenzó a utilizar desde 1915, aunque las obras con esta técnica fueron muy escasas durante varias décadas debido al bajo precio del asfalto y a que los equipos no estaban adaptados para utilizar esta técnica.

Fue a principios de los años 70's cuando el uso del reciclado de pavimentos comenzó a tener gran importancia, debido a la crisis del petróleo, hay un aumento del precio del asfalto. Este hecho, juntamente con un interés creciente por la conservación de la energía, hace que hacia el año 1974 se diese un fuerte impulso a estas técnicas en los Estados Unidos, sobre todo en los estados de Tejas y Nevada, pasándose de las 50.000 toneladas de mezcla asfáltica reciclada del año 1975 a las 25.000.000 de toneladas del año 1980. A raíz de la generalización de la técnica, se dispara una continuada aparición de equipos y productos encaminados al perfeccionamiento de los procesos de reciclado. Actualmente, el reciclado en general y el reciclado en caliente en particular son consideradas técnicas convencionales en Estados Unidos, donde un 73% de los 100 millones de toneladas de RAP producidas anualmente son reutilizadas en los diversos procesos de reciclado.

En 1991 el WSDOT (Washington State Department of Transportation) comenzó a estudiar el material recuperado de las carreteras que rehabilitaban para su reutilización y cinco años más tarde publicó una serie de recomendaciones para el uso de material reciclado en las mezclas asfálticas, entre las más relevantes tenemos las siguientes:

- Se permite la utilización de hasta un 20% de RAP en la fabricación de mezclas nuevas sin necesidad de un diseño específico.
- Se permite la utilización de hasta un 80% de RAP en la fabricación de mezclas nuevas siempre que se cumplan con los mismos criterios de diseño empleados para las mezclas convencionales.

De acuerdo con Anderson (1996), en el estado de Washington se han utilizado mezclas asfálticas con RAP para la construcción y rehabilitación de pavimentos desde el año 1977, lográndose reutilizar entre 1977 y 1981 más de 23,000 toneladas de RAP.

Las técnicas desarrolladas en Estados Unidos en la década de los 70 llegaron a Europa a finales de la misma. Actualmente, los países europeos con más tradición en este campo son Alemania, Austria, Dinamarca y Holanda, los cuales tienen un índice de reciclado por encima del 15% sobre el total de mezclas asfálticas y unos altos porcentajes de reutilización del RAP. Desde hace años, algunos países europeos como Bélgica, están investigando y trabajando en la reutilización de los materiales provenientes del fresado o escarificado de pavimentos.

De acuerdo con Van Heystraeten et. Al. (1991 y 1993), el reciclado en planta se inició en el país de Bélgica 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 asfalto 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.

## 2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

La presente tesis a desarrollar, tendrá investigaciones basadas en 11 investigaciones nacionales y 11 investigaciones internacionales.

### 2.2.1 Investigaciones nacionales

Fustamante J. (2018) en su tesis [Propuesta técnica de diseño de carpeta asfáltica utilizando pavimento reciclado para el mejoramiento de Av. Mesones Muro km+000-2+066 Chiclayo]. Publicado por la Universidad Cesar Vallejo, y como asesor el Mg. Ing. Benites Chero, Julio Cesar. Tuvo por objetivo; “Realizar una comparación de costos entre el diseño de la carpeta patrón y la carpeta con pavimento asfáltico reciclado (RAP), para el mejoramiento de la Av. Mesones Muro km0+000-2+066 Chiclayo”. Llegó a la conclusión que; hay un ahorro del 10.8% del costo total de la mezcla patrón, comprobando de esa manera que el uso del RAP reduce significativamente los costos de producción en la elaboración de carpetas asfálticas. (p. 30)

Paiva & Ramos (2013) en su tesis [Reciclado de pavimentos asfálticos y su reutilización para el diseño de mezcla de asfalto en caliente]. Publicado por la Universidad Señor de Sipán, y como asesor el Ing. Ruiz Saavedra, Nepton. Cuyo objetivo fue; “Preparar y ensayar la dosificación de mezcla para determinar la proporción adecuada de mezcla asfáltica a reciclar, agregados y asfalto”. Llegando a concluir que; los equipos de laboratorio de simulación son una herramienta valiosa porque nos permiten determinar la dosificación exacta de la mezcla reciclada que proporciona cada una de las cantidades de los agregados, asfalto, agua, agente estabilizador. (p. 4)

Chuman J. (2017) en su tesis [Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo]. Publicado por la Universidad Peruana de los Andes, y como asesor el Ing. Ordoñez Camposanto, Vladimir. El objetivo fue; “Evaluar la reutilización del pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo”. Concluye que; la ejecución de una mezcla experimental con el empleo de residuos de un pavimento flexible envejecido ha sido viable su reutilización en una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente, con las condiciones adecuadas de un procesamiento del material, cumpliendo con las especificaciones técnicas y de la calidad para un pavimento flexible. (p.4)

Crispín & Helguero (2019) en su tesis [Estructura de un pavimento asfáltico en material reciclado para mejorar sus beneficios integrales]. Publicado por la Universidad Ricardo Palma, y como asesor el M. Sc. Ing. Huamán Guerrero, Néstor. Tiene como objetivo; “Alcanzar la comparación en función al beneficio ambiental y social de la base granular convencional y la base granular estabilizada con cemento portland y reciclado de pavimento”. Llegando a la conclusión que; se alcanza una gran ventaja social ante la comunidad, ya que se reducirán diversas molestias como la congestión vehicular, accesos de vías de fácil transitabilidad. También se consiguen ventajas ambientales ya que se logrará disminuir el impacto ambiental de la

obra, puesto que habrá menos contaminación acústica, disminución de la pérdida de suelo, como también la disminución de materiales de desecho, ya que, en esta investigación, como una de sus principales motivaciones, es la de reutilizar lo desechable para darle un regenerado uso y ayudar a proteger nuestro medio ambiente. (p. 17)

### 2.2.2 Investigaciones internacionales

Sánchez J. (2009) en su tesis [Estudio de las ventajas del reciclado in situ en caliente de pavimentos flexibles]. Publicado por la Universidad de la Salle de Bogotá - Colombia. Cuyo objetivo es; “Identificar los beneficios del reciclado in situ en caliente de pavimentos flexibles”. Concluye que, los beneficios que aporta la tecnología del reciclado in situ vendrían a ser ingenieriles, ambientales y económicos como son: reducción en la utilización de nuevos materiales no renovables, disminución de la emisión de gases a la atmósfera por efecto de la fabricación de nuevas mezclas asfálticas, incremento significativo en los rendimientos de construcción y fácil movilización de equipo, reducción en los costos de construcción, disminución en la interrupción del tráfico, entre otros. (p. 6)

Camacho P. (2016) en su tesis [Estudio de las ventajas del reciclado in situ en caliente de pavimentos flexibles]. Publicado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Tiene como objetivo; “Evaluar el material producto del reciclado de pavimentos asfálticos (RAP) para reforzamiento de capas granulares para pavimentos con superficie de ruedo expuesta”. Llegó a la conclusión que, los resultados de los ensayos realizados cumplen con la declaración de precisión por repetibilidad de las normas de referencia para cada caso. El uso de RAP como sustituto del material para caminos de lastre es factible siempre y cuando se evalúe su aporte basado en la caracterización de las propiedades físico-mecánicas. (p. 11)

Alarcón J. (2003) en su tesis [Estudio del comportamiento de Mezclas Asfálticas Recicladas en caliente en Planta]. Publicado por la Universidad Politécnica de Cataluña - Barcelona. Cuyo objetivo es; “El impulso de la técnica del reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en planta en España”. Concluye



que, se ha podido comprobar que las mezclas recicladas pueden alcanzar un comportamiento prácticamente equivalente al de las mezclas convencionales, siempre y cuando se tenga el suficiente cuidado en su diseño, y proceso de fabricación. Por lo tanto, el reciclado de pavimentos es una alternativa más que debería tomarse en cuenta en los proyectos de rehabilitación de los pavimentos. Finalmente podemos decir que el “Reciclado de Mezclas Asfálticas en Caliente en Planta” es una técnica que tiene un gran futuro en España y que la administración, las empresas privadas y las universidades deben unir esfuerzos para fomentar su desarrollo y utilización, ya que comporta importantes beneficios ecológicos y económicos en la fabricación de un producto de alta calidad para la construcción de pavimentos de carreteras. (p. 5)

## 2.3 Bases Teóricas

Con el propósito de tener un amplio concepto general y esquematizado acerca de la ingeniería en el reciclaje de pavimentos asfálticos se partirá de lo general, con la definición y categorización de los pavimentos.

### 2.3.1 Pavimentos

De acuerdo a la Norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), existen dos puntos de vista para definir un pavimento: el de la Ingeniería y el del usuario.

De acuerdo a la Ingeniería, el pavimento es un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado subrasante. Esta capa debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado período de tiempo.

Desde el punto de vista del usuario, el pavimento es una superficie que debe brindar comodidad y seguridad cuando se transite sobre ella. Debe proporcionar un servicio de calidad, de manera que influya positivamente en el estilo de vida de las personas. (Núñez Y., 2018, p.7).

### 2.3.1.1 Tipos de Pavimentos

#### a. Pavimentos Flexibles

En este tipo de pavimento la capa superior está conformada por material asfáltico y debe tener resistencia al corte, absorber los esfuerzos horizontales además de las presiones verticales que se transmiten a los estratos inferiores, los cuales son solicitados bajo la acción repetitiva de las cargas de los vehículos. Este tipo de pavimento es particularmente sensible a las variaciones climáticas y efecto de saturación continuada. (Castro D., 2003, p.10)

#### b. Pavimentos Rígidos

En este caso la capa de rodadura está conformada por una losa de concreto de cemento Pórtland y además de resistir los esfuerzos de corte, debe soportar sin daño, los esfuerzos de tracción por flexión. En estos pavimentos las juntas y bordes constituyen sus puntos más débiles. La aptitud para una buena duración y servicio del pavimento depende en gran parte de los espesores adoptados y de las condiciones de ejecución y control de calidad de los materiales utilizados en su construcción. Cuando estas condiciones no se cumplen, las degradaciones o fallas se manifiestan tarde o temprano sobre la capa de rodadura, produciendo una sensación de incomodidad para el usuario y un problema de mantenimiento para el técnico (Ver Figura N°1). (Castro D., 2003, p.10)

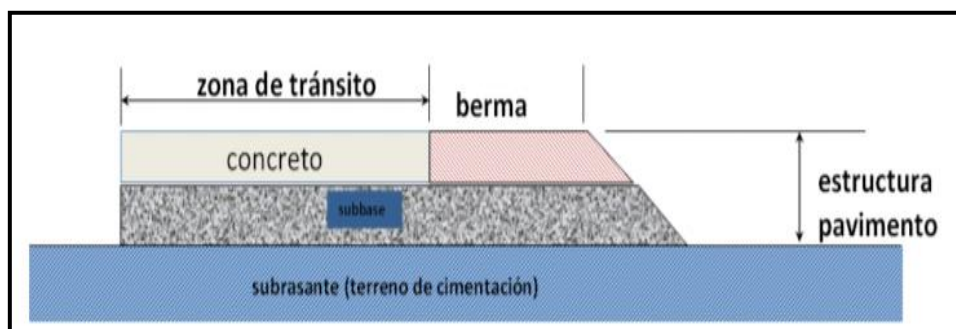


Figura N°1: Estructura del Pavimentos Rígidos

Fuente: Becerra, M. (2012)

### 2.3.1.2 Características que debe reunir un pavimento

Montejo (2002) describe que un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones, debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos.
- Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Presentar regularidad superficial, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable y económico.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura en el interior de los vehículos que afecten al usuario, así como en el exterior, deben ser adecuadamente moderado. (pp. 1-2)

### 2.3.1.3 Ciclo de vida de un pavimento

Los pavimentos sufren un proceso de deterioro permanente debido a los diferentes agentes que actúan sobre ellos, tales como: el agua, el tráfico, la gravedad en taludes, etc. Estos elementos afectan al pavimento, en mayor o menor medida, pero su acción es permanente y termina deteriorándolo convirtiéndolo en intransitable.

Por lo tanto, el mantenimiento no es una acción que puede efectuarse en cualquier momento, sino más bien es una acción sostenida en el tiempo, orientada a prevenir los efectos de los agentes que actúan sobre el pavimento, extendiendo el mayor tiempo posible su vida útil y reduciendo las inversiones requeridas a largo plazo (Menéndez, 2003, p.4)

El ciclo de vida de un pavimento consta de cuatro fases, las cuales se describen a continuación: (Menéndez, 2003, pp.5-6).

- Fase A: Construcción

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 ese momento, en excelentes condiciones para satisfacer plenamente las necesidades de los usuarios (Punto A de la Figura N°2)

- Fase B: Deterioro lento y poco visible

Durante cierto número de años el pavimento va experimentando un proceso de desgaste y debilitamiento lento, principalmente en la superficie de rodadura.

Este desgaste se produce en proporción al número de vehículos livianos y pesados que circulan por el pavimento, aunque también por la influencia del clima, del agua de las lluvias o aguas superficiales y otros factores.

Durante la fase B el pavimento se mantiene en aparente buen estado y el usuario no percibe el desgaste, a pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas (Punto B de la Figura N°2).

- Fase C: Deterioro acelerado

Después de varios años de uso, la superficie de rodadura y otros elementos del pavimento están cada vez más “agotados”; el pavimento entra en un período de deterioro acelerado y resiste 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 (Punto C de la Figura N°2).

- Fase D: Descomposición total

Esta fase constituye la última etapa de su existencia y puede durar varios años. Durante este período el paso de los vehículos se dificulta seriamente, la velocidad de circulación baja bruscamente y la capacidad del pavimento queda reducida a sólo una fracción de la original (Punto D de la Figura N°2).

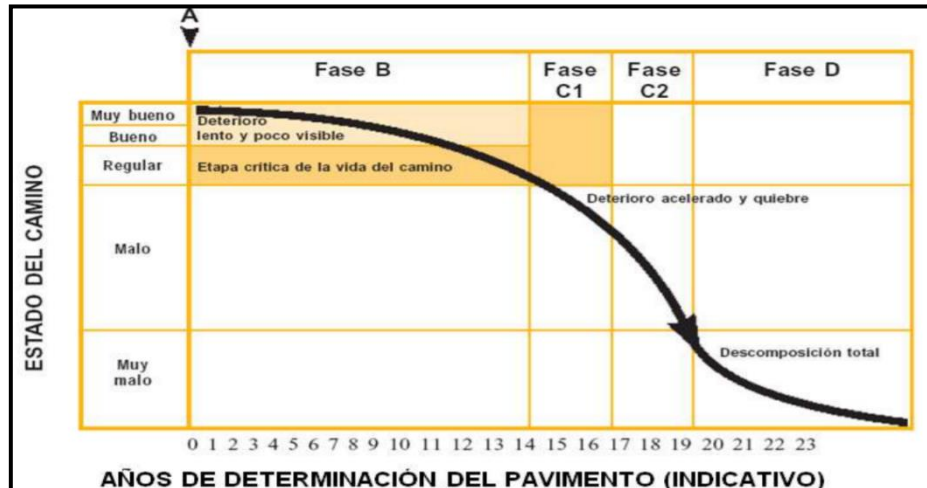


Figura N°2: Condición de la vía sin mantenimiento

Fuente: Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas, (Menéndez, 2003)

- **Periodo de Diseño y Durabilidad**

Tradicionalmente los períodos de diseño para los pavimentos flexibles son menores que para los pavimentos rígidos. Por ejemplo, el Manual Peruano 2014 de Carreteras, Suelos, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos, recomienda períodos de diseño de 10 a 20 años para pavimentos flexibles y de un mínimo de 20 años para pavimentos rígidos. Esta recomendación refleja la percepción de que los pavimentos rígidos tienen una vida más larga que los flexibles.

Sin embargo, es posible diseñar pavimentos rígidos para 10 años. Restringir el uso de los pavimentos rígidos solo para proyectos con una vida en servicio de 20 años o más reduce aplicaciones que en la práctica son viables, como por ejemplo en los pavimentos urbanos en donde la alternativa de pavimentos rígidos es una posibilidad.

Por otro lado, es posible tener pavimentos flexibles diseñados para períodos de vida mayores a los 20 años, puesto que existen en la actualidad asfaltos de calidades superiores o modificadas, y con un adecuado diseño – al margen del tema de costos – pueden diseñarse pavimentos flexibles más longevos.

Es un mito definir el tipo de pavimento basado solamente en el período de diseño puesto que el avance tecnológico en los materiales y metodologías actuales permiten

realizar diseños de pavimentos flexibles o rígidos para el período en servicio que se desee. (Revista de Viabilidad y Transporte Latinoamericano, 2015)2.3.1.3.2 Ciclo de vida deseable del pavimento

El siguiente diagrama de flujo muestra el proceso que sigue un pavimento sin mantenimiento y otro con mantenimiento (Ver Figura N°3), en el que podemos apreciar que la falta de mantenimiento permanente conduce inevitablemente al deterioro total del pavimento, mientras que la atención constante del mismo mediante el mantenimiento rutinario, sólo requiere, cada cierto tiempo, trabajos de mantenimiento periódico (Menéndez, 2003, pp.6-7).

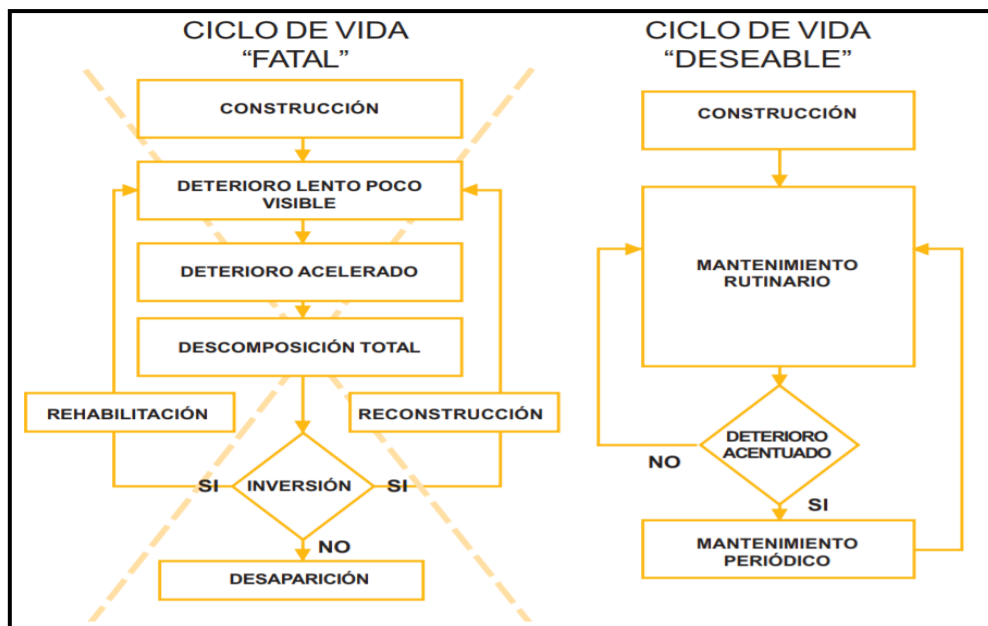


Figura N°3: Diagrama de flujo del ciclo de vida "fatal" y "deseable"

Fuente: Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas, (Menéndez, 2003)

### 2.3.2 Pavimentos Flexibles o Asfálticos

En general, están constituidos por una capa delgada de mezcla asfáltica construida sobre una capa de base y una capa de sub-base las que usualmente son de material granular. Estas capas descansan en una capa de suelo compactado, llamada subrasante.

En las capas superiores donde los esfuerzos son mayores, se utilizan materiales con mayor capacidad de carga y en las capas inferiores donde los esfuerzos son

menores, se colocan materiales de menor capacidad. El uso de materiales con menor requerimiento permite el uso de materiales locales, dando como resultado diseños más prácticos.

El pavimento asfáltico está construido 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.

Por lo tanto, el pavimento asfáltico normalmente requiere más capas y mayores espesores para resistir la transmisión de cargas a la subrasante. Veremos en la Figura N° 04 ejemplos de pavimentos asfálticos. (Crispín E. & Helguero L., 2019, p.12)



Figura N°4: Tipos de Pavimentos Asfálticos

Fuente: e.asfalto.com

#### 2.3.2.1 Estructura del Pavimento Asfáltico

Los pavimentos flexibles son los que están integrados por una superficie de rodadura apoyada generalmente sobre capas no rígidas, la base, sub-base y sub-rasante. Los cuales se describen a continuación: (Coronado, 2002).

- a) Sub-rasante: Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la sub-rasante, por lo que esta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incomprensibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

b) Sub-base: Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de sub-rasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub-base. La sub-base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares.

Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una sub-rasante o sub-base adecuada.

c) Base granular: Es la capa de pavimento que tiene como función primordial distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la sub-base y a través de ésta a la sub-rasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura. Esta base está constituida por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, y todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.

d) Superficie de rodadura o carpeta asfáltica: Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos. (pp. 94-104)

A continuación, se muestra la estructura del pavimento asfáltico en la Figura N° 5.





Figura N°5: Estructura del Pavimento Asfáltico

Fuente: Giodani, C y Leone, D. (S.F). Catedra Ingeniería Civil

### 2.3.2.2 Comportamiento del Pavimento Asfáltico

El comportamiento de los pavimentos asfálticos comprende consideraciones de comportamiento funcional, estructural y de seguridad. Un aspecto importante es la resistencia a la fricción en la interface pavimento-neumático. 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)

### 2.3.2.3 Causas del surgimiento de Fallas

Durante la vida de servicio de un pavimento, causas de diverso origen afectan la condición de la superficie de rodamiento. Entre las causas de falla de un pavimento se pueden mencionar: (UNI, 2009).

- Fin del período de diseño original y ausencia de acciones de rehabilitación.
- Incremento del tránsito con respecto a las estimaciones del diseño original.
- Deficiencias en el proceso constructivo, bien en procesos como tal, como en la calidad de los materiales empleados.

- Diseño deficiente (errores en estimación del tránsito o en las propiedades de los materiales).
- Factores climáticos imprevistos (lluvias extraordinarias).
- Insuficiencia de estructuras de drenaje superficial y/o subterráneo.
- Insuficiencia o ausencia de mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos.

#### 2.3.2.4 Tipos de deterioros o fallas en Pavimentos Asfálticos

Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial (2014). Los deterioros/fallas de los pavimentos flexibles pueden clasificarse en dos grandes categorías: los deterioros / fallas estructurales y los deterioros/fallas superficiales. Los deterioros de la primera categoría se asocian generalmente con obras de rehabilitación de costo alto. Los deterioros de la segunda categoría se relacionan generalmente con obras de mantenimiento periódico (por ejemplo, carpeta delgada de concreto asfáltico o tratamiento superficial).

##### 2.3.2.4.1 Tipos y causas de los daños estructurales

Los deterioros estructurales caracterizan un estado estructural del pavimento, concerniente al conjunto de las diferentes capas del mismo o bien solamente a la capa de superficie.

Las cargas circulantes resultan generalmente en:

- ✓ Deformaciones verticales elásticas del material de las capas granulares y del suelo de la subrasante.
- ✓ Deformaciones horizontales elásticas de tensión por flexión en la parte inferior de las capas asfálticas.

Si la deformación vertical de las gravas y/o suelos excede el límite admisible, se observan deformaciones permanentes del pavimento (hundimiento o ahuellamiento de gran radio). Si la deformación horizontal de tensión por flexión en la parte inferior de las capas asfálticas excede el límite admisible, dichas capas se fisuran en su parte inferior y

las fisuras luego se propagan hasta la superficie: fisuras longitudinales en las huellas del tránsito y fisuras en forma de piel de cocodrilo.

Los deterioros o fallas (deformación y/o fisuración) no aparecen de inmediato (en general), sino al cabo de la repetición de cargas definida por la curva de fatiga de cada material.

#### 2.3.2.4.2 Tipos y causas de los daños superficiales

Los deterioros superficiales se originan en general por un defecto de construcción, por un defecto en la calidad de un producto o por una condición local particular que el tráfico acentúa. Además, pueden resultar de la evolución de deterioros o fallas estructurales.

Se distinguen:

- ✓ Los desprendimientos
- ✓ Los baches (huecos)
- ✓ Las fisuras transversales (que no resultan de la fatiga del pavimento).

(pp. 85-86)

#### 2.3.3 Mezclas Asfálticas

“Es la capa de superficie para pavimentos, constituida de agregados pétreos mezclados con material asfáltico; en planta central, en caliente o en frío, o bien en el camino. La mezcla puede ser de textura abierta o cerrada dependiendo de las características de graduación de los agregados pétreos”. Las mezclas asfálticas en caliente están constituidas por dos materiales: agregados pétreos y cemento asfáltico. Los agregados pétreos se clasifican por tamaños, generalmente divididos en tres grupos: Agregados gruesos, agregados finos y rellenos minerales. Cada uno de los componentes de la mezcla tiene una función especial y depende del diseño y de la dosificación de los mismos, asegurar que no se descuide ninguna de esas funciones. La función del agregado pétreo es soportar las cargas aplicadas a la estructura del pavimento, donde intervienen las resistencias al desgaste por fricción y la adherencia entre los fragmentos individuales de los agregados. Los

agregados con formas angulosas y superficie áspera hacen más estables las mezclas asfálticas.

En las mezclas se utilizan agregados que están natural o artificialmente bien graduados, esto significa que existirán espacios determinados, entre estos; el agregado fino sirve para rellenar estos vacíos. El agregado fino influye en la densidad, y por lo tanto en la resistencia, la granulometría influye en la manejabilidad. Cuando se utiliza un exceso de agregado grueso, la mezcla se hace áspera y dura para manejarse. Cuando se usa un exceso de relleno mineral la mezcla se hace viscosa y también difícil de manejar.

El cemento asfáltico es el encargado de adherir entre sí, los agregados pétreos; todas las partículas y de impermeabilizar el pavimento. Para cualquiera de los métodos de diseño uno de los objetivos principales es la obtención de la mejor proporción del cemento asfáltico, para cada combinación predeterminada de los agregados. Conocer la proporción correcta de cemento asfáltico influye mucho en todos los factores que permiten obtener una buena mezcla, además de reducir los costos, debido a la correcta utilización principalmente del cemento asfáltico.

Considerando la mezcla de agregados sin asfalto, todo el espacio entre sus partículas está vacío, el volumen de estos vacíos de los agregados depende de la granulometría y puede variar; Cuando se añade el cemento asfáltico se llena una porción de estos vacíos llenos de aire, los que son muy importantes para las características de la mezcla. Se usa el término vacíos llenos de aire, ya que estos no pesan y se expresan como porcentaje total de la mezcla compactada.

El cemento asfáltico experimenta cambios de volumen, dependiendo de la temperatura y si la carpeta asfáltica no tiene vacíos llenos de aire cuando se coloca, o los pierde por efecto del tránsito, entonces al dilatarse el asfalto, brotará en la superficie, condición llamada afloramiento.

Las pérdidas de cemento asfáltico por afloramiento debilitan la carpeta asfáltica y reducen el índice de rugosidad de la superficie, haciéndola resbaladiza y por ende peligrosa. Un exceso de cemento asfáltico en la mezcla incide también en la estabilidad de ésta ya que puede generar desplazamiento de partículas por lo cual es incorrecto elaborar mezclas ricas en contenido de cemento asfáltico. Por otra

parte, el volumen de vacíos llenos de aire debe ser generalmente de 2% o 3% y no debe excederse del 5%. Un exceso de vacíos llenos de aire provocará la desintegración del pavimento, debido que permite la penetración de agua; acelerando el proceso de desintegración, además con la presencia de exceso de aire, el cemento asfáltico endurece y envejece afectando su elasticidad y con esto su durabilidad.

En resumen, las proporciones de los agregados y del cemento asfáltico influyen directamente en las características de la mezcla según sea el caso del diseño de la misma. (Chuman J., 2017, pág. 28)

### 2.3.3.1 Composición de las Mezclas Asfálticas

#### 2.3.3.1.1 Asfalto

El asfalto es un material complejo con una respuesta compleja a los esfuerzos. La respuesta de un asfalto a esfuerzos depende de la temperatura y el tiempo de carga. Por lo que la naturaleza de cualquier ensayo de asfalto y lo que éste indica acerca de las propiedades del asfalto debe ser interpretado en relación a la naturaleza del material. Una gran cantidad de ensayo se realizan en asfaltos, desde ensayos de especificación a más fundamentales como ensayos de reología y mecánicos. (Menéndez J., 2009, pág.27)

##### a) Composición química del Asfalto

Menéndez J., (2009). La configuración de la estructura interna de un asfalto es determinada por la constitución química de sus moléculas. Un asfalto es una mezcla química compleja de moléculas que son predominantemente hidrocarburos con pequeñas cantidades de componentes policíclicos de estructura análogas y grupos funcionales con contenido de azufre, nitrógeno y átomos de oxígeno. El asfalto también contiene pequeñas cantidades de metales como vanadio, níquel, hierro, magnesio y calcio, los cuales se encuentran en

la forma de sales inorgánicas y óxidos o en estructuras de porfirina. Un análisis elemental de asfaltos fabricados de una variedad de crudos de petróleos crudos muestra que la mayoría de asfaltos contienen:

- Carbón 82-88%
- Hidrógeno 8-11%
- Azufre 0-6%
- Oxígeno
- Nitrógeno

Es posible separar los asfaltos en grupos químicos principales llamados Asfaltenos y Maltenos. Los maltenos a la vez subdividen en saturados, aromáticos y resinas. Los cuatro grupos no están bien definidos ya que hay superposición entre los grupos. Sin embargo, esto permite relacionar la reología del asfalto con la composición química. Los métodos disponibles para separar los asfaltos en fracciones pueden ser clasificados como:

- Extracción con solventes.
- Absorción por sólidos finamente divididos y eliminación de soluciones no absorbidas por filtración.
- Cromatografía.
- Destilación molecular usada en conjunto con algunas de las técnicas mencionadas. (pp. 27)

#### b) Propiedades del asfalto

Fajardo L. & Vergaray D. (2014). Las propiedades físicas más importantes del cemento asfáltico, que se deben tener en cuenta en el momento de diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son:

- ✓ Durabilidad: Indica qué tanto permanecen en un cemento asfáltico, sus características, cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.
- ✓ Adhesión y Cohesión: Adhesión es la capacidad del cemento asfáltico para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

Cohesión es la capacidad del cemento asfáltico de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

- ✓ Susceptibilidad al endurecimiento y al envejecimiento: El endurecimiento del asfalto es causado por la combinación con el oxígeno (oxidación) o por volatilización (estado sólido al gaseoso). La oxidación y el endurecimiento más severo, ocurren durante el mezclado, debido que, el asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas.
- ✓ Susceptibilidad a la temperatura: Esta es una de las propiedades más importantes del asfalto. Esta propiedad, varía entre asfaltos de diferente origen, sin importar que tengan el mismo grado de consistencia. (pp.10-11)

c) Tipos de asfalto utilizados en pavimentos

- ✓ Cementos asfálticos (AC)

Fajardo L. & Vergaray D. (2014) Son los más utilizados en pavimentación. Se pueden sub-clasificar bajo tres sistemas diferentes:

- Viscosidad antes del envejecimiento
- Viscosidad después del envejecimiento
- Penetración

Se prepara comercialmente en grados o rangos de consistencia, con base en el ensayo de penetración, por ejemplo: AC 70-90, AC 60-80, AC 80-100. Los números indican la penetración en decimas de milímetro. El ensayo de penetración es uno de los ensayos de clasificación más comunes en la caracterización del asfalto. (p.12)

Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) el “cemento asfáltico es un material bituminoso aglomerante, de consistencia sólida, utilizado para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente”. (p.323)

✓ Asfaltos líquidos

Fajardo L. & Vergaray D. (2014) Son también llamados asfaltos rebajados. Son materiales asfálticos de consistencia blanda o fluida por lo que salen del campo en el que normalmente se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300. Están compuestos por una fase asfáltica y un fluidificante volátil, que puede ser bencina, querosene o aceite. Los fluidificantes se evaporan (proceso de curado), quedando el residuo asfáltico el cual envuelve y cohesiona las partículas del agregado. (p.12)

Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) el “cemento asfáltico es un material bituminoso aglomerante, de consistencia sólida, utilizado para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente”. (p.323)

✓ Emulsiones asfálticas

Fajardo L. & Vergaray D. (2014) Las emulsiones asfálticas son una mezcla de asfalto con emulsificante, que con el agua forman una emulsión estable que permitirá tender las carpetas asfálticas “en frío”; es decir, a temperaturas que estarán por debajo de los 100 °C. (p.12)

Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) “Es un producto bituminoso compuesto por cemento asfáltico, emulsificante y agua, que al ponerse en contacto con el material pétreo produce un desequilibrio que ocasiona su rotura, llevando las partículas del asfalto a adherirse a la superficie del material pétreo, que pueden ser utilizados en riegos de imprimación y liga, sellos de arena-asfalto, tratamientos superficiales y morteros asfálticos.”. (p.325)

#### 2.3.3.1.2 Agregados

El agregado, también conocido como roca, material granular, o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en



forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria, y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso, y entre el 75 y el 85 por ciento, en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante. (Instituto de Asfalto, 2001, p.36)

- Agregado grueso

Los agregados gruesos que se requieren para una mezcla asfáltica, de acuerdo a normatividad vigente, es el siguiente:

Tabla N°1: Requerimiento del Agregado Grueso para una Mezcla Asfáltica en CALIENTE

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD MSNM.	
		> 3,000	> 3,000
Durabilidad al sulfato de Magnesio	MTC E 209	18 % máx.	15 % máx.
Abrasión Los Angeles	MTC E 207	40 % máx.	35 % máx.
Adherencia	MTC E 517	95	95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 % mín.	35 % mín.
Partículas Chatas y Alargadas	ASTM 4791	10 % máx.	10 % máx.
Caras Fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	1.0 % máx.	1.0 % máx.

Fuente: MANUAL DE CARRETERAS “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” EG-2013

- Agregado fino

Los agregados finos que se requieren para una mezcla asfáltica, de acuerdo a normatividad vigente, es el siguiente:

Tabla N°2: Requerimiento del Agregado Fino para una Mezcla Asfáltica en CALIENTE

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud msnm.	
		> 3,000	> 3,000
Equivalente de Arena	MTC E 209	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 114	30	40
Azul de metileno	MTC E 222	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N°40)	AASTHO TP 57	NP.	NP.
Durabilidad al sulfato de Magnesio	MTC E 209		18 % máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	4 máx. %	NP.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5 máx.	0.5 máx.
Sales Solubles Totales	MTC E 205	0.5 máx.	0.5 máx.

Fuente: MANUAL DE CARRETERAS “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” EG-2013

▪ Propiedades del Agregado

Instituto de Asfalto (2001) En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica, el agregado conforma el 90 a 95 %, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación. Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad, deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

- Graduación y tamaño máximo de partícula
- Limpieza
- Dureza
- Forma de la partícula
- Textura de la superficie
- Capacidad de absorción
- Afinidad con el asfalto

- Peso específico (p.42)

### 2.3.3.2 Tipos de las Mezclas Asfálticas

#### 2.3.3.2.1 Mezclas Asfálticas en Caliente

Instituto de Asfalto (2001) En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla. Ellos son el Método Marshall y el Método Hveem.

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos
- Vacíos en el agregado mineral
- Contenido de asfalto (p.57)

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los pavimentos. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos, aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos. (Padilla A., 2004, p.47)

#### 2.3.3.2.2 Mezclas Asfálticas en Frío

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas. Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla. (Padilla A., 2004, pp.48-49)

#### 2.3.4 Reciclaje de Pavimentos Asfálticos

Moreno, L., Parrales, G., Cobos, D., Cordero, M., Peralta, J., Ponce, F. & Baque, B. (2018) Es una técnica de reutilización de materiales que aparece en la década del 70 con la crisis energética de entonces y apoyada en las posibilidades de fresado en frío. Su uso y extensión están determinados por el necesario balance económico entre los costos de su empleo y, por otro lado, la disponibilidad de agregados de calidad y el precio del betún.

Hay autores que prefieren distinguir entre término regeneración y reciclado. Por lo primero entienden el proceso de levantamiento por fresado de una capa que se recalienta, luego se mezcla con material nuevo, utilizando máquinas in-situ

generalmente, y se vuelve a extender, sea como una capa única o sirviendo de base a una nueva mezcla en caliente. Puede comprenderse en el proceso adiciones pequeñas de productos que mojaran el betún de la mezcla antigua.

Por reciclado entienden la creación de una mezcla, agregando a la recuperada, un agregado nuevo que le aporta propiedades finales optimas. Esto puede hacerse in-situ mediante maquinas que levantan, disgregan, incorporan aditivos y mezclan con aglomerado nuevo los materiales existentes, o puede realizarse en una planta fija. Con este proceso se pueden obtener mezclas de similar calidad a las originales. Debido a los avances tecnológicos alcanzados en la maquinaria de reciclado, incluyendo fresadoras, pueden distinguirse hoy los tipos siguientes de trabajo de reciclado:

- Reciclado en frío, donde el pavimento existente se elimina mediante un fresado en frio hasta una profundidad de 150mm cuando es del tipo capa fina y mayor de 150mm cuando es del tipo profundo.
- Reciclado en caliente, en una planta central se combina el material recuperado (RAP) con nuevo agregado caliente y asfalto o un agente de reciclado para producir así concreto asfáltico.
- Reciclado caliente in-situ, el pavimento se suaviza de calor y se escarifica o fresa estando caliente. Se añade material nuevo de mezcla en caliente y/o un agente de reciclado en una pasada de la máquina y se compacta. Puede añadirse una nueva capa de rodadura después de la compactación. (pp. 122-123)

#### 2.3.4.1 Factores Ambientales

El impacto ambiental detallado en la presente investigación para la utilización de residuos de asfalto envejecido, se realizó mediante una fase de revisión donde relaciona la causa (Acción considerada) y su efecto sobre el medio ambiente (Factores ambientales).

La identificación de los impactos ambientales se determinó de acuerdo al siguiente cuadro. (Navarrete, G., 2019, pp.75-76)

Tabla N°3: Factores ambientales – Causa y Obtención de asfalto modificado

<b>Factores Ambientales</b>		<b>Causa (Acción considerada)- Obtención de asfalto modificado</b>
<b>Componente Ambiental</b>	<b>Aspecto Ambiental</b>	
Aire	Calidad del aire	Generación de material particulado (polvo), por el proceso de la trituración de neumático.
	Ruido y Vibraciones	Incremento a los Niveles de ruido y vibraciones en el área de influencia por el uso de equipos y maquinarias.
	Emisiones Atmosfericas	Emisiones Atmosféricas producidas por el uso de equipos y maquinarias durante el proceso de obtención del asfalto modificado.
Socioeconómico	Desarrollo económico local	Contracción de mano de obra local durante el desarrollo de las actividades
	Económico	Disminución de precios
	Salud	Afectación a la salud pública por la generación de material particulado
Cultural	Estético Paisajístico	Nivel de calidad del paisaje
Relleno sanitario	Vida útil del relleno sanitario	Incremento de la vida útil del relleno sanitario, por la disminución del almacenamiento de neumáticos usados.

Fuente: Navarrete, G. - 2019

#### 2.3.4.1.1 Categorización de Impactos Ambientales

Navarrete, G. (2019). La categorización de los impactos ambientales identificados y evaluados, se ha realizado en base a lo estipulado en la guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental publicada por CONESA, 2010 donde se especifica que, según el valor del impacto, determinado en el proceso de predicción existen 4 categorías de impactos:

- ✓ Severos
- ✓ Moderados
- ✓ Compatibles
- ✓ Benéficos (pp.75-76)

La categorización proporcionada a los impactos ambientales, se puede definir de la siguiente manera:

- Impactos Severos: Son aquellos de carácter negativo, cuyo valor del impacto es mayor o igual a 7,0 y corresponden a las afecciones de elevada incidencia sobre el factor ambiental, difícil de corregir, de extensión generalizada, con afección de tipo irreversible y de duración permanente. (CONESA, 2010, p.30)
- Impactos Moderados: Son aquellos de carácter negativo, cuyo valor del impacto es menor a 7,0 pero mayor o igual a 4,5; cuyas características son: factibles de corrección, de extensión local y duración temporal. (CONESA, 2010, p.220-293)
- Compatibles: Corresponden a todos los impactos de carácter negativo, con valor del impacto menor a 4,5. Pertenecen a esta categoría los impactos capaces plenamente de corrección y por ende compensados durante la ejecución del Plan de Manejo Ambiental PMA, pueden ser reversibles, de duración esporádica y con influencia puntual. (CONESA, 2010, p.220-293)
- Benéficos: Corresponden a los impactos de tipo benéfico, ventajoso, positivos o favorables producidos durante la ejecución del proyecto, y que contribuyen a impulsar el desarrollo socio económico. (CONESA, 2010, p.220-293)

Tabla N°4: Caracterización de impacto

<b>Categoría</b>	<b>Rango</b>
<b>Severo</b>	Mayor o igual a 7.0
<b>Moderado</b>	Menor a 7.0 pero mayor a 4.5
<b>Compatible</b>	Menor a 4.5
<b>Beneficioso</b>	

Fuente: Conesa - 2010

#### 2.3.4.1.2 Consideraciones Ambientales

Rodríguez, C. & Rodríguez, J. (2004) En el proceso de ejecución se deben tener en cuenta ciertas medidas de mitigación, prevención y protección del Medio Ambiente en lo que se refiere a:

- ✓ Sobre la disposición de material sobrante y desechos (botaderos).
- ✓ Sobre los campamentos.
- ✓ Sobre los sitios de préstamo.
- ✓ Sobre la localización de la planta asfáltica y el transporte de asfalto.

- Disposición de material sobrante y desechos (botaderos)

- Acumular o botar el material sobrante en sitios preestablecidos que no alteren el drenaje natural, ensucie o contaminen las aguas superficiales o afecten en alguna medida los cultivos en los terrenos aledaños. Igualmente, los botaderos o acumulaciones de material sobrante no deben alterar el contorno estético del área.
- Los sitios botaderos deben indicarse en los documentos de licitación, o en su ausencia deben ser aprobados por el Supervisor antes de botar los desperdicios. El sitio para la disposición de los botaderos debe ser seleccionado cuidadosamente, evitando zonas inestables, área de importancia ambiental como humedades, pantanos o áreas de alta productividad agrícola.
- Deben evitarse y prohibirse que se den acumulaciones de desechos de maquinaria a lo largo del derecho de vía.



- El manejo del drenaje es de suma importancia en el botadero para evitar su posterior erosión, por lo cual, si se hace necesario, se colocarán filtros de desagüe para permitir el paso del agua.
- Cuando se rellenan laderas o depresiones, debe conformarse el relleno en forma de terrazas y colocar un muro de contención apropiado.
- Las laderas de los rellenos deben ser estabilizadas evitando la erosión y generación de sedimentos que contaminen las aguas superficiales cercanas.

- Sobre los campamentos

La construcción de campamentos, si fuere necesario, debe ser en lugares previamente aprobados por el Supervisor fuera de zonas poblados. El Contratista debe acatar las órdenes del Supervisor referente las medidas necesarias para evitar la contaminación del ambiente. Los campamentos deben contar con las instalaciones mínimas incluyendo pozo séptico para evitar la contaminación de las aguas subterráneas. El Contratista debe velar que los sobrantes de aceites de la maquinaria deben ser acumulados en recipientes seguros y adecuados para luego disponer de ellos. Los campamentos serán desmantelados al terminar la obra. Los residuos resultantes deben ser retirados y dispuestos adecuadamente.

- Sitios de préstamos

- Los sitios de préstamo y/o extracción de materiales de construcción sean de ladera, terraza, playones de ríos o quebradas, serán seleccionadas previo un análisis de alternativas, y su explotación será sometida a aprobación del Supervisor.
- En los sitios de extracción o préstamo de material a lo largo de los cauces de los ríos, no se debe alterar el borde base ni la pendiente del

cauce, como tampoco los represados o acumulaciones de material que alteren el alineamiento del cauce principal.

- No se dejarán cortes perpendiculares en los sitios de extracción de material o cantera ni permitir la existencia de hoyos en donde se acumule agua.
- En lo posible en los sitios de cantera debe nivelarse la topografía para que pueda adecuarse a los terrenos aledaños.

▪ La localización de la planta asfáltica y el transporte de asfalto

La planta debe localizarse en lugares desprovistos de vegetación, de fácil acceso y alejados de centros poblados. Las vías de entrada y salida de material estarán situadas en forma tal que los sobrantes, durante la carga y descarga, no afecten el área de los límites de las instalaciones. (pp. 76-78)

#### 2.3.4.2 Factores Económicos

A los recursos que se requieren para colocar físicamente los elementos de construcción en el proyecto. Estos costos incluyen lo referido a materiales; mano de obra; maquinarias, equipos, instalaciones y herramientas; subcontratos y cualquier otro costo que no se identifica, de manera directa, con una determinada obra o contrato. En la producción de agregados y mezcla asfáltica, los materiales están representados básicamente por el granzón, el cemento, los agregados finos y gruesos (conocidos también como pétreos), las mezclas bituminosas, entre otros; que en la acumulación del costo de producción deberían considerarse como costos directos. (Navarrete, G., 2019, p.55)

Los costos de mano de obra, salario y cualquier otro gasto asociado a este concepto, están en función, por un lado, de la cantidad de especialistas que se requieren para la ejecución de los distintos trabajos ocasionados por un contrato y, por el otro, de la continua rotación, en su mayoría, del personal obrero; situación que ocurre por la misma naturaleza temporal de las obras, la paralización de los trabajos (sobre todo cuando el cliente es el sector público),

y la impredecible ubicación geográfica de todos los proyectos que ejecutará una misma empresa constructora. (Navarrete, G., 2019, pp.55-56)

Los autores consideran lo siguiente:

Las maquinarias, equipos, instalaciones y herramientas dan soporte al proceso productivo y sus costos se dividen en dos grupos:

- a) Cuando el activo es propiedad de la empresa, los costos están conformados por depreciación, pérdida de valor por el uso, el desuso y desgaste en las operaciones de producción, y los gastos de operación que se incurren de manera ordinaria (seguros, reparaciones y mantenimiento, combustibles y lubricantes, repuestos y partes menores, entre otros)
- b) Cuando el activo es arrendado, el único costo que debería imputarse a la obra, sería el correspondiente al pago del alquiler. (Navarrete, G., 2019, p.56)

En cuanto a los subcontratos, como acuerdos firmados que hace el contratista con terceros especializados en un área determinada (subcontratista) para que realicen parte de la obra o instalaciones contempladas en el proyecto, generan costos de fácil imputación a las distintas obras, porque son establecidos por el subcontratista. Una vez analizados los diferentes elementos del costo, es necesario señalar que, para la acumulación y determinación de los costos de producción, hay que seleccionar, entre los diferentes sistemas (por órdenes de trabajo, por procesos y mixto), aquel o aquellos que se adapten a la naturaleza de las actividades que desarrolla la empresa. (Navarrete, G., 2019, p.56)

Así mismo considera que:

El sistema de costos por órdenes de trabajo, se emplea cuando la empresa fabrica a partir de las especificaciones suministradas por el cliente en cuanto a diseño, tiempo, material, calidad, y requerimientos en general. Los costos se acumulan para cada orden de trabajo compuesta por productos individuales o pequeños lotes de productos. El sistema de costos por procesos, se utiliza cuando la empresa elabora productos homogéneos de manera continua. La acumulación del costo se hace por departamentos o centros de costos para un

período determinado. En relación con el sistema de costos mixto (también llamado, de operaciones), se utiliza en las empresas que manufacturan productos diferentes con requerimientos de materiales distintos, pero con operaciones similares de procesamiento. (Navarrete, G., 2019, pp.56-57)

## 2.4 Definición de Términos Básicos

### 2.4.1 Pavimento flexible:

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

### 2.4.2 Pavimento rígido:

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido.

### 2.4.3 Reciclaje de pavimentos:

El reciclado es una técnica de rehabilitación de carreteras que consiste en la reutilización de los materiales procedentes de las capas del pavimento que ya han estado en servicio y que han perdido propiedades, pero pueden ser reutilizados.

### 2.4.4 Mezcla Asfáltica en caliente:

Las mezclas asfálticas en caliente se utilizan como capa de rodadura en el pavimento, teniendo como principal función brindar resistencia al paso de los vehículos y confort a los usuarios de la vía.

### 2.4.5 Ligante asfáltico:

En pavimentación, el asfalto funciona como ligante de los agregados que les aportan resistencia estructural y textura a las capas. Los ligantes asfáltico proporcionan elasticidad al pavimento, característica por la cual los pavimentos asfálticos reciben el nombre de flexibles.

#### 2.4.6 Conservación vial:

La Conservación Vial, se puede definir como el conjunto de actividades, que requieren realizarse de manera preventiva para evitar el deterioro prematuro de los elementos que conforman la vía.

#### 2.4.7 Rehabilitación de pavimentos:

Es el proceso por el cual la estructura del pavimento es restaurada a su condición de soporte original. En este proceso, los materiales procedentes de los pavimentos existentes formarán parte de la nueva estructura.

#### 2.4.8 Medio Ambiente:

Se trata del entorno que condiciona la forma de vida de la sociedad y que incluye valores naturales, sociales y culturales que existen en un lugar y momento determinado.

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 Hipótesis principal

Aprovechar la técnica del reciclado en caliente de los pavimentos asfálticos envejecidos, permite reutilizarse de 10% a 40% de RAP en una nueva mezcla asfáltica en caliente y obtener una reducción de costos de 20% e impacto ambiental.

#### 3.1.2 Hipótesis secundarias

- a) El pavimento asfáltico envejecido sirve como aporte de 0% a 40% de RAP para una nueva mezcla asfáltica en caliente.
- b) El reciclaje en caliente del pavimento asfáltico envejecido, reduce los daños producidos al medio ambiente.
- c) El empleo de la técnica de reciclaje en caliente del pavimento asfáltico envejecido, reduce costos de 30% durante el proceso de elaboración.

### 3.2 Variables

#### 3.2.1 Definición conceptual de las variables

- Variable Independiente
  - Técnica del reciclado en caliente de los pavimentos asfálticos envejecidos:  
Se utiliza extrayendo los materiales del pavimento envejecido mediante un tratamiento con aportación de calor que se realiza en el mismo lugar de la obra o mediante una central asfáltica adaptada.
- Variables Dependientes
  - Beneficios:  
Es un término genérico que define todo aquello que es bueno o resulta positivo para quien lo da o para quien lo recibe.
  - Reutilización para la nueva mezcla asfáltica en caliente:  
Orientada al acopio y la utilización de materiales disgregados de capas asfálticas de pavimentos en servicio; para la preparación de una nueva

mezcla asfáltica en caliente mezclando dichos materiales con agregados pétreos y con asfalto nuevo.

### 3.2.2 Operacionalización de las variables

Tabla N°5: Operacionalización de variables

Variables		Definición de Variables	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente	Técnica del reciclado en los pavimentos asfálticos en caliente	Se utiliza extrayendo los materiales del pavimento envejecido mediante un tratamiento con aportación de calor que se realiza en el mismo lugar de la obra o mediante una central asfáltica adaptada. (Quesada V., 2009)	Reciclaje en in-situ.	- Carpeta asfáltica. - Máquina recicladora. - Maquinarias pesadas
			Reciclaje en planta.	-Carpeta asfáltica -Planta recicladora -Maquinarias pesadas
Variables dependientes	Beneficios	Es un término genérico que define todo aquello que es bueno o resulta positivo para quien lo da o para quien lo recibe. (Yirda A., 2020)	Ambiental	- Bajo impacto ambiental - Menor explotación de canteras.
			Económico	Reducción de costos.
	Reutilización para la nueva mezcla asfáltica en caliente	Orientada al acopio y la utilización de materiales disgregados de capas asfálticas de pavimentos en servicio; para la preparación de una nueva mezcla asfáltica en caliente mezclando dichos materiales con agregados pétreos y con asfalto nuevo. (Paiva & Ramos, 2014)	Mezcla asfáltica	-Método Marshall -Norma técnica ce 010

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1 Tipo y Nivel

La investigación fue de tipo básica o fundamental, la cual tuvo como objetivo mejorar el conocimiento, más que generar resultados o tecnologías que benefician a la sociedad en el futuro inmediato. Este tipo de investigación es esencial para el beneficio socioeconómico a largo plazo (Tam, Vera, & Oliveros, 2008, p.146).

El nivel de investigación fue descriptivo, porque buscó especificar las características, propiedades, procesos o cualquier otro fenómeno que haya sido sometido a un análisis (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, p.92).

La presente investigación fue de tipo básico o fundamental con un nivel de investigación descriptivo, ya que generó nuevas formas de entender la investigación con la finalidad de recolectar e investigar documentos nacionales e internacionales con respecto al reciclaje de pavimentos asfálticos de una manera más práctica y beneficiosa en el sector socio - económico y ambiental de un país, utilizando nuevos conceptos para la reutilización de los pavimentos asfálticos en caliente.

### 4.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación fue no experimental, transversal – descriptivo.

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

#### 4.3.1 Población

La población de estudio en la tesis estuvo conformada por 11 investigaciones nacionales, 11 investigaciones internacionales, 5 libros, 3 manuales y 7 revistas y papers, las cuales contaron con investigaciones relacionadas con el reciclaje de pavimentos asfálticos para la reutilización en el diseño de mezclas asfálticas en caliente.

#### 4.3.2 Muestra

Se estableció que el tamaño de la muestra sea igual a la población, se empleó la totalidad de las investigaciones nacionales e internacionales recolectadas, ya que se buscó tener una mejor precisión en los resultados de los análisis estadísticos. Por lo tanto, no se requirió de un muestreo probabilístico, teniendo un tipo de muestra no probabilístico.

### 4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación se empleó la técnica de análisis documental porque se realizó apoyándose de fuentes de carácter documental, los cuales se contaron con tesis anteriores (nacionales e internacionales), así como también papers y libros relacionados con el tema. Con respecto al instrumento de recolección de datos se realizó una base de datos en Excel para almacenar la información recopilada del trabajo de investigación en el ámbito nacional de la cual obtuvimos los datos.

#### 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

El análisis de la información recolectada seleccionada, fueron fuentes bibliográficas reconocidas y con respaldo institucional.

#### 4.4.3 Procedimientos para la Recolección de Datos

Para la recolección de datos se realizaron los siguientes procedimientos:

- Se buscó información de trabajos de investigación a nivel nacional e internacional sobre el Reciclaje de pavimentos asfálticos.
- Se buscó información de trabajos de investigación a nivel nacional e internacional sobre la Reutilización del pavimento asfáltico y su diseño de mezclas asfálticas.
- Se recolectó información sobre los métodos de reciclaje de pavimentos para su reutilización en planta e in - situ.
- Se investigó sobre cómo aprovechar el reciclaje de pavimentos asfálticos y los beneficios que nos conlleva la reutilización de la mezcla asfáltica en caliente.
- Se llegó a elegir investigaciones que se realizaron para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, evaluando su validez y confiabilidad de la información.

#### 4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Los procesamientos y análisis de la investigación se basaron en recopilar, clasificar y procesar información, empleando los usos de portales web, revistas y libros referidos al tema de investigación, en los ámbitos nacionales e internacionales.

## **CAPÍTULO V: RECICLAJE DE PAVIMENTO ASFÁLTICOS EN CALIENTE**

### 5.1 Introducción

Durante los últimos años, las diferentes administraciones de carreteras han tomado conciencia sobre la importancia de alargar el ciclo de vida de los materiales que forman parte de los pavimentos, pero en Perú, como en muchos otros países, la construcción de una nueva carretera o el refuerzo y acondicionamiento de las existentes está siendo llevado a cabo, en la mayoría de los casos, utilizando nuevos agregados y ligantes para la fabricación de las nuevas capas.

Esta práctica requiere la explotación de nuevas canteras o la sobreexplotación de las existentes, así como el consumo de grandes cantidades de asfalto nuevo, lo que supone un enorme y negativo impacto ambiental.

Por otra parte, cada día es más común en las obras de refuerzo o 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, pero que en muchos casos son llevados a vertederos con el problema de impacto ambiental que esto supone.

Parece claro pues, que desde el punto de vista ambiental y de aprovechamiento de materiales, las técnicas de reciclado son altamente interesantes y beneficiosas, sin embargo, en Perú, el reciclado de mezclas asfálticas en caliente en planta e in-situ no ha sido un procedimiento comúnmente empleado.

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

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

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

El material recuperado de pavimentos asfálticos envejecidos se denominará en adelante RAP de su nombre en inglés “Reclaimed Asphalt Pavement”, aunque también es conocido por las iniciales MBR por las iniciales de “Mezcla Bituminosa a Reciclar”, y es uno de los elementos más importantes a tener en cuenta durante el proceso de reciclado de pavimentos ya que tiene gran influencia sobre las características del producto final.

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

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

### Económico

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

Generalmente, el libre mercado se encarga de regular y de impulsar la reutilización de materiales en la construcción de carreteras, debido al ahorro que suelen generar las diferentes técnicas de reciclaje, sin embargo, en algunos casos, los gobiernos deben promover el reciclado, mediante la restricción de la utilización de vertederos, o con la

aplicación de tasas elevadas por concepto de vertido o explotación de canteras, o dando apoyos económicos o tecnológicos a las empresas que realicen esfuerzos por reciclar.

Los ahorros económicos que puede generar la utilización de RAP en la fabricación de mezclas nuevas son diferentes en cada caso y para calcularlo es necesario tomar también en cuenta los costes suplementarios que ocasionan, entre los que se encuentran los siguientes:

- Coste del fresado de las capas asfálticas y su acarreo a la planta (en muchos casos no hay que tomar en cuenta este valor en el precio de la mezcla reciclada, ya que muchos proyectos de rehabilitación incluyen el fresado de las capas deterioradas y su acarreo).
- Coste del tratamiento del RAP en la planta para su correcta utilización.
- Coste de la adaptación de las plantas asfálticas para recibir el RAP.

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

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

### Medioambiental

Este aspecto cada día toma mayor importancia, debido al deterioro que presentan los recursos naturales de todo el mundo. La construcción de carreteras requiere de grandes volúmenes de materiales, tales como, agregados, ligantes, etc. y se pretende reducir al máximo su consumo.

El reciclado de materiales en la construcción y rehabilitación de carreteras, es un buen camino para disminuir el consumo de materiales nuevos y al mismo tiempo reducir la explotación de canteras. Al reciclar las capas asfálticas y aprovechar el ligante que contienen, se logra disminuir el consumo de asfalto.

Al reciclar, se reducen también los volúmenes de vertido, que en algunos países es una práctica casi imposible, debido a la falta de espacio y a las fuertes regulaciones que cada vez más administraciones adoptan.

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

### Tecnológico

Actualmente, las técnicas de reciclado están bastante adelantadas en muchos países, aunque en Perú se cuenta con poca experiencia en algunas de ellas, tal es el caso del reciclado de pavimentos asfálticos en planta e in-situ en caliente.

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

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

La mayoría de las administraciones que utilizan técnicas de reciclado exigen que los materiales reciclados cumplan con las mismas especificaciones que los materiales nuevos y que presenten un comportamiento similar en campo, lo cierto es que en muchos casos, los ensayos convencionales no predicen con exactitud el comportamiento de los materiales reciclados, y por esto, es necesario desarrollar métodos específicos para el diseño y control de calidad de los pavimentos que contengan materiales reciclados. (Alarcón J., 2003, pp. 37-42).

## 5.2 Experiencias en el Reciclado de Material Asfáltico

### 5.2.1 Experiencia Belga

En Bélgica hace mucho tiempo que se está trabajando e investigando sobre el material procedente del fresado o escarificado de pavimentos, utilizándose material reciclado en 400.000 m<sup>2</sup> de superficie de carreteras desde el año 1977 al 1985.

Tabla N°6: Uso de material reciclado de pavimentos en Bélgica desde 1977 a 1985

AÑO	NÚMERO DE OBRAS	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )
1977	1	5.400
1978	0	0
1979	2	21.200
1980	2	38.800
1981	2	71.550
1982	5	99.750
1983	1	29.250
1984	1	62.000
1985	1	73.500

Fuente: Belgium Road Research Centre, 1993

El reciclado en planta comienza en el año 1980, pero es entre 1983 y 1985 cuando tiene un gran desarrollo debido fundamentalmente a tres motivos:

- Motivos ecológicos (aparecen ciertas limitaciones impuestas en los vertidos).
- Motivos económicos (el asfalto utilizado como ligante era bastante caro).
- Motivos de competencia entre las constructoras.

En el año 1986 existían en Bélgica 65 centrales en funcionamiento de las cuales 5 eran continuas y 60 discontinuas. Dentro de esta última categoría, 9 centrales tenían los equipamientos necesarios para permitir la inyección en frío del RAP y 8 estaban equipadas para permitir un calentamiento previo del mismo. Este momento coincide con la disminución de la técnica de reciclado in situ debido al fuerte empuje conseguido por el reciclado en planta y a la necesidad de importar la maquinaria adecuada para el reciclado in situ del extranjero, lo cual hacía encarecer mucho esta alternativa.

Tabla N°7: % de RAP utilizados en algunos tramos de la red de carreteras belga en los años 1984 - 86

Ruta	Lugar	Año	Ejecución	Reciclado	% de RAP	Ligante de aportación
N 63	Marche-en-Famenne	1984-85	En frío	Fresado	0, 10, 20, 30%	Betún 50/60
E 42	Loncin-Hollogne	1984	En frío	Fresado	25 %	Betún 50/60
N 31	Ring de Brugge	1985	En caliente	Fresado	25%	Betún 60/70
N 40	Harmignies-Rouveroy	1985-86	En caliente	Bloques fragmentados	0, 20, 30 y 40 %	Betún 50/60 y Betún 80/100

Fuente: Centre de Recherches Routieres, 1991

Desde la caída espectacular de los precios del asfalto ese mismo año, la técnica del reciclado perdió mucho interés y se dejó prácticamente de invertir en estas

centrales y en estos procedimientos. En 1989 aumentaron mucho las tasas por vertido de residuos en Bélgica lo que hizo devolver de nuevo el interés por esta técnica.

En Geel y de Maasmechelen (Bélgica) estudiaron en esta época el comportamiento de las mezclas con adición de RAP y sus procesos de obtención llegando a las siguientes conclusiones:

- Cuando el escarificado es superior a los 4 cm hay problemas de rendimientos y también en las mezclas finales.
- No es posible reciclar por termo regeneración un RAP procedente de una mezcla con un asfalto muy duro, inferior a un asfalto de penetración 10/20.
- Las propiedades del asfalto de aportación se pueden ver modificadas en la fabricación de la mezcla en central. Esto no es así en la técnica de reciclado in situ.

Las observaciones y pruebas hechas 5-6 años después de abrir al tráfico las carreteras tratadas con material reciclado dieron unos resultados muy satisfactorios.

### 5.2.2 Experiencia Canadiense

En Canadá se trabaja con este tipo de material reciclado desde hace prácticamente 20 años, siendo uno de los países punteros en esta clase de estudios. En el año 1990 se reutilizaron 534.000 toneladas de RAP mientras que 788.000 quedaron acumuladas para intentar reciclarlas a finales de año o al año siguiente. En Ontario, se reutilizaron 1,3 millones de toneladas de RAP sobre los 4 millones obtenidas en 1991. En la Tabla N°11 se muestra el diferente consumo y experiencia en esta técnica de diferentes territorios del Canadá.



Tabla N°8: Uso del RAP en Canadá

Provincia o territorio	Experiencia in situ	Experiencia en planta	Número de años de experiencia	Porcentaje de RAP
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

Fuente: Transportation Research Record, 1993

La experiencia adquirida durante todos estos años ha servido para establecer una serie de especificaciones en el empleo del RAP, así como una serie de pasos a seguir en su análisis antes de utilizarlo en las nuevas mezclas. Desde el Ministerio de Transportes de Ontario se han caracterizado todos los parámetros a cumplir por el RAP y la mezcla final, además de la forma de tratar el ensayo Marshall con diferentes porcentajes de RAP y los posteriores controles de calidad.

Como resultado práctico obtenido por los canadienses, se obtiene que en muchos lugares se está utilizando un bajo contenido de RAP (<10%) para conseguir una mejor extensión y regularidad en la aplicación de la mezcla para rehabilitar el pavimento. Otras empresas canadienses incorporan un porcentaje más elevado de arena fina en la mezcla final para conseguir una mayor trabajabilidad y unos mejores acabados.

Un importante crecimiento del reciclado en caliente afecta a todo el Canadá y más hoy en día debido al énfasis que se está dando a la conservación de los materiales, energía y medio ambiente. Muchas empresas se están especializando en esta industria y están desarrollando nuevas tecnologías con el fin de conseguir mayores rendimientos, no descartándose que este tipo de industria pueda sustituir en un futuro a la actual industria del asfalto convencional.

### 5.2.3 Experiencia en los Estados Unidos

La industria del reciclado de material de capa de rodadura comenzó en los Estados Unidos a principios de la década de los 70 siendo potenciado por la Administración. Desde The Federal Highway Administration and Environmental Protection Agency se cuantificó a mediados de los años 90 en 100 millones de toneladas de RAP lo que se generaba anualmente como resultado de fresados y diversos levantamientos de pavimentos, de los cuales 73 millones eran reutilizados en los mismos pavimentos u otros de nueva construcción. Actualmente, la industria americana se basa en tres puntos clave para utilizar el RAP en la rehabilitación y construcción de pavimentos. Estos son la ingeniería (no perder propiedades en el nuevo pavimento tratado con el RAP), el impacto ambiental y, sobre todo, la economía.

NAPA (National Asphalt Pavement Association), en representación de toda la industria del reciclado del país, ha llegado a establecer una serie de objetivos para el futuro que son los siguientes:

- La utilización del RAP en la construcción de carreteras no ha de suponer ningún fenómeno impuesto, sino que ha de llegar a convertirse en una herramienta potente de ingeniería y poder entrar en el mercado de la oferta y la demanda como otro producto cualquiera.
- La utilización del RAP en la construcción de carreteras no ha de representar ninguna desventaja para la industria que sigue este camino frente a la que se dedica a la construcción del pavimento convencional.
- La utilización del RAP en la construcción de carreteras no ha de ser subvencionada, sino que ha de representar un beneficio para el constructor por su propio empleo.
- Los pavimentos compuestos de RAP se han de llegar a ejecutar tanto o mejor que los pavimentos convencionales.
- El material reciclado no sólo ha de ser medioambientalmente correcto en el presente, sino que es necesario pensar en tratarlo de manera que en el futuro se pueda volver a reciclar.

#### 5.2.4 Experiencia en España

El tipo de reciclado que ha tenido más éxito en España es el reciclado in situ en frío (con emulsión o con cemento), adquiriendo un desarrollo espectacular en los últimos 5 años. Comenzó como una manera de hacer frente a las grandes bajas en las obras de la red de carreteras del estado durante la primera mitad de los años 90, pero pronto se introdujo como una manera económica de rehabilitar pavimentos de medio y bajo tráfico en la segunda mitad de esa década. Se pensaba que la eclosión del reciclado in situ acabaría empujando otros tipos de reciclado por el aumento de los equipos de fresado y porque se despertaría el interés de las administraciones en evitar los vertidos.

No obstante, el reciclado en planta ha tenido una evolución muy lenta debido a la situación de los precios de los agregados y el asfalto en nuestro país, empezando a verse las aplicaciones importantes hace relativamente poco tiempo.

La concesionaria ACESA ha utilizado el reciclado de mezclas asfálticas en general desde 1983 en sus obras de rehabilitación de pavimentos en las autopistas A2 y A7. En 1986 inició un proyecto de investigación juntamente con Repsol para desarrollar un nuevo producto rejuvenecedor. La actuación en un tramo de aproximadamente un kilómetro y medio en la calzada dirección Zaragoza de la autopista A2 permitió estudiar el proceso de envejecimiento del ligante, así como comenzar a desarrollar la metodología para la utilización de esta técnica.

En 1999 se inició en Andalucía la rehabilitación estructural de la autovía A-92 por parte de GIASA (Gestión de Infraestructuras de Andalucía, S.A.). En la provincia de Granada se rehabilitó un tramo de 15 km de pavimento rígido compuesto por una capa base de 25 cm de suelo-cemento, una capa intermedia de 22 cm de hormigón seco compactado y 12 cm de mezcla asfáltica en el que, después del proceso para reciclarlo en un pavimento flexible, se consiguió aprovechar todos los materiales con unos parámetros de calidad aceptables. La nueva sección de pavimento está compuesta por una capa con la zahorra reciclada y una con zahorra de aportación, una capa base de 19 cm de mezclas asfálticas de tipo G-25 reciclada en caliente en una planta discontinua, una capa intermedia de tipo D-20 y

finalmente una capa de rodadura de tipo PA-12, utilizándose en el proceso casi 160.000 tn de mezcla asfáltica reciclada.

#### 5.2.5 Experiencia en Cataluña

A nivel catalán, la constructora RUBAU S.A. ha llevado a cabo las siguientes actuaciones desde que a principios de 1998 montara la primera planta existente en España que permitía el empleo de material fresado en las mezclas asfálticas:

- Variante de Cassà de la Selva.
- Refuerzo de pavimento de la carretera GI-512 tramo Tordera-Maçanet.
- Refuerzo de pavimento en el vial externo del Polígono Industrial de Celrà.
- Refuerzo de pavimento de la carretera C-25 tramo Gurb-Riudellots de la Selva.

La empresa PABASA también adaptó sus instalaciones a principios de 1999 para comenzar a producir mezclas asfálticas recicladas, desarrollando junto con el laboratorio de caminos de la UPC numerosos estudios y aplicando esta técnica en diferentes tramos de prueba con unos resultados muy favorables.

Asimismo, el Ayuntamiento de Barcelona ha usado recientemente material procedente del fresado de otras calles de la ciudad en la actuación del lateral de la Ronda General Mitre entre la calle José Agulló y la Vía Augusta, aprovechándose 61,5 toneladas del material fresado en unas mezclas asfálticas recicladas en caliente y fabricadas en planta. El porcentaje de material reciclado empleado en esta pequeña obra fue del 30% sobre el total de agregados de la mezcla, tanto en la capa de base como en la capa intermedia. Este hecho demuestra la voluntad del Ayuntamiento para aplicar las técnicas de reciclado en las actuaciones llevadas a cabo en las calles de la ciudad, siendo esta una de las aplicaciones con más justificación de los tratamientos de reciclado en caliente en planta.

### 5.3 Clasificación del Reciclado en Caliente

En los tratamientos de reciclado en caliente se pueden establecer dos grandes divisiones:

- a) Tratamiento en caliente in situ, con las siguientes tecnologías:
  - Termoreperfilado
  - Termoregeneración
  - Termoreciclado
- b) Tratamiento en caliente en planta, mezclas con adición de RAP.

### 5.3.1 Reciclado en caliente in situ

La técnica de reciclado in situ de materiales asfálticos fue concebida en los Estados Unidos en el año 1956 e introducida en Europa hacia el año 1970. Consiste en la conservación de pavimentos asfálticos degradados que se reutilizan directamente, con o sin aportación de materiales nuevos, mezclándolos in situ y posteriormente extendiendo y compactando la mezcla para constituir una nueva capa de pavimento.

Los procesos de reciclado in situ son de aplicación cuando no se trata de corregir problemas de insuficiencia estructural sino problemas en capas superficiales como son los debidos a envejecimiento del ligante, pulimento de los agregados, pérdida de textura, etc. Aunque algunas de estas técnicas permiten dotar al pavimento de una cierta capacidad de refuerzo, el espesor de tratamiento se limita a unos 8 cm como máximo, por lo que su campo de aplicación va más encaminado hacia la renovación de las características superficiales del pavimento.

El reciclado en caliente in situ se realiza con unos equipos especiales provistos de calefactores que elevan la temperatura de la superficie del pavimento y facilitan la disgregación del material, siendo el elemento básico del equipo el escarificador o fresador-calentador. Generalmente, el calentador consiste en unos paneles de rayos infrarrojos que calientan la superficie a temperaturas que oscilan entre 120°C y 160°C. Suele haber una serie de paneles que precalientan la superficie y eliminan la humedad, y una o dos series (si se reciclan más de 2-3 cm ya que suele hacerse en dos etapas) que aplican la temperatura final. El equipo de escarificado está provisto de dientes de acero con puntas de carburo, aunque a veces se utilizan fresadoras convencionales. El material disgregado se mezcla con un asfalto blando o un agente rejuvenecedor, pudiendo llevarse a cabo la técnica con o sin aportación

de agregado nuevo y realizando la operación de mezcla con el mismo equipo. La extensión y compactación se realiza mediante equipos convencionales y debe realizarse lo más rápidamente posible ya que es el punto crítico de toda la operación.

Existen varias técnicas que permiten reutilizar directamente las capas superficiales recalentadas. Estas se resumen en la tabla N° 12.

Tabla N° 9: Terminología inglesa y española de los procesamientos de reciclado en caliente in situ

Terminología inglesa	Terminología española
Reforming	Termoreperfilado
Regripping	
Repaving	Termoregeneración
Remixing	Termoreciclado
Rejuvenating	

Fuente: Roca, 2000

✓ Reforming

Consiste en devolver el perfil a una calzada asfáltica mediante calentamiento y escarificación, dándole posteriormente la forma deseada y compactando sin extraer ni adicionar ningún material.

✓ Regripping

Se trata del reforming acompañado de la incorporación de agregados mezclados o no con ligante para modificar alguna de sus características superficiales como, por ejemplo, la mejora de la rugosidad.

La técnica de termoreperfilado se utiliza para corregir pequeños deterioros en la superficie del pavimento o como tratamiento previo de un refuerzo posterior, de manera que se obtenga una adherencia óptima entre las capas antiguas y las nuevas.

✓ Repaving

Consiste en devolver el perfil a una calzada asfáltica por calentamiento, escarificación (sacando eventualmente una parte de los materiales), nivelación, colocación de una nueva capa delgada de mezcla asfáltica y compactación. Este método, equivalente a la termoregeneración, es aplicado para corregir problemas de regularidad longitudinal o transversal, pérdida de

material superficial, superficies deslizantes o permeables, con las ventajas derivadas de disponer de una nueva rodadura. A veces va precedida de la eliminación por fresado de los 2-3 cm superiores que se aportarán de material nuevo con el objetivo de mantener la rasante.

✓ Remixing

Se trata de la mejora de las propiedades de la capa superficial de un pavimento mediante calentamiento, escarificación (se extrae eventualmente una parte de los materiales), mezcla con las correcciones necesarias de la formulación (por aportación de agregados mezclados o no con ligante, de ligante o de mezcla asfáltica) y eventualmente la adición de un agente rejuvenecedor de ligante. La mezcla total es colocada en la obra y finalmente compactada.

✓ Rejuvenating

Es el mismo procedimiento que el remixing pero con la única aportación de un agente rejuvenecedor. Estos métodos de termoreciclado intentan solventar problemas de envejecimiento del ligante o defectos de la mezcla, aplicándose para espesores de 4 a 8 cm.

En los tres casos (termoreperfilado, termoregeneración y termoreciclado) se utilizan grandes máquinas integrales que en una sola pasada realizan de manera secuencial diferentes operaciones: calentamiento del pavimento, levantamiento de un cierto espesor, formación de un cordón de material levantado, separación en su caso del material que no se quiera reutilizar, eventual aportación de agregados nuevos, mezcla homogénea de los materiales nuevos con los antiguos, extensión y compactación.

Estos procedimientos son complejos en sí mismos y la maquinaria muy costosa siendo utilizable sólo en autopistas debido a su tamaño. Además, el calentamiento previo del pavimento produce una oxidación adicional del ligante, dificultando aún más la efectividad del reciclado. Igualmente, debe considerarse la problemática e inconvenientes debidos a las emisiones de humos y riesgos de trabajos con temperaturas elevadas.



Figura N°6: Maquinaria de tratamiento en caliente in situ

Fuente: Asociación Española de la Carretera, 2001

### 5.3.2 Reciclado en caliente en planta

Se entiende por reciclado de mezclas asfálticas en planta en caliente la reutilización de mezclas asfálticas retiradas de capas envejecidas mediante un tratamiento en una central de fabricación en caliente. En este tratamiento se añaden a las mezclas antiguas otros agregados y ligante nuevos y, a veces, un agente rejuvenecedor del ligante. El empleo de los materiales reciclados puede hacerse en el mismo pavimento de que proceden o en otra localización, debiendo cumplir las mezclas asfálticas fabricadas con estos materiales las mismas prescripciones exigidas a las mezclas asfálticas en caliente convencionales.

El proceso se realiza retirando las mezclas de la carretera en forma de bloques, extraídos con palas, martillos neumáticos o masas de caída libre, si se trata de la eliminación completa del conjunto de las mezclas. Mediante el fresado se retiran los materiales si sólo se quiere eliminar una parte de la capa asfáltica. El material retirado es trasladado a una central de fabricación de mezclas asfálticas en la que, después de un eventual proceso de machaqueo y de una clasificación granulométrica, se mezcla en caliente con agregados y ligantes nuevos, así como agentes rejuvenecedores, obteniéndose una mezcla asfáltica compuesta en parte



por el material reciclado y destinada normalmente para capas inferiores y arcenes, aunque en ocasiones también para capa de rodadura.

Los principios generales aplicables a la técnica de reciclado en caliente en planta son los siguientes:

- a) Las mezclas obtenidas por reciclado deben cumplir los mismos requisitos que las mezclas convencionales equivalentes. Esto es un parámetro limitativo en el contenido de RAP a adicionar debido a la falta de regularidad de éste.
- b) Las características del ligante final de la mezcla deben estar en el rango o próximas al de los ligantes que serían aplicables en mezclas equivalentes con agregados nuevos. Ello puede suponer la utilización de betunes nuevos con una mayor penetración o con características regenerantes a medida que aumenta la proporción de RAP en la mezcla o con ligante del RAP muy envejecido. Asimismo, al aumentar la proporción de RAP, hay que ir disminuyendo la de ligante nuevo a añadir para mantener un contenido total de ligante adecuado.
- c) Para un mezclado eficaz y reconstitución de la mezcla, el RAP debe alcanzar una temperatura suficientemente elevada para permitir la fluidificación del ligante viejo y su mezcla con el nuevo. En la práctica, esto se traduce en que debe alcanzar unas temperaturas en torno a 160°C para las mezclas habituales en nuestro país.
- d) En el calentamiento del RAP por transferencia de calor a partir de los agregados sobrecalentados, la temperatura de éstos no debe ser tan alta como para provocar un envejecimiento adicional del ligante por choque térmico.

#### 5.4 Procedimiento para el reciclado de mezclas asfálticas en caliente en planta y equipo necesario para realizarlo

El reciclado de pavimentos asfálticos en planta en caliente es un método de fabricación de mezclas cada vez más usado por diferentes administraciones en todo el mundo y, en general, la metodología utilizada es muy parecida en todos los países.

Gracias al gran desarrollo tecnológico que se ha presentado en los últimos años en los equipos y maquinarias para la construcción se ha podido dar un impulso muy grande al reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en planta.

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

#### 5.4.1 Recuperación de materiales de los pavimentos asfálticos deteriorados para su reciclado

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

García (2001), la demolición mecánica de las capas de pavimento mediante ripado con bulldozer o levantamiento con pala o retroexcavadora (Figura N°7), es una de las alternativas más comúnmente usadas en las demoliciones de pavimentos, en especial cuando no hay requisitos precisos de reutilización posterior del material en procesos de reciclado o necesidad de un saneo por fresado para sustitución de un determinado espesor del pavimento.



Figura N°7: Demolición mecánica de un pavimento

Fuente: Jorge Alarcón, 2003

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

utilizado en las mezclas recicladas.

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

Alrededor de 1970 (ASTECC, 1998) hicieron su aparición, por primera vez, las máquinas fresadoras de pavimentos asfálticos. Se trataba de modelos pequeños y con ancho de corte muy reducido. Con todo, hicieron ver las posibilidades que ofrecían en las tareas de rehabilitación de capas de pavimento necesitadas de ser sustituidas, de ahí que a lo largo de los años 70 estas máquinas conocieran un desarrollo cada vez más pronunciado. Lógicamente aquellas primeras máquinas requerían de mucho mantenimiento y eran poco fiables, pero con el tiempo, han crecido no solo en tamaño y potencia, sino que se ha mejorado sensiblemente en control, en el grado de eficacia y capacidad de producción, y además son mucho más sencillas de operar.

Actualmente, con una fresadora de carga frontal se puede cortar un carril completo, además de recoger automáticamente el material fresado sobre un camión para su retirada como se puede observar en la Figura N°8.



Figura N°8: Fresado de capas asfálticas envejecidas

Fuente: Jorge Alarcón, 2003

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

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

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

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

#### 5.4.2 Proceso y acopio del RAP en planta

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

Cuando el RAP no precisa una gran reducción de tamaño, porque su dimensión máxima no es excesiva (50-100mm), García (2001) recomienda una variante, en la que en el sistema de alimentación se incorpora una trituradora secundaria para reducir el material procedente de fresado a una granulometría uniforme 0/20 ó 0/30 como se observa en la Figura N°9.

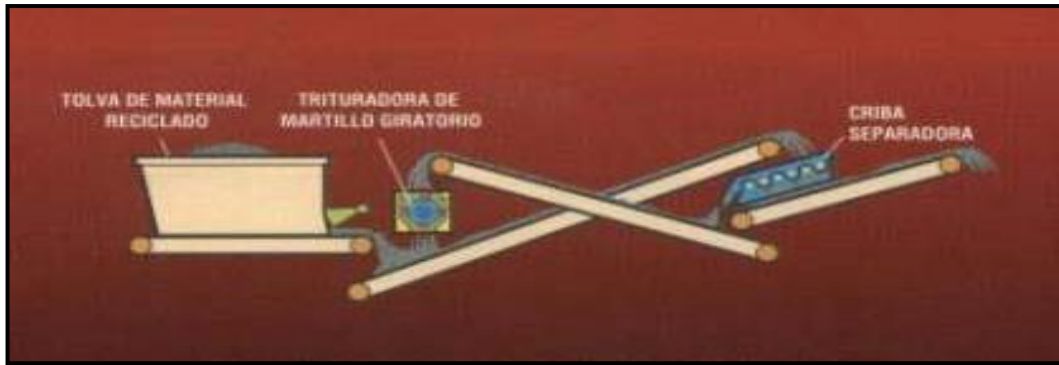


Figura N°9: Alimentación de planta con proceso de Machaqueo

Fuente: ASTEC, 1998

Si el RAP es procedente de la demolición de pavimentos ó tiene tamaños máximos de partículas superiores a los especificados para la fabricación de mezclas, será necesario realizar un machaqueo en planta que puede hacerse mediante una trituradora que cuente con una primera etapa de machaqueo por impacto y una segunda etapa con una criba y una trituradora de conos, como se muestra en la Figura N°10, de esta manera se reducirá el RAP a un todo uno con tamaño máximo de entre los 20-30mm, antes de ser acopiado para su almacenamiento.

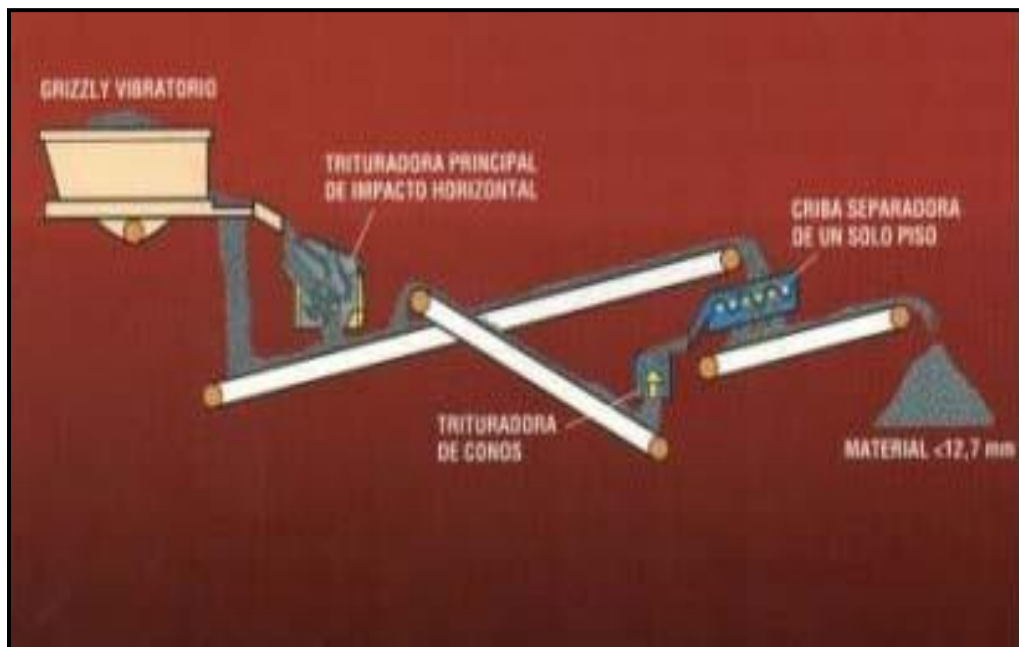


Figura N°10: Trituradora de RAP de una sola criba

Fuente: ASTEC, 1998

Si se pretende utilizar porcentajes muy elevados de RAP (más del 30%) en la fabricación de mezclas, es recomendable separarlo en dos fracciones para asegurar que el producto final será suficientemente homogéneo, en este caso se debe utilizar una machacadora de dos etapas que cuente con una criba de dos pisos que nos permita obtener las dos fracciones requeridas, que serán acopiadas separadamente para evitar que se mezclen entre ellas.

En la Figura N°11 se presenta una procesadora de RAP capaz de separar el material fresado de pavimentos en diferentes fracciones.



Figura N°11: Trituradora de RAP para obtener diferentes fracciones

Fuente: ASTEC <[www.astecinc.com](http://www.astecinc.com)>

Una vez procesado, el RAP debe ser manipulado y almacenado como un agregado convencional. De cualquier forma, algunas administraciones no permiten que se mezclen los fresados de diferentes obras en los mismos acopios.

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

La experiencia ha probado que los acopios cónicos se comportan de una mejor manera que los acopios horizontales y ayudan a que el fresado no se reaglomere.

El RAP tiene la tendencia de formar una costra de unos 20 cm, debido a los efectos del calor y de la radiación solar tanto en los acopios cónicos como en los horizontales. Esta corteza ayuda a evitar que el resto del RAP se aglomere y además se rompe fácilmente con un cargador frontal.

El material fresado de pavimentos tiene la tendencia de almacenar agua y no drenarla con el tiempo como los agregados normales. Los acopios bajos y horizontales acumulan más humedad que los cónicos y de mayor altura. Otra medida que puede servir para evitar la excesiva humedad del RAP es utilizar acopios techados, pero sin paredes, para evitar la condensación de la humedad.

Cuando el RAP llega de muy distintas procedencias en pequeñas cantidades, será necesario hacer una serie de mezclados sucesivos para conseguir un acopio homogéneo, aunque la procedencia no sea la misma.

#### 5.4.3 Caracterización de los materiales que formarán parte de las mezclas recicladas

Una vez que se logran acopios de RAP homogéneos, es necesario caracterizar todos los materiales que formarán parte de las mezclas recicladas, es decir:

- RAP
- Agregados
- Ligante Bituminoso
- Rejuvenecedores (en caso de ser necesarios)

Los ensayos que deben realizarse a cada uno de los componentes de la mezcla reciclada para su correcta caracterización antes de que se proceda a su fabricación.

##### 5.4.3.1 RAP

El material a reciclar consiste normalmente en capas asfálticas que han sido fresadas en un espesor predeterminado y transportadas a los acopios de la planta asfáltica. El RAP es triturado o tamizado hasta un tamaño máximo de 14-20 mm, produciéndose durante el proceso la disgregación en sus componentes originales y la rotura de algunas partículas de las fracciones más gruesas. Este último aspecto provoca una falta en el tamaño máximo del

agregado y un incremento de los tamaños inferiores, no habiendo en principio un aumento significativo de finos.

Generalmente, los procesos de triturado en planta presentan una mejor consistencia y separación del RAP que las operaciones realizadas in situ. El RAP que ha sido bien separado y gradado presenta la máxima superficie específica que permitirá una dispersión uniforme del agente rejuvenecedor además de una fácil extensión y la consecución de la densidad de compactación requerida.

La calidad del RAP es un concepto importante a considerar en el reciclado de mezclas asfálticas y depende de los siguientes factores:

- La oxidación de la mezcla que provoca endurecimiento y pérdida de ductilidad.
- El desgaste y la erosión de los agregados.
- Las deficiencias de la mezcla inicial en variables como el contenido de asfalto o la distribución granulométrica de los agregados.

Debe remarcarse que no todo el RAP es adecuado para ser reciclado o para todas las aplicaciones. Las mezclas con contenido de goma, por ejemplo, no son adecuadas para el reciclado a elevadas temperaturas. Por otra parte, la calidad original de los agregados (por ejemplo, partículas redondeadas) o su estado (por ejemplo, partículas con elevado pulimento) pueden no hacerlo adecuado en el tratamiento de la capa originaria, aunque puede utilizarse en mezclas destinadas a capas inferiores.

La variabilidad en la granulometría del RAP puede llegar a hacerlo no adecuado para reciclar o al menos dificultar el diseño de la mezcla reciclada. El principal factor a tener en cuenta es la cantidad de filler y su efecto en la dispersión de la nueva mezcla. Es por ello que deberán añadirse nuevos agregados para corregir dichas deficiencias como parte integrante del proceso de diseño, especialmente los correspondientes a las fracciones más gruesas.



#### 5.4.3.2 Ligante Bituminoso

Sánchez F. Material que contiene asfalto (bitumen), el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono (CS<sub>2</sub>). El asfalto y el alquitrán son materiales asfálticos.

- Asfalto

Material aglomerante de color marrón oscuro a negro, de consistencia variable, constituido principalmente por betunes. El asfalto puede ser natural u obtenido por refinación de petróleo.

- Alquitrán

Producto hidrocarbonado semisólido o líquido, resultante de la destilación de la hulla. Su contenido de asfalto es menor que el de los asfaltos. Presenta buena adhesividad con los agregados y resiste el ataque de los derivados del petróleo, pero presenta susceptibilidad térmica y envejecimiento rápido.

#### 5.4.3.3 Agentes rejuvenecedores

El grado de envejecimiento de un asfalto de pavimento depende de factores climatológicos y de tráfico en procesos de larga duración y de fabricación y puesta en obra en procesos de corta duración. Normalmente, cuando se quiere reciclar un pavimento, es debido a que se encuentra fatigado estructuralmente y esto supone, salvo que haya sucedido alguna catástrofe natural, que el ligante se encuentra alterado después de un largo tiempo de exposición a agentes externos.

Desde el punto de vista químico, el envejecimiento del asfalto es un proceso que altera su composición y su estructura coloidal manifestándose en la práctica en un endurecimiento y una pérdida de sus características mecánicas y aglomerantes. Es un proceso irreversible que comienza con la fabricación de la mezcla asfáltica en la planta asfáltica y que continúa después de la puesta en carretera durante su vida de servicio.

Durante el proceso de mezcla con los agregados en la planta asfáltica, el asfalto sufre un acusado envejecimiento. Aunque este proceso sea de corta duración, su efecto es crítico cuando se pone el asfalto en contacto con el oxígeno y con los agregados a temperaturas elevadas (del orden de 170°C), y en espesores de película muy finos. En esta etapa se produce la evaporación de los posibles componentes volátiles presentes en el asfalto, lo cual puede provocar pérdidas de hasta un 30% en la penetración del asfalto.

Cuando la consistencia del asfalto llega a valores muy elevados, especialmente a baja temperatura, el asfalto se vuelve frágil y rompedizo, produciéndose la rotura de la película que recubre los agregados y permitiendo que el agua penetre deteriorando la mezcla asfáltica del pavimento.

Generalmente, la mezcla existente requiere la modificación que proporciona un agente rejuvenecedor si se quiere utilizar en una mezcla reciclada con el fin de alcanzar los siguientes objetivos:

- Ajustar la viscosidad del asfalto existente a la viscosidad equivalente del nuevo ligante.
- Restaurar las propiedades químicas originales del asfalto reciclado para asegurar la durabilidad.

Para ello, el producto rejuvenecedor debe garantizar las siguientes propiedades:

- Viscosidad adaptable a las necesidades.
- Punto de inflamación compatible con las temperaturas de proceso.
- Contenido alto de aromáticos y bajo de asfaltenos y saturados.
- Coste asumible.

Los agentes rejuvenecedores acostumbran a ser aceites ligeros, de alta penetración y baja viscosidad. Normalmente son productos patentados, pero pueden también estar formados por mezclas de betunes, emulsiones o betunes modificados de baja viscosidad, escogiéndose en función de sus propiedades reológicas. Normalmente, los productos de marcas comerciales están en forma emulsionada o en aceites en fase no emulsionada, compuestos por fracciones maltenas y asfaltenas seleccionadas derivadas del crudo.

#### 5.4.3.4 Agregados

La calidad de los materiales de aportación ha de corregir las deficiencias del material a reciclar, de manera que la mezcla final presente características que se sitúen dentro de las tolerancias admitidas para las mezclas totalmente nuevas. Deben agregarse agregados vírgenes a la mezcla debido a las siguientes razones:

- a) Mejora de la granulometría. El pavimento existente puede no tener la granulometría deseada o, aunque fuese así, ésta puede cambiar durante su proceso de demolición. De esta manera, añadir nuevos agregados permite la mejora en la gradación de la mezcla reciclada modificándola hasta conseguir un rango aceptable.
- b) Calidad de los agregados. Aunque la granulometría fuese adecuada, puede suceder que la calidad de los agregados en la mezcla original no sea la óptima. Por ejemplo, una excesiva presencia en el RAP de agregados rodados debido a su economía puede ser corregida mediante la adición de nuevos agregados.
- c) Exceso de filler en el RAP. El pavimento del cual se obtendrá el RAP contendrá originalmente una cantidad de filler igual o superior a la permitida en normativas actuales, incrementándose normalmente durante el proceso de demolición. Por ello se hace necesario limitar la cantidad de filler en los agregados vírgenes mediante su lavado facilitando así su control en la mezcla final.
- d) Ligante. El envejecimiento del ligante del RAP hace necesario su modificación durante la fabricación de la mezcla. Si no se añaden nuevos agregados, la adición de nuevo ligante o de agentes rejuvenecedores haría que la mezcla resultante fuese muy rica (con un elevado contenido de ligante).
- e) Control de emisión de contaminantes. Aunque había sido un problema clásico en las plantas asfálticas de tambor secador-mezclador en las que el RAP estaba en contacto con la llama del tambor, los nuevos sistemas de fabricación han evitado este problema debido a que la presencia de

agregados vírgenes en el proceso de producción de la mezcla crea un escudo que impide el contacto directo de la llama con el RAP y favorece que el ligante no se encienda y no emita humos contaminantes.

Las especificaciones técnicas que han de cumplir los agregados son las mismas que las que habrían de cumplir los agregados de una mezcla convencional.

#### 5.4.4 Plantas para la fabricación de mezclas asfálticas recicladas en caliente

De acuerdo con ASTEC (1998), las plantas discontinuas y las plantas continuas de tambor-secador-mezclador, son las indicadas para preparar mezclas de alta calidad utilizando RAP siempre y cuando se tomen ciertas precauciones para evitar problemas relacionados con el uso de RAP.

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:

##### 5.4.4.1 Plantas discontinuas

Existen básicamente cinco métodos para la utilización de RAP en una planta asfáltica discontinua, y en todos los casos es necesario sobrecalentar el agregado virgen. Una mayor humedad en el RAP y un porcentaje más alto de utilización del mismo requerirán temperaturas proporcionalmente más elevadas en el agregado virgen. A menos que el RAP esté extremadamente seco no pueden utilizarse proporciones de RAP superiores al 40% en este tipo de plantas.

El sobrecalentar los agregados 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% de RAP, lo que no justifica la inversión.

El primer método para la fabricación de mezclas recicladas en caliente en una planta discontinua consiste en introducir el RAP frío en la funda del elevador caliente junto con el agregado virgen sobrecalentado, como se muestra en la Figura N°12. Juntos son clasificados y almacenados en tolvas calientes.

A medida que el agua se va evaporando del RAP, 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 de RAP 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.

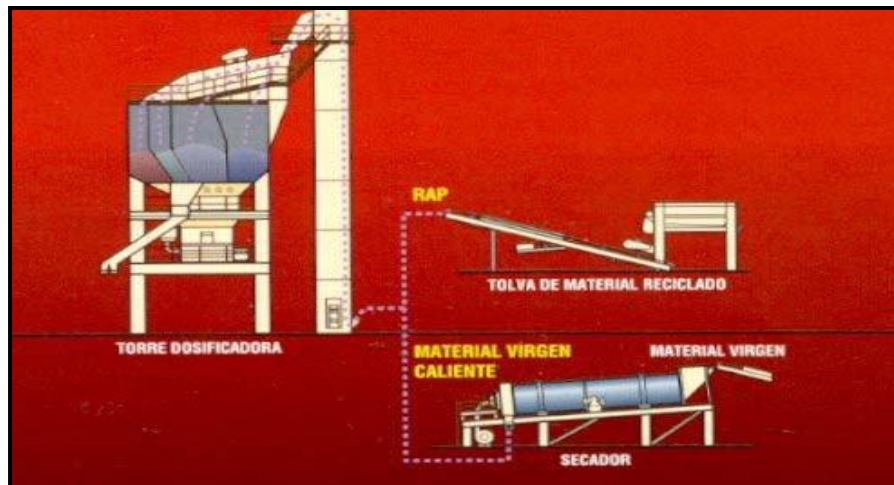


Figura N°12: Planta discontinua con ingreso de RAP en elevador caliente

Fuente: ASTEC, 1998

En el segundo método, la torre dosificadora debe tener una quinta tolva caliente como se muestra en la Figura N°13. En este caso, el RAP frío y preclasificado se puede introducir en la funda del elevador caliente junto con el agregado sobrecalentado y preclasificado.

El elevador entrega el material mezclado directamente a la quinta tolva, desviándolo de las cribas de la torre. Este método da resultados óptimos y permite utilizar hasta el 40% de RAP, y permite pasar de mezclas con RAP a mezclas vírgenes sin vaciar las tolvas calientes porque no se sobrecalientan los materiales existentes en las mismas.

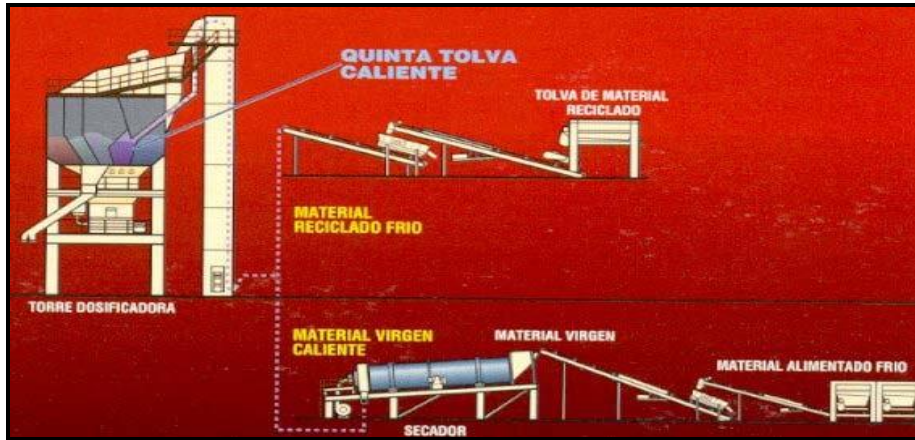


Figura N°13: Planta discontinua con tolva caliente de la torre dosificadora

Fuente: ASTEC, 1998

En un tercer método, se entrega el RAP frío preclasificado directamente a la tolva de pesaje de la torre dosificadora junto con el agregado virgen sobrecalentado de la tolva caliente.

Para aumentar el tiempo de calentado del RAP, puede dejarse caer el RAP intercalado entre los agregados calientes. Normalmente, se produce una explosión suave cuando se deja caer el material sin mezclar de la tolva de pesaje a la amasadora en funcionamiento. La amasadora mezcla instantáneamente el RAP frío con el agregado virgen caliente, y la explosión es el resultado de la evaporación casi instantánea del agua del material fresado. Generalmente se requiere de una Baghouse más grande para dar salida al vapor del mezclador.

El cuarto método consta de un nuevo sistema de control de alimentación que se está usando en las plantas discontinuas, tal como se muestra en la Figura N° 14.

En este sistema, se alimenta el RAP hacia una tercera balanza para obtener una cantidad determinada del mismo. Después de pesado, se deja caer el RAP en una tolva con un alimentador, el cual introduce el RAP en la amasadora en un intervalo de 20 a 30 segundos, lo que retarda el ciclo de la mezcla, pero permite una alimentación controlada. Por lo tanto, se extiende la generación de vapor a un intervalo de 20 a 30 segundos y facilita su control y eliminación. La tasa máxima de reciclado con este método se sitúa sobre el 20–25%.

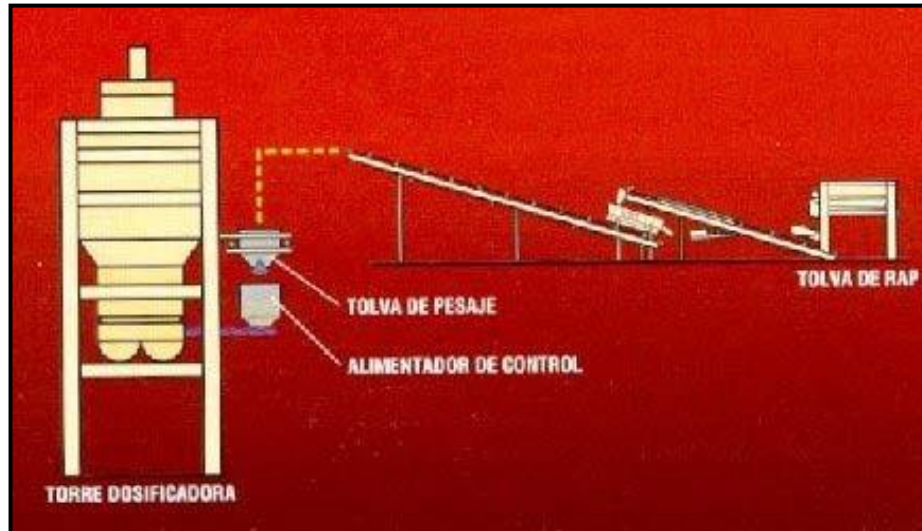


Figura N°14: Planta discontinua con alimentación controlada a la tolva de pesaje

Fuente: ASTEC, 1998

El quinto método incorpora un secador separado utilizado para recalentar el RAP. Actualmente es utilizado principalmente en Europa, y aunque comparativamente con los sistemas anteriores es un sistema muy caro, tiene la ventaja de que se pueden utilizar proporciones de RAP del 35 al 40%. Es importante mencionar que las plantas adaptadas actualmente en Cataluña por las empresas RUBAU y PABASA pertenecen a este tipo, en la Figura N°15 se observa una de ellas.



Figura N°15: Planta discontinua con doble tambor secador para calentamiento del RAP de la empresa PABASA

Fuente: Alarcón J., 2003



En la Figura N°16 se observa el diagrama que presentan las plantas discontinuas del quinto tipo. En estas plantas, los gases del presecador son utilizados como aire secundario y se conduce hacia el secador del agregado virgen, el cual consume el humo para evitar emisiones contaminantes.

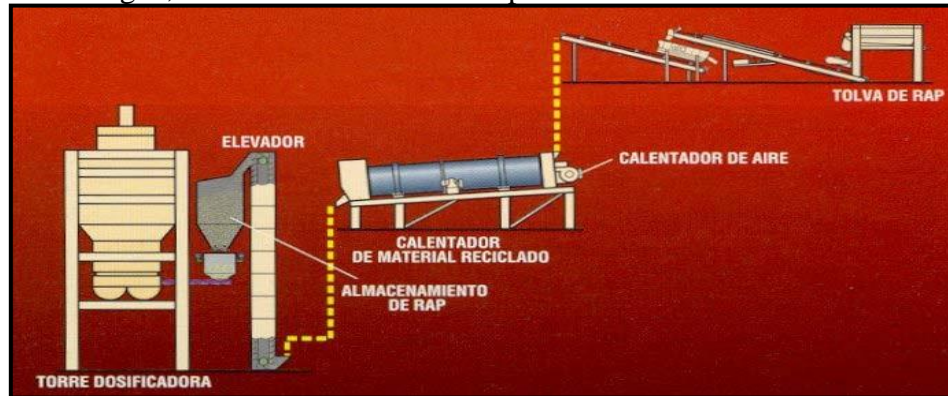


Figura N°16: Planta discontinua con doble tambor secador para calentamiento del RAP

Fuente: ASTEC 1998

#### 5.4.4.2 Planta continuas de tambor secador - mezclador

De acuerdo con ASTEC (1998), puede decirse que existen básicamente cinco tipos de plantas de tambor secador-mezclador, capaces de manipular RAP, 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% de RAP sin producir humos.

En segundo lugar, están las plantas con secador de flujo paralelo con mezclador independiente como se muestra en la Figura N°17. 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.



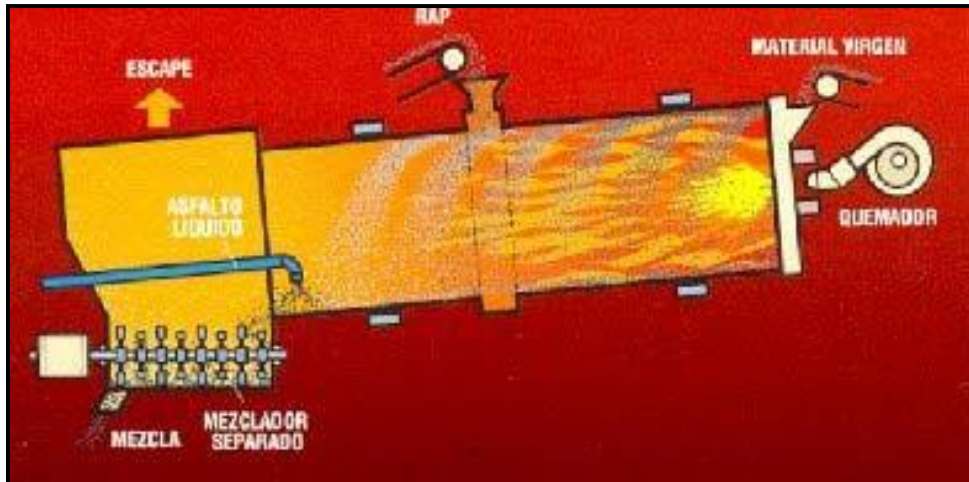


Figura N°17: Planta continua con secador de flujo paralelo con mezclador separado (DMC)

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 (Figura N°18), 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.

Su desventaja es que requieren un mezclador muy grande de alta potencia y un secador enfriado por aire, en especial cuando utilizan proporciones altas de RAP.

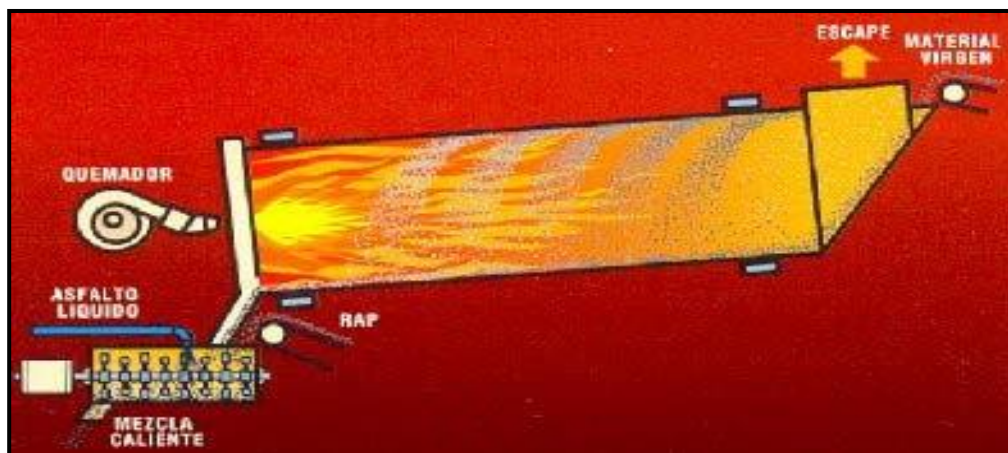


Figura N°18: Planta continua con secador de contraflujo con mezclador separado (DMC II)

Fuente: ASTEC 1998

En cuarto lugar, están las plantas de mezclador con tambor de contraflujo mostrada en la Figura N°19, y que cumplen todas las nuevas normas de emisión de gases, pero tienen como desventaja su corto tiempo de mezcla, el cual no siempre proporciona una mezcla óptima. En condiciones de proporciones altas de RAP, la corta sección de fusión y de mezclado del tambor que posee, podría dar lugar a no fundir el RAP suficientemente, produciendo una mezcla no homogénea.

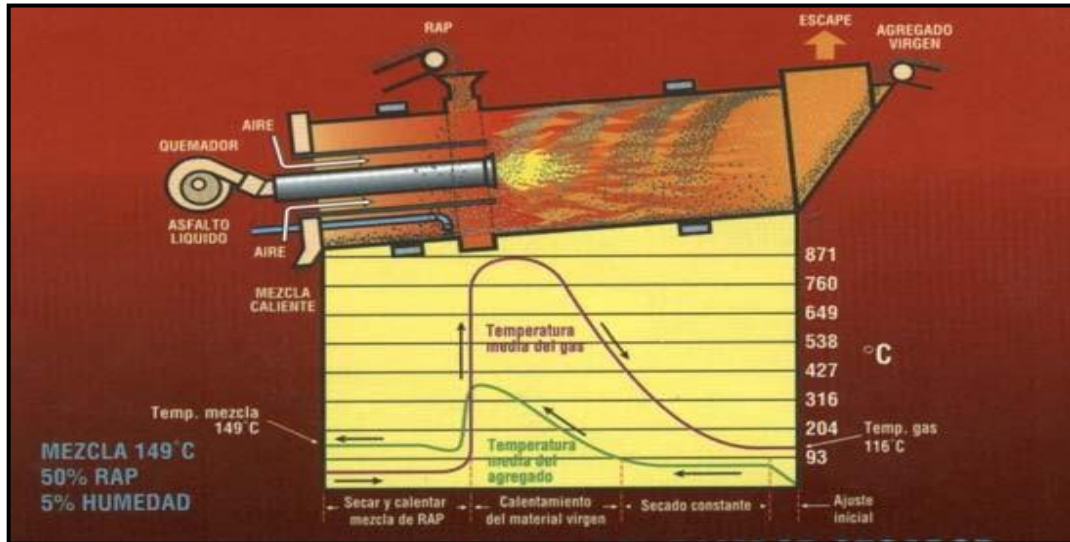


Figura N°19: Planta continua con tambor secador – mezclador de contraflujo

Fuente: ASTEC 1998

Por último, se tienen las plantas con doble tambor o Double Barrel que son una combinación de un secador de contraflujo y un mezclador como se muestra en las Figuras N°20 y N°21. El mezclador con doble tambor funciona como un Drum Mix Coater II con un mezclador grande ubicado debajo de la parte inferior del secador.

Este mezclador de gran tamaño da tiempo suficiente para que se funda completamente el RAP después de haberse mezclado con el material virgen sobrecalentado. El tiempo de mezcla es lo suficientemente prolongado como para obtener una mezcla muy homogénea antes de que se inyecte el ligante nuevo en la mezcla, y hay tiempo suficiente para que los materiales combinados se enfríen a la temperatura normal de mezcla, después de haber añadido el RAP.

Durante el proceso de mezclado, toda la cámara de mezcla se llena de vapor. Dicho vapor origina una atmósfera inerte en la sección de mezcla. El vapor tiende a separar el aceite ligero, pero ya que ningún gas fluye por el mezclador, el aceite permanece en la mezcla y hace más brillante el RAP, dándole la apariencia de una mezcla de puro material virgen.

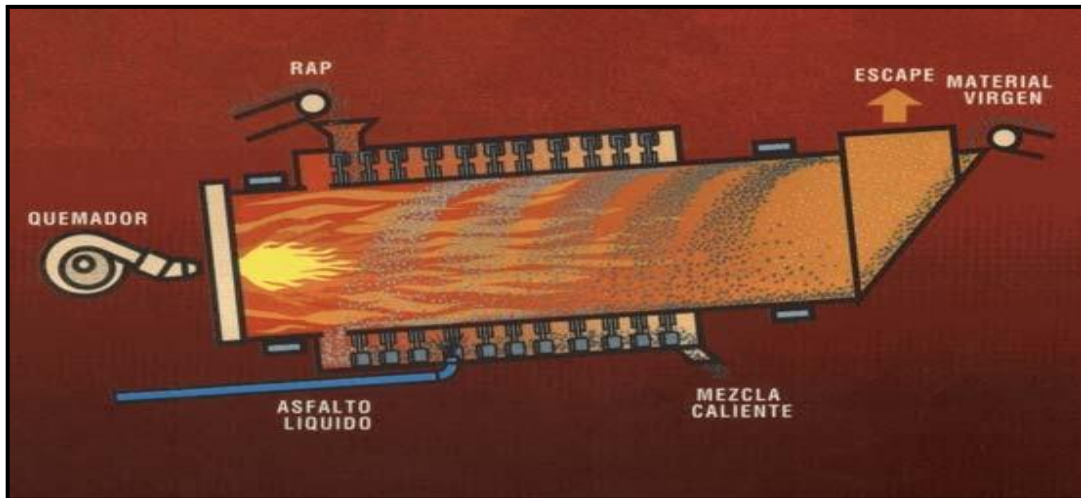


Figura N°20: Planta continua con tambor secador – mezclador de doble tambor

Fuente: ASTEC 1998

En estas plantas puede añadirse hasta un 50% de RAP sin contaminar la atmósfera con emisiones dañinas.

Al tener una alta eficacia térmica sus costos operativos se reducen sensiblemente. El calor del tambor del secador va directamente a la sección de mezcla en lugar de escapar a la atmósfera.



Figura N°21: Planta continua con tambor secador – mezclador Double Barrel

Fuente: ASTEC <[www.astecinc.com](http://www.astecinc.com)>

#### 5.4.4.3 Plantas especiales a base de microondas

Según García (2001), existe actualmente otra tecnología que elimina totalmente los problemas medioambientales de emisiones, en especial en entornos con legislación muy restrictiva y que permite tasas de aprovechamiento del 85 al 100% de RAP, a la vez que preserva totalmente al ligante de cualquier riesgo de oxidación por la exposición a gases calientes en el momento del mezclado.

Se trata de plantas que utilizan microondas, ya hay varias en funcionamiento en Estados Unidos y hay una más en Róterdam. En este sistema, el RAP se machaca y procesa en dos o tres fracciones para un mejor ajuste granulométrico de la mezcla. Posteriormente se calienta el RAP en un primer escalón a 120°C, por medio de corriente de gases calientes y después, en un horno gigante de microondas, se lleva a 140-145°C, para llegar a la temperatura de mezclado.

Estas plantas tienen el gran inconveniente de un elevadísimo coste de adquisición y de operación.

### 5.5 Ventajas de la técnica del Reciclado de Pavimentos Asfálticos en Caliente

#### 5.5.1 Reciclado in – situ

- ✓ Economía superior al reciclado en central, debido a que no es necesario el transporte de materiales a la central ni el transporte de puesta en obra y a que se realiza un menor consumo energético durante todo el proceso.
- ✓ Se puede aprovechar el 100% del material antiguo en una sola aplicación.
- ✓ Ausencia absoluta de emisiones contaminantes en el caso de reciclados en frío.
- ✓ Mejor adaptación a obras dispersas y de pequeño tamaño.

#### 5.5.2 Reciclado en planta

- ✓ Una homogeneidad más grande debido a que la dosificación de las mezclas recicladas puede controlarse de manera precisa mediante básculas y dosificadores. Asimismo, la dosificación de materiales nuevos puede controlarse también de manera exacta.

- ✓ Se puede realizar sobre cualquier espesor de mezcla asfáltica, sin limitaciones.
- ✓ El transporte, la extensión y la compactación se pueden realizar con equipos convencionales (ventaja sobre el reciclado in situ en frío).
- ✓ Se aprovecha mejor la capacidad aglomerante residual del asfalto antiguo (ventaja sobre el reciclado in situ en frío).
- ✓ No necesita tiempo de curado, se puede abrir inmediatamente al tráfico (ventaja sobre el reciclado in situ en frío).
- ✓ Se puede utilizar en capas de rodadura, cosa difícil con los reciclados in situ especialmente en frío.
- ✓ Puede regularse el calentamiento de la mezcla de manera que no se produzca un endurecimiento inadmisibile del asfalto (ventaja sobre el reciclado in situ en caliente).
- ✓ El reciclado en caliente en planta tiene un comportamiento mecánico y una capacidad de refuerzo análogos a los de las mezclas nuevas y superiores a los de los reciclados in situ.

## **CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **6.1 Diagnóstico y situación actual**

Con la finalidad de aprovechar material de pavimento asfáltico envejecido, se tomó como referencia solo un caso de propuesta técnica del Diseño de la Carpeta Asfáltica en Caliente y el análisis de costos, la cual fue elaborada por el tesista Fustamante Fustamante, Jhonatan Pier (2018), utilizando pavimento reciclado 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.

### **6.2 Presentación de Resultados**

Los análisis que mostramos a continuación provienen de la tesis titulada “PROPUESTA TÉCNICA DE DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA UTILIZANDO PAVIMENTO RECICLADO PARA EL MEJORAMIENTO DE AV. MESONES MURO 0+000 -2+066 CHICLAYO”, presentada por el tesista Fustamante Fustamante, Jhonatan Pier (2018); porque conforme se ha mencionado anteriormente no hay mayor información estadística sobre este tema, pero esto nos sirve para evaluar una nueva mezcla asfáltica con el 10%,20%,30% y 40% de pavimento asfáltico reciclado (RAP) y a su vez determinar el porcentaje de costo que se reduce al realizar la técnica de reciclaje en caliente y su reutilización.

#### **6.2.1 Contenido de Asfalto Extraído del RAP**

El asfalto extraído que se tomó como muestra representativa es de 1274.8 gr. de pavimento asfáltico reciclado (RAP), nos da como resultado un total de 60.3 gr. que expresado en porcentaje representa el 4.71% de contenido de asfalto.

## 6.2.2 Características de la Carpeta Asfáltica con 0%, 10%, 20% 30% y 40% de RAP

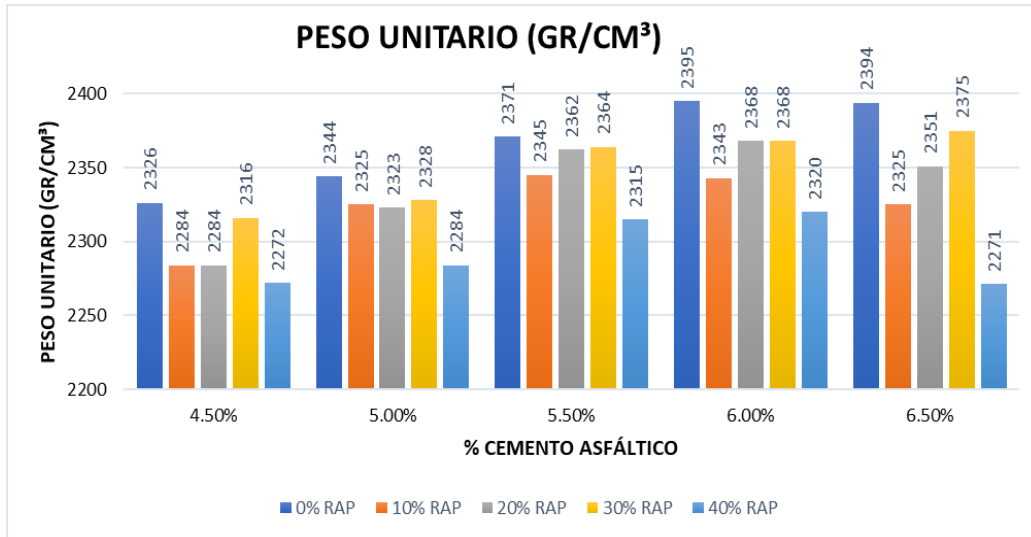


Figura N°22: Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

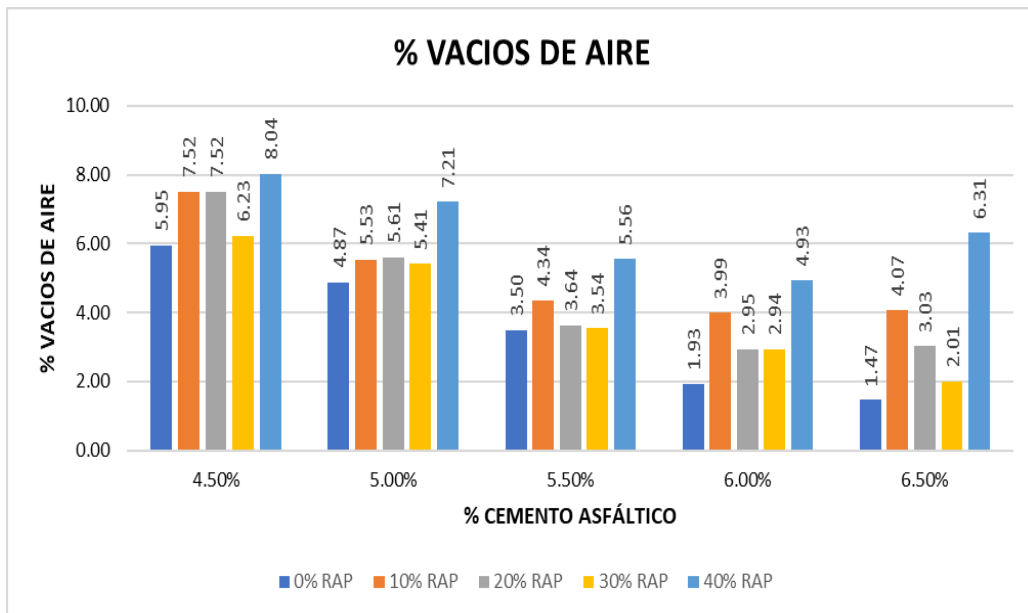


Figura N°23: % Vacíos de Aire

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

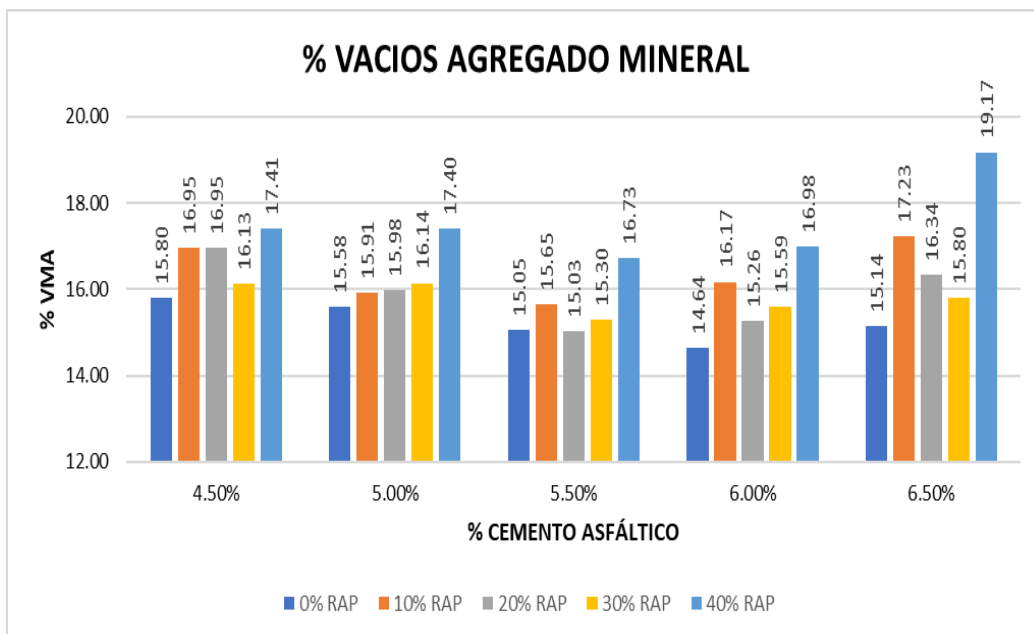


Figura N°24: % Vacíos Agregado Mineral

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

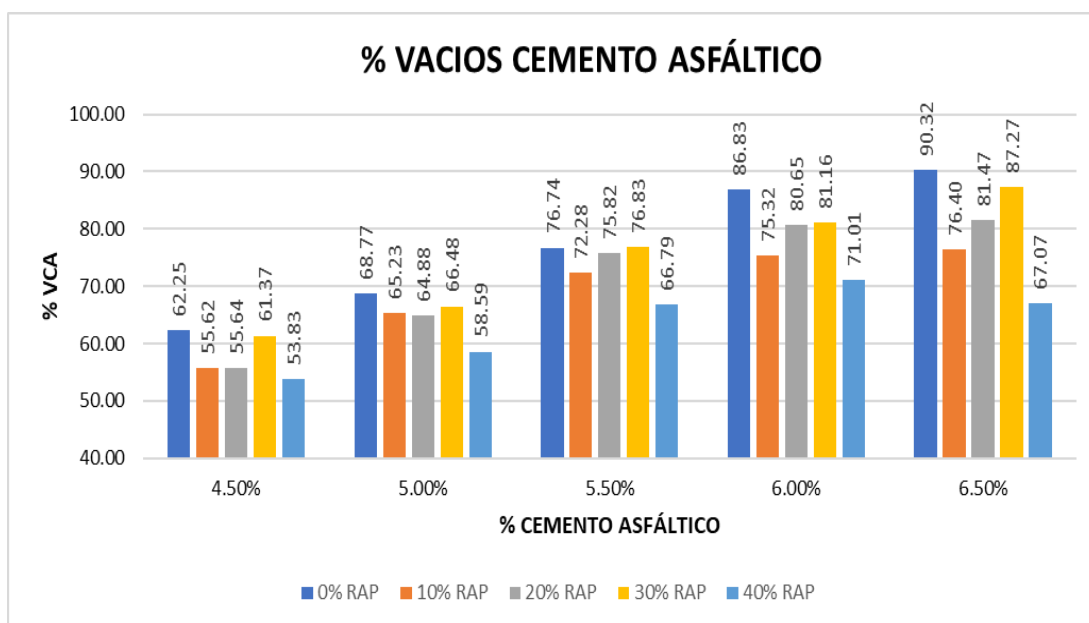


Figura N°25: % Vacíos Cemento Asfáltico

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018



### 6.2.3 Resultados del Ensayo Marshall

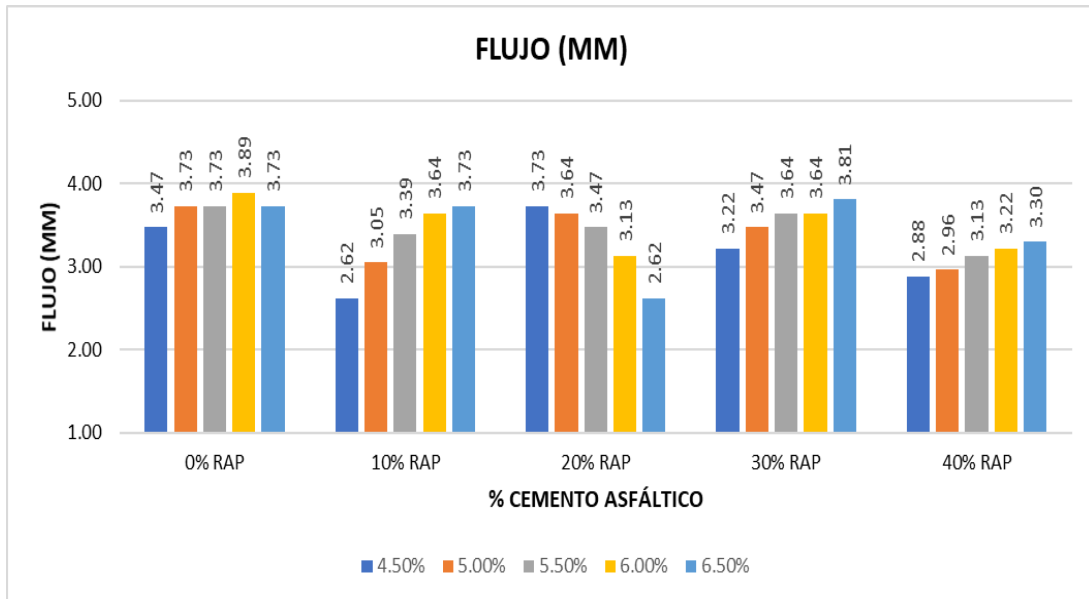


Figura N°26: Flujo (mm)

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

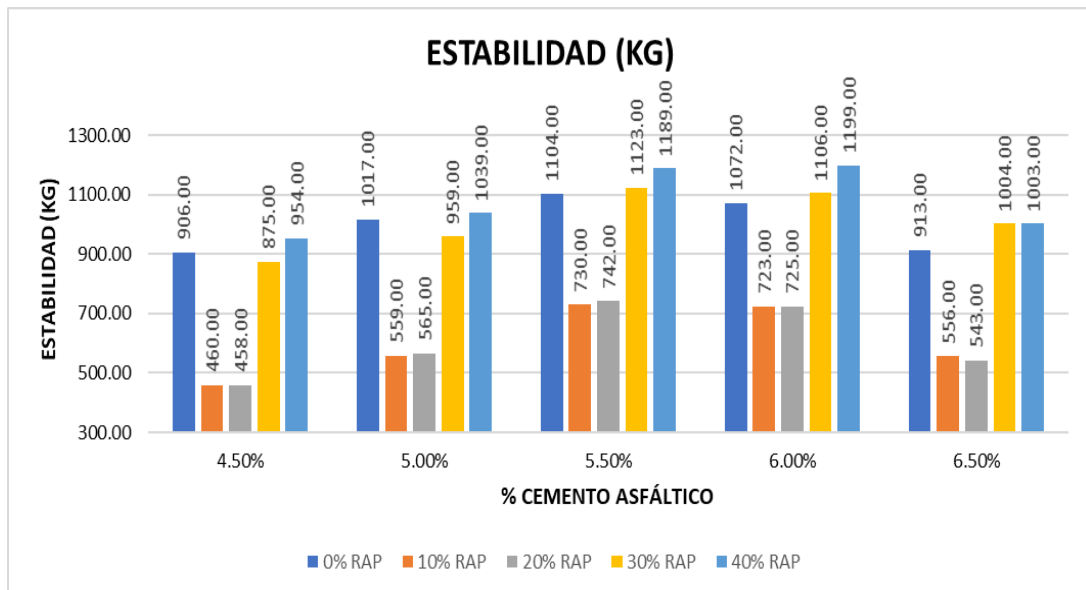


Figura N°27: Estabilidad (kg)

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

## 6.2.4 Resumen de Agregado Pétreos

Tabla N°10: Resumen de los porcentajes de agregados pétreos

% RAP	0%	10%	20%	30%	40%
Grava Chancada < 3/4" (%)	35	31	28	21	19
Arena Chancada < 1/4" (%)	20	18	15	14	10
Arena Zarandeada < 3/4" (%)	45	41	37	35	31

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

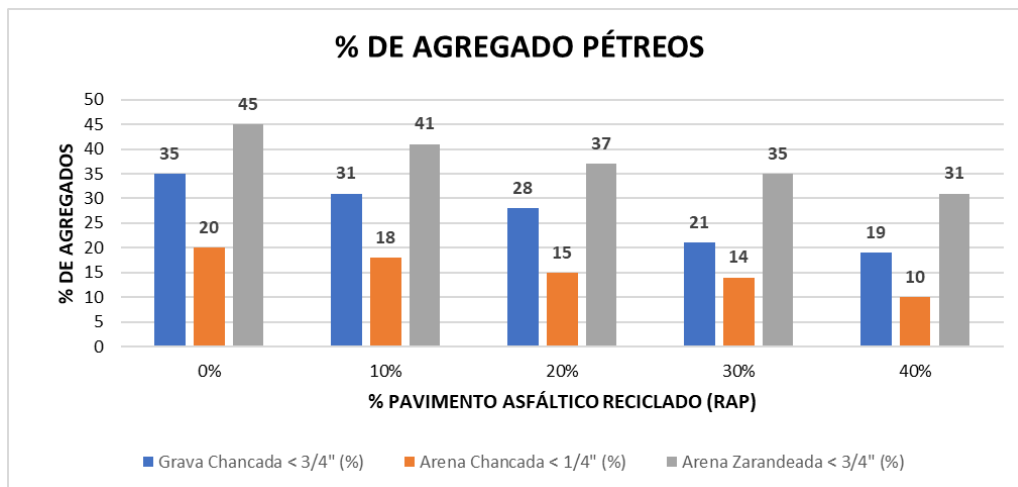


Figura N°28: % de Agregados

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

## 6.2.5 Resumen del Óptimo contenido de Cemento Asfáltico

Tabla N°11: Resumen del óptimo contenido de asfalto

% RAP	0%	10%	20%	30%	40%
OPTIMO C.A. (%)	5.80	5.90	5.85	5.70	5.70
ASFALTO RECUPERADO (%)	0.00	0.47	0.95	1.42	1.89
ASFALTO ADICIONAL (%)	5.80	5.43	4.90	4.28	3.81

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

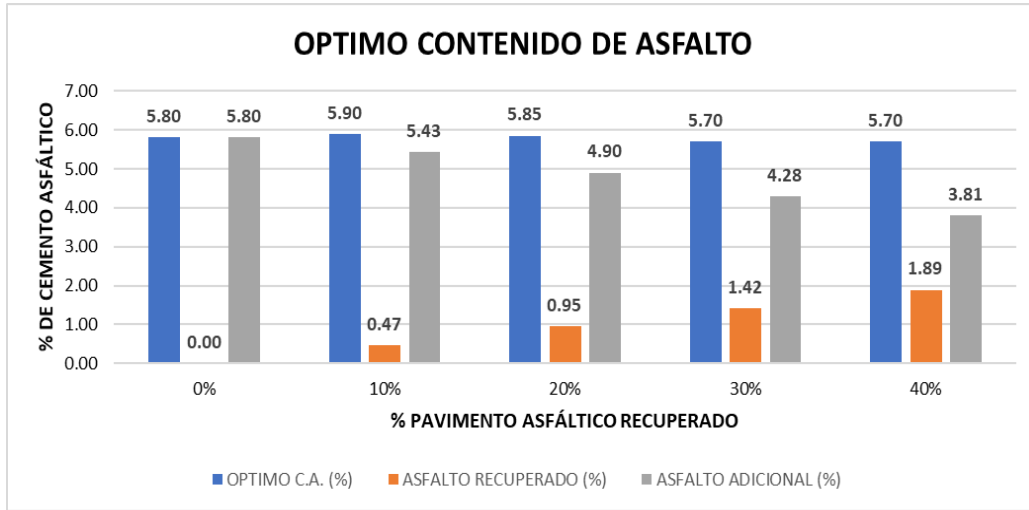


Figura N°29: Óptimo contenido de Asfalto y Asfalto adicional en el diseño

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

### 6.2.6 Resumen de las propiedades de la carpeta asfáltica

Tabla N°12: Resumen de las propiedades de los diseños de carpeta asfáltica

% RAP	0%	10%	20%	30%	40%
<b>Peso Unitario (kg)</b>	2402	2352	2375	2369	2330
<b>% Vacíos Aire (%)</b>	3.30	4.40	3.30	3.50	5.30
<b>% Vacíos Agregado Mineral (%)</b>	15.00	16.10	15.40	15.50	17.00
<b>% Vacíos Cemento Asfático (%)</b>	91.00	76.00	81.00	81.00	73.00
<b>Flujo (mm)</b>	3.96	3.63	3.68	3.73	3.23
<b>Estabilidad (kg)</b>	1140	775	410	1145	1250

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

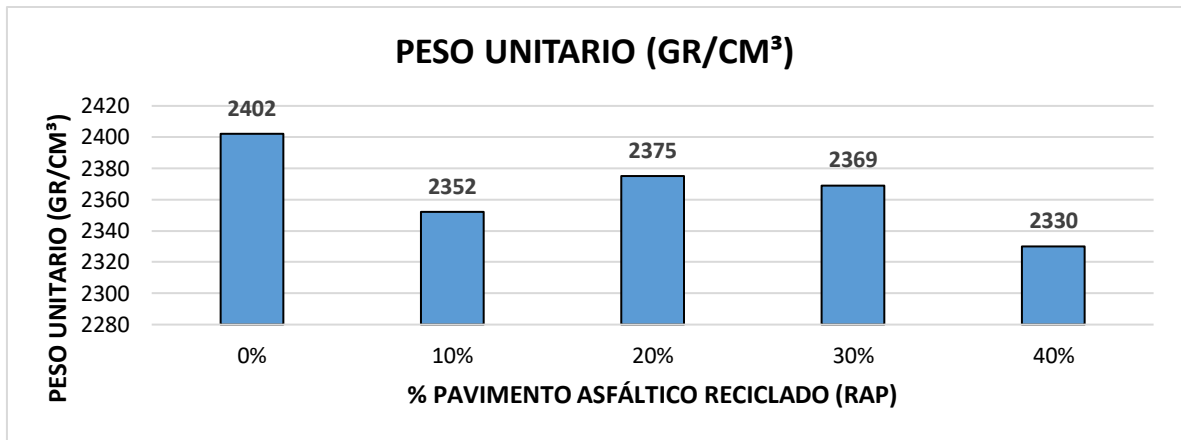


Figura N°30: Peso Unitario (gr/cm3)

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

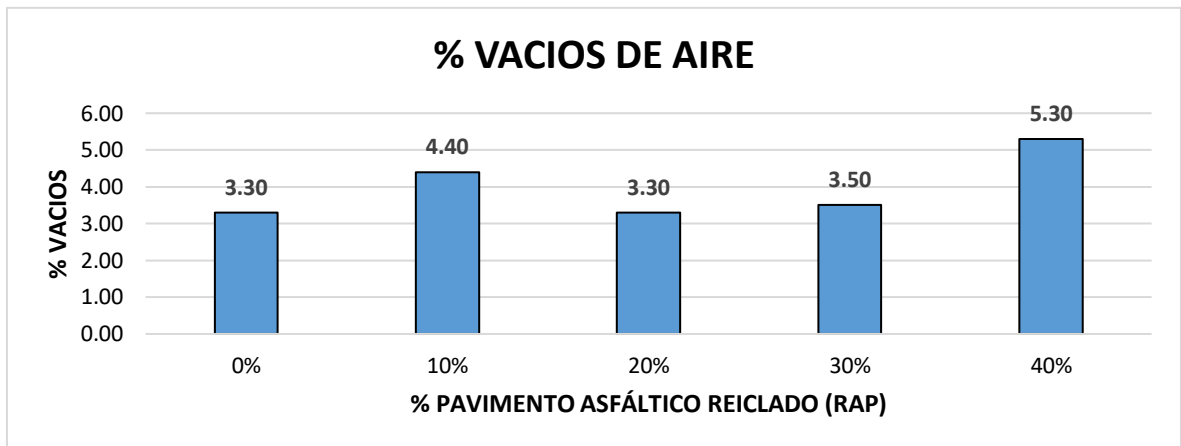


Figura N°31: % Vacíos de Aire

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

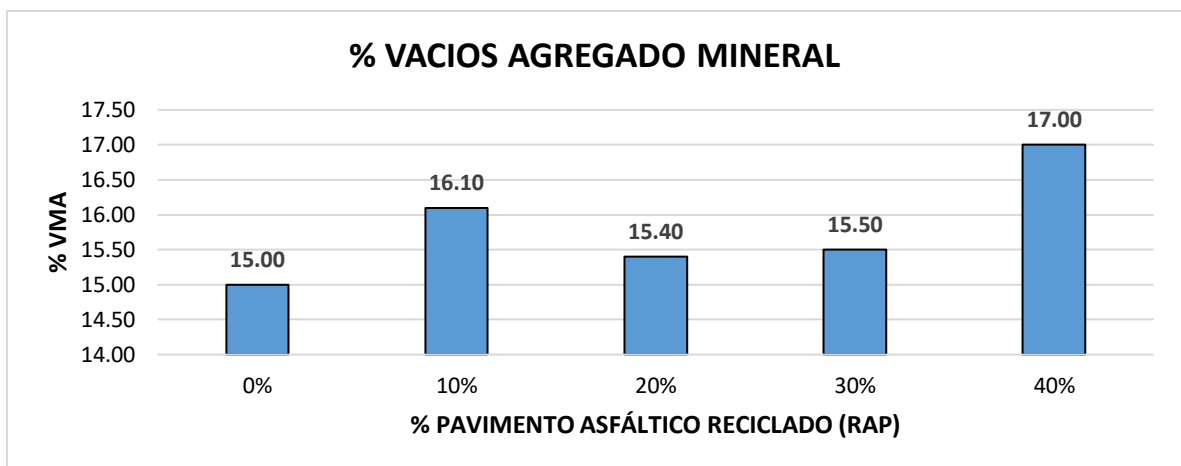


Figura N°32: % Vacíos Agregado Mineral

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

Se observa en Figura N°125, que los % de vacíos de aire de la carpeta patrón, y el diseño de carpeta con el 10%, 20% y 30% de reciclaje están cumpliendo con el % de los vacíos de aire de la mezcla, de acuerdo a norma indica que deben estar entre el 3 y 5%, el diseño de carpeta con el 40% de reciclaje no cumple con el % de vacíos ya que tiene un 5.30% estando fuera del rango que especifica la norma.

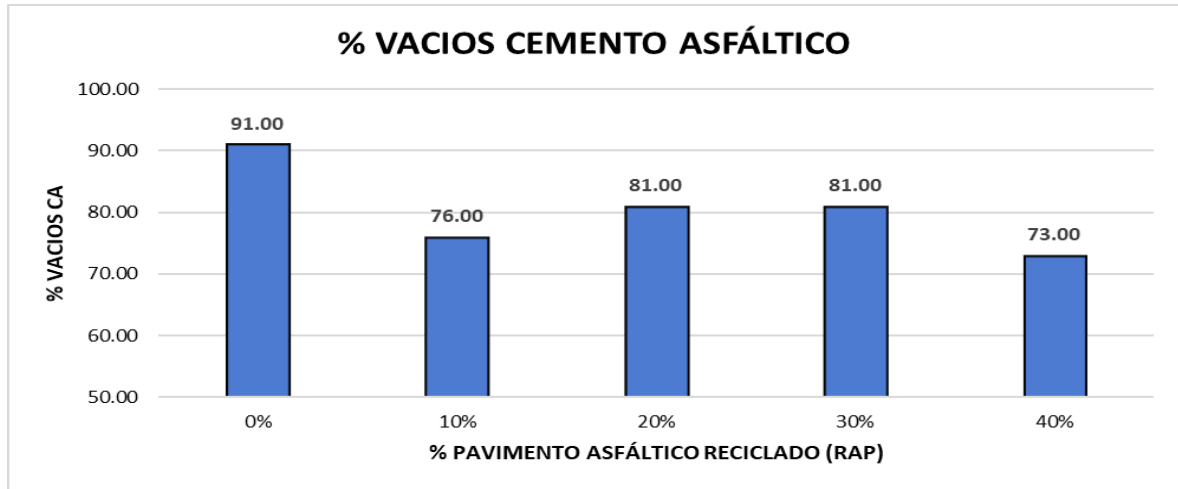


Figura N°33: % Vacíos Cemento Asfáltico

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

Se observa en la Figura N°127 que el porcentaje de los vacíos de cemento asfáltico el cual cumple con el mínimo de 65% establecido en la norma CE.010 de pavimentos urbanos.

### 6.2.7 Resultados del Ensayo Marshall

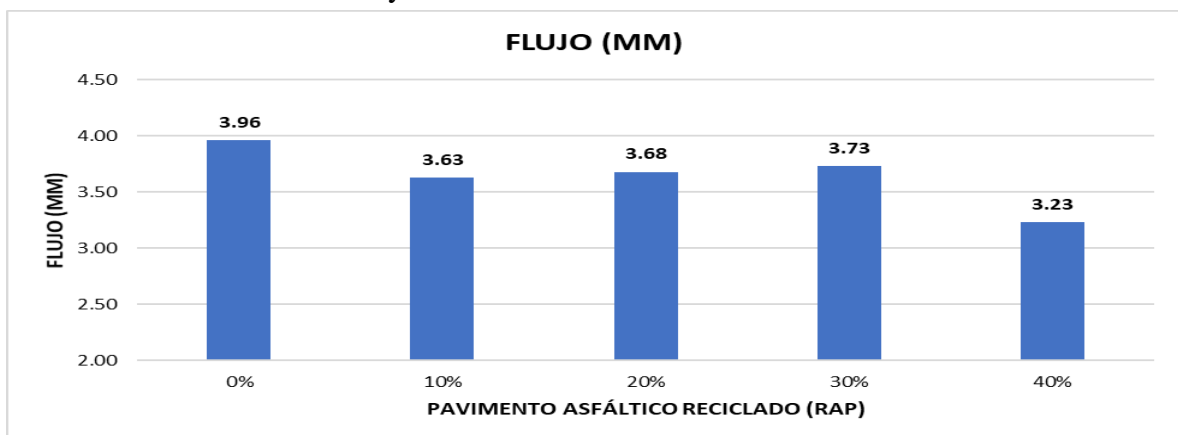


Figura N°34: Flujo (mm)

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

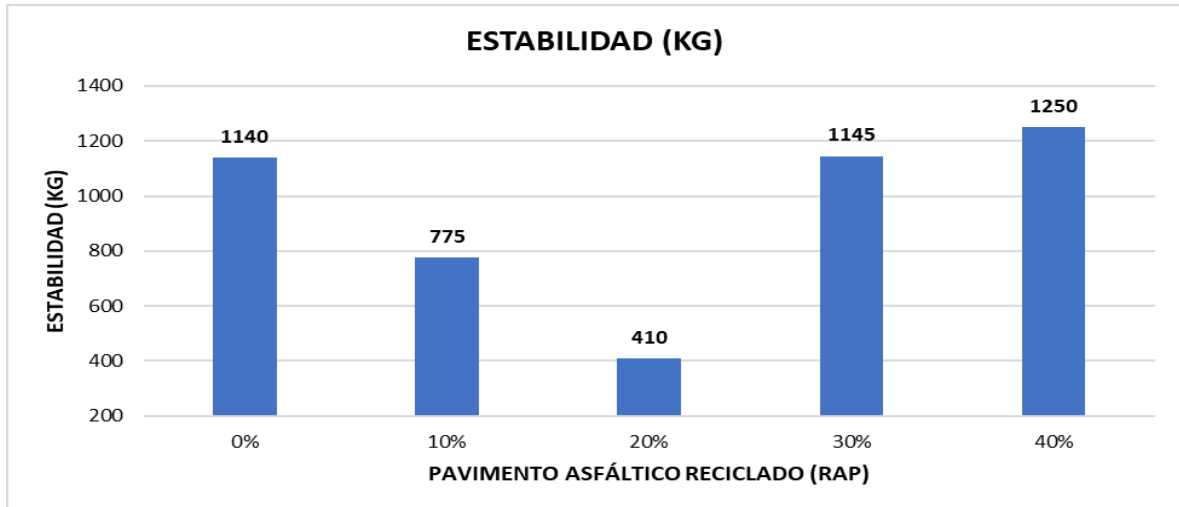


Figura N°35: Estabilidad (kg)

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018

### 6.2.8 Impacto Ambiental

Existe un número amplio de factores ambientales, se puede determinar que existe algunos que son más importantes para poder a través de ellos, identificar los factores que se verán afectados de manera directa o indirecta por las actividades del proyecto.

A continuación, se presentan las tablas resultantes de la identificación de factores ambientales significativos:

#### 6.2.8.1 Impacto Ambiental sin Reciclar el Pavimento Asfáltico envejecido

Tabla N°13: Matriz de Impacto Ambiental sin reciclar el pavimento asfáltico envejecido

MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL SIN RECICLAR EL PAVIMENTO ASFÁLTICO ENVEJECIDO											
Plan de Salud y Medio Ambiente  <b>FACTORES AMBIENTALES</b>	Contaminación atmosférica	Riesgo de contaminación del suelo	Riesgo de contaminación de las aguas	Generación de residuos	Generación de ruido	Acopio de materiales	Traslado de material cantera-planta	Probabilidad			
								Baja	Medio	Alto	
<b>FISICO (SUELO, AGUA Y AIRE)</b>	9	6	6	9	4	9	3	Leve	1	2	3
<b>BIOLOGICO (FLORA Y FAUNA)</b>	2	4	6	6	6	9	9	Moderado	4	5	6
<b>SOCIOECONOMICO (DESARROLLO Y SALUD)</b>	9	2	4	6	5	8	2	Severa	7	8	9

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.8.2 Impacto Ambiental Reciclando el Pavimento Asfáltico envejecido

Tabla N°14: Matriz de Impacto Ambiental reciclando el pavimento asfáltico envejecido

MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL RECICLANDO EL PAVIMENTO ASFÁLTICO ENVEJECIDO											
Plan de Salud y Medio Ambiente  <b>FACTORES AMBIENTALES</b>	Contaminación atmosférica	Riesgo de contaminación del suelo	Riesgo de contaminación de las aguas	Generación de residuos	Generación de ruido	Acopio de materiales	Traslado de material cantera-planta	Probabilidad			
									Baja	Medio	Alto
FISICO( SUELO,AGUA Y AIRE)	7	5	4	5	2	5	1	Leve	1	2	3
BIOLOGICO (FLORA Y FAUNA)	1	4	5	5	7	7		Moderado	4	5	6
SOCIOECONOMICO ( DESARROLLO Y SALUD)	7	1	3	5	4	7	1	Severa	7	8	9

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.9 Costos

#### 1. COSTOS DE PRODUCCIÓN

En las siguientes tablas, se muestra los costos de producción de la mezcla asfáltica reflejados tanto en la mezcla convencional como la mezcla elaborada con el 10%, 20%, 30% y 40% de RAP. Las mezclas asfálticas consideradas poseen las siguientes composiciones:

#### 2. COSTOS DE OPERACIÓN – ZONA CHICLAYO - LAMBAYEQUE

Tabla N°15: Costos de Operación de una planta de producción en caliente

OPERACION	COSTO (\$/TN) + IGV
Fresado de carpeta asfáltica	148
Transporte de obra a planta (Aprox. 30 km)	48
Separacion del RAP (dos tamaños)	12
Elaboracion de Mezcla asfáltica	160
Materiales de mezcla asfáltica	
0% de RAP	470
10% de RAP	429
20% de RAP	388
30% de RAP	347
40% de RAP	306
Transporte de mezcla (Aprox. 30 km)	60
Colocacion	141.5

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018, p. 142

En este apartado se presentan valores obtenidos a partir del procesamiento de la información presentada. Los mismos se encuentran expresados en términos de costos totales de producción, ahorros económicos y en porcentajes de dosificación de materiales.

Tabla N°16: Costos Totales de Producción de Mezclas Asfálticas con 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de RAP

OPERACIÓN	0% RAP	10% RAP	20% RAP	30% RAP	40% RAP
Fresado de carpeta asfáltica	148	148	148	148	148
Transporte de obra a planta (Aprox. 30 km)	48	48	48	48	48
Separación del RAP (dos tamaños)	--	12	12	12	12
Elaboración de Mezcla asfáltica	160	160	160	160	160
Materiales de mezcla asfáltica	470	429	388	347	306
Transporte de mezcla (Aprox. 30 km)	60	60	60	60	60
Colocación	141.5	141.5	141.5	141.5	141.5
<b>Costo Total de Producción (S/. /TN) + IGV</b>	<b>1027.5</b>	<b>998.5</b>	<b>957.5</b>	<b>916.5</b>	<b>875.5</b>

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018, p. 142

De la Tabla N°17 se observa el costo total de la producción de mezcla asfáltica convencional y con el 10%,20%,30% y 40% de RAP.

Tabla N°17: Ahorros por el uso de RAP

RAP en mezcla	Costo de la mezcla (S/. /TN)	Ahorro (S/. /TN)	Porcentaje
0%	1027.5		
10%	998.5	29	2.8 %
20%	957.5	70	6.8 %
30%	916.5	111	10.8 %
40%	875.5	152	14.8 %

Fuente: Tesis Fustamante J., 2018, p. 143

### 6.3 Análisis de Resultados

Los resultados del diseño de carpeta patrón y diseño de carpeta con reciclaje muestran que, si se puede volver a utilizar el pavimento asfáltico reciclado para elaborar nuevas carpetas asfálticas, por lo que se tiene que analizar y establecer las proporciones necesarias y exactas de pavimento reciclado para un buen diseño de carpeta asfáltica, las cuales deben cumplir con los parámetros establecidos por norma.



Se llegó a concluir que de los 4 porcentajes de pavimento asfáltico reciclado utilizados en el diseño de una nueva carpeta asfáltica el único que llegó a cumplir con todas las propiedades de la mezcla establecidas por la norma fue el diseño con el 30% de RAP, teniendo como resultados valores similares al de la carpeta patrón, y significando un ahorro significativo en el uso de agregados nuevos y cemento asfáltico.

El diseño de carpeta asfáltica con el 30% de RAP, nos proporciona un ahorro del 14% de agregados gruesos y un 16% de agregados finos, y en lo que respecta al contenido de asfalto un ahorro significativo del 1.52%, cumpliendo el diseño de carpeta con reciclaje con todos los requisitos establecidos por el MTC EG – 20.

De las Figuras N°30, N°31, N°32, N°33, N°34 y N°35 se concluye que los diseños de mezcla con reciclaje del 10%, 20% y 40% no llegan a cumplir con los parámetros de diseño que establece la norma, fallando en el porcentaje de vacíos de aire y la estabilidad Marshall de la mezcla.

Al realizar las Tablas N°13 y N°14, de impacto ambiental con y sin reciclaje en caliente de pavimento asfáltico pudimos observar que la probabilidad de contaminación física, biológica y socioeconómica varía de una manera significativa, por lo tanto, el reciclado presenta ventajas en el cuidado del medio ambiente.

Como se puede observar en la Tabla N°17, el empleo de RAP en mezclas asfálticas puede resultar en ahorros económicos apreciables, asociados a la disminución de los requerimientos de agregado. Cabe aclarar que si en el análisis costo-beneficio se introducen externalidades como las derivadas del ahorro energético y el ahorro de recursos, los resultados son cada vez más positivos.

## 6.4 Contrastación de Hipótesis

### 6.4.1 Contrastación de Hipótesis Secundaria N°01

Hipótesis Secundaria N°01: “El pavimento asfáltico envejecido sirve como aporte de 0% a 40% de RAP para una nueva mezcla asfáltica en caliente.”

Para esta prueba consideraremos los datos recopilados de una investigación pasada en donde se observa que al realizar el diseño de mezcla asfáltica patrón con 10%, 20%, 30% y 40% de RAP; el que cumple con todas las especificaciones dadas en las normas, referente a las propiedades para el diseño de la carpeta asfáltica, es el

diseño con el 30% de RAP, la cual se obtiene valores semejantes al de la carpeta asfáltica patrón.

Tabla N°18: Propiedades de los diseños de carpeta asfáltica

% RAP	0%	10%	20%	30%	40%
Peso Unitario (kg)	2402	2352	2375	2369	2330
% Vacíos Aire (%)	3.30	4.40	3.30	3.50	5.30
% Vacíos Agregado Mineral (%)	15.00	16.10	15.40	15.50	17.00
% Vacíos Cemento Asfático (%)	91.00	76.00	81.00	81.00	73.00
Flujo (mm)	3.96	3.63	3.68	3.73	3.23
Estabilidad (kg)	1140	775	410	1145	1250

Fuente: Elaboración Propia

Para la contrastación de hipótesis se plantea:

- Hipótesis Nula:

$H_0$  = El pavimento asfáltico envejecido no sirve como aporte de 0% a 40% de RAP para una nueva mezcla asfáltica en caliente.

- Hipótesis alterna:

$H_1$  = El pavimento asfáltico envejecido sirve como aporte de 0% a 40% de RAP para una nueva mezcla asfáltica en caliente.

De acuerdo a la Tabla N°18; los valores obtenidos en el diseño de la mezcla asfáltica en caliente con un 30% de RAP cumplen con las especificaciones dadas en el Manual MTC EG-2013, la cual el reciclado del pavimento asfáltico obtenido podrá ser reutilizado en la construcción de carreteras; por lo tanto, se aprueba  $H_0$  y se concluye que los resultados revelan evidencia suficiente para validar que el pavimento envejecido sirve como aporte en un 30% de RAP para diseñar una nueva mezcla asfáltica en caliente, tal como se comprueba en los resultados de esta investigación.

#### 6.4.2 Contrastación de Hipótesis Secundaria N°02

Hipótesis Secundaria N°02: “El reciclaje en caliente del pavimento asfáltico envejecido, reduce los daños producidos al medio ambiente.”

Para la siguiente hipótesis se desarrollarán las siguientes ventajas en función al medio ambiente:

- Al ser reutilizado la materia prima (pavimento asfáltico), conservaremos y habrá menos explotación de materiales como agregados finos y gruesos de las canteras; puesto que, al reducir el transporte pesado al trasladar los materiales, se reducirán las emisiones de gases invernaderos que estas ocasionan al medio ambiente.
- Al retirar el pavimento asfáltico, vendría a hacer un grave problema los tiraderos de desperdicios, por lo que la reutilización de los materiales de un pavimento envejecido, reciclándolos, evita el problema de buscarles un lugar adecuado para colocar dichos materiales que serían de desecho y que por tanto podrían ocasionar daños a la ecología del lugar.

Para la contrastación de hipótesis se plantea:

- Hipótesis Nula:

$H_0$  = El reciclaje en caliente del pavimento asfáltico envejecido, no reduce los daños producidos al medio ambiente.

- Hipótesis alterna:

$H_1$  = El reciclaje en caliente del pavimento asfáltico envejecido, reduce los daños producidos al medio ambiente.

De acuerdo a lo investigado, la conservación del medio ambiente es una de las principales causas por las que se invierte cada día más en el desarrollo de esta técnica y en equipos que ayuden a la preservación de los recursos naturales existentes; por lo tanto, se rechaza  $H_0$  y se concluye que las investigaciones revelan evidencia suficiente para validar que el reciclaje del pavimento asfáltico en caliente, reduce los daños producidos al medio ambiente, tal como se comprueba en esta investigación.

### 6.4.3 Contrastación de Hipótesis Secundaria N°03

Hipótesis Secundaria N°03: “El empleo de la técnica de reciclaje en caliente del pavimento asfáltico envejecido, reduce costos de 20% durante el proceso de elaboración.”

Para esta prueba consideraremos los resultados que se obtuvieron al comparar los costos tanto en una mezcla convencional (carpeta asfáltica patrón) y con una mezcla asfáltica utilizando un 10%, 20%, 30% y 40% de RAP, teniendo en cuenta operaciones como el fresado de la carpeta asfáltica, transporte, separación del RAP, elaboración de mezcla asfáltica, materiales, colocación (Ver Tabla N°16).

Tabla N°19: Costo y ahorros en el uso del RAP

RAP en mezcla	Costo de la mezcla (S/. /TN)	Ahorro (S/. /TN)	Porcentaje
0%	1027.5		
10%	998.5	29	2.8 %
20%	957.5	70	6.8 %
30%	916.5	111	10.8 %
40%	875.5	152	14.8 %

Fuente: Elaboración Propia

Para la contrastación de hipótesis se plantea:

- Hipótesis Nula:

$H_0$  = El empleo de la técnica de reciclaje en caliente del pavimento asfáltico envejecido, no reduce costos de 20% durante el proceso de elaboración.

- Hipótesis alterna:

$H_1$  = El empleo de la técnica de reciclaje en caliente del pavimento asfáltico envejecido, reduce costos de 20% durante el proceso de elaboración.

De acuerdo a la Tabla N°19; se puede apreciar que a mayor cantidad de reciclado de pavimento asfáltico se obtendrán mayores ahorros, por lo que en nuestros resultados de laboratorio se tomará en cuenta el 30% de RAP ya que será el porcentaje con el que se diseñará la nueva mezcla asfáltica, obteniendo un ahorro de 916.5 (S/. /TN) llegando a ser el 10.8%; por lo tanto, se aprueba  $H_0$  y se

concluye que los resultados revelan evidencia suficiente para validar que el empleo de la técnica de reciclaje del pavimento asfáltico en caliente, no reduce costos en un 20% durante el proceso de ejecución de proyectos, tal como se comprueba en los resultados de esta investigación, donde se obtiene un ahorro del 10.8% utilizando el 30% de RAP.

#### 6.4.4 Contratación de Hipótesis Principal

Hipótesis Principal: “Aprovechar la técnica del reciclado en caliente de los pavimentos asfálticos envejecidos, permite reutilizarse de 10% a 40% de RAP en una nueva mezcla asfáltica en caliente y obtener una reducción de costos de 20% e impacto ambiental.”

Los resultados obtenidos en las hipótesis secundarias N°01, N°02 y N°03, aprueban la hipótesis general, ya que, al aplicar la técnica del reciclado en los pavimentos asfálticos en caliente, se obtendrán beneficios ambientales y económicos, puesto que su reutilización servirá como aporte para una nueva mezcla asfáltica en caliente.

## CONCLUSIONES

1. Se realizó un diseño de carpeta asfáltica con el 10%, 20%, 30% y 40% de RAP, siendo el diseño con el 30% de RAP, el que cumplió con todos los requisitos que establece la norma. Teniendo un ahorro en el porcentaje de agregados nuevos del 14% de agregados gruesos y el 16% de agregados finos y un 1.52% de cemento asfáltico.
2. La conservación del medio ambiente se ha convertido en una preocupación en la mayoría de los países a nivel mundial, por ello nosotros al aplicar la técnica del reciclado del pavimento asfáltico en caliente para su reutilización, reduciremos la explotación de las canteras nuevas, así mismo minimizar el acopio de pavimentos desechados para así poder reducir el deterioro de la capa de ozono y el impacto ambiental como se puede apreciar en la Tabla N°13 y N°14.
3. De la comparación de costos se puede apreciar que a mayor cantidad de reciclado de pavimento asfáltico se obtendrán mayores ahorros, por lo que en nuestros resultados de laboratorio se tomará en cuenta el 30% de RAP el cual cumplió con las especificaciones técnicas dadas en la norma, se concluye que hay un ahorro del 10.8% del costo total de la mezcla patrón, comprobando de esa manera que el uso del RAP reduce significativamente los costos de producción en la elaboración de carpetas asfálticas.

## RECOMENDACIONES

1. Para evitar el acopio de los pavimentos desechados, el estado peruano debería brindar una bonificación o reducción de impuesto aquellas empresas que realicen el proceso de reutilización de los pavimentos envejecidos.
2. Reutilizar materiales de residuos de obras de similar característica como de los pavimentos flexibles envejecidos, con el propósito de reducir el impacto ambiental, la explotación de las canteras y ríos, así como eliminar los botaderos donde se acumulan los residuos de los pavimentos envejecidos.
3. Difundir en gobiernos regionales y gobiernos locales encargados de la ejecución de obras, la reutilización del material de residuos de pavimentos envejecidos, a fin de reducir los costos de ejecución de las obras viales y contribuir en la reducción del impacto ambiental.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, N., & Salas, G. (2012). *Comparación entre tratamiento superficial bicapa y asfalto en caliente, en la rehabilitación de la carretera Chacachaca-Yunguyo-Kasani*. Universidad Católica de Santa María, Arequipa-Perú. Recuperado de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/4186>
- Alarcón, J. (2003). *Estudio del Comportamiento de Mezclas Bituminosas Recicladas en Caliente en Planta*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona-España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93221>
- Camacho, P. (2016). *Evaluación del reciclado de pavimentos asfálticos (RAP) para uso en pavimentos expuestos*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9127?show=full>
- Castro, A. (2019). *Análisis de los métodos de reciclaje en caliente y frío aplicados a concreto asfáltico, para la utilización en carpeta de rodadura en vías terciarias entre los años 2011-2017 en Colombia*. Universidad Cooperativa de Colombia. Santa Marta, Colombia. Recuperado de [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15283/2/2019\\_analisis\\_frio\\_rodadura.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15283/2/2019_analisis_frio_rodadura.pdf)
- Chuman, J. (2017). *Reutilización de Pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de Mezcla Asfáltica en Caliente para Pavimetnos en Huancayo 2016*. Universidad Peruana Los Andes, Huancayo-Perú. Recuperado de <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/267>
- Comisión Permanente del Asfalto XXXV REUNIÓN DEL ASFALTO (2008). *Estudio de la Utilización de Material Reciclado en caliente*. Rosario, Argentina. Recuperado de <http://www.nestorhuaman.pe/argentina.pdf>
- Conesa, V. (2010). *Guía Metodológica para la Evaluación de impacto ambiental. 4ta edición*. Madrid-España. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=wa4SAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=wa4SAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)



- Coronado, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala. Recuperado de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-pavimentos.pdf>
- Cripín, E., & Helguero, L. (2019). *Estructura de un Pavimento Asfáltico en Material Reciclado para mejorar sus Beneficios Integrales*. Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú. Recuperado de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2781>
- Echevarría, J. (2012). *Estudio del Procedimiento de Compactación en laboratorio para mezclas recicladas en frío con emulsión bituminosa*. Universidad de Granada, España. Recuperado de [https://www.aopandalucia.es/inetfiles/agencia\\_estructura/2062012143416.pdf](https://www.aopandalucia.es/inetfiles/agencia_estructura/2062012143416.pdf)
- Fajardo, L. & Vergaray, D. (2014). *Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas*. Universidad San Martín de Porres, Lima-Perú. Recuperado de [http://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/1044/vergaray\\_da.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/1044/vergaray_da.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ficha Técnica (2011). *Reciclado de Pavimentos Asfálticos*. Recuperado de <http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/26C518BE-1802-4803-82B1-FBE634B03B03/119932/RECICLADODEPAVIMENTOSASFALTICOS.pdf>
- Flores, R., & Rojas, J. (2019). *Comportamiento de las Mezclas Asfálticas Tibias adicionando Tensioactivos y sus Beneficios respecto a las Mezclas Asfálticas en Caliente*. Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú. Recuperado de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2642>
- Fustamante, J. (2018). *Propuesta Técnica de diseño de carpeta asfáltica utilizando pavimento reciclado para el mejoramiento de Av. Mesones Muro*. Universidad César Vallejo, Lima-Perú. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34212?locale-attribute=en>
- Galvis, W. (2010). *Reciclado de pavimentos tecnología moderna para el mantenimiento de carreteras*. Perú. Recuperado de [http://www2.cip.org.pe/Cvista/publicaciones/documentos/congresos/201010-huanuco/cncd03\\_huanuco\\_reciclado\\_de\\_pavimentos\\_08-10-10x.pdf](http://www2.cip.org.pe/Cvista/publicaciones/documentos/congresos/201010-huanuco/cncd03_huanuco_reciclado_de_pavimentos_08-10-10x.pdf)

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación. Sexta Edición*. México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. Recuperado de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Instituto de Asfalto (2001). *Principio de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Serie de Manuales N°22*. Venezuela. Recuperado de <https://vdocuments.mx/ms-22-principios-de-construccion-de-pavimentos-de-mezcla-asfalticas.html>
- Jiménez, M. & Montero, M. (2015). *Proceso de normalización de métodos de ensayo de laboratorio para mezclas asfálticas en caliente (MAC)*. Costa Rica. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/view/29703/29813>
- López, D. & Alirio, E. & Pedraza, J. & Perez, P. (2018). *Herramienta que permite establecer la conveniencia económica en procesos de construcción y mejoramiento de Vías Urbanas, empleando material reciclado*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá-Colombia. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/22522>
- López, Y. (2018). *Influencia del Reciclado de pavimento flexible para mejorar la conservación vial entre calles 6 y 7 de Ventanilla Alta*. Universidad César Vallejo, Lima-Perú. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35277?locale-attribute=en>
- Menéndez, J. (2009). *Ingeniería de Pavimentos-Materiales, Diseño y Conservación*. Instituto de la Construcción y Gerencia, Lima-Perú. Recuperado de <https://civilmas.net/libros/ingenieria-de-pavimentos-materiales-diseno-y-construccion/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción*. Lima,Perú. Recuperado de [http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_10%20EG%202013.pdf](http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf)

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial*. Lima, Perú. Recuperado de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMA%20ARCH\\_PDF/MAN\\_9%20MCV-2014\\_2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMA%20ARCH_PDF/MAN_9%20MCV-2014_2016.pdf)
- Moreno, L., Parrales, G., Cobos, D., Cordero, M., Peralta, J., Ponce, F., Baque, B. (2018). *Mantenimiento y Conservación de Carreteras-Tomo II*. Editorial Área de Innovación y Desarrollo, S.L. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=EpNPDwAAQBAJ&pg=PA123&dq=reciclaje+en+caliente+de+pavimentos+asfálticos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjSgduhlqPtAhUzLLkGHWGIB2YQ6AEwAHoECAYQAg#v=onepage&q=reciclaje%20en%20caliente%20de%20pavimentos%20asfálticos&f=false>
- Navarrete, G. (2019). *Reutilización de residuos sólidos de elastómetro y pavimento asfáltico envejecido y su impacto ambiental en Manabí-Ecuador*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú. Recuperado de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10130>
- Paccori, F. (2018). *Propuesta Técnica de Aplicación del Pavimento Flexible Reciclado para Rehabilitación Vial-Pachacamac*. Universidad Peruana Los Andes, Lima-Perú. Recuperado de <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/804>.
- Patiño, N. & Reyes, O. & Camacho, J. (2015). *Comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas colombianas con adición de pavimento reciclado al 100%*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257033592006>
- Pérez, F. & Miró, R. & Martínez, C. (2003). *Proyecto PARAMIX. Investigación sobre reciclado de Pavimentos*. Barcelona-España. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/33422926\\_Proyecto\\_Paramix\\_investigacion\\_sobre\\_reciclado\\_de\\_pavimentos](https://www.researchgate.net/publication/33422926_Proyecto_Paramix_investigacion_sobre_reciclado_de_pavimentos)
- Ramos, B. & Muñiz C. (2013). *Propuesta de diseño de mezcla asfáltica en frío de graduación densa como alternativa para el mantenimiento de pavimentos flexibles*. Universidad Centroamericana, Managua-Nicaragua. Recuperado de <http://repositorio.uca.edu.ni/518/1/UCANI3500.PDF>

- Revista Técnica de la Asociación española de la carretera “Mezclas Bituminosas” (2007). *Reciclado en central de mezclas bituminosas en caliente*. España. Recuperado de <http://www.institutoivia.com/revista%20carreteras/REVISTA%20155%20AEC.pdf>
- Rodríguez, C. & Rodríguez, J. (2004). *Evaluación y Rehabilitación de Pavimentos Flexibles por el Método del Reciclaje*. Universidad de El Salvador. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2014/07/23/manual-de-evaluacion-y-rehabilitacion-de-pavimentos-flexibles-por-el-metodo-del-reciclaje/>
- Romero, P. (2011). *Análisis de la experiencia Colombiana en reciclaje en frío de pavimentos asfálticos y formulación de una guía de intervención*. Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/11468?locale-attribute=en>
- Rosales, V. (2011). *Rehabilitación de Carreteras utilizando Asfalto Espumado, reciclando el Pavimento Asfáltico Existente*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34212?locale-attribute=en>
- 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/cgi/viewcontent.cgi?article=1197&context=ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1197&context=ing_civil)
- Sánchez, M. (2017). *Diseño y comparación del pavimento flexible mejorado por el Método del reciclaje en la carretera Lima-Canta (km.78+000 al 79+000)*. Universidad César Vallejo, Lima-Perú. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/19623>
- Tam, J., Vera, G., & Oliveros, R. (2008). Tipos, Métodos y Estrategias de investigación Científica. *Revista de la Escuela de Posgrado de la Universidad Ricardo Palma*. Recuperado de [http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/oceanografia/adj\\_modela\\_p a-5-145-tam-2008-investig.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/oceanografia/adj_modela_p a-5-145-tam-2008-investig.pdf)
- Valeriano, W., & Catacora, A. (2017). *Comportamiento del Diseño de Mezcla Asfáltica Tibia, con adición de Zeolita para pavimentación de la Ciudad de Juliaca..* Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4985>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1 - MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS PRINCIPAL	VARIABLES INDEPENDIENTE	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
¿Cómo aprovechar la técnica del reciclaje en caliente de los pavimentos asfálticos envejecidos, para su reutilización en una nueva mezcla asfáltica en caliente?	Evaluar el aprovechamiento de la técnica de reciclaje en caliente de los pavimentos asfálticos envejecidos, para su reutilización en una nueva mezcla asfáltica en caliente, en base a las investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional.	Aprovechar la técnica del reciclado en caliente de los pavimentos asfálticos envejecidos, permite reutilizarse en una nueva mezcla asfáltica en caliente y obtener beneficios económicos y ambientales.	Técnica del reciclado en caliente de los pavimentos asfálticos envejecidos	Se utiliza extrayendo los materiales del pavimento envejecido mediante un tratamiento con aportación de calor que se realiza en el mismo lugar de la obra o mediante una central asfáltica adaptada.	Reciclaje en in-situ  Reciclaje en planta	<b>-Tipo de Investigación:</b> Básico o fundamental <b>-Nivel de Investigación:</b> Descriptivo <b>-Diseño de investigación:</b> No experimental, transversal-descriptivo. <b>-Población de estudio:</b> Conformada por 10 investigaciones nacionales y 18 investigaciones internacionales. <b>-Muestra:</b> La muestra es igual a la población. Teniendo un tipo de muestra no probabilístico.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPOTESIS SECUNDARIOS	VARIABLES DEPENDIENTES	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	
¿Se podrá utilizar pavimentos envejecidos como aporte de una mezcla asfáltica nueva?	Utilizar un pavimento envejecido como aporte de una mezcla asfáltica nueva.	El pavimento asfáltico envejecido sirve como aporte para una nueva mezcla asfáltica en caliente.	Beneficios	Es un término genérico que define todo aquello que es bueno o resulta positivo para quien lo da o para quien lo recibe.	Ventajas en el reciclaje de pavimento asfáltico	
¿Cuáles son las ventajas ambientales que se obtendrá con la reutilización, aplicando la técnica de reciclaje del pavimento asfáltico en caliente?	Conocer las ventajas ambientales que se obtendrá con la reutilización del reciclaje del pavimento asfáltico en caliente.	El reciclaje en caliente del pavimento asfáltico envejecido, reduce los daños producidos al medio ambiente.	Reutilización para la nueva mezcla asfáltica en caliente	Orientada al acopio y la utilización de materiales disgregados de capas asfálticas de pavimentos en servicio; para la preparación de una nueva mezcla asfáltica en caliente mezclando dichos materiales con agregados pétreos y con asfalto nuevo.	Mezcla Asfáltica	
¿Se puede reducir los costos durante la ejecución de los proyectos, realizando la técnica de reciclaje en los pavimentos asfálticos?	Reducir los costos durante la ejecución de los proyectos, realizando la técnica de reciclaje en los pavimentos asfálticos en caliente.	El empleo de la técnica de reciclaje en caliente del pavimento asfáltico envejecido, reduce costos durante el proceso de ejecución de proyectos.				

## ANEXO 2 - OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variables		Definición de Variables	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente	Técnica del reciclado en los pavimentos asfálticos en caliente	Se utiliza extrayendo los materiales del pavimento envejecido mediante un tratamiento con aportación de calor que se realiza en el mismo lugar de la obra o mediante una central asfáltica adaptada. (Quesada V., 2009)	Reciclaje en in-situ.	- Carpeta asfáltica. - Máquina recicladora. -Maquinarias pesadas
			Reciclaje en planta.	-Carpeta asfáltica -Planta recicladora -Maquinarias pesadas
Variables dependientes	Beneficios	Es un término genérico que define todo aquello que es bueno o resulta positivo para quien lo da o para quien lo recibe. (Yirda A., 2020)	Ambiental	- Bajo impacto ambiental - Menor explotación de canteras.
			Económico	Reducción de costos.
	Reutilización para la nueva mezcla asfáltica en caliente	Orientada al acopio y la utilización de materiales disgregados de capas asfálticas de pavimentos en servicio; para la preparación de una nueva mezcla asfáltica en caliente mezclando dichos materiales con agregados pétreos y con asfalto nuevo. (Paiva & Ramos, 2014)	Mezcla asfáltica	-Método Marshall -Norma técnica ce 010