



# UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

## FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Técnicas de reutilización del fresado de asfalto para optimizar costos en pavimentos urbanos

### TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniera civil

### AUTORES

Rojas Vivanco, Pamela Emily  
ORCID: 0000-0001-7462-9694

Silvestre Julca, Milagros Clarisa  
ORCID: 0000-0001-8178-5708

### ASESOR

Arévalo Lay, Víctor Eleuterio  
ORCID: 0000-0002-2518-8201

**Lima, Perú**

**2022**

## **Metadatos Complementarios**

### **Datos del autor(es)**

Rojas Vivanco, Pamela Emily

DNI: 73076803

Silvestre Julca, Milagros Clarisa

DNI: 71276090

### **Datos de asesor**

Arévalo Lay, Víctor Eleuterio

DNI: 04434662

### **Datos del jurado**

JURADO 1

Támara Rodríguez, Joaquín Samuel

DNI: 31615059

ORCID: 0000-0002-4568-9759

JURADO 2

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo

DNI: 10281360

ORCID: 0000-0002-7722-8711

JURADO 3

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

## **DEDICATORIA**

A mí, por la confianza y la dedicación que le puse a esta investigación. Por mantenerme firme después de tantas caídas. A mis padres por ser mi mayor apoyo y soporte a lo largo de mi vida. A mis hermanos por acompañarme en este proceso. A Alexis por confiar en mis logros. Y en especial, a Elías por ser mi mayor motivación. A todos los que creyeron en mí, cuando yo no lo hacía.

Rojas Vivanco Pamela Emily

La presente investigación está dedicada en primer lugar a Dios, a mis padres, Clarisa y Rolando, a mis hermanos Flor, Jimi y Luciana, a mis abuelos Fortunato y Lucia, y a mis tíos, 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, por ese motivo todos mis logros van para ustedes.

Silvestre Julca Milagros Clarisa

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por guiarnos en todo momento y llegar a culminar esta tesis. A nuestro asesor el Mg. Ing. Arévalo Lay, Víctor Eleuterio por su constante apoyo y guía, por brindarnos su experiencia profesional durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

Rojas Vivanco Pamela Emily  
Silvestre Julca Milagros Clarisa

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRAC .....	ii
INTRODUCCIÓN .....	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos .....	1
1.1.1. Problema general .....	3
1.1.2. Problemas específicos .....	3
1.2. Objetivo general y específico .....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática.....	4
1.3.1. Delimitación temporal.....	4
1.3.2. Delimitación espacial .....	4
1.3.3. Delimitación temática.....	4
1.4. Justificación e importancia .....	4
1.4.1. Justificación social .....	4
1.4.2. Justificación metodológica .....	4
1.4.3. Justificación económica.....	4
1.4.4. Justificación ambiental .....	5
1.4.5. Importancia.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Antecedentes del estudio de investigación .....	6
2.1.1. Marco Histórico .....	6
2.1.2. Investigaciones nacionales .....	6
2.1.3. Investigaciones internacionales .....	10
2.2. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio .....	13
2.2.1. Pavimento flexible.....	13
2.2.2. Fresado de pavimentos flexibles.....	14
2.2.3. Características del material fresado .....	15
2.2.4. Ventajas del uso del RAP .....	16
2.2.5. Usos del RAP.....	16
2.3. Costos.....	26

2.3.1. Costos directos.....	26
2.3.2. Costos indirectos.....	27
2.3.3. Costos de base granular.....	28
2.3.4. Costos de mezcla asfáltica en frío.....	30
2.3.5. Costos de base granular con RAP .....	30
2.3.6. Costo de mezcla asfáltica reciclada .....	30
2.4. Definición de términos básicos.....	31
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>34</b>
3.1. Hipótesis .....	34
3.1.1. Hipótesis principal .....	34
3.1.2. Hipótesis secundarias .....	34
3.2. Variables .....	34
3.2.1. Definición conceptual de las variables .....	34
3.2.2. Operacionalización de las variables.....	35
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>36</b>
4.1. Método de investigación.....	36
4.2. Enfoque de la investigación.....	36
4.3. Tipo de la investigación .....	36
4.4. Nivel de la investigación.....	36
4.5. Diseño de investigación .....	36
4.6. Población y muestra.....	37
4.6.1. Población.....	37
4.6.2. Muestra .....	37
4.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	37
4.7.1. Tipos de técnicas e instrumentos.....	37
4.7.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	37
4.7.3. Procedimientos para la recolección de datos .....	37
4.8. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	38
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>39</b>
5.1. Técnicas de reciclado .....	39
5.1.1. Técnica de reciclado en frío .....	39
5.1.2. Técnica de reciclado para base granular.....	51

5.2. Presentación de resultados .....	67
5.2.1. Costos de reciclado en frío .....	67
5.2.2. Costos de base granular estabilizada .....	70
5.3. Análisis de Resultados .....	73
5.4. Constatación de hipótesis.....	75
CONCLUSIONES .....	79
RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	81
ANEXOS .....	86
Anexo 1: Matriz de consistencia .....	86
Anexo 2: Operacionalización de variables .....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1 Operacionalización de variables .....	35
Tabla N°2 Resumen tesis reciclado en frío.....	39
Tabla N°3 Presupuesto pavimento flexible reciclado en frío .....	67
Tabla N°4 Presupuesto pavimento flexible en caliente .....	68
Tabla N°5 Presupuesto reciclado de pavimento en frío con emulsión asfáltica.....	69
Tabla N°6 Presupuesto pavimento asfáltico en caliente.....	69
Tabla N°7 Presupuesto del costo total de una carpeta asfáltica convencional .....	71
Tabla N°8 Presupuesto del costo total de base granular estabilizada .....	71
Tabla N°9 Presupuesto de la base convencional granular .....	72
Tabla N°10 Presupuesto de la base estabilizada con RAP .....	73
Tabla N°11 Comparativo de costos 2018 .....	75
Tabla N°12 Comparativo de costos 2007 .....	75
Tabla N°13 Comparativo de costos 2019 .....	76
Tabla N°14 Comparativo de costos 2019 .....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N 1: Estructura de pavimento.....	14
Figura N 2: Proceso de fresado .....	14
Figura N 3 Estructura de costos .....	26
Figura N 5: Requerimientos de agregado grueso.....	29
Figura N 6: Resultado del ensayo granulométrico del pavimento flexible reciclado .....	40
Figura N 7: Resultado granulométrico después del lavado asfáltico .....	40
Figura N 8: Granulometría del agregado grueso de la cantera La Gloria.....	41
Figura N 9: Granulometría del agregado fino de la cantera La Gloria .....	41
Figura N 10: Curva Granulométrica de la carpeta de material reciclado .....	42
Figura N 11: Curva Granulométrica corregida del material reciclado.....	42
Figura N 12: Ensayo de adherencia.....	43
Figura N 13: Resultado de ensayo estabilidad y flujo Marshall.....	44
Figura N 14: Análisis granulométrico .....	46
Figura N 15: Resultados ensayo de adherencia .....	47
Figura N 16: Resumen de ensayos Marshall .....	47
Figura N 17: Óptimo contenido de agua .....	47
Figura N 18: Resumen de resultados de diferentes mezclas .....	48
Figura N 19: Análisis granulométrico .....	48
Figura N 20: Dosificación en obra.....	50
Figura N 21: Curva densidad seca vs humedad.....	53
Figura N 22: Parámetros obtenidos de base granular estabilizada serie 80-20 .....	54
Figura N 23: Dosificación final de la base granular .....	55
Figura N 24: Recicladora Terex y recicladora Wirtgen.....	57
Figura N 25: Requisitos de los materiales .....	58
Figura N 26: Fotografías de ensayos realizados .....	62
Figura N 27: Ensayos de frecuencias para base convencional.....	62
Figura N 28: Fotografías de los ensayos.....	63
Figura N 29: Tolerancias admisibles .....	64
Figura N 30: Diferencia entre pavimento fresado y sin fresar.....	66

## RESUMEN

La presente investigación titulada Técnicas de reutilización del fresado de asfalto para optimizar costos en pavimentos urbanos, donde el problema de la investigación fue ¿Cuáles son las técnicas de reutilización del fresado de asfalto para la optimización de costos en pavimentos urbanos?, el objetivo general fue, “Determinar las técnicas de reutilización del fresado de asfalto para minimizar costos en pavimentos urbanos.”, y la hipótesis general fue “Con la determinación de las técnicas de reutilización del fresado de asfalto se mejora los costos en pavimentos urbanos”.

La metodología y tipo de investigación empleada fue descriptiva-explicativa y aplicada, los datos fueron tomados de investigaciones previas que tienen relación con el tema de nuestra investigación.

Lo que se logra con esta investigación es recaudar información del tema y demostrar que es posible reducir costos en la construcción de pavimentos urbanos, mediante la reutilización de un material que muchas veces es destinado a ser desechado. Se tomó en cuenta toda la bibliografía relacionada con el tema, revistas, *papers*, tesis, libros, etc.

Reducir los costos es posible al aplicar estas técnicas de reutilización que son el reciclado en frío para una carpeta asfáltica y el reciclado como agregado para base granular estabilizada.

Palabras claves: Reutilización, fresado, reciclaje, pavimentos urbanos, asfalto.

## **ABSTRAC**

The present investigation entitled Asphalt milling reuse techniques to optimize costs in urban pavements, where the research problem was: What are the asphalt milling reuse techniques for cost optimization in urban pavements?, the general objective was, "To Determine the reuse techniques of asphalt milling to minimize costs in urban pavements.", and the general hypothesis was "With the determination of the reuse techniques of asphalt milling, costs in urban pavements are improved".

The methodology and type of research used was descriptive-explanatory and applicative, the data was taken from previous research that is related to the subject of our research.

What is achieved with this research is to collect information on the subject and demonstrate that it is possible to reduce costs in the construction of urban pavements, through the reuse of a material that is often destined to be discarded. All the bibliography related to the subject, magazines, papers, theses, books, etc. were taken into account.

Reducing costs is possible by applying these reuse techniques that are cold recycling for an asphalt binder and recycling as an aggregate for a stabilized granular base.

Keywords: Reuse, milling, recycling, urban pavements, asphalt.

## 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 frío, en base a las investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional.

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 el Reciclaje de Pavimento Asfáltico en frío comparándolos con un pavimento asfáltico convencional

En el capítulo VI, se realiza la presentación y análisis de resultados obtenidos según las investigaciones.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos

Los pavimentos urbanos flexibles son estructuras compuestas de capas de material granular compactado y una carpeta de rodadura elaborada con cemento asfáltico, estos están sometidos a cargas continuas de tráfico, además de estar expuestas a factores meteorológicos. Estos factores producen un deterioro progresivo del pavimento, que como consecuencia disminuye los niveles de seguridad y confort de la vía. Cuando el pavimento cumple su vida útil se procede a rehabilitar la vía o reconstruir según sea el caso. En cualquiera de los dos casos se extrae el material envejecido para sustituirlo por uno nuevo. El material extraído se desecha, esto genera contaminación, incrementa el impacto ambiental producto de prácticas constructivas. Es por eso que, para preservar el medio ambiente, existen alternativas para reutilizar el material envejecido extraído, por ejemplo, se le puede incorporar aditivos o emulsiones para la construcción de nuevos pavimentos.

A nivel mundial las técnicas de reutilización de materiales reciclados son más comunes que en Perú, por ejemplo, Estados Unidos, en este país hacen uso del RAP desde hace más de 8 años. La *Federal Highway Administration* reporta que, aproximadamente, están utilizando entre el 80 y 85% de todo el pavimento que están extrayendo de vías viejas o deterioradas, es decir que están aprovechando la mayoría de ese material que extraen de sus vías para nuevos proyectos. Es tan alto el uso que le dan que únicamente deben guardar en centros de acopio el 20% de todo el RAP que producen anualmente y fue declarado como el material reciclado número 1 en este país. (Alba. 2015, p.9) Otro ejemplo es España, es un país que ya cuenta con normativa sobre el reciclaje de pavimentos desde el año 2002, donde detallan tres técnicas de reciclado in situ. En América Latina, en países como México y Colombia también se ha implementado las técnicas de reciclaje de pavimentos flexibles.

En el Perú, la reutilización de materiales reciclados provenientes de actividad de demolición de pavimentos asfálticos y fresado de pavimentos flexibles en servicio, son en baja proporción reutilizados en las nuevas capas de rodadura asfáltica de una vía en construcción. Si bien existen investigaciones sobre el tema, la aplicación de éstas son pocas. Lo que se hace con el material fresado es desecharlo y esto conlleva a un gasto, así como también se gasta en la adquisición de nuevos materiales.

En nuestro país existen investigaciones sobre el reciclaje de pavimentos, sin embargo, son muy pocas en la ejecución de obras viales con pavimentos flexibles reciclados; hasta hoy en día sigue siendo una práctica poco común en nuestro país, el fresado es una solución al deterioro de la carpeta asfáltica. En las prácticas constructivas y en la elaboración de expedientes técnicos se considera siempre la demolición y eliminación de los materiales envejecidos de pavimento, lo cual constituye una gran inversión por eliminar el material, sino para la adquisición de nuevos materiales, por ello si se realiza la reutilización del fresado en pavimentos urbanos el costo disminuirá, porque habrá un ahorro en el traslado, en la eliminación, ya que todo será llevado a donde puedan reutilizarlo con materiales y rejuvenecedores, según las especificaciones técnicas que requiera el nuevo pavimento.

Con esta reutilización de asfalto y materiales como son los agregados se pueden evitar problemas ya que al no reutilizar se contamina el agua suelo y aire con ello degrada los sistemas materiales. Tomando en consideración que, en las zonas Urbanas los pavimentos de las vías cumplen su vida útil ya que han sido deterioradas por la presencia de vehículos de mayor peso o una mayor circulación que no fue previsto antes de realizar el diseño del pavimento, éstas han sido nuevamente construidas; eliminándose todo el material de su estructura de la vía antigua, al hacer esto existe un mayor gasto en las vías de los pavimentos. Asimismo, la eliminación de estos materiales de construcción producto de demolición de antiguas vías han generado un gasto adicional, ya sea a los gobiernos, municipalidades o diversas entidades, tanto del estado y privadas.

Por esta razón se plantea las técnicas de reutilización del fresado en asfalto en las vías antiguas, que estén en un estado de deterioro, asimismo el uso como reciclaje, estabilizante y agregados. Existen diferentes técnicas para aprovechar el material fresado, ya sea como agregado, como estabilizante o en reciclaje de pavimentos, todas estas benefician de manera directa la población al tener un mejor control de los residuos y reducir los costos en la rehabilitación de pavimentos o en la construcción de nuevos pavimentos.

En la construcción de pavimentos se han desarrollado nuevas tecnologías para reutilizar el material obtenido mediante el fresado, es importante contar con estas nuevas tecnologías porque estas nos ayudan a preservar el medio ambiente y mejoran el proceso de construcción o rehabilitación de los nuevos pavimentos. En el reciclado

de pavimentos se tiene conocimiento de las prácticas como el reciclado de mezcla asfáltica en caliente y en frío, tanto en planta como in situ, las cuales se dan a partir de maquinaria y procedimientos especializados y específicos. Otros beneficios que nos aportan las nuevas tecnologías son la disminución de materiales para la construcción de pavimentos y el aumento en el rendimiento de ejecución de obra. El reciclaje con estos métodos disminuye el consumo de cemento asfáltico y materiales pétreos, así como también reduce el volumen de desechos sólidos.

El desarrollo vial es importante para un país, es fundamental que las vías estén en condiciones adecuadas para satisfacer las necesidades de transporte y así pueda prestar serviciabilidad a las poblaciones que hacen uso de ellas. Hoy en día la industria de la construcción desarrolla nuevas tecnologías para poder reutilizar el asfalto cuando cumpla su ciclo de vida y gracias a esto podemos preservar el medio ambiente, disminuir el uso de materiales que se requieran para poder obtener una carpeta asfáltica y una reducción de desechos ya que todo esto será reutilizado para optimizar costos.

#### 1.1.1. Problema general

¿Cuáles son las técnicas de reutilización del fresado de asfalto para la optimización de costos en pavimentos urbanos?

#### 1.1.2. Problemas específicos

- a. ¿En qué medida la técnica del RAP como agregado para base granular estabilizada permite optimizar los costos en pavimentos urbanos?
- b. ¿En qué medida la técnica del RAP en reciclado de mezcla asfáltica en frío permite optimizar los costos en pavimentos urbanos?

### 1.2. Objetivo general y específico

#### 1.2.1. Objetivo general

Determinar las técnicas de reutilización del fresado de asfalto para minimizar costos en pavimentos urbanos.

#### 1.2.2. Objetivos específicos

- a. Desarrollar la técnica del RAP como agregado de base granular estabilizada para minimizar los costos en pavimentos urbanos.
- b. Desarrollar la técnica del RAP en reciclado de mezcla asfáltica en frío para minimizar los costos en pavimentos urbanos.

### 1.3. Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática

#### 1.3.1. Delimitación temporal

La investigación toma en cuenta la bibliografía y referencias comprendidas entre el año 2007 y 2021. Esta investigación se realiza entre los meses de mayo a diciembre del año 2022.

#### 1.3.2. Delimitación espacial

La investigación se realiza en base a referencias y bibliografía del continente de América. Es por ello que se toma información de tesis, libros, papers, manuales, revistas de distintos autores, tanto nacionales como internacionales, todos relacionados con el tema.

#### 1.3.3. Delimitación temática

La investigación está delimitada en el área temática de transportes, busca determinar las técnicas de reutilización del fresado de asfalto para optimizar costos en pavimentos urbanos y qué se puedan aplicar en cualquier lugar del país.

### 1.4. Justificación e importancia

#### 1.4.1. Justificación social

En la siguiente investigación se plantea reutilizar el fresado del pavimento envejecido para la construcción de nuevos pavimentos urbanos, con el uso de dos técnicas de reutilización, que nos permiten reducir los costos en el proceso de construcción. Para así, mejorar las vías y la calidad de vida de las personas.

#### 1.4.2. Justificación metodológica

En la presente investigación definimos cuáles son las técnicas de reutilización del fresado de asfalto, para minimizar los costos en el proceso de construcción de nuevos pavimentos urbanos, estas técnicas pueden ser usadas para las próximas investigaciones similares, así como también, aplicadas a la construcción de nuevos pavimentos en el país, ya que se sigue el procedimiento indicado en los manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

#### 1.4.3. Justificación económica

En la presente investigación se desarrollan dos técnicas de reutilización del material fresado que nos van a permitir principalmente reducir costos en pavimentos urbanos. Estas técnicas resultan económicas a diferencia de la construcción de un pavimento asfáltico nuevo, porque se ahorran costos, por

ejemplo, en la compra de nuevo material, en la fabricación de una nueva mezcla asfáltica ya que se reutilizará en gran medida el material deteriorado que ha sido extraído de las vías en mal estado.

#### 1.4.4. Justificación ambiental

En la presente investigación, la reutilización del material fresado reduce el impacto ambiental, ya que previene la explotación de nuevas canteras y ríos conservando de esta manera el medio ambiente y el uso de agregados que se usa se minimiza, también se contribuye al medio ambiente dándole uso a todo ese material fresado extraído de los pavimentos envejecidos que muchas veces son almacenados en depósitos, ocupando espacio y sin uso alguno.

#### 1.4.5. Importancia

El presente proyecto de tesis es importante ya que, dará a conocer las técnicas de reutilización del fresado de asfalto, para que éstas puedan ser aplicadas al mantenimiento o a la construcción de nuevos pavimentos y de esta manera se disminuya el consumo de materiales nuevos y también la explotación de canteras, y como consecuencia una reducción de costos en estas actividades.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio de investigación

#### 2.1.1. Marco Histórico

El concepto de reciclado en carreteras es relativamente nuevo, sin embargo, las técnicas de aprovechamiento de subproductos y reutilización de materiales para la construcción o mejoramiento de carreteras se conocen hace más de 50 años, los primeros datos sobre el uso del pavimento asfáltico reciclado (RAP) se remontan a 1915, sin embargo, el desarrollo real del RAP se produjo desde mediados de la década de 1970 durante la crisis del petróleo. Decenas de millones de toneladas de pavimento asfáltico reciclado han sido utilizados para mezclas en caliente con los mismos rendimientos de una mezcla con materiales vírgenes. Altos ahorros se han logrado mediante su uso y ha venido recibiendo gran atención en los últimos 20 años presentando un mayor desarrollo en varios países para la construcción y rehabilitación de carreteras. Estudios realizados en Europa y Estados Unidos han mostrado que más del 80% del material reciclado se reutiliza en la construcción de carreteras, sin embargo, las normas solo permiten entre un 5% a un 50% de RAP en una mezcla de asfalto en caliente. Por esta razón la rehabilitación por pavimentos flexibles reciclados ha tomado gran relevancia en los últimos años en varios países, debido a las ventajas que esta presenta en el uso energético, bajos costos y siendo amigable con el medio ambiente, convirtiéndose en una alternativa con gran aceptación mundial, por lo que es de gran importancia el estudio previo de los materiales reciclados y tener un conocimiento amplio en las técnicas utilizadas para este proceso de rehabilitación. (Méndez, 2015, p3)

El material asfáltico reciclado es un material, compuesto por asfalto y agregados, que ha sido removido o procesado de pavimentos existentes (*Federal Highway Administration Research and Technology*, 2012). Para obtener el material se puede utilizar una fresadora, la cual remueve capas de hasta 5cm, o una excavadora que puede romper capas asfálticas completas.

#### 2.1.2. Investigaciones nacionales

Aguilar, A. e Infanzón, R. (2020) en su tesis Aprovechamiento de material de pavimento asfáltico envejecido para reciclaje en caliente y reutilización en mezcla asfáltica en caliente, de la Universidad Ricardo Palma para obtener el

título de profesional de ingeniero civil. Usó el 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. El objetivo general de esta investigación fue 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. Los objetivos específicos fueron los siguientes: utilizar un pavimento envejecido como aporte de una mezcla asfáltica nueva, conocer las ventajas ambientales que se obtendrá con la reutilización del reciclaje del pavimento asfáltico en caliente y reducir los costos durante la ejecución de los proyectos realizando la técnica de reciclaje en los pavimentos asfálticos en caliente. La principal conclusión de esta investigación fue que al realizar una nueva mezcla asfáltica patrón con 10%, 20%, 30% y 40% de RAP, verificaron que al aportar el material envejecido a la mezcla asfáltica en caliente esta fue de gran utilidad ya que, se obtuvo beneficios ambientales y económicos.

Rengifo, J. y Vargas, M. (2017) en su tesis El trabajo de investigación denominado Análisis comparativo entre pavimento flexible convencional y pavimento flexible reciclado en las cuadras 1 – 29 de la avenida de La Paz – San Miguel – Lima, de la Universidad de San Martín de Porres para obtener el título profesional de ingeniero civil, usó la metodología de investigación cuantitativa descriptiva, con un diseño de investigación no experimental, prospectivo, transversal. El estudio tuvo como objetivo principal demostrar la viabilidad técnico – económica del uso de pavimento flexible reciclado como alternativa técnica en las obras de rehabilitación vial, desarrolladas en la ciudad de Lima Metropolitana. Se tomó como caso la avenida La Paz, de la cuadra 1 a la 33 en San Miguel. Se estudiaron las características físicas más significativas del pavimento antiguo de la avenida La Paz, que al ser mezclado con pavimento nuevo habría significado el ahorro del 40% del agregado pétreo que se utilizó en el mejoramiento de carpeta asfáltica de la avenida La Paz. Se utilizó el 15% de material recuperado en el nuevo pavimento. Para demostrar técnicamente el ahorro de agregado grueso y fino, se realizaron ensayos especificados en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones:

Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG – 2013; y se compararon los resultados obtenidos de la obra de mejoramiento de carpeta asfáltica de la Avenida La Paz, realizada por la Empresa Municipal Administradora de Peaje de Lima (EMAPE) y ejecutada por la empresa C.A.H. Contratistas Generales S.A.

Jara, R. y Pérez, G. (2020) en su tesis Reutilización de pavimentos asfálticos reciclados en frío, como alternativa para la construcción de vías provisionales en asentamientos humanos en la ciudad de Lima – Perú, de la Universidad Ricardo Palma para obtener el título de profesional de ingeniero civil. El tipo de metodología de investigación que usaron fue científica cuantitativa de tipo descriptiva, los ensayos los tomaron de referencias de otras investigaciones relacionadas al tema. Para el desarrollo de su investigación tomaron como población las Zonas Vulnerables del Perú, la muestra fueron los Asentamientos Humanos de la ciudad de Lima-Perú. El objetivo general es determinar la mejora que experimentan los asentamientos humanos, gracias al uso de pavimentos asfálticos reciclados en frío en la construcción de vías provisionales en los Asentamientos Humanos en la ciudad de Lima - Perú. Los objetivos específicos fueron: determinar la influencia de la evaluación de fallas en las vías que serán tomadas para ser recicladas y determinar si el método seleccionado es rentable para la aplicación de la propuesta con respecto a otras alternativas. La principal conclusión fue que al usar la técnica en frío se generan beneficios sociales, económicos y ambientales.

Valenzuela, J. (2020) en su tesis Diseño de pavimento con mezcla reciclada para reutilizarlos y optimizar costos, de la Universidad Peruana Los Andes para obtener el título de profesional de ingeniero civil. La metodología de investigación fue científica, el tipo de investigación fue la aplicada, de nivel descriptivo-explicativo y con diseño experimental. La población se conformó por todas las vías de pavimento flexible del distrito de Carabayllo, Lima. El tipo muestreo fue el no aleatorio o intencional, y estuvo conformado por la calle José Pardo, de ese distrito. El objetivo general fue diseñar pavimentos con mezcla reciclada para reutilizar y optimizar costos. Los objetivos específicos fueron: comprobar los resultados de la verificación de parámetros diseño de pavimento con mezcla reciclada, analizar los efectos que producen en las

propiedades físicas-mecánicas del diseño de pavimento con mezcla reciclada y calcular el impacto económico del diseño de pavimento con mezcla reciclada. La conclusión principal de esta tesis fue que con el diseño de pavimento con mezcla reciclada se reutilizarán todos los materiales empleados, en consecuencia, se logró la reducción de costos.

Bejarano, W. (2020) Aplicación de pavimentos flexibles reciclados en la construcción de nuevos pavimentos económicos en el Perú-2020, de la Universidad Privada del Norte, para obtener el grado de Bachiller en ingeniería civil. La metodología empleada fue sistemática, cuantitativa, no experimental. Corresponde a un estudio retrospectivo y descriptivo de datos e información recopilada de estudios, investigaciones y bibliografías diversas. El objetivo general de esta tesis es determinar la factibilidad de la aplicación de reciclaje de pavimentos flexibles para la construcción de nuevos pavimentos en el Perú. Los objetivos específicos fueron: identificar los tipos de reciclaje de pavimentos flexibles, comprender el proceso de obtención y construcción de pavimentos reciclados, expresar los resultados de investigaciones de pavimentos flexibles reciclados y conocer normativas y buenas prácticas de construcción de pavimentos flexibles reciclados y evaluar la aplicación y sostenibilidad del uso de pavimentos flexibles reciclados como solución económica para la construcción de nuevos pavimentos. La principal conclusión es que la aplicación de pavimentos reciclados resulta sostenible, pues en todos los casos investigados los pavimentos nuevos han cumplido con buen desempeño estructural, lograron reducir el impacto ambiental y resultaron bastante económicas.

Cabanillas, G. y Rodríguez N. (2020) Caracterización Del Uso De Métodos Reciclables En La Restauración De Pavimentos Flexibles, Cajamarca 2020. de la Universidad Privada del Norte, para obtener el título de profesional de ingeniero civil. El enfoque de esta investigación fue cualitativa, no experimental, se realizó mediante la recolección de información de 20 fuentes que fueron procesadas a través de criterios de inclusión y exclusión acordes a la relevancia del tema de investigación. El objetivo general fue determinar las características de los diferentes métodos reciclables que logren la restauración de un pavimento flexible. Los objetivos específicos fueron: recolectar

información fundamental de tesis estudiadas a través de fichas de investigación, analizar los métodos de reciclaje de pavimentos asfálticos en frío y en caliente, determinar las fallas en el pavimento a restaurar con el método de reciclaje y realizar una guía para la evaluación y proceso de restauración en pavimentos flexibles con métodos reciclables. Se concluyó que el reciclaje de pavimentos asfálticos se puede realizar tanto en frío, como en caliente, y que dependen tanto del estado en el que se encuentre el pavimento, además de la granulometría, dosificación y puesta en obra del material recuperado.

### 2.1.3. Investigaciones internacionales

Mendoza, M. y Verdezoto, N. (2018) en su tesis Aprovechamiento del material fresado proveniente de carpetas asfálticas de las calles de Guayaquil, depositado en la cantera municipal N° 8 de la ciudad, de la Universidad de Guayaquil, para obtener el título de profesional de ingeniero civil. Nos explica que hoy en día una de las principales causas que contribuyen al deterioro medioambiental es el uso indiscriminado de recursos naturales, además del desecho y acumulación de materiales pétreos que han perdido en parte sus propiedades iniciales de servicio y que se cree que ya no pueden ser reutilizados. En la ciudad de Guayaquil el material fresado proveniente de carpetas asfálticas es acumulado en la Cantera Municipal N° 8, sin que se le dé un uso adecuado generando un impacto negativo al medio ambiente y a la población que vive alrededor, por tal motivo y con la finalidad de reducir el impacto ambiental que genera la acumulación de materiales pétreos el presente trabajo está orientado a identificar mediante ensayos de laboratorio los tratamientos a los que podría ser sometido dicho material para su posible reutilización como parte una nueva estructura de pavimento.

Pástas, R. (2021) en su tesis Estudio y análisis de los procesos de obtención, almacenamiento y uso del material de pavimento asfáltico reciclado en las diferentes obras viales, de la Universidad de Antioquía, para obtener el título de profesional de ingeniero civil. Nos indica que este trabajo se hace con el fin de estudiar y analizar los procesos de obtención y reciclaje del pavimento asfáltico, así como su impacto en el medio ambiente y los costos de ejecución. También se realizó un estudio y análisis de información y datos recopilados de la literatura para entender todos los procesos de obtención, acopio y

reutilización del material. Primero, se presenta un estudio del pavimento asfáltico en general con el cual se contextualiza sobre la temática de los pavimentos asfálticos, seguido de una introducción a los métodos y formas de obtención del pavimento asfáltico que bien puede estar deteriorado o no cumplió con los requisitos de calidad exigidos o que ya haya cumplido su ciclo de vida. Se estudió y analizó lo referente al acopio de este tipo de materiales, el impacto ambiental y cómo se debe manejar para su posterior reutilización. Además, se ahondó en los métodos y tipos de usos que se le pueden dar al pavimento asfáltico reciclado y se concluyó con los datos más relevantes, las ventajas y desventajas que se obtienen en todo el proceso de trabajo con este tipo de materiales y un entendimiento general sobre esta temática tan importante en el mundo de la ingeniería civil.

Monroy, M., León, J. y Ramos, M. (2020) en su Monografía del uso de RAP (pavimentos asfáltico reciclados) para la rehabilitación de vías urbanas del municipio de Girardot - Cundinamarca, de la Universidad Minuto de Dios. Nos indica que el pavimento asfáltico reciclado (RAP, por sus siglas en inglés) es un término empleado a materiales reutilizados de capas asfálticas que luego de ser fresados o demolidos son optimizados con nuevos materiales de asfalto y agregado. El RAP se obtiene de procesos de demolición de las carpetas asfálticas en servicio y son empleados en actividades de reconstrucción o rehabilitación de estructuras de pavimento. Este material RAP cuando es triturado y tamizado adecuadamente luego de acuerdo a una fórmula de trabajo es mezclado con asfalto y agregados se obtienen mezclas asfálticas. En la actualidad es ampliamente conocido las ventajas del empleo de materiales producto del reciclado de pavimentos en la construcción o rehabilitación de vías; pero la realidad es que la utilización de RAP en proyectos viales en América Latina es baja. Con la elaboración de este documento se aborda el cumplimiento de las especificaciones generales de Carreteras establecidas por el INVIAS por los materiales empleados en la elaboración del RAP y la evaluación de los costos por kilómetro o área con el ánimo de comparar la viabilidad técnica y económica en la rehabilitación de vías. De acuerdo al alto costo económico que genera la rehabilitación de vías y el estado actual de las mismas; se plantea el presente documento investigativo con el ánimo de evaluar

los beneficios económicos, ambientales y técnicos de emplear el material RAP en la rehabilitación de vías de la región generando alto impacto ecológico, económico y social con los diversos usuarios de las vías y comunidad en general.

Duitama, J. y Soler, D. (2019) en su tesis Evaluación física y mecánica de mezclas fresado y base granular para su empleo como agregados en la conformación de bases estabilizadas de pavimentos flexibles, de la Universidad Católica de Colombia. Nos comenta que la infraestructura vial, con el paso del tiempo tiende a deteriorarse por su mal uso, falta de mantenimiento adecuado y escaso seguimiento de los vehículos que transitan por las vías del país, otro factor es el clima, ya que a causa de este se pueden ver afectados los materiales que componen una vía, en un tiempo prolongado con un tránsito no adecuado genera que la vida útil del pavimento sea menor a la estimada. Por eso es necesario la búsqueda e implementación de estrategias eficientes (ambiental y económicamente) de rehabilitación o mantenimiento, como el uso de materiales reciclados. La presente investigación analizó y evaluó el empleo de pavimento asfáltico reciclado (RAP) en bases estabilizadas o tratadas con cemento (BTC) y en capas granulares sin ligante. La técnica estudiada, ofrece ventajas económicas y ambientales, pues los materiales extraídos no serán desechados y se requerirá una cantidad menor de agregado pétreo en las obras. Se llevaron a cabo ensayos de caracterización física y mecánica de: el agregado virgen, el RAP y la mezcla propuesta (50 % - 50 %), para determinar si era apta para usarse como BTC. Se concluyó que la sustitución de agregado virgen por RAP, mejora varias propiedades físicas como forma, desgaste y afecta negativamente las propiedades mecánicas. El incremento de RAP, generó mayor porcentaje de caras fracturadas debido al proceso de trituración por el que pasa el pavimento.

Mora, J. (2020) en su tesis Aprovechamiento de reciclado rap: para mejoramiento de las vías terciarias en Colombia, de la Universidad Católica de Colombia. Nos indica que el objetivo de esta investigación es de reciclar material fresado de las vías, esto se hace con el fin de aprovechar el asfalto y por medio de estudios detallados mejorar el material y prolongar su vida útil; ya que con esta práctica estamos haciendo ahorro de energía y evitando explotación de materiales nuevos, otro propósito es el de reducir el tiempo de

la construcción, en Colombia ya ha sido utilizada esta técnica como estrategia para mejorar las vías terciarias de Medellín, llegando actualmente casi a un 60% de vías arregladas por este método, con una reducción de costos de 20 a 30%. El objetivo de este trabajo es el de cómo mejorar este material y sus aplicaciones en los sectores menos favorecidos mejorando las vías en los sectores más pobres a lo largo del país, y cumplir con la movilidad en las vías de penetración con un material reutilizable y que brinde un valor costo beneficio en los lugares apartados.

## 2.2. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

### 2.2.1. Pavimento flexible

El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la sub rasante del camino para resistir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura. (MTC, 2013)

Base: es la capa inferior a la capa de rodadura, su principal función la de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa suele ser de material granular drenante; es decir con CBR mayor o igual a 80% o será tratada con asfalto, cal o cemento.

Subbase: es una de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controla la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo de pavimento, así como del diseño y dimensionamiento del mismo, esta capa puede obviarse. Puede ser de material granular con CBR mayor o igual a 40% o tratada con asfalto, cal o cemento.

Capa de rodadura: es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo flexible (bituminosa) o rígido (concreto de cemento Portland) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.

Existen tres tipos de pavimentos, estos son los siguientes: pavimentos rígidos, semirrígidos y flexibles.

Según el MTC (2013) el pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta construida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser

el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.

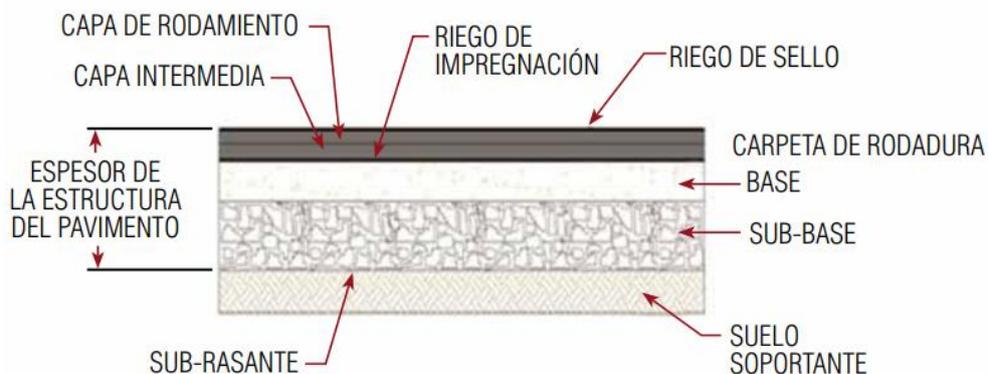


Figura N 1: Estructura de pavimento  
Fuente: MEF (2015)

### 2.2.2. Fresado de pavimentos flexibles

El fresado en un pavimento flexible consiste en cortar total o parcialmente la capa de rodadura del pavimento, principalmente las partes defectuosas y sin dañar las partes en buen estado. El material extraído puede servir para hacer trabajos de rehabilitación, nuevos pavimentos, etc. El equipo para la ejecución de los trabajos deberá ser una máquina fresadora, cuyo estado, potencia y capacidad productiva garanticen el correcto cumplimiento del plan de trabajo. Esta máquina elimina el ancho, largo y espesor deseado y se carga directamente en un vehículo. El material fresado resultante puede ser reusado para la fabricación de nuevas mezclas asfálticas o como suelo seleccionado o adecuado en la misma obra, para reciclaje.

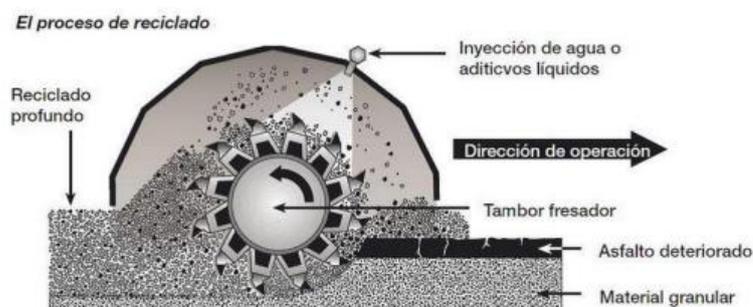


Figura N 2: Proceso de fresado  
Fuente: Wirtgen (2004)

El fresado de pavimento también se conoce como Pavimento asfáltico recuperado (RAP), por sus siglas en inglés RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*). Este es el término que se le da a los materiales de pavimento retirados y/o reprocesados que contienen asfalto y agregados. Este se genera al retirar la capa superior de un pavimento que ya cumplió con su vida útil, ya sea para su reconstrucción o repavimentación.

Cuando se tritura y criba de forma correcta, el RAP consiste en agregados bien graduados de alta calidad recubiertos con cemento asfáltico. Este se obtiene en el fresado, en la mayoría de los casos, el material obtenido se recoge y se carga en camiones de acarreo mediante un cargador frontal y se transporta a una instalación central para su procesamiento.

El RAP se procesa mediante una serie de operaciones que incluyen trituración, cribado, transporte y apilamiento. Aunque la mayoría de los pavimentos asfálticos envejecidos se reciclan en las plantas centrales de procesamiento, los pavimentos asfálticos pueden pulverizarse en el lugar e incorporarse a capas de base granulares o estabilizadas utilizando una máquina pulverizadora autopropulsada. Los procesos de reciclaje en caliente y en frío se han convertido en operaciones de trenes continuos que incluyen la eliminación parcial de la superficie del pavimento, la mezcla del material recuperado con aditivos beneficiosos (como agregado virgen, aglutinante y/o agentes suavizantes o rejuvenecedores para mejorar las propiedades del ligante), y colocar y compactar la mezcla resultante en una sola pasada.

### 2.2.3. Características del material fresado

Son muchos los usos que se le pueden dar al material fresado, esto depende de las condiciones en las que se encuentre y de sus características, éstas se determinan mediante los siguientes ensayos de laboratorio, que nos guiarán para determinar el fin en el que pueden ser utilizados de forma adecuada:

- Ensayo de extracción de disolvente (AASHTO T 164). Con el fin de determinar el contenido de asfalto existente.
- Grado de desempeño (AASHTO M 320). Con el fin de determinar el rango de temperaturas óptimas para el correcto desempeño del asfalto.

- La granulometría de los agregados que nos indica la gradación del material fresado, los porcentajes de finos y gruesos que presenta el material (AASHTO T 30).
- La gravedad específica para material fino y grueso (AASHTO T 84 Y T 85)

#### 2.2.4. Ventajas del uso del RAP

Una ventaja es que al ser reutilizado se evita la explotación de nuevas canteras, también se evita que este material se quede acumulado en sitios de uso público y sin ningún propósito, generando contaminación. Es decir, se preservan los recursos naturales gracias a la reutilización de este material fresado.

Otra ventaja se da en el proceso de reciclado in situ, se ahorra energía, a diferencia del proceso convencional de construcción de una carpeta asfáltica, debido a que se reduce la perturbación al tráfico durante el proceso construcción, además se reduce el tiempo, porque se dispone de una única máquina que, en una pasada corta, mezcla y extiende el material.

También se economiza en honorarios profesionales en la búsqueda de materiales de la zona, que, de acuerdo a las normas, sirvan para la construcción de una estructura multicapa, así como en la supervisión de la construcción de una capa de pavimento. Se reduce el costo por adquisición de materiales tales como agregados y cemento asfáltico, a la par de que se evita el transporte tanto para deshacerse del material fresado, como el propio de la mezcla asfáltica.

#### 2.2.5. Usos del RAP

Según la institución *Federal Highway Administration Research and Technology*, el RAP se puede usar de varias formas en la construcción de pavimentos. Por ejemplo, se puede usar como agregado para la base o subbase granular, también en forma suplemento de cemento asfáltico. Los usos a desarrollar en este proyecto de investigación son los siguientes:

- Uso del RAP como agregado para base o subbase granular

El pavimento de asfalto recuperado (RAP) se puede utilizar como base granular o material de subbase en prácticamente todos los tipos de pavimento, incluidos caminos pavimentados y sin pavimentar, áreas de estacionamiento, senderos para bicicletas, rehabilitación de caminos de grava, arcenes, accesos residenciales, relleno de zanjas.

Si bien el uso de RAP en aplicaciones de base granular no recupera el potencial de cemento asfáltico en el pavimento antiguo, proporciona una aplicación alternativa donde no hay otros mercados disponibles o donde puede haber material inadecuado. combinado con el RAP para que no pueda ser utilizado como parte de un pavimento reciclado.

El RAP que procesado de manera correcta y que se han mezclado con agregados convencionales, ha demostrado un desempeño satisfactorio como base granular para carreteras durante más de 20 años y ahora se considera una práctica estándar en muchas áreas. (*Federal Highway Administration Research and Technology, 2012*)

Los agregados que se han incorporado correctamente en las aplicaciones de base granular incluyen una capacidad de carga adecuada, buenas características de drenaje y muy buena durabilidad. Sin embargo, el RAP que no se procesa o mezcla adecuadamente según los requisitos de las especificaciones de diseño puede resultar en un desempeño deficiente del pavimento. El aumento del contenido de RAP da como resultado una disminución de la capacidad de carga de la base granular. Además, cuando se ha colocado material granular convencional sobre RAP procesado (y no mezclado de manera homogénea), el material granular grueso (a veces denominado material flotante) tiende a desmoronarse con el tráfico.

Existen requisitos de procesamiento de materiales, como en el cribado y triturado, el RAP recaudado debe procesarse hasta la gradación de agregado deseada utilizando equipos convencionales que consisten en una trituradora primaria, unidades de cribado, una trituradora secundaria, esta de manera opcional, transportadores y un apilador.

#### Mezcla

Para evitar la aglomeración de RAP triturado, debe mezclarse lo antes posible con agregado convencional (utilizando un sistema de alimentación en frío) hasta obtener una mezcla homogénea.

Sin embargo, el material mezclado que se almacena durante un período de tiempo considerable, particularmente en climas cálidos, puede endurecerse y requerir trituración y tamizado antes de que pueda incorporarse a las aplicaciones de base granular.

### Almacenamiento

No se debe permitir que las pilas de acopio de agregados RAP combinados permanezcan en su lugar durante períodos prolongados en la mayoría de los climas porque es probable que el material apilado se humedezca demasiado, lo que posiblemente requiera un poco de secado antes de su uso.

### Colocación por procesamiento en el lugar

El procesamiento in situ consiste en unidades de pulverización autopropulsadas que rompen y trituran el hormigón asfáltico existente (normalmente hasta una profundidad de unos 100 mm (4 in)) y el material granular subyacente hasta una profundidad máxima total de 200 mm (8 in) y mezcle bien los materiales en su lugar. La profundidad del procesamiento debe controlarse de cerca, ya que un corte demasiado profundo puede incorporar material de subbase, mientras que un corte demasiado superficial aumenta el porcentaje de RAP en la mezcla.

Algunas de las propiedades del RAP que son de particular interés cuando se usa en aplicaciones de base granular incluyen la gradación, la resistencia al rodamiento, la densidad compactada, el contenido de humedad, la permeabilidad y la durabilidad.

**Graduación:** La graduación del RAP molido se rige por el espaciado de los dientes y la velocidad de la unidad de pulverización. El espacio entre dientes más amplio y la velocidad más alta dan como resultados tamaños de partículas más grandes y una graduación más gruesa. El RAP se puede procesar fácilmente para satisfacer los requisitos de graduación para las especificaciones de base granular y subbase, como AASHTO M147.

**Resistencia portante:** La capacidad portante del RAP mezclado depende en gran medida de la proporción de RAP con respecto al agregado convencional. La capacidad de carga disminuye al aumentar el contenido de RAP. La relación CBR se reduce por debajo de lo esperado para la base granular convencional cuando la cantidad de RAP supera el 20 a 25 por ciento. Se ha demostrado que los valores de CBR disminuyen casi directamente con el aumento del contenido de RAP.

**Densidad compactada:** debido al revestimiento de cemento asfáltico sobre el agregado RAP, que inhibe la compactación, la densidad compactada del

material granular mezclado tiende a disminuir con el aumento del contenido RAP.

Contenido de humedad: Se informa que el contenido de humedad óptimo para los agregados mezclados con RAP es más alto que para el material granular convencional, particularmente para el RAP de las operaciones de pulverización, debido al mayor contenido de finos y la capacidad de absorción de estos finos.

Permeabilidad: La permeabilidad del material granular mezclado que contiene RAP es similar a la del material de base granular convencional.

Durabilidad: dado que la calidad de los agregados vírgenes utilizados en el concreto asfáltico generalmente supera los requisitos para los agregados granulares, generalmente no existen problemas de durabilidad con respecto al uso de RAP en una base granular, especialmente si el RAP es inferior al 20 o 25 por ciento de la base.

Consideraciones de diseño

El parámetro de diseño clave para incorporar RAP procesado al material base granular es la relación de mezcla de RAP con el agregado convencional que se necesita para proporcionar una capacidad de carga adecuada. La relación se puede determinar a partir de pruebas de laboratorio de mezclas de agregados RAP utilizando el método de prueba CBR. Se ha informado que se han incorporado mezclas de hasta un 30 por ciento de partículas recubiertas de asfalto de RAP al material base granular mezclado.

La presencia de cemento asfáltico en el RAP, sin embargo, tiene un efecto fortalecedor significativo con el tiempo. Se tiene conocimiento que los especímenes con 40 por ciento de RAP mezclado con material de base granular han producido valores de CBR superiores a 150 después de 1 semana.

El RAP producido por molienda o pulverización tiene una capacidad de carga menor que el RAP triturado, debido a la mayor generación de finos. Como resultado, para su uso en aplicaciones de carga, el RAP granular generalmente se mezcla con agregados convencionales.

Los procedimientos convencionales de diseño estructural de pavimento AASHTO se pueden emplear para una base granular que contiene pavimento de asfalto recuperado. La Guía de diseño de AASHTO se recomienda para el diseño de espesores de capas base o subbase que contienen RAP como un

porcentaje de, o posiblemente incluso la totalidad, de la base o subbase. Si el RAP es solo una porción del material base o subbase (menos del 30 por ciento), se puede usar el coeficiente de capa estructural normalmente recomendado para materiales base granulares (0.11 a 0.14). Si el RAP constituye un porcentaje mayor, o incluso la totalidad, del material base o subbase, se puede considerar algún ajuste del coeficiente de la capa estructural.

#### Procedimientos de construcción

##### Manejo y almacenamiento de materiales

Esencialmente, los mismos equipos y procedimientos utilizados para apilar, manipular y colocar agregados convencionales en una base granular son aplicables al material granular mezclado que contiene RAP. Dado que cada fuente de RAP será diferente, se deben realizar muestreos y pruebas aleatorias de la reserva de RAP para cuantificar y calificar el RAP. Se deben usar muestras del RAP almacenado para determinar la combinación óptima de materiales. Se requiere cuidado adicional durante el almacenamiento y la manipulación para evitar la segregación o la reaglomeración.

##### Colocación y compactación

El pavimento asfáltico reciclado, que se recupera, tritura, tamiza y mezcla con agregados convencionales, se coloca como material granular convencional. Alternativamente, también se puede usar el procesamiento en el lugar, que implica pulverizar el pavimento existente y mezclar completamente la superficie individual y las capas de la capa de base granular en una mezcla relativamente homogénea y volver a compactarla como base granular.

Los agregados granulares convencionales no se unen bien con RAP o material granular mezclado que contiene RAP. En consecuencia, puede ocurrir desmoronamiento si se colocan capas delgadas de agregados convencionales sobre material que contiene RAP.

Durante la colocación, la nivelación del acabado puede ser difícil debido a la adherencia del asfalto en el RAP. Se debe prestar especial atención a la obtención de una compactación adecuada para evitar la densificación posterior a la construcción de materiales base granulares que contengan RAP.

Tanto el material granular mezclado como el material pulverizado se pueden compactar de manera similar utilizando equipos de compactación

convencionales. Se ha informado que la compactación mejora si se usa poca o nada de agua.

- Uso del RAP en reciclado de mezcla asfáltica en frío

El pavimento asfáltico recuperado (RAP) se puede utilizar en el reciclaje en frío de mezclas asfálticas para pavimentación de una de dos maneras. El primer método (reciclado en planta de mezcla en frío) implica un proceso en el que el RAP se combina con asfalto nuevo emulsionado o espumado y un agente de reciclaje o rejuvenecimiento, posiblemente también con agregado virgen, y se mezcla en una planta central o en una planta móvil para producir una mezcla en frío. El segundo método, implica un proceso en el que el pavimento asfáltico se recicla en el lugar, donde el RAP se combina sin calor y con nuevo material emulsionado o asfalto espumado y/o un agente de reciclaje o rejuvenecimiento, también con agregado virgen, y mezclado en el sitio del pavimento, ya sea a profundidad parcial o total, para producir un nuevo producto final de mezcla en frío.

Requisitos de procesamiento de materiales

Reciclaje de mezclas en frío en plantas

El pavimento de asfalto reciclado debe procesarse en un material granular antes de su uso en aplicaciones de mezcla en frío. Una planta típica de RAP consta de una trituradora, unidades de cribado, transportadores y apiladores.

Reciclaje en frío en el lugar

CIPR (como el reciclaje en caliente en el lugar (HIPR)), requiere una operación de tren continuo e independiente que incluye desgarramiento o escarificación, procesamiento (unidad de cribado y tamaño/trituración), mezcla del RAP molido y la adición de rejuvenecedores líquidos. Se han desarrollado productos especiales derivados del asfalto, como emulsiones catiónicas, aniónicas y modificadas con polímeros, rejuvenecedores y agentes de reciclaje, especialmente para los procesos CIPR. Estos materiales de hidrocarburo se utilizan a veces, pero no siempre, para ablandar o reducir la viscosidad del aglutinante asfáltico residual en el material RAP para que sea compatible con el aglutinante recién agregado.

Algunas de las propiedades de ingeniería del RAP que son de particular interés cuando el RAP se usa en aplicaciones de reciclado en frío incluyen su

gradación, contenido de asfalto y la penetración y viscosidad del aglutinante de asfalto.

Gradación: la gradación del agregado del RAP procesado es algo más fina que la del agregado virgen. Esto se debe a la degradación mecánica durante la remoción y el procesamiento del pavimento asfáltico. Los agregados RAP generalmente pueden satisfacer los requisitos de ASTM D692 para agregado grueso y ASTM D1073 para agregado fino.

Contenido de asfalto: el contenido de asfalto de la mayoría de los pavimentos antiguos comprenderá aproximadamente del 3 al 7 por ciento en peso y del 10 al 20 por ciento en volumen del pavimento. Debido al envejecimiento por oxidación, el cemento asfáltico se ha endurecido y, en consecuencia, es más viscoso y tiene valores de penetración más bajos que el cemento asfáltico virgen.

Penetración y viscosidad: dependiendo de la cantidad de tiempo que el pavimento original estuvo en servicio, el aglutinante RAP recuperado puede tener valores de penetración de 10 a 80 y valores de viscosidad absoluta a 60°C (140°F).

#### Consideraciones de diseño

Para satisfacer los requisitos de ingeniería para su uso en pavimentos de hormigón asfáltico reciclado en frío, generalmente es necesario rejuvenecer o aumentar el aglomerante asfáltico en RAP para reducir la viscosidad y/o aumentar la penetración. Esto se hace mediante la adición de uno o más agentes de reciclaje, que consisten en asfalto emulsionado o espumado y/o un agente rejuvenecedor. También se puede agregar algún agregado adicional para ajustar la gradación de la mezcla o el contenido de vacíos de aire.

#### Reciclaje de mezclas de plantas frías

##### Diseño de mezcla

Las especificaciones y el diseño del reciclaje de mezclas de plantas en frío de pavimentos asfálticos se mencionan en la norma ASTM D4215. Las mezclas de plantas en frío pueden ser de grado denso o de grado abierto. Las mezclas asfálticas colocadas en frío se pueden usar para cursos de superficie, base o subbase. Aunque no existen métodos de diseño de mezcla universalmente aceptados para el reciclaje de mezcla en frío, el Instituto del Asfalto

recomienda, y la mayoría de las agencias usan, una variación del método de diseño de mezcla Marshall.

Los procedimientos generales incluyen una determinación de la granulometría de los agregados y el contenido de asfalto del RAP procesado, determinación del porcentaje de agregado nuevo a agregar, cálculo de agregado combinado en mezcla reciclada, selección del tipo y grado de asfalto nuevo, determinación de la demanda de asfalto del agregado combinado, estimación del porcentaje de agregado nuevo asfalto requerido en la mezcla, y ajuste del contenido de asfalto mediante ensayos de mezcla en campo.

El porcentaje de demanda de asfalto de los agregados combinados se puede determinar por medio de una fórmula que tiene en cuenta las distintas fracciones de tamaño de tamiz del RAP combinado y el agregado virgen. Estas fracciones de tamaño incluyen el porcentaje retenido en el tamiz de 2,36 mm (Nº 8), el porcentaje entre los tamices de 2,36 mm (Nº 8) y 0,075 mm (Nº 200), y el porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm (Nº 200).

El porcentaje de asfalto nuevo es la diferencia entre el porcentaje de demanda de asfalto y el porcentaje de asfalto contenido en el RAP. Usando el contenido de asfalto determinado, se pueden preparar muestras Marshall en varios porcentajes de emulsión para determinar un contenido óptimo de asfalto sobre la base de los criterios aplicables de estabilidad y vacíos de aire.

#### Diseño estructural

La Guía de diseño de AASHTO es aplicable a las mezclas de pavimentación de mezcla en frío recicladas. Si bien no existen valores de coeficiente de capa estructural universalmente aceptados para la mezcla asfáltica en frío, generalmente se reconoce que la mezcla asfáltica en frío no es el equivalente estructural de la mezcla asfáltica en caliente, pero es superior a las capas base de grava o piedra triturada. Por lo general, no se recomienda el uso de mezcla asfáltica en frío como superficie de desgaste, sino solo en capas de capa base debido a consideraciones tanto estructurales como de durabilidad. La capacidad estructural de la mezcla en frío reciclada puede considerarse igual a la de los materiales de pavimentación de mezcla en frío convencionales.

Aunque la mayoría de las agencias no han publicado valores de coeficiente de capa estructural para mezclas en frío convencionales o recicladas, un valor de

coeficiente de capa de 0,25 a 0,35 para una base asfáltica estabilizada se considera dentro de un rango razonable.

#### Procedimientos de construcción

##### Manejo y almacenamiento de materiales

El RAP se produce moliendo, desgarrando, rompiendo, triturando o pulverizando tipos de equipos. Para garantizar que el producto de RAP final funcione según lo previsto, se debe realizar la inspección del RAP entrante y el rechazo de las cargas contaminadas (exceso de material granular, tratamiento de superficie, sellador de juntas, etc.). Algunas veces también se exigen que el RAP de un proyecto en particular no se mezcle con el RAP de otros proyectos. Una vez procesado, el RAP puede manejarse y almacenarse como material agregado convencional. Sin embargo, debido a la variabilidad del RAP en comparación con los agregados vírgenes, muchas agencias no permiten la combinación de RAP de diferentes proyectos en reservas combinadas. El Instituto del Asfalto recomienda que la altura de las pilas de RAP se limite a un máximo de 3 metros para ayudar a prevenir la aglomeración de las partículas de RAP. La experiencia ha demostrado que las pilas de almacenamiento cónicas son preferibles a las pilas de almacenamiento horizontales y no harán que el RAP se vuelva a aglomerar o se congele en pilas grandes.

El RAP tiene la tendencia a formar una costra (debido a un efecto solar/térmico del sol) sobre los primeros 200-250 mm (8 a 12 pulgadas) de profundidad de la pila para pilas de almacenamiento tanto cónicas como horizontales. Esta corteza tiende a ayudar a arrojar agua, pero se rompe fácilmente con un cargador frontal y puede ayudar a evitar que el resto de la pila se aglomere.

El RAP tiene una tendencia a retener agua y no a drenarse con el tiempo como una reserva de agregados. Por lo tanto, las pilas de acopio bajas, horizontales y planas están sujetas a una mayor acumulación de humedad que las pilas de acopio altas y cónicas. No es inusual encontrar contenido de humedad RAP en el rango de 7 a 8 por ciento durante la temporada de lluvias en instalaciones que utilizan técnicas de almacenamiento horizontal bajas.

Las pilas de RAP generalmente se dejan descubiertas porque cubrirlas con lonas puede causar condensación debajo de la lona y agregar humedad a las

pilas de RAP. Por esta razón, las pilas de RAP se dejan descubiertas o se almacenan en un edificio abierto por los lados, pero bajo techo.

Cuando se dispone de grandes cantidades de RAP de diferentes fuentes, es recomendable mantener las reservas separadas e identificadas por fuente. Se puede producir RAP consistente a partir de una pila "compuesta" o "mezclada" utilizando una operación de trituración y cribado y reprocesando pilas de diferentes fuentes.

Se debe evitar que la maquinaria de manipulación de materiales, como los cargadores frontales y las excavadoras, se desplace directamente sobre la pila de material. Puede producirse aglomeración, lo que dificulta mucho que el cargador manipule el RAP.

#### Mezcla, colocación y compactación

Los requisitos de procesamiento de RAP para el reciclaje de mezcla en frío son similares a los de la mezcla en caliente reciclada, excepto que el producto de RAP graduado se incorpora a las mezclas de pavimentación de mezcla asfáltica en frío como un sustituto del agregado.

El RAP se mezcla con agregado nuevo y asfalto emulsionado o espumado en una planta central o en una planta móvil. Luego, la mezcla se coloca como mezcla asfáltica en frío convencional. La remoción de pavimento o fresado se realiza con una máquina cepilladora en frío de tambor rotativo autopropulsada con transferencia de RAP a camiones para su remoción del sitio de trabajo.

El asfalto de mezcla en frío generalmente se coloca en carreteras de bajo volumen con volúmenes de tránsito de menos de 3,000 vehículos por día y se cubre con un tratamiento de superficie doble o una superficie de uso de mezcla en caliente.

El reciclaje de la mezcla de la planta fría se puede lograr transportando el RAP a una ubicación de procesamiento central, donde se tritura, tamiza y mezcla con un agente de reciclaje en una planta mezcladora central, o el RAP se puede procesar en el sitio del proyecto y prepararlo en una planta mezcladora móvil que ha sido transportada al sitio de trabajo.

El material de mezcla en frío reciclado se puede colocar normalmente con una pavimentadora convencional, siempre que la humedad de la mezcla se pueda controlar adecuadamente a un nivel que no requiera aireación. La construcción

de pavimentos de mezcla fría requiere varios días y noches cálidos para un curado adecuado.

La colocación exitosa con adoquines convencionales requiere que la mezcla sea lo suficientemente fluida para evitar que se rompa. Alternativamente, se puede usar un esparcidor Jersey o remolcado. Con un esparcidor Jersey o remolcado (que es esencialmente una tolva con ruedas delanteras fijada a la parte delantera del tractor o a la parte trasera de un camión de acarreo), la mezcla fría se vierte en una tolva y cae directamente sobre el camino donde se esparce y golpea hasta el espesor requerido.

Los mismos equipos y técnicas utilizados para compactar y curar pavimentos asfálticos de mezcla en frío convencionales son aplicables a la mezcla en frío reciclada.

### 2.3. Costos

Los costos en la construcción incluyen los materiales, mano de obra, equipos, subcontratos o cualquier otro tipo de costo que no se puede identificar de manera directa, para una determinada obra que será ejecutada.

La estructura de costos está dividida en costos directos e indirectos.

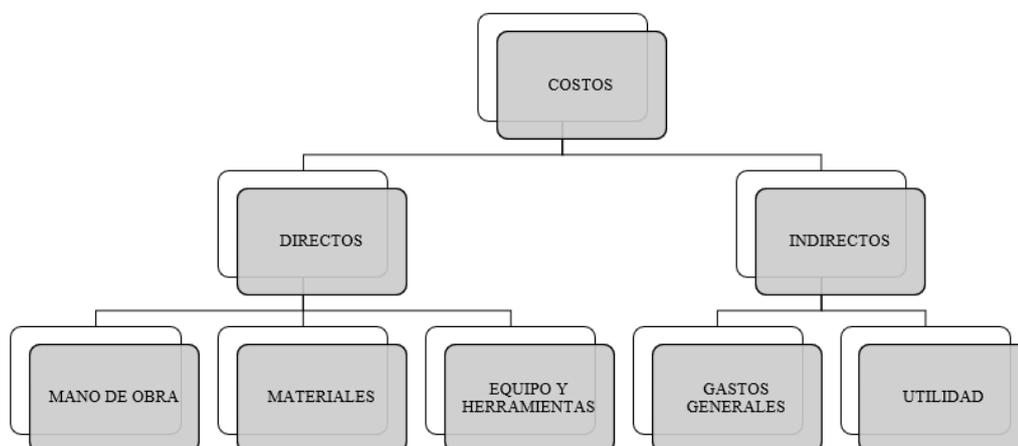


Figura N 3 Estructura de costos

Fuente: Elaboración propia

#### 2.3.1. Costos directos

Son los gastos que están directamente relacionados con la obra, es la parte más cuantiosa en los precios unitarios y del presupuesto de obra. La composición del costo directo está dividida en mano de obra, materiales y equipos.

- a. Mano de Obra: los costos de mano de obra son aquellos gastos que están en función a la cantidad de personal que interviene en la ejecución de las actividades, en su mayoría personal obrero, ya que no consideran al personal técnico, administrativo, supervisión, vigilancia, etc., que corresponden a los costos indirectos.
- b. Materiales: los costos de materiales son aquellos que son adquiridos para la correcta ejecución de las actividades, estos deberán cumplir con las normas establecidas y las especificaciones técnicas requeridas. Los materiales que se usen en los trabajos serán permanentes o temporales, según requieran dichas actividades. Dentro de los materiales se deberá considerar los costos para los siguientes puntos: mermas de manejo (pérdidas en las labores de transportes), desperdicios de operación, fletes y almacenaje. Los materiales adquiridos serán según las especificaciones técnicas del proyecto, ya que cada material adquirido tiene cierta unidad de medición como: longitud, masa, superficie, volumen, tiempo.
- c. Equipo y Herramienta: es todo el gasto que se usa por cada maquinaria o equipos que se requieran en la ejecución de la obra. El costo de maquinaria es por horas máquina, los cuales son necesarios para que las actividades se realicen, de acuerdo a las normas y especificaciones técnicas, deberán ser considerados los siguientes puntos: costos fijos, consumibles (gasolina, lubricantes, llantas), cargos de operación.

#### 2.3.2. Costos indirectos

Corresponden a los gastos generales y la utilidad que se necesitan para la ejecución de los trabajos, tanto en oficina como en el sitio de los trabajos, como gastos de administración, dirección técnica, vigilancia, imprevistos, etc.

- a. Gastos Generales: son los gastos que debe efectuar el contratista para la ejecución de la prestación a su cargo, derivados de su actividad empresarial, lo cual se dividen en gastos generales variables, son los que se encuentran asociados al tiempo de ejecución de la obra, por lo tanto, pueden incurrir a lo largo de todo el plazo de ejecución de la obra y los gastos generales fijos, son aquellos que no están relacionados con el tiempo de la ejecución de la obra y por períodos determinados.

- b. Utilidad: es la ganancia que recibe el contratista por la ejecución de un trabajo, el cual representa un porcentaje al costo directo.

### 2.3.3. Costos de base granular

El costo de base granular para pavimentos asfálticos incluye mano de obra (personal obrero), equipos y materiales, la unidad de medida es por metro cúbico (m<sup>3</sup>).

Este trabajo consistirá en la construcción de una o más capas de materiales granulares, que pueden estar incluidas con algún tipo de estabilizador o ligante, debidamente aprobados, incluye el transporte, colocación y compactación del material de acuerdo a los alineamientos, pendientes y dimensiones que están indicados en los planos de un proyecto, dichos trabajos deben ser aprobados por el Supervisor o Inspector.

Materiales:

Granulometría

En cuanto a los materiales, la composición final tendrá una granulometría bien graduada y según los requerimientos que se muestran, según las zonas.

Para zonas de altitud mayores a 3.000 msnm corresponde la gradación “A”

**Requerimientos granulométricos para base granular**

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100		
25 mm. (1")		75-95	100	100
9,5 mm. ( <sup>3</sup> / <sub>8</sub> ")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Figura 1 Requerimientos granulométricos para base granular

Fuente: MTC (2013)

Cumplirá con las siguientes características físico – mecánicas y químicas:

Valor Relativo de Soporte, CBR (1)	Tráfico en ejes equivalentes (<10 <sup>6</sup> )	Mín. 80%
	Tráfico en ejes equivalentes (≥10 <sup>6</sup> )	Mín. 100%

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1" (2.5 mm)

Figura 2 Características físico-mecánicas y químicas

Fuente: MTC (2013)

Agregado grueso

Son los materiales retenidos en la malla N° 04, que provienen de fuentes naturales, procesados o combinación de ambos, deben cumplir con las características del siguiente cuadro

**Requerimientos agregado grueso**

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos Altitud	
				< 3.000 msnm	≥ 3.000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821		80% mín.	80% mín.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821		40% mín.	50% mín.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	40% máx.
Partículas chatas y alargadas (1)		D 4791		15% máx.	15% máx.
Sales solubles totales	MTC E 219	D 1888		0,5% máx.	0,5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	C 88	T 104		18% máx.

Figura N 4: Requerimientos de agregado grueso  
Fuente: Manual de carreteras

### Agregado fino

Son los agregados que pasan la malla N°04, que provienen de fuentes naturales, procesados o combinación de ambos, lo cual deben cumplir las siguientes características:

**Requerimientos Agregado Fino**

Ensayo	Norma	Requerimientos Altitud	
		<3.000 msnm	≥3.000 msnm
Índice plástico	MTC E 111	4% máx.	2% mín.
Equivalente de arena	MTC E 114	35% mín.	45% mín.
Sales solubles	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	-----	15%

Figura 3 Requerimientos de agregado fino  
Fuente: Manual de carreteras

### Equipo:

Para la utilización de equipos se aplican las siguientes condiciones establecidas.

- Explotación y elaboración de materiales
- Preparación de la superficie existente
- Tramo de prueba
- Transporte y colocación de material
- Distribución y mezcla del material
- Compactación
- Apertura de tránsito
- Conservación
- Criterios (controles, calidad de los materiales)
- Calidad de trabajo terminado
- Ensayo de deflectometría sobre la base terminada

#### 2.3.4. Costos de mezcla asfáltica en frío

La mezcla asfáltica en frío, consiste en la colocación en una o más capas sobre una superficie preparada o debidamente imprimada, esto de acuerdo con las especificaciones técnicas de un proyecto

Materiales:

- Agregados pétreos
- Material bituminoso
- Agua
- Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el asfalto

Equipo:

- Equipo de elaboración de los agregados triturados
- Planta de asfalto
- Equipos para transportar agregados y mezclas
- Equipo para esparcir la mezcla
- Equipo de compactación

#### 2.3.5. Costos de base granular con RAP

Uno de los usos del RAP, es el agregado de base granular, lo cual al usar materiales reciclados disminuimos costos y conservamos el medio ambiente, así se puede evitar la explotación de canteras en donde extraemos material virgen, con el uso del RAP esto sería menos costoso.

#### 2.3.6. Costo de mezcla asfáltica reciclada

Toda practica de reciclaje tiene un beneficio económico ya que hoy en día se tiene un alto costo de los agregados pétreos, además se optimiza tiempos y transporte de material

Las mezclas asfálticas en frío utilizando el RAP, son una buena alternativa, ya que permiten utilizar un material reciclado, contribuyendo al desarrollo sostenible, con costos de producción inferiores a las demás mezclas asfálticas. Permite reciclar recursos naturales no renovables como son los agregados y asfalto, al tratarse de mezclas en frío se evita el alto consumo energético y los gases de efecto invernadero que provocarían las mezclas de asfalto en caliente MAC.

Técnicamente la mezcla reciclada en frío es equiparable en estabilidad, resistencia y funcionalidad comparado con las demás técnicas.

Se ahorra económicamente, cuidamos el medio ambiente y la energía.

Si la mezcla se fabrica en frío con 100% de asfalto y agregados nuevos, se tiene reducciones en los costos de producción que oscilan entre el 15% y 20% a comparación de una mezcla en caliente MAC.

Son económicas porque la producción puede alcanzar grandes tazas, con inversiones menores.

Las mezclas en frío pueden ser utilizadas en condiciones climáticas adversas, y pueden ser almacenadas por varios días.

Los materiales a utilizar son los siguientes:

Agregados pétreos

Materiales bituminosos

Puzolanas

Aditivos mejoradores de adherencia entre agregado y asfalto

Agua

Equipo:

Se contará con equipos de explotación, carga, transporte, trituración, lavado, para la mezcla de todos los ingredientes, así como para la compactación y conformación de la capa reciclada en frío, también el empleo de máquinas recicladoras.

#### 2.4. Definición de términos básicos

- **Asfalto:** Es la mezcla sólida y compacta de hidrocarburos y minerales que es empleada en la construcción de pavimentos asfálticos, cuyo principal uso es en la construcción de pavimentos flexibles.
- **Agregados:** Los agregados son muestras finas y gruesas obtenidos a partir de una cantera, que tienen un costo, también se pueden obtener al extraer los materiales que conforman el pavimento y reutilizarlos mezclados con otros productos dando origen así a lo que es el reciclaje. afirmando que el uso de pavimentos asfálticos reciclados permitirá la reconstrucción de los pavimentos envejecidos y/o deteriorados, empleando sus materiales de construcción originales. Es el producto de la mezcla de dos materiales, arena y piedra de granulometría variable, su origen puede ser natural o superficial.
- **Carpeta Asfáltica:** Es la capa que se ubica en la parte superior del pavimento, está compuesta por materiales pétreos y asfálticos.

- Estabilizadores: son los materiales encargados de estabilizar una superficie.
- Fresado: Es la acción de corte que se realiza a los pavimentos con una máquina compuesta por varios filos, llamada fresadora. El material fresado proviene generalmente de pavimentos que ya cumplieron su vida útil, ya que es posible levantar las partes defectuosas del pavimento sin afectar a las que estén en buen estado.
- Granulometría: determina cuantitativamente los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, mediante tamices de aberturas cuadradas.
- Ligante asfáltico: En pavimentación, el asfalto funciona como ligante de los agregados que les aportan resistencia estructural y textura a las capas. Los ligantes asfálticos proporcionan elasticidad al pavimento, característica por la cual los pavimentos asfálticos reciben el nombre de flexibles.
- Optimización de costos: Optimizar las diferentes variables del proceso constructivo es algo fundamental, estas variables son costos, tiempos y recursos, además de ser capaces de optimizarlos aportando calidad en la construcción. La forma de diseño de sistemas de producción persigue minimizar el desperdicio de materiales, tiempo y esfuerzo con el fin de generar la máxima cantidad posible de valor.
- Pavimento. Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general, está conformada por las siguientes capas: sub base, base y rodadura.
- Pavimento flexible: Este tipo de pavimento está formado por una carpeta asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindir de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.
- RAP: pavimento asfáltico reciclado, es el material producto de actividades de fresado o demolición de pavimentos asfálticos en servicio.
- Reciclaje de pavimentos: El reciclaje es la actividad que consiste en reutilizar los materiales de elementos ya conformados y que de alguna manera ya no cumplen con la función con la que fueron concebidos. Cuando la mezcla asfáltica alcanza su vida útil los materiales fresados mantienen sus propiedades

y valores considerables, estos materiales obtenidos se pueden emplear en una mezcla de asfalto virgen para reducir la cantidad de materiales nuevos a emplearse.

- Reutilización: la reutilización de residuos sirve para resguardar los recursos naturales, buscando nuevas alternativas para la adquisición de materia prima, para suplir las necesidades básicas y reducir la insuficiencia de área para almacenar residuos y si preservar el medio ambiente.
- Técnica: conjunto de procedimientos y recursos de que se sirve una ciencia o un arte.

## **CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS**

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis principal

Con la determinación de las técnicas de reutilización del fresado de asfalto se mejora los costos en pavimentos urbanos.

#### 3.1.2. Hipótesis secundarias

- a. La reutilización del fresado de asfalto como agregado para base granular estabilizada reduce los costos en pavimentos urbanos.
- b. La reutilización del fresado de asfalto como mezcla asfáltica en frío reduce los costos en pavimentos urbanos.

### 3.2. Variables

#### 3.2.1. Definición conceptual de las variables

Variable independiente: Fresado de asfalto (RAP)

El Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) corresponde al material recuperado de la carpeta asfáltica de un pavimento removido producto de una reconstrucción o rehabilitación. El agregado como el ligante asfáltico que conforman el RAP aún poseen la capacidad de aportar ciertas propiedades en una nueva estructura de pavimento.

Variable dependiente: Costos

El costo de pavimentos es el valor estimado que hace referencia al presupuesto, es una inversión en actividades y recursos que proporcionan un beneficio.

### 3.2.2. Operacionalización de las variables

Tabla N°1

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
VI: FRESADO DE ASFALTO (PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO)	El Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) corresponde al material recuperado de la carpeta asfáltica de un pavimento removido, por medio del fresado El agregado como el ligante asfáltico que conforman el RAP aún poseen la capacidad de aportar ciertas propiedades en una nueva estructura de pavimento.	Técnica de reciclado como agregado para base granular  Técnica de Reciclado de mezclas asfálticas en frío	Procedimiento, material recuperado y añadido, período de ejecución.	Documentos bibliográficos (tesis, libros, revistas, papers, manuales, páginas web)
VD: COSTOS EN PAVIMENTOS URBANOS	El costo de pavimentos es el valor estimado que hace referencia al presupuesto, es una inversión en actividades y recursos que proporcionan un beneficio.	Metrados, análisis de precios unitarios, presupuesto	Metrados, análisis de precios unitarios, presupuesto	Documentos bibliográficos (tesis, libros, revistas, papers, manuales, páginas web)

Fuente: Elaboración Propia

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1. Método de investigación**

El método de investigación es inductivo, porque con la información previamente obtenida de diferentes referencias, se demuestra que se cumplen las hipótesis. La orientación de nuestra tesis es aplicada, porque en base a la información estudiada se obtiene un nuevo conocimiento en las técnicas de reutilización del fresado de asfalto para que, al ser aplicadas, estas mejoren los costos.

### **4.2. Enfoque de la investigación**

El enfoque de la investigación es mixto porque es cuantitativo y cualitativo, es una investigación objetiva, basada en información que fue obtenida en base a estudios e investigaciones anteriores.

En esta investigación la fuente de información es retrolectiva, porque la información obtenida para esta investigación es de fuentes ya existentes con temas relacionados al que se toca en esta investigación.

### **4.3. Tipo de la investigación**

La investigación es de tipo aplicada, descriptiva, porque se busca describir la información obtenida en los resultados de las investigaciones anteriores, para generar un nuevo conocimiento. Además, en esta investigación tenemos por objetivo resolver el problema buscando y consolidando la información para su posterior aplicación.

### **4.4. Nivel de la investigación**

El nivel de investigación de la presente tesis es descriptivo-explicativo, porque además de describir y ordenar la información obtenida de otros estudios, también se explica todo lo obtenido para presentar información nueva como resultados de la investigación.

### **4.5. Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es no experimental, transversal y retrospectiva, porque no se realizan estudios en laboratorio para probar efectividad, es de tipo observacional y se describe y analiza las características de los datos obtenidos en previas investigaciones, además implica menos costos ya que los datos fueron obtenidos previamente por otros investigadores.

## 4.6. Población y muestra

### 4.6.1. Población

La población son todas las investigaciones nacionales e internacionales de años previos que contengan información relacionada al tema de la investigación, técnicas de reutilización del fresado de asfalto.

### 4.6.2. Muestra

El tamaño de la muestra es igual a la población.

## 4.7. 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.

### 4.7.1. Tipos de técnicas e instrumentos

La técnica a usar en esta investigación será la investigación documental consiste en buscar y recopilar información relacionado al tema y variables de investigación, que posteriormente será analizada de manera objetiva. Se consideran diversos tipos de bibliografías y referencias como manuales, libros, tesis, *papers*, etc. Se usó los resúmenes de cada tesis revisada, en dónde resaltamos lo más relevante. También con la ayuda de *drive* para ordenar la información obtenida.

### 4.7.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

La información recaudada es obtenida de fuentes confiables, paginas oficiales de universidades, páginas web oficiales gubernamentales, bibliotecas reconocidas.

### 4.7.3. Procedimientos para la recolección de datos

El procedimiento para la recolección de datos e información fue la siguiente:

- Búsqueda de información relacionada al tema y las variables de investigación a nivel nacional e internacional, mediante buscadores oficiales, como la página de RENATI, para investigaciones nacionales y Google Académico para investigaciones nacionales e internacionales.

- Orden de la información recolectada acerca del tema, en drive. Orden de acuerdo a las técnicas y los procesos de las mismas, se ubicó las que tienen los costos unitarios para desarrollar los resultados.
- Análisis de la información ordenada para posterior resumen de la bibliografía obtenida. En Word se estableció una estructura de las tesis obtenidas y revisadas.

#### 4.8. 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: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.1. Técnicas de reciclado

#### 5.1.1. Técnica de reciclado en frío

Para la técnica de reciclado en frío, según las tesis analizadas, fueron dos nacionales, de las cuales se detallan en la tabla N°2 las características más relevantes de cada una de ellas, como el % de RAP que se usó para reciclar, el aditivo usado y el porcentaje de este, así como el año al que corresponde la investigación.

Tabla N°2  
Resumen tesis reciclado en frío

	Tesis N°	Año	Aditivo estabilizante	% Aditivo	% RAP
Nacionales	1	2018	Emulsión: CSS-1h, cemento	9.00%, 1.00%	50.00%
	2	2007	Emulsión: CSS-1, cemento	6.00%, 1.00%	79.00%

Fuente: Elaboración propia

Para la tesis N°1 el proceso para el reciclado en frío es el siguiente:

El material reciclado RAP obtenido durante el proceso de fresado de la carpeta asfáltica existente, estará conformado por agregado y cemento asfáltico envejecido, es por ello que será necesario realizar ensayos de laboratorio que nos permitirán determinar las propiedades mecánicas y físicas del material reciclado obtenido. Los ensayos a realizar para el material a reciclar es el siguiente:

Análisis granulométrico: se toma una muestra de material reciclado y posteriormente se hizo el ensayo en seco. En la figura N 5 se muestra el resultado del análisis granulométrico detallado.

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	
2"	50.000	-	-	
1 1/2"	37.500	-	-	
1"	25.000	-	-	100.0
3/4"	19.000	5.3	5.3	94.7
1/2"	12.500	38.0	43.3	56.7
3/8"	9.500	19.1	62.4	37.6
1/4"	6.300	17.5	80.0	20.0
Nº4	4.750	7.0	86.9	13.1
Nº10	2.000	10.1	97.0	3.0
Nº20	0.850	2.3	99.3	0.7
Nº30	0.600	0.2	99.6	0.4
Nº40	0.425	0.1	99.7	0.3
Nº60	0.250	0.1	99.8	0.2
Nº100	0.150	0.1	99.9	0.1
Nº200	0.075	0.1	99.9	0.1
FONDO		0.1		

% Grava	:	86.9
% Arena	:	13.0
% Finos	:	0.1

Figura N 5: Resultado del ensayo granulométrico del pavimento flexible reciclado  
Fuente: Paccori (2018)

Se realizó el lavado asfáltico con tricloroetileno puro para obtener el porcentaje de cemento asfáltico (%CA) del pavimento reciclado, que fue de 6.07% y se volvió a realizar la granulometría, en la figura N 6 se observa los resultados obtenidos.

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	76.200	-	-	
2"	50.300	-	-	
1 1/2"	38.100	-	-	
1"	25.400	-	-	
3/4"	19.050	-	-	100.0
1/2"	12.700	5.8	5.8	94.2
3/8"	9.525	2.7	8.5	91.5
Nº4	4.760	24.0	32.5	67.5
Nº10	2.000	24.3	56.8	43.2
Nº40	0.426	21.3	78.1	21.9
Nº80	0.180	6.7	84.7	15.3
Nº200	0.074	5.6	90.4	9.6
FONDO		9.6		

% Grava	:	32.5
% Arena	:	57.8
% Finos	:	9.6

Cemento Asfáltico %	:	6.07
---------------------	---	------

Figura N 6: Resultado granulométrico después del lavado asfáltico  
Fuente: Paccori (2018)

Posteriormente se realizaron ensayos de granulometría para los agregados de la cantera La Gloria. En la siguiente figura se muestra el ensayo de calidad de los agregados gruesos. En la figura N 7 se muestran los resultados del agregado grueso y en la figura N 8 la de agregado fino.

AGREGADO GRUESO HUSO # 67						
Malla	Peso Rete.	% Retiene	% Ret.Acu.	% Pasa	"C" ASTM	"C" ASTM
3 1/2"	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3"	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
2 1/2"	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
2"	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	0.00	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
1/2"	2472.00	25.2	25.2	74.8	50.0	79.0
3/8"	2519.00	25.7	50.8	49.2	20.0	55.0
# 4	4275.00	43.5	94.4	5.6	0.0	10.0
# 8	522.00	5.3	99.7	0.3	0.0	5.0
# 16	12.00	0.1	99.8	0.2	0.0	0.0
# 50	18.00	0.2	100.0	0.0	0.0	0.0
Fondo	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0

Figura N 7: Granulometría del agregado grueso de la cantera La Gloria  
Fuente: Paccori (2018)

En la granulometría del pavimento flexible reciclado para reciclado en frío observamos que, para estar dentro de los rangos, se debe mezclar con agregados vírgenes, para equilibrar los agregados finos según lo que se observa en figura N 8.

TAMIZ ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	PORCENTAJE			ESPECIFICACION EMPIRICA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA TAMAÑO MAXIMO 1/2"	
			RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA			
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400						HUMEDAD	1.1 %
3/4"	19.050						PSI:	869.9 gr
1/2"	12.700						PS	gr
3/8"	9.300	0.0	0.0	0.0	100.0			
N° 4	4.760	18.2	2.1	2.1	97.9		> N° 4:	2.1 %
N°10	2.000	244.3	28.1	30.2	69.8		FINOS:	10.3 %
N° 40	0.420	370.5	42.6	72.8	27.2			
N° 80	0.177	84.2	9.7	82.4	17.6			
N° 200	0.074	63.2	7.3	89.7	10.3			
< 200	-	89.5	10.3	100.0				

Figura N 8: Granulometría del agregado fino de la cantera La Gloria  
Fuente: Paccori (2018)

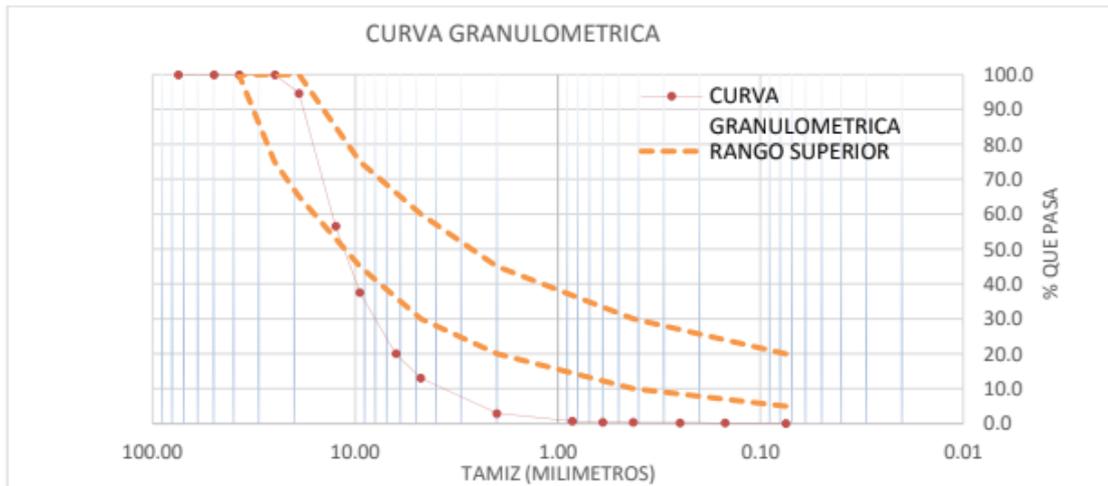


Figura N 9: Curva Granulométrica de la carpeta de material reciclado  
Fuente: Paccori (2018)

El análisis granulométrico del pavimento flexible reciclado más el agregado virgen. Este análisis es realizado para compensar los agregados pétreos con el fin de tener un buen comportamiento en las mezclas asfálticas en frío según la norma del MTC EG-2013. En la figura N 10 se observa la curva granulométrica resultado de la combinación del material reciclado asfáltico (RAP) y el agregado virgen (fino).

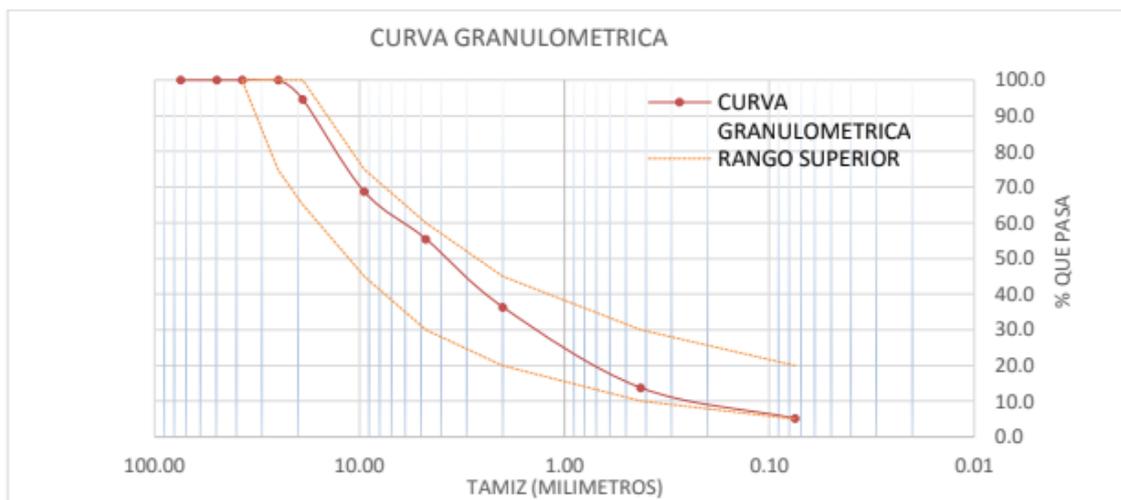


Figura N 10: Curva Granulométrica corregida del material reciclado  
Fuente: Paccori (2018)

La emulsión usada para el proyecto de investigación fue CSS-1H, emulsión catiónica de rotura lenta, ya que los materiales finos se comportan mejor con esta emulsión. La emulsión CSS-1H, contiene un 61% de mezcla asfáltica. La cantidad de emulsión se calcula mediante la siguiente fórmula:  $\%E = ((0.07 \times B) + (0.03 \times C)) \times 100/A$

Dónde:

%E: porcentaje de emulsión, A: contenido de residuo asfáltico en la emulsión CSS-1H, B: % que pasa la malla N° 4, C: 100 – B % retenido en la malla N° 4. El resultado obtenido es de % E = 6.97 %. Este porcentaje sirve de referencia para obtener el contenido óptimo de emulsión, para este caso se tomó el valor de 9% para tener una mezcla óptima.

El ensayo de recubrimiento consiste en tomar 3 muestras de la nueva dosificación y agregarle 2.5, 3 y 3.5 % de agua. En la calibración para ensayo de estabilidad - flujo Marshall, se usó la mezcla conformada por material reciclado (RAP) 50%, agregado fino virgen 49%, cemento 1% y emulsión con contenido óptimo de 9%. Toda calibración anterior se mezcló de forma manual en un recipiente hasta obtener una buena dispersión en la totalidad de la mezcla. Posterior al mezclado se colocó sobre una superficie limpia y plana la mezcla, a fin de estimar visualmente el grado de recubrimiento.

El ensayo de adherencia consiste en tomar las muestras del ensayo de recubrimiento y obtener el pesaje del material adherido a los agregados, en la figura N 11 se muestran los resultados del ensayo.

% agua	Peso inicial (gr)	peso final (gr)	% adherencia
2.5	100	98.20	98.20
3	100	98.50	98.50
3.5	100	99.20	99.20

Figura N 11: Ensayo de adherencia  
Fuente: Paccori (2018)

El ensayo de estabilidad - flujo Marshall se realizó con dos muestras. Según el manual de carreteras EG-2013, el ensayo se realizó para una mezcla en frío con una calibración propuesta, se tomó las muestras para luego conformar las briquetas, posterior se realizó la compactación con 50 golpes por cara, además se realizó el curado a temperatura ambiente durante un periodo de 24 horas. En la figura N 12 se muestran los resultados del presente ensayo. Con los resultados obtenidos, la mezcla está dentro de los criterios para el diseño de mezcla en frío

– emulsiones asfálticas, sin embargo, el flujo indica que la mezcla presenta mucha flexibilidad.

BRIQUETA N°	ESTABILIDAD (Kg.)	FLUJO (0.01")	FLUJO (mm)
1	930	26	6.50
2	844	22	5.50

Figura N 12: Resultado de ensayo estabilidad y flujo Marshall  
Fuente: Paccori (2018)

El equipo que se usó para este proyecto para la técnica de aplicación de pavimento flexible reciclado es el siguiente:

- Barredora mecánica 10 – 20 HP
- Cargador de ruedas 200 HP
- Fresadora 565 HP
- Pavimentadora sobre orugas 105 HP
- Rodillo vibratorio liso autopropulsado 101 – 135 HP
- Rodillo Neumático autopropulsado 81 – 100 HP 5.5 – 20 tn
- Camión cisterna 4 x 122 HP 1500 GAL
- Volquete 6 x 4 330 HP 15m<sup>3</sup>
- Herramientas Manuales

El personal a intervenir para la propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado.

- 1 técnico de pavimentos
- 1 operador de mezcladora
- 2 peones encargados de abastecer el material reciclado
- 1 peón encargado de abastecer el agua
- 1 peón encargado de abastecer emulsión
- 1 operador de cargador frontal
- 1 operador de rodillo liso y rodillo neumático
- 1 operador de fresadora

El proceso que se siguió para la aplicación fue el siguiente:

Al contar la vía con 2 carriles se propone realizar los trabajos cerrando 1 solo carril por cada avance de obra a fin de no incomodar con el tránsito vehicular, además se debe contar con las señales preventivas correctamente.

Se realizará el fresado de la carpeta asfáltica con una fresadora 565 HP, el fresado se hará a una profundidad de 1”.

Luego del fresado se realizará la limpieza de la superficie de la vía con una barredora mecánica 10 – 20 HP.

Se colocará una imprimación asfáltica a fin de tener una adhesión entre la base asfáltica y la nueva mezcla asfáltica.

El material fresado será transportado a través de un volquete 6 x 4 330HP 15 m<sup>3</sup>, según la elección tomada para realizar el mezclado en frío (la producción de la mezcla puede ser in-situ o en planta fija).

La mezcla será puesta en obra mediante una pavimentadora sobre orugas 105 HP a fin de tener un mejor esparcido del material, la mezcla buscará restablecer el espesor de 2” como menciona el expediente técnico.

Se deberá tener en consideración el contenido óptimo del agua en la compactación, esta se realiza con rodillo vibratorio liso.

Posterior se realizará la compactación, la compactación se realizará un rodillo vibratorio liso autopropulsado 101 – 135 HP y con el rodillo neumático autopropulsado a fin de compactar la capa superficial del pavimento, esta ayuda a la eliminación del agua y cierra las superficies porosas de la capa.

Para la tesis N°2 el proceso para el reciclado en frío es el siguiente:

Se detallan los ensayos que se realizaron para la mezcla asfáltica, además del proceso constructivo.

Los trabajos previos a la colocación de la carpeta asfáltica fueron:

El lavado de asfalto al RAP, como resultado el porcentaje de cemento asfáltico (%CA) fue de 5.73%.

En los ensayos de calidad del agregado, en la granulometría los resultados obtenidos se muestran en la figura N 13. El RAP se encuentra dentro de la especificación para este tipo de mezclas, por lo que no se requirió aporte de agregados adicionales.

Análisis granulométrico por tamizado							
Tamiz	AASHTO T-27 (mm)	Peso retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje Que pasa	Especificación Tabla N° 3.2. -C	
1 ¼"	31.250	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00		
¾"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
½"	12.500	100.20	7.09	7.09	92.91	90.00	100.00
N° 4	4.750	337.20	23.85	30.93	69.07	45.00	70.00
N° 8	2.360	302.60	21.40	52.33	47.67	25.00	55.00
N° 50	0.300	486.30	34.39	86.72	13.28	5.00	20.00
N° 200	0.075	150.90	10.67	97.39	2.61	2.00	9.00
< N° 200	FONDO	36.90	2.61	100.00	0.00		

Figura N 13: Análisis granulométrico  
Fuente: Villa (2007)

El contenido de humedad obtenido del material fue de 0.58%.

El peso volumétrico del RAP obtenido fue de 1343.98 kg/m<sup>3</sup>.

El contenido de residuo de la emulsión asfáltica es de 62% (A = 62%).

Para estimar el contenido inicial de emulsión, de los ensayos anteriores se tiene que: A = 62%, B = 69.07%, C = 30.93%, %E = 7.18 = 8%, %CA = 5.73% = 6%  
D%E = %E - %CA = 2%

El contenido tentativo de emulsión a agregar fue del 2%. Hay que resaltar que este porcentaje es una tentativa, que luego de realizar más ensayos se ajusta, esta cifra, hasta obtener la definitiva. Una vez obtenido el contenido tentativo de emulsión se procede a realizar una evaluación preliminar mediante los ensayos de recubrimiento y adherencia a la emulsión elegida para el diseño de la mezcla.

Para el ensayo de recubrimiento se tomaron 3 muestras de RAP, a las cuales se le agregó 1.5, 2.0 y 2.5% de agua respectivamente, se les adicionó 0.5% de cemento y se le agregó la diferencia del porcentaje tentativo de emulsión y el contenido de asfalto del material recuperado (D%E = 2%). Luego se mezcló de forma manual hasta obtener una dispersión suficiente en su totalidad de la mezcla. Posteriormente al mezclado se colocó sobre una superficie plana y se estimó visualmente el grado de recubrimiento. Para una mayor seguridad se procedió a evaluar la resistencia del recubrimiento de las tres mezclas, se las dejó al aire libre durante 1 hora y media para luego tomar 100 gr. de cada una y sumergirlas totalmente en agua destilada y agitarlas con una varilla de vidrio durante 60 segundos. Finalmente se colocó en una superficie plana y se evaluó

el grado de recubrimiento retenido. Las mezclas pasaron satisfactoriamente el ensayo de recubrimiento por lo que se continuó con el ensayo de adherencia. Los resultados del ensayo se muestran en la siguiente figura N 14.

% de agua	peso inicial (gr.)	peso final (gr.)	% Adherencia
1.50	100.00	99.90	99.90
2.00	100.00	99.90	99.90
2.50	100.00	99.90	99.90

Figura N 14: Resultados ensayo de adherencia  
Fuente: Villa (2007)

Como se puede apreciar las 3 mezclas cumplieron con el ensayo de adherencia, por lo que no hay problema de seguir trabajando con este tipo de emulsión.

El contenido óptimo de agua en la compactación, los datos de los contenidos y resultados del ensayo Marshall de cada tipo de mezcla se muestran en la figura N 15. Como se puede notar en la figura N, el óptimo contenido de agua en la compactación es del 2% con una pérdida por aireación de 10 gr.

	%	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
RAP		1000.00 gr				
Contenido de humedad	0.58	-5.80 gr				
Filler	0.50	5.00 gr				
D%E	2.00	20.00 gr				
% Agua		1.00%	2.00%	3.00%	4.00%	5.00%
Agua		10.00 gr	20.00 gr	30.00 gr	40.00 gr	50.00 gr
Pérdida de humedad		0.00 gr	-10.00 gr	-10.00 gr	-20.00 gr	-20.00 gr
Total		1029.20 gr	1029.20 gr	1039.20 gr	1039.20 gr	1049.20 gr
Estabilidad Marshall		365.36 kg	433.08 kg	328.41 kg	223.64 kg	186.63 kg
Flujo		0.25 cm	0.30 cm	0.33 cm	0.36 cm	0.33 cm

Figura N 15: Resumen de ensayos Marshall  
Fuente: Villa (2007)



Figura N 16: Óptimo contenido de agua  
Fuente: Villa (2007)

Debido a que las estabilidades Marshall de las muestras iniciales fueron demasiado bajas, se procedió a realizar nuevas muestras con los siguientes incrementos de emulsión: 5.0, 6.0, 7.0 y 8.0%. Se procede con la selección del contenido óptimo de emulsión, en la figura N 17 se muestran los resultados de los ensayos. De acuerdo a la figura, se puede deducir que el porcentaje más recomendable para agregar sería el de 6% de emulsión, ya que este es el que brinda una mayor estabilidad.

Ensayo	Resultado					
	3%	4%	5%	6%	7%	8%
<u>Estabilidad, kg a 72°F (22.2°C)</u> Mezclas pavimentación	477.86	698.85	754.21	809.99	653.27	471.76
<u>Vacios Totales, %</u> Mezcla compacta	4.13%	3.14%	2.72%	2.71%	2.30%	1.95%
<u>Pérdida de Estabilidad, %</u> Después de 72 horas de inmersión a 72°F (22.2°C)	43.89%	26.26%	20.54%	10.68%	6.76%	4.64%
<u>Humedad Absorbida, %</u> Después de 72 horas de inmersión a 72°F (22.2°C)	2.75%	2.39%	1.93%	1.33%	1.25%	0.54%
<u>Recubrimiento de Agregado, %</u>	cumple	cumple	cumple	cumple	cumple	cumple

Figura N 17: Resumen de resultados de diferentes mezclas  
Fuente: Villa (2007)

El lavado asfáltico del RAP dió como resultado un porcentaje de cemento asfáltico (%CA) de 9.20%.

El ensayo de calidad del agregado de RAP de diseño, empieza con la granulometría, se muestra en la siguiente figura N 18.

Análisis granulométrico por tamizado							
Tamiz	AASHTO T-27 (mm)	Peso retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje Que pasa	Especificación Tabla N° 3.2. -C	
1 1/4"	31.250	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.500	143.60	9.58	9.58	90.42	90.00	100.00
N° 4	4.750	360.90	24.08	33.66	66.34	45.00	70.00
N° 8	2.360	305.80	20.40	54.06	45.94	25.00	55.00
N° 50	0.300	464.20	30.97	85.02	14.98	5.00	20.00
N° 200	0.075	188.60	12.58	97.61	2.39	2.00	9.00
< N° 200	FONDO	35.90	2.39	100.00	0.00		

Figura N 18: Análisis granulométrico  
Fuente: Villa (2007)

El peso volumétrico que se obtuvo fue de 1081.10 kg/m<sup>3</sup>

Para la colocación de la carpeta reciclada por el método de reciclado de pavimentos en frío, el equipo y maquinaria que se utilizó para este proyecto es el siguiente:

- Cargador frontal
- Camiones de volteo para el transporte del RAP a la zona de aplicación
- Motoniveladora, para nivelar la base en que iba a ser colocada la carpeta de prueba
- Compactadora de ruedas neumáticas (12 toneladas), compacta el fondo de la capa reciclada y a su vez ayuda a la eliminación del agua y cierra la superficie.
- Compactadora de rodillo liso (05 toneladas), el cual hace que el material extendido y refinado termine por encajarse en el hueco abierto por el fresado.
- Cocina para imprimación de la base.
- Una mezcladora de 9 pies<sup>3</sup> de capacidad (tipo trompito)
- Cilindros para el abastecimiento de agua
- Equipos de laboratorio (balanza, cocina y recipientes metálicos), para poder determinar el momento en que la mezcla llega al contenido óptimo de agua en la compactación

El personal que intervino tanto en el mezclado y la colocación de la carpeta de prueba fue el siguiente:

- 1 técnico de pavimentos
- 1 operador de la mezcladora
- 2 peones encargados de abastecer la mezcladora de MAR
- 1 peón encargado de abastecer de agua la mezcladora
- 1 peón encargado de abastecer de emulsión la mezcladora
- 3 peones encargados de transportar con carretillas la mezcla al sitio de almacenamiento y posteriormente de llevar la mezcla al sitio de la colocación definitiva
- 1 operador del cargador frontal
- 1 rastrillero encargado de dar forma y nivelar la carpeta
- 1 operador de la motoniveladora

- 1 operador para el rodillo liso y el rodillo neumático

Para este proyecto se hicieron algunos ajustes en la obra. El reciclado en frío se comporta como una base estabilizada, por lo que no debería tener un contacto prolongado con los neumáticos, pues debido a su porosidad su desgaste sería prematuro. En vista que la aplicación del RAP debería llevar un tratamiento superficial encima, se decidió la incorporación de un 10% del peso del RAP, de arena gruesa para lograr una mezcla menos porosa ya que no llevará un tratamiento superficial pues no estaba contemplado en el presupuesto. Dosificación de la emulsión y del agua en sitio. Ya que el material previamente a su colocación iba a ser acopiado se decidió incorporar un 4% de agua, para así tener un tiempo más prolongado para llegar al contenido óptimo de agua en la compactación. A continuación, se muestra dos tablas con los ajustes en el diseño y dosificación para la obra:

Es importante mencionar que, para el mezclado por circunstancias ajenas a lo proyectado para la realización del tramo de prueba, el proceso de mezclado se realizó de dos maneras:

Para 1m<sup>3</sup>

Vol (m <sup>3</sup> )	Peso Vol. (kg/m <sup>3</sup> )	Peso (kg)
1.00	1.343.98	1.343.98

Materiales	Porcentajes	Peso (kg)	Peso Vol. (kg/m <sup>3</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> )	Vol. (lt)	Vol. (gln)	Bolsas (42.5kg)	Lata de aceite (18lt)	Fracción de lata	Rendimiento	PU	Precio total
MAR		1.343.98	1.343.98	1.00	1.000.00	264.20		55.56	55 2/4		7.75	7.75
Arena	10.00%	134.40	1,500.00	0.09	89.60	23.67		4.98	5	134.40 kg/m <sup>3</sup>	20.00	1.79
Agua	4.00%	53.76	1,000.00	0.05	53.76	14.20		2.99	3	14.20 gln/m <sup>3</sup>	0.33	4.63
Cemento	1.00%	13.44	1,510.00	0.01	8.90	2.35	0.32	0.49	2/4	0.32 bolsas/m <sup>3</sup>	17.00	5.38
Emulsión	6.00%	80.64	1,000.00	0.08	80.64	21.30		4.48	4 2/4	21.30 gln/m <sup>3</sup>	6.00	127.83
												<b>S/. 147.38</b>

Figura N 19: Dosificación en obra

Fuente: Villa (2007)

El primer proceso de mezclado fue el siguiente:

En la mezcladora se colocó la cantidad establecida de RAP por cada tanda, luego se procedió a agregar la arena gruesa y se dejó dos minutos aprox. que la mezcladora lo batiera, luego se agregó el cemento y se dejó dos minutos aprox. de batido, luego se incorporó el agua y se dejó dos minutos de batido. Finalmente, se le agregó la emulsión y se dejó cuatro minutos de batido

El segundo proceso de mezclado fue el siguiente:

Se procedió a homogeneizar el RAP con un cargador frontal, se agregó parte del cemento, agua, emulsión, se procedió a batir con el cargador frontal hasta obtener un color homogéneo, luego se volvió a agregar los insumos antes descritos. Finalmente se procedió a un batido con el cargador frontal hasta lograr una mezcla casi homogénea.

Para la colocación, el proceso de la colocación de la carpeta de prueba fue el siguiente:

Previamente se niveló el terreno con una motoniveladora y se le compactó tanto con el rodillo liso como el neumático, para luego imprimir toda la superficie, se procedió a colocar plantillas para obtener el espesor especificado, se transportó la mezcla con carretillas del lugar de almacenamiento hasta el sitio de la colocación. Con un rastrillero se procedió a esparcir y nivelar la carpeta, una vez que se llegó al contenido óptimo de agua en la compactación se procedió a compactar. Con un rodillo vibratorio pesado, el cual hace que el material extendido y refinado termine por encajarse en el hueco abierto por el fresado. Se usó un rodillo de neumáticos también pesado que, con baja presión de inflado, compacta el fondo de la capa reciclada y, con alta presión, ayuda a la eliminación del agua y cierra la superficie.

### 5.1.2. Técnica de reciclado para base granular

Para la técnica de reciclado para el uso del RAP como agregado para base granular estabilizada, según las tesis analizadas, que fueron dos nacionales, de las cuales se detallan en la tabla N°3 las características más relevantes de cada una de ellas, como el % de RAP que se usó para reciclar, el aditivo usado y el porcentaje de este, así como el año al que corresponde la investigación.

Tabla N°3 Resumen tesis reciclado para base granular

	Tesis N°	Año	Aditivo estabilizante	% Aditivo	% RAP
Nacionales	1	2019	Cemento	2.00%	10.00%
	2	2019	Emulsión: CSS-1h	7.00%	13.10%

Fuente: Elaboración propia

En la tesis N°1 el proceso para la reutilización del reciclado en la base granular es el siguiente:

Para el diseño de la base granular estabilizada, se tiene que tener en cuenta que este será un conglomerado de base granular, RAP y emulsión asfáltica, que se realizará en una mezcla en frío. Esta se empleará como carpeta o superficie de rodadura cuya composición comprende agregados pétreos, grueso y finos

propios de la base granular, más la adición de materiales bituminosos propios del RAP y una emulsión catiónica de rotura lenta. Esta base granular estabilizada, específicamente la de este proyecto, corresponde al tipo: Mezcla granular estabilizada con RAP y Emulsión asfáltica.

En esta investigación se ejecutaron métodos de relación y proporción, así como la óptima relación base (base granular: RAP) y emulsión asfáltica, que nos permitirá obtener una mezcla estabilizada óptima.

Para empezar los materiales a usar son los siguientes:

La base granular tiene como principal objetivo absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos, además reparte de manera uniforme estos esfuerzos a la subbase y al terreno de fundación. Las bases pueden ser granulares, estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otros materiales ligantes.

El primer paso es observar el lugar con el propósito de ubicar los puntos de excavación para tomar las muestras representativas para el estudio, y posteriormente verificar la granulometría de las muestras para encontrar y desarrollar la óptima granulometría de diseño. En este caso se extrajeron 2 muestras de la base.

El RAP es el material recuperado de un pavimento que ya cumplió su vida útil, sus características permiten reutilizarlo como parte de estructuras nuevas o en rehabilitación. El incorporar el RAP en mezclas asfálticas favorece la reducción de nuevo material, generando ahorros a nivel de costos y a su vez contribuyendo a la conservación de los recursos naturales.

El RAP que se usó en esta investigación fue obtenido de la Av. Malecón Checa en el distrito de San Juan de Lurigancho, este material fue recuperado de los trabajos de escarificación y llevado a laboratorio para los ensayos correspondientes de granulometría y contenido total de bitumen.

Se hizo el ensayo de lavado asfáltico que dio como resultado un contenido asfáltico de 60.5 gr lo que representa un 5.9% de asfalto.

Posteriormente se le hizo el ensayo granulométrico para determinar la cantidad de material grueso y fino, los resultados obtenidos fueron: Agregado Grueso 39.3 % y Agregado Fino 60.7 %.

En esta investigación se usó una emulsión asfáltica de tipo: Catiónica de rotura lenta = CSS de baja viscosidad = 1

El diseño de mezcla se debe dosificar de la siguiente manera: Base granular + RAP + Emulsión asfáltica + Agua.

Para la base granular estabilizada, se mezclan agregados de la base granular previamente ensayados y que cumplen con los requerimientos de diseño. Posteriormente se le adicionará el RAP. A esta primera mezcla se le añadirán distintos porcentajes de emulsión y agua para ir probando y encontrar la tentativa proporción del diseño final.

Se realiza el cálculo del contenido tentativo de emulsión mediante el método del instituto del asfalto. La cantidad de emulsión se calculó utilizando la siguiente fórmula:  $E = 0.032a + 0.045b + kc + K$ . Dónde: P = porcentaje de emulsión asfáltica, a = porcentaje de agregado retenido en el tamiz Nro. 10, b = porcentaje de agregado que pasa el tamiz Nro. 10 y se retiene en el tamiz Nro. 200, c = porcentaje de agregado que pasa el tamiz Nro.200.

El porcentaje de emulsión asfáltica es de 5.55%, se tomará este como base para determinar el porcentaje de emulsión óptimo. Se obtuvo 5.8% de humedad de la base granular en estudio.

Mediante el ensayo Proctor modificado, en la figura N 20 se indica la relación DENSIDAD SECA vs HUMEDAD que se le practico a la base granular.

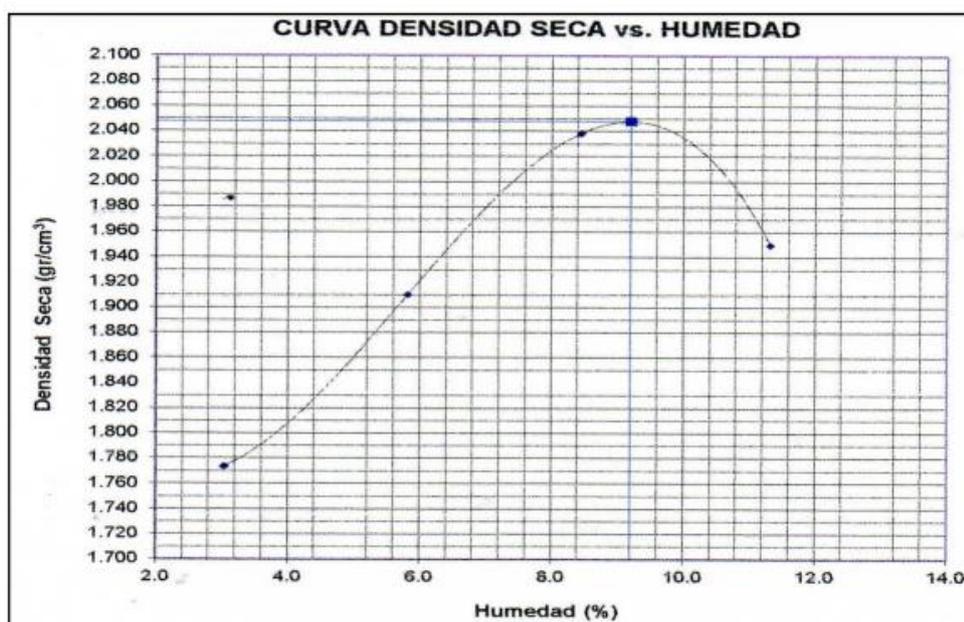


Figura N 20: Curva densidad seca vs humedad  
Fuente: Bereche & Ríos (2019)

En la figura del ensayo Proctor modificado, se obtienen que la base granular consigue su máxima densidad seca con un 9.2% de humedad.

CBR al 100 % de la MDS: 34.5

CBR al 95 % de la MDS: 23.3

En este diseño la cantidad de emulsión no varía, para llegar al óptimo contenido de humedad se controlará la cantidad de agua.

Ahora se procede a estimar combinaciones tentativas de base granular + RAP. Se tiene en cuenta que el Manual de Carreteras del MTC (2013) nos indica que no se de usar más del 50% de materiales reciclados en la conformación de nuevos diseños de infraestructura vial.

Se elaboraron 3 series con combinaciones de (Agregado + RAP) de 75%-25%, 80%-20%, y 85%-15%, todas con cantidad de emulsión asfáltica distinta, teniendo en cuenta el resultado previo de 5.55%.

Según el ensayo Marshall el óptimo contenido de emulsión asfáltica es 7%.

Se trabajará con ese porcentaje de emulsión para las 3 series de dosificación (base granular + RAP). Se termina por escoger el diseño de serie 80-20 con 7% de emulsión quien tiene mejores ventajas económicas sin dejar de tener un óptimo desempeño en sus propiedades. En la figura N 21 se muestran los parámetros de la base granular con esa dosificación.

<b>CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA</b>	<b>RESULTADO</b>
Nº De golpes en cada cara	50 golpes
Estabilidad Marshall (kg)	1025
Flujo (mm)	3.6
Absorción de asfalto (%)	0.1
Relación Estabilidad / Flujo (kg/cm)	2282.5
Índice de compactibilidad	no registra
Temperatura de la mezcla	25° C

Figura N 21: Parámetros obtenidos de base granular estabilizada serie 80-20  
Fuente: Bereche & Ríos (2019)

Según la tabla contenido asfáltico debe de ser 4.2 % y el óptimo contenido de RAP debe ser el 20 %. Se afirma que una base granular mezclada con RAP y emulsión asfáltica cumple con los parámetros establecidos y estimados en las normas para mezclas bituminosas.

<b>AGREGADOS Y COMPONENTES</b>	<b>DISEÑO FINAL</b>
Grava	35%
Arena	39.2%
Reciclado asfáltico de pavimento RAP con 6% de asfalto	13.1%
Emulsion asfáltica cationica de rotura lenta (CSS-1)	7%
Humedad	5.7%
<b>TOTAL</b>	<b>100.0%</b>

Figura N 22: Dosificación final de la base granular  
Fuente: Bereche & Ríos (2019)

En la figura N 22 se muestra la dosificación final de la mezcla.

Para la tesis N°2 el proceso del uso del RAP para base estabilizada es el siguiente:

La transformación del suelo existente para la obtención de capas que tengan una alta capacidad estructural o el reciclado con cemento de pavimentos que se encuentran deteriorados con ejemplos de economía circular. En ambos casos estas materias primas utilizadas son las existentes in situ, reduciendo la generación de residuos y evitando la extracción de recursos naturales. Lo cual provoca menos residuos, materiales y transportes lo cual implica ventajas tanto ambientales y económicas.

La estabilización de suelos con el uso de cemento portland tipo I, es una técnica respetuosa con el medio ambiente y económica que permite convertir el suelo de baja calidad, en una capa estructural con una elevada capacidad de carga. Esta técnica es utilizada en pavimentos, terraplenes, ferrocarriles, etc. Los suelos que contienen una plasticidad elevada se pueden tratar in situ para mejorar sus características geotécnicas, y así poder aumentar su compacidad.

A continuación, se detalla el procedimiento para el reciclado de pavimentos asfálticos. Se desarrolló una serie de pasos necesarios para un correcto procedimiento de reciclado en pavimentos asfálticos.

- a) Verificación visual (fallas, drenajes, tránsito, clima)
- b) Investigación del estado del pavimento, mediante calicatas (perfilómetro láser, y diamantinas)
- c) Verificación de espesores para determinar sectores homogéneos, diferentes diseños. Hasta 40 cm.
- d) Verificación del estado de la sub rasante, ensayos de capacidad de soporte CBR, límites, humedad, granulometría.

Para el diseño de Mezcla:

- a) Agregados recuperados: RAP + base granular,
- b) Ubicación de las poleas de la recicladora 100, 127, 150, 190 RPM, determinar granulometría. % finos > 5 %,
- c) Límites: si IP > 10, use cal. < 1.5, % cemento < 1.0 % máximo,
- d) Caracterización del asfalto: Determinar propiedades del asfalto, Vida media y razón de expansión
- e) Temperatura de trabajo: 160 +/- 5 o C.
- f) Ahorro de combustible.
- g) Diseño de mezcla en laboratorio: Efectuar ensayos con diferentes porcentajes de agua, asfalto y cemento, briquetas y se ensayan, húmedas y secas.

El método de trabajo de reciclado in situ de pavimentos con cemento Portland Tipo I. Los pavimentos asfálticos de la red vial se deterioran debido al envejecimiento, las cargas procedentes del tráfico de vehículos pesados, las condiciones climáticas y el contacto de elementos líquidos como el agua que provienen de derrames o desbordes de camiones cisternas, de canales o de ríos. Los daños asociados (deformaciones, baches, fisuración, roderas, etc.) pueden afectar a la capa de rodadura o a toda la estructura del pavimento, si bien el deterioro superficial suele ser un indicador de defectos estructurales profundos. La conservación adecuada de un pavimento asfáltico es una medida eficaz para evitar o retrasar el deterioro, sin embargo, si existe falla estructural la única

opción es corregirlo mediante una técnica de reparación las cuales son las siguientes:

Reconstrucción completa de la sección de pavimento.

Fresado y reposición de la capa de rodadura.

Refuerzo del pavimento existente mediante la extensión de nuevas capas.

Reciclado in situ con cemento o con conglomerantes hidráulicos.

Para la elección correcta de la técnica de mantenimiento o de rehabilitación se debe tener en cuenta criterios como son: duración de los trabajos a realizarse, costo global, seguridad y salud de los trabajadores, molestias a terceros, durabilidad e impactos sociales y medioambientales.

El reciclado de pavimentos asfálticos in situ con cemento portland tipo I ofrece ventajas considerables en relación a estos criterios, ya que combina funcionalidad, competitividad y respeto al medio ambiente.

En el reciclado de pavimentos se utiliza el fresado para el mantenimiento periódico y en los procesos de rehabilitación por reciclado. De esta forma se retiran capas asfálticas superficiales deterioradas y envejecidas, a fin de facilitar la reparación de las capas asfálticas inferiores y/o disminuir la deformación transversal como es el ahuellamiento.

En la figura N 23 se muestra el proceso constructivo de un reciclado in situ con una recicladora Terex RS900 y una recicladora Wirtgen respectivamente.



Figura N 23: Recicladora Terex y recicladora Wirtgen  
Fuente: Crispín & Helguero (2019)

El proceso de base con cemento portland tipo I se detalla a continuación:

Se llama estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, y el resultado es un pavimento asfáltico estable, capaz de soportar los efectos de tránsito y condiciones climáticas.

Esta técnica de estabilización de base consiste en la construcción de una capa de base, constituida por material adicionado totalmente o resultante de la escarificación de la capa superficial existente, o una mezcla de ambos, estabilizados con cemento portland tipo I, de acuerdo a las dimensiones, alineamientos y secciones indicados en los documentos del proyecto, el material podrá provenir de la capa superficial existente, o ser un suelo natural proveniente de excavaciones o zonas de préstamo, o agregados locales de baja calidad, o escorias, o mezclas de ellos, el material debe estar libre de materia orgánica o de sustancias que puedan perjudicar el correcto fraguado del cemento. El material cumplió los requisitos generales para la construcción de bases estabilizadas con cemento portland que se indican en la siguiente figura N 24.

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
<b>Limpieza</b>		
Límite líquido, % máximo . Nota 1	E - 125	35
Índice de plasticidad, % máximo . Nota 1	E - 125 E - 126	15
<b>Reactividad</b>		
Proporción de sulfatos del material combinado, expresada como $SO_4^{=}$ , % máximo.	E-233	0.5

Figura N 24: Requisitos de los materiales  
Fuente: Crispín & Helguero (2019)

Esta técnica es de uso frecuente y consistente en agregar cemento portland en proporciones de 7% a un 16% por volumen de mezcla. Al mejorar un material con cemento portland se piensa principalmente en aumentar la resistencia, pero también disminuye la plasticidad, es muy importante para que se logren estos efectos el porcentaje máximo de material orgánico debe ser 34%.

Casi todos los suelos que encontramos pueden estabilizarse con cemento excepto los suelos que contengan mucho porcentaje de materia orgánica o los suelos de arcilla o limo requerirán mayor porcentaje de cemento para estabilizar y así lograr los resultados esperados. La capa que se estabiliza tiene un espesor de 10 a 15 cm.

Hay que tomar en cuenta las aptitudes intrínsecas del suelo para la estabilización como son la granulometría, lo que implica que los suelos a mejorarse no deben contener piedras de tamaño superior a 60 mm (el porcentaje

que pasa por el tamiz #200 sea menor del 50%) y la plasticidad lo que determinó la calidad de las arcillas estableciendo un Límite Líquido menor de 50% (-40%) y un Índice de Plasticidad menor de 25% (-18%).

El éxito de la estabilización con cemento depende de 3 factores:

Contenido apropiado de cemento

Contenido apropiado de humedad

Adecuada compactación

Se detallan los ensayos que se realizarán. El primer paso a realizarse es la identificación del suelo y realizar sondeos para determinar el tipo de suelo, ya que cada tipo de suelo requiere diversas dosificaciones de cemento.

Determinación del contenido mínimo de cemento y la humedad óptima de compactación, con lo siguiente: Se toma una muestra de suelo, se seca y se pulveriza hasta que pase por el tamiz #4 para los suelos finos y se mezcla con diferentes contenidos de cemento (entre 8% y 16% por volumen).

Para cada contenido de cemento se preparan 4 probetas compactadas a densidad máxima, dos para la prueba de humedad y secado y dos para la prueba de resistencia a la compresión a diferentes edades. Todas se dejan fraguar en cámara fría por 7 días. Pasados los 7 días, las dos probetas destinadas a la prueba de humedad-secado se sumergen en agua a temperatura ambiente por 5 horas, se sacan y secan al horno a 70oC por 42 horas.

Este proceso de inmersión y secado se repite hasta un máximo de 12 veces y luego de cada ciclo una de las probetas se pesa y se le determina el grado de absorción a la otra, se limpia pasándole un cepillo metálico enérgicamente, eliminando todo el material suelto y luego de pesa obteniéndose el porcentaje de material disgregado después de cada ciclo.

Las probetas destinadas a la prueba de compresión se someten a la misma después que éstas tengan de uno a cuatro días de curado. Siempre la resistencia debe aumentar con el tiempo.

La dosificación mínima de cemento será la que cumpla con lo siguiente: La pérdida máxima de material disgregado durante los 12 ciclos de inmersión secado será: 14% para los suelos A-1, A-2-4, A-2-5 y A-3 10% para los suelos A-4, A-5, A-2-6 y A-2-7 7% para los suelos A-6 y A-7, la resistencia a la compresión debe aumentar con la edad y con el contenido de cemento.

El cambio volumétrico en cualquier momento de la prueba de humedad-secado no debe ser superior a un 2% del volumen inicial.

El contenido de humedad en todo tiempo no debe ser mayor que el necesario para llenar los vacíos de la probeta en el momento de ser fabricada.

El proceso constructivo a seguir para el proyecto fue el siguiente:

Se procedió a limitar la zona de trabajo de acuerdo con la disponibilidad de equipos de compactación, debido a que cada tramo deberá terminarse antes de que la mezcla comience a ganar resistencia. Se despeja la zona del camino de piedras grandes, plantas y materia orgánica, se excava hasta encontrar terreno pavimento que servirá de apoyo a la base. La resistencia del cimiento determinada deberá contar con un CBR de al menos 20%.

El cemento para la estabilización en esta investigación será Portland tipo I. La distribución del cemento se puede hacer mecánicamente, pero la forma más adecuada para lograr una distribución uniforme es haciéndolo manualmente y utilizando el cemento en fundas no a granel.

Conviene comenzar la distribución del cemento a una hora del día en que la temperatura no sea inferior a los 5oC y se espere que vaya en aumento; se hará de tal modo que la cantidad de cemento por unidad de superficie responda aproximadamente a la dosificación establecida. Se agrega de acuerdo a un porcentaje por volumen entonces, podemos determinar el volumen de suelo a estabilizar en cada tramo con la siguiente fórmula:

$V = L \times A \times E$ , donde: V = el volumen del suelo a estabilizar, L = la longitud del tramo, A = el ancho de la franja, E = el espesor de la capa

Conocido el volumen de suelo lo multiplicamos por el porcentaje de cemento y obtenemos el volumen total de cemento.

Conocida la cantidad de fundas de cemento a usar el área sobre la que se va a distribuir entonces podemos hacer la distribución, colocando las fundas equidistantes una de otra. Luego se esparce el cemento de forma uniforme y se procede a mezclar. La mezcla deberá ser homogénea y para lograrlo se debe pasar varias veces el escarificador hasta la profundidad deseada.

Hay dos tipos de mezcla: Mezcla en Seco y Mezcla Húmeda.

A. La Mezcla Seca consiste en una vez distribuido el cemento se procede a mezclarlo con el suelo hasta lograr la homogeneidad requerida.

B. La Mezcla Húmeda es la más usada y es en la que a la mezcla se le adiciona agua.

El agua es un elemento esencial para hidratar el cemento y para facilitar la compactación, ésta al entrar en contacto con el cemento en poco tiempo se producirá una reacción química y desprendimiento de calor; esto a su vez provocará evaporación del agua incorporada, de modo que para lograr mantener la humedad óptima de compactación a la mezcla se agrega un 3% de agua adicional al porcentaje óptimo obtenido en laboratorio para este tipo de suelo.

El agua debe ser limpia y estará libre de materia álcalis y otras sustancias deletéreas. Su pH, medido según norma NTP 339.073, deberá estar comprendido entre 5,5 y 8,0 y el 48 contenido de sulfatos, expresado como  $SO_4 =$  y determinado según norma NTP 339.074, no podrá ser superior a 3.000 ppm, determinado según la norma NTP 339.072. En general, se considera adecuada el agua potable y ella se podrá emplear sin necesidad de realizar ensayos de calificación antes indicados. (Manual de carreteras, 2013)

Inmediatamente se comienza la consolidación de la capa formada hasta lograr una densidad igual cuando menos al Proctor.

La compactación se realiza partiendo de los bordes hacia en centro excepto en las curvas con peralte. Durante la compactación debe mantenerse el contenido de agua dentro de los límites.

Una vez completada la compactación se procede a la perfilación la superficie dejando la pendiente transversal o bombeo deseada, luego se da un par de pasadas de un rodillo liso de 3 a 12 toneladas, dependiendo del tipo de suelo.

El agua es muy importante en el proceso de endurecimiento del cemento; por lo tanto, debemos preservarla evitando su evaporación, para ello, se debe hacer un riego asfáltico en proporción de 0.15 a 0.30gls/m<sup>2</sup>.

En el desarrollo del proyecto se siguió el proceso:

Ensayos geotécnicos para base convencional.

Para los ensayos geotécnicos se utilizó los materiales de la cantera La Capitana que está ubicada en Sara Oro Alto - Cajamarquilla Lurigancho - Chosica gracias a la colaboración de la empresa SEOING, se pudo recoger material para realizar los siguientes ensayos, como se muestra en las figuras.

Material o producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia (1)	Lugar de muestreo
Afirmado	Granulometría	MTC E 204	C 136	T27	1 cada 750 m <sup>3</sup>	Cantera (2)
	Límites de Consistencia	MTC E 111	D 4318	T89	1 cada 750 m <sup>3</sup>	Cantera (2)
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T96	1 cada 2.000 m <sup>3</sup>	Cantera (2)
	CBR	MTC E 132	D 1883	T193	1 cada 2.000 m <sup>3</sup>	Cantera (2)
	Densidad-Humedad	MTC E 115	D 1557	T180	1 cada 750 m <sup>3</sup>	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	D 1556 D 2922	T191 T238	1 cada 250 m <sup>3</sup>	Pista

Figura N 25: Fotografías de ensayos realizados  
Fuente: MTC (2013)

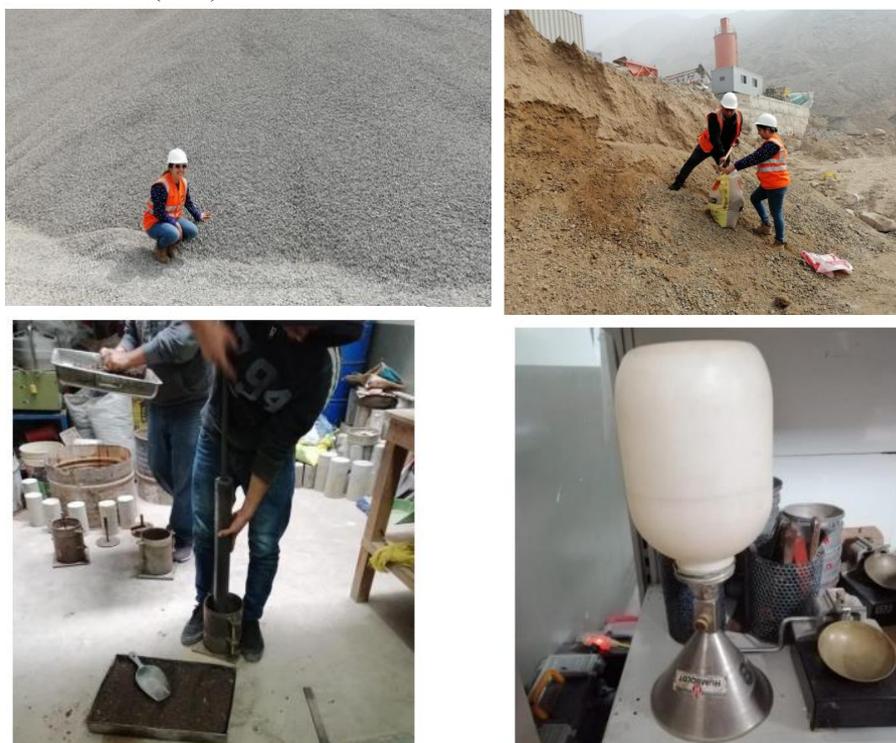


Figura N 26: Ensayos de frecuencias para base convencional  
Fuente: Crispín & Helguero (2019)

Ensayos geotécnicos para base estabilizada con cemento portland tipo I y RAP  
Para los ensayos geotécnicos se utilizó materiales de la cantera SEOING ubicada en Sara oro alto en el poblado de Cajamarquilla en Lurigancho - Chosica. Se realizaron ensayos de granulometría, CBR con diferentes dosificaciones en esta tesis hemos utilizado el 89% - 88% y 87% de agregado, estos varían por los cambios de dosificaciones de cemento que utilizaremos y

veremos más adelante. Adicionalmente hemos usado el 10% de asfalto reciclado del fresado de un tramo de la obra en nuestras 3 dosificaciones.

89% agregados + 10% RAP + 1% cemento portland tipo I

88% agregados + 10% RAP + 2% cemento portland tipo I

87% agregados + 10% RAP + 3% cemento portland tipo I

Se realizaron los ensayos de la carpeta asfáltica utilizando materiales de la cantera SEOING ubicada en Sara oro alto Cajamarquilla Lurigancho Chosica.

Los diferentes ensayos son:

- Ensayos de agregados para carpeta asfáltica, los cuales está dividido en agregado fino y grueso
- Diseño de Mac según Marshall
- Control de producción de mezcla asfáltica, será Mac 2 ya que nuestra carpeta es de 2”

A continuación, se muestra fotografías de la cantera y laboratorio Geocontrol, dónde los investigadores realizaron sus ensayos.



Figura N 27: Fotografías de los ensayos  
Fuente: Crispín & Helguero (2019)

Características de los terrenos de estudio con base convencional

La Municipalidad de Lima Metropolitana programó la prestación del “Servicio de Rehabilitación de Pavimentos en las Vías Metropolitanas”, por el grave deterioro del pavimento existente en la Av. Separadora Industrial, entre la Carretera Central y la Av. La Molina, lo cual es necesario la rehabilitación de la Av. Separadora Industrial, la misma que consta del corte y demolición de carpeta asfáltica, excavación de base, conformación y compactación de sub rasante, reposición de base, eliminación de material excedente, imprimación asfáltica y colocación de una carpeta asfáltica de 2”. La situación actual de la zona a tratar fue un deterioro total en donde existían fallas superficiales en zonas puntuales.

#### Control y Ejecución de Obra de Base Convencional

##### Determinación de la fórmula de trabajo

La fórmula de obra para cada tipo de trabajo debe cumplirse durante todo el proceso constructivo de cada tramo homogéneo en la obra de rehabilitación de la Av. Separadora Industrial. Este concepto tiene vigencia siempre que se mantengan las características de los materiales que componen la mezcla. Las tolerancias admisibles según sus características, está en la figura N 28. Cada vez que cambie alguno de los materiales que la integran o se excedan sus tolerancias de calidad, su composición debe ser reformulada.

TOLERANCIAS ADMISIBLES SOBRE LA FORMULA DE OBRA			
Características		Unidad	Tolerancia Máxima
Granulometría del material reciclado	Tamaño máximo	% sobre el peso seco del material a reciclar	0
	> 4 mm		±6
	≤ 4 mm		±4
	75 µm (incluido el ligante)		±2
Cemento Pórtland o Cal hidratada			±0.5
Humedad de compactación (agua total)		% respecto de la óptima	-1.5 +2.0

Figura N 28: Tolerancias admisibles  
Fuente: Crispín & Helguero (2019)

Se realizó el estudio de suelos correspondiente para ver el tipo y calidad del mismo para la realización del proyecto de rehabilitación en la avenida Separadora Industrial, lo cual a una profundidad de:

- A una profundidad de 0.05m se pudo observar en la mayoría de las calicatas ensayadas a una capa asfáltica en mal estado.
- A una profundidad de 0.25m (M – 1), se observa una capa de material tipo afirmado en regular estado, material anguloso en color beige.

-A una profundidad de 1.50 m las muestras material anguloso color beige.  
En promedio, se mostró un suelo natural grava limosa con arena de color beige medianamente densa, material ligeramente húmedo 3.8% y gravas de hasta 4” de diámetro.

Se efectuó sondeos de la subrasante a profundidad de 1.30 m – 1.50 m en donde determinó:

-El nivel freático en la zona de excavación

-El tipo de suelo predominante para fines de fundación

Conforme a los resultados del análisis de suelos que se realizó es necesario ejecutar un tratamiento de la subrasante de la vía, para completar toda la estructura de pavimento correspondiente a la base, sub-base y superficie de la rodadura. Sub-base alcanzó como mínimo el 95% de su M.D.S., para el mismo se deberá efectuar, el escarificado, removiendo el suelo con un debido humedecimiento y compactarlo.

El diseño que tuvo este tipo de pavimentos, con capas de base y sub-base, tiene la función de contribuir en la capacidad de carga del pavimento. La base debe tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie que vendrá sobre ella y trasmitirla, a un nivel de esfuerzo adecuado, a la capa siguiente que vendrá a ser el terreno de fundación.

En el diseño se utilizó una base tipo afirmado, que presente una gran estabilidad, función principal de la fricción interna y cohesión de los materiales a utilizar.

Las características mínimas necesarias para la base es tener un CBR mínimo al 98% de su M.D.S. (siendo preferible que este llegue al 100%),

Para la determinación del espesor del pavimento se tendrán que determinar los siguientes parámetros:

-Valor relativo de soporte de diseño (CBR)

-Determinación del EAL

-Tasa de crecimiento a consolidarse (rc): 5% (con la ejecución del proyecto).

-Período de diseño: 04 años (incluye mantenimientos rutinarios y periódicos

Para que se lleve a cabo la obra se tuvo en cuenta ciertos parámetros como el método AASHTO 93.

Secuencia de obra de base estabilizada con cemento portland tipo I y RAP

Esta tesis muestra el proceso de ejecución de una estabilización de base usando el cemento portland tipo I y la adición de RAP, partiendo de un pavimento asfáltico convencional.

Se empezó fresando el pavimento asfáltico envejecido, conducido a través de volquetes hasta el punto de acopio de reciclado destinado por el subcontratista. Mostramos la comparación de pavimento colocado sin fresar y otro alisado después del fresado en la Figura N 20.



Figura N 29: Diferencia entre pavimento fresado y sin fresar

Fuente: Don Brock (2011)

La carpeta asfáltica existente es de 2” y es fresada por una moderna fresadora Wirtgen. El 90 % se llevará a la planta en frío de SEOING para ser tratada, y el 10% será reutilizado, según nuestra propuesta, en el tramo destinado de la obra.

Posteriormente, el RAP, el cemento portland tipo I y la base deteriorada se muelen con la recicladora y vemos qué dosificación de cemento y agua se necesita para estabilizarla.

Normalmente se hace un cuadrillado y se ve que para cada metro cuadrado se necesita una bolsa de cemento Portland tipo I. Luego de esto se mezcla en la recicladora y viene el rodillo pata de cabra que compacta la mezcla. Después viene la motoniveladora que le dará el alineamiento al pavimento. Entra el rodillo doble rola y, finalmente, el rodillonormal antes de imprimir y asfaltar.

Proceso para la estabilización de la base con cemento Portland y reciclado del 10% de la carpeta de rodadura.

Resumen del método para el saneamiento íntegro de la calzada en 5 pasos:

- Fresado del asfalto
- Esparcimiento de cemento Portland tipo I y RAP

- Estabilización de la Base
- Creación y colocación de la carpeta de rodadura
- Construcción de la capa superficial (Riego de sello)

A continuación, se nombrarán las maquinarias que se usa regularmente para el procedimiento de un reciclado en un pavimento asfáltico, como la Fresadora, gracias a ella obtenemos el RAP, También se usa la Recicladora Terex RS600, adicionalmente el rodillo pata de cabra, la motoniveladora en las diferentes tipos de rodillos lisos y el rodillo neumático. Con todas estas maquinarias fresaremos, estabilizaremos, compactaremos y nivelaremos el nuevo pavimento asfáltico.

## 5.2. Presentación de resultados

### 5.2.1. Costos de reciclado en frío

De acuerdo a las tesis revisadas, se procedió con el análisis de 2 tesis nacionales y 1 tesis internacional para este método. A continuación, se detallan los presupuestos de las investigaciones revisadas.

En el análisis de la tesis N°1 que es el trabajo de investigación propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial Pachacamac del año 2018. En la tabla 8 se detalla el presupuesto de un pavimento flexible reciclado en frío.

Tabla N°3  
Presupuesto pavimento flexible reciclado en frío

ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PU	PARCIAL
1	OBRAS PROVISIONALES				2,000.00
1.1	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	GLB	1.00	2,000.00	2,000.00
2	MOVIMIENTO DE TIERRA				1,625.00
2.1	DEMOLICION Y REMOCION DEL PAVIMENTO EXISTENTE (CON FRESADORA A 1")	M2	250.00	6.50	1,625.00
3	PAVIMENTOS				3,061.75
3.1	IMPRIMACION	M2	250.00	2.12	530.00
3.2	REPOSICION DE CARPETA ASFALTICA CON MEZCLA DE ASFALTO RECICLADO EN FRIO	M3	12.50	202.54	2,531.75
4	TRANSPORTE				582.00
4.1	TRANSPORTE DE RECICLADO ASFALTICO	M3/KM	75.00	7.76	582.00
5	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL				533.94
5.1	SEÑALES PREVENTIVAS	UND	3.00	177.98	533.94
COSTO DIRECTO					7,802.69
GASTOS GENERALES 10%					780.27

UTILIDAD 10%	780.27
SUB TOTAL	9,363.23
IGV 18%	1,685.38
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>11,048.61</b>

Fuente: Paccori (2018)

El costo total del presupuesto es de 11,048.61 soles. En la tabla 9 se detalla el presupuesto de un pavimento flexible en caliente.

Tabla N°4  
Presupuesto pavimento flexible en caliente

ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PU	PARCIAL
1	OBRAS PROVISIONALES				2,000.00
1.1	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	GLB	1.00	2,000.00	2,000.00
2	MOVIMIENTO DE TIERRA				1,625.00
2.1	DEMOLICION Y REMOCION DEL PAVIMENTO EXISTENTE (CON FRESADORA A 1")	M2	250.00	6.50	1,625.00
3	PAVIMENTOS				4,385.13
3.1	IMPRIMACION	M2	250.00	2.12	530.00
3.2	REPOSICION DE CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE 2"	M3	12.50	308.41	3,855.13
4	TRANSPORTE				582.00
4.1	TRANSPORTE DE RECICLADO ASFALTICO	M3/KM	75.00	7.76	582.00
5	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL				533.94
5.1	SEÑALES PREVENTIVAS	UND	3.00	177.98	533.94
COSTO DIRECTO					9,126.07
GASTOS GENERALES 10%					912.61
UTILIDAD 10%					912.61
SUB TOTAL					10,951.29
IGV 18%					1,971.23
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>					<b>12,922.52</b>

Fuente: Paccori (2018)

Al comparar los costos obtenidos en los presupuestos, el de reciclado en frío es de 11,048.61 soles y el de un pavimento convencional en caliente es de 12,922.52 soles, lo cual nos da una diferencia de 1,873.91 soles. En porcentaje representa un ahorro de 14.5% con respecto a un pavimento convencional en caliente.

Tesis N°2: Según el trabajo de investigación Reciclado in situ en frío de pavimentos empleando emulsiones asfálticas: aplicación: colegio FAP Manuel Polo Jiménez, del año 2007.

A continuación, en la tabla 10, se detalla el presupuesto mediante el reciclado en frío.

Tabla N°5

## Presupuesto reciclado de pavimento en frío con emulsión asfáltica

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	PRECIO	PARCIAL	TOTAL
01.00	OBRAS PROVISIONALES MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE					2,000.00
01.01	EQUIPOS	GLB	1.00	2,000.00	2,000.00	
02.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS DEMOLICION Y REMOCION DEL PAVIMENTO EXISTENTE					27,604.04
02.01	(CON FRESADORA A 2")	M2	6,000.00	4.60	27,604.04	
03.00	PAVIMENTO					143,472.25
03.01	IMPRIMACION	M2	6,000.00	1.78	10,703.52	
03.02	BASE ASFALTICA RECICLADA EN FRIO (CON MEZCLADORA)	M3	360.00	272.96	98,266.39	
03.03	RIEGO DE LIGA	M2	6,000.00	1.18	7,092.48	
03.04	TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA	M2	6,000.00	4.57	27,409.86	
04.00	TRANSPORTE					3,487.01
04.01	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA EN FRIO PARA D<=1KM	M3-KM	450.00	7.75	3,487.01	
05.00	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL					1,386.85
05.01	SEÑALES PREVENTIVAS	UND	10.00	138.69	1,386.85	
06.00	PROTECCION AMBIENTAL RECUPERACION AMBIENTAL					21,996.16
06.01	EN AREAS AFECTADAS	M2	400.00	54.99	21,996.16	
						COSTO DIRECTO (S/.) 199,946.31
						GASTOS GENERALES FIJOS (7.00%) 13,996.24
						GASTOS GENERALES VARIABLES (13.00%) 25,993.02
						UTILIDAD (10.00%) 19,994.63
						SUB TOTAL 259,930.21
						I.G.V. (19.00%) 49,386.74
						TOTAL DE LA PROPUESTA ECONOMICA (S/.) 309,316.95
						TOTAL DEL PRESUPUESTO EN DOLARES /KM (S/. 3.22) 96,061.16

Fuente: Villa (2007)

En la tabla 11 se detalla el presupuesto de un pavimento asfáltico en caliente.

Tabla N°6

## Presupuesto pavimento asfáltico en caliente

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	PRECIO	PARCIAL	TOTAL
01.00	OBRAS PROVISIONALES MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE					2,000.00
01.01	EQUIPOS	GLB	1.00	2,000.00	2,000.00	
02.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS DEMOLICION Y REMOCION DEL PAVIMENTO EXISTENTE					54,981.21
02.01	(CON BULLDOZER)	M2	6,000.00	9.16	54,981.21	
03.00	PAVIMENTO					122,365.01

03.01	IMPRIMACION CARPETA ASFALTICA EN	M2	6,000.00	1.78	10,703.52		
03.02	CALIENTE	M3	360.00	310.17	111,661.49		
04.00	TRANSPORTE TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE					6,253.81	
04.01	PARA D<=1KM	M3-KM	450.00	7.75	3,487.01		
04.02	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE PARA D>1KM	M3-KM	0.00	1.55	0.00		
04.03	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE DE CORTE D<=1KM	M3-KM	540.00	5.12	2,766.80		
04.04	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE DE CORTE D>1KM	M3-KM	0.00	1.96	0.00		
05.00	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL					1,386.85	
05.01	SEÑALES PREVENTIVAS	UND	10.00	138.69	1,386.85		
06.00	PROTECCION AMBIENTAL ACONDICIONAMIENTO DE EXCEDENTES EN ZONAS DE					40,890.45	
06.01	BOTADEROS	M3	540.00	34.99	18,894.29		
06.02	RECUPERACION AMBIENTAL EN AREAS AFECTADAS	M2	400.00	54.99	21,996.16		
						COSTO DIRECTO (S/.)	227,877.34
						GASTOS GENERALES FIJOS (7.00%)	15,951.41
						GASTOS GENERALES VARIABLES (13.00%)	29,624.05
						UTILIDAD (10.00%)	22,787.73
						SUB TOTAL	296,240.54
						I.G.V. (19.00%)	56,285.70
						TOTAL DE LA PROPUESTA ECONOMICA (S/.)	352,526.24
						TOTAL DEL PRESUPUESTO EN DOLARES /KM (S/. 3.22)	109,480.20

Fuente: Villa (2007)

En el presupuesto de pavimento reciclado en frío observamos que el costo total es de 309,316.95 soles, mientras que en el de pavimento convencional en caliente es 352,526.24 soles. Existe una diferencia de 43,209.29 soles, en porcentaje es de 12.26%.

#### 5.2.2. Costos de base granular estabilizada

Tesis N° 1: Diseño de base granular estabilizada con incorporación de reciclado asfáltico de pavimento y emulsión asfáltica CSS-1 en vía Los Frutales Paraíso Del Valle Huarochirí, del año 2019.

Seguido en la tabla 12 se muestra el presupuesto para la construcción de una carpeta asfáltica convencional.

Tabla N°7

## Presupuesto del costo total de una carpeta asfáltica convencional

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
1.00	OBRAS PROVISIONALES				
1.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	GL	1.00	15,000.00	15,000.00
2.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2.01	RECONFORMACION BASE GRANULAR NIVELACION Y COMPACTACION DE LA BASE	M2	4,500.00	2.25	10,125.00
3.00	BASE ESTABILIZADA				
3.01	IMPRIMACION ASFALTICA	M3	4,500.00	1.85	8,325.00
3.02	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE E=2"	M2	4,500.00	22.30	100,350.00
4.00	SEÑALIZACION				
4.01	PINTURA DE LETRAS Y SIMBOLOS	M2	4,500.00	13.50	60,750.00
4.02	PINTURA ESMALTE LINEAS CONTINUAS	ML	750.00	1.35	1,012.50
4.03	PINTURA ESMALTE LINEAS CENTRALES CONTINUAS	ML	750.00	1.35	1,012.50
5.00	OTROS				
5.01	ENSAYO DE LABORATORIO	GL	1.00	15,000.00	15,000.00
5.02	INGENIERO	GL	1.00	10.00	10.00
5.03	SEGURIDAD	GL	1.00	500.00	500.00
				COSTO DIRECTO	226,260.00
				GASTOS GENERALES (10%)	22,626.00
				UTILIDAD (3%)	6,787.80
				SUBTOTAL	255,673.80
				I.G.V (18%)	46,021.28
				PRESUPUESTO TOTAL	301,695.08

Fuente: Bereche &amp; Ríos (2019)

El siguiente presupuesto mostrado en la tabla 13 es de la construcción de una base granular estabilizada con RAP.

Tabla N°8

## Presupuesto del costo total de base granular estabilizada

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
1.00	OBRAS PROVISIONALES				
1.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	GL	1.00	6,000.00	6,000.00
2.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2.01	RELLENO CON MATERIAL GRANULAR DE 7 CM	M2	4,500.00	7.30	32,850.00
3.00	BASE ESTABILIZADA				
3.01	ESCARIFICADO DE BASE EXISTENTE	M3	450.00	18.50	8,325.00
3.02	RECONFORMACION BASE ESTABILIZADA DE 15 CM	M2	4,500.00	12.50	56,250.00
3.03	NIVELACION Y COMPACTACION	M2	4,500.00	1.85	8,325.00
4.00	SEÑALIZACION				
4.01	PINTURA DE LETRAS Y SIMBOLOS	M2	4,500.00	10.50	47,250.00
4.02	PINTURA ESMALTE LINEAS CONTINUAS	ML	750.00	1.35	1,012.50
4.03	PINTURA ESMALTE LINEAS CENTRALES CONTINUAS	ML	750.00	1.35	1,012.50

5.00	OTROS					
5.01	ENSAYO DE LABORATORIO	GL	1.00	10.50	10.50	
5.02	INGENIERO	GL	1.00	10.00	10.00	
5.03	SEGURIDAD	GL	1.00	500.00	500.00	
					COSTO DIRECTO	161,545.50
					GASTOS GENERALES (10%)	16,154.55
					UTILIDAD (3%)	4,846.37
					SUBTOTAL	182,546.42
					I.G.V (18%)	32,858.35
					PRESUPUESTO TOTAL	215,404.77

Fuente: Bereche & Ríos (2019)

Comparando ambos presupuestos el de una base convencional sale 301,695.08 soles y el de base granular estabilizada sale 215,404.77 soles. Con una diferencia de 86,290.31 soles, que en porcentaje representa un ahorro del 28.59%.

Tesis N° 2: Estructura de un pavimento asfáltico en material reciclado para mejorar sus beneficios integrales del año 2019. Se procede a comparar el presupuesto de una base granular convencional en la tabla 14.

Tabla N°9  
Presupuesto de la base convencional granular

ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO	P.U	P.P	
1.00	OBRAS PROVISIONALES				43,500.00	
1.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	VIAJE	9.00	1,500.00	13,500.00	
1.02	CAMPAMENTO Y GUARDIANIA	MES	2.00	15,000.00	30,000.00	
1.03	TRAZO Y REPLANTEO	M2	19,800.00	0.00	0.00	
2.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS				197,329.11	
2.01	CORTE A NIVEL DE SUB RASANTE	M3	8,910.00	1.37	12,219.39	
2.02	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON EQUIPO D=30KM	M3	10,246.50	13.73	140,657.33	
2.03	CORFORMACION Y COMPACTACION DE SUB RASANTE	M2	19,800.00	2.25	44,452.39	
3.00	PAVIMENTACION				881,697.63	
3.01	INSTALACION DE SUB BASE E=0.20 MTS	M2	19,800.00	9.80	194,118.43	
3.02	INSTALACION DE BASE E= 0.20 MTS	M2	19,800.00	10.60	209,904.08	
3.03	IMPRIMACION CON MC-30	M2	19,800.00	2.89	57,219.81	
3.04	INSTALACION C.ASF E=2"	M2	19,800.00	21.24	420,455.31	
					COSTO DIRECTO	S/ 1,122,526.74
					GASTOS GENERALES 10%	S/ 112,252.67
					UTILIDAD 10%	S/ 112,252.67
					SUB TOTAL	S/ 1,347,032.09
					IMPUESTO (IGV 18%)	S/ 242,465.78
					VALOR REFERENCIAL	S/ 1,589,497.86
					COSTO PROMEDIO POR M2	S/ 80.28

Fuente: Crispín & Helguero (2019)

El costo final del presupuesto de base estabilizada convencional es de 975,040.96 soles. En la tabla 15 se observa el presupuesto para una base estabilizada con RAP.

Tabla N°10

Presupuesto de la base estabilizada con RAP

ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO	P.U	P.P
1.00	OBRAS PROVISIONALES				33,000.00
1.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	VIAJE	2.00	1,500.00	3,000.00
1.02	CAMPAMENTO Y GUARDIANIA	MES	2.00	15,000.00	30,000.00
1.03	TRAZO Y REPLANTEO	M2	19,800.00	0.00	0.00
2.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS				22,552.32
2.01	CORTE A NIVEL DE SUB RASANTE	M3	990.00	0.06	54.65
2.02	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON EQUIPO D=30KM	M3	1,138.50	19.27	21,936.40
2.03	CORFORMACION Y COMPACTACION DE SUB RASANTE	M2	19,800.00	0.03	561.27
3.00	PAVIMENTACION				919,488.64
3.01	INSTALACION DE SUB BASE E=0.20 MTS	M2	19,800.00	0.03	561.27
3.02	INSTALACION DE BASE E= 0.20 MTS	M2	19,800.00	22.29	441,252.25
3.03	IMPRIMACION CON MC-30	M2	19,800.00	2.89	57,219.81
3.04	INSTALACION C.ASF E=2"	M2	19,800.00	21.24	420,455.31
				COSTO DIRECTO S/	975,040.96
				GASTOS GENERALES 10% S/	97,504.10
				UTILIDAD 10% S/	97,504.10
				SUB TOTAL S/	1,170,049.15
				IMPUESTO (IGV 18%) S/	210,608.85
				VALOR REFERENCIAL S/	1,380,658.00
				COSTO PROMEDIO POR M2 S/	69.73

Fuente: Crispín & Helguero (2019)

El costo total de una base granular estabilizada con RAP es de 1,380,658.00 soles. A comparación de la base granular convencional, existe una diferencia en el costo total de 208,839.86 soles, que en porcentaje es de 15.13%.

### 5.3. Análisis de Resultados

Las técnicas de reutilización del fresado presentadas en esta investigación, que son la de reciclado en frío y reciclado para estabilización de bases granulares, tienen procesos definidos para su elaboración. Es decir, tienen cumplir con los parámetros establecidos en la norma de MTC, tanto para reciclado en frío, como para estabilización de bases granulares.

En las tesis analizadas para reciclado en frío en este trabajo de investigación, como son las de Paccori (2018) y Villa (2007), observamos que el proceso constructivo para la ejecución de las técnicas sigue un mismo patrón que en resumen consiste en lo siguiente:

Primero, contar con las señales preventivas definidas de manera correcta. Posteriormente se realizará el fresado de la carpeta asfáltica con una fresadora, la profundidad se define de acuerdo al proyecto. Luego del fresado se realizará la limpieza de la superficie de la vía con una barredora mecánica. Seguido se coloca una imprimación asfáltica a fin de tener una adhesión entre la base asfáltica y la nueva mezcla asfáltica. El material fresado será transportado a través de un volquete, según la elección tomada para realizar el mezclado en frío (la producción de la mezcla puede ser in-situ o en planta). La mezcla será puesta en obra mediante una pavimentadora sobre orugas a fin de tener un mejor esparcido del material, la mezcla buscará restablecer el espesor de la carpeta previamente definido en el expediente técnico.

La compactación se realiza con un rodillo vibratorio liso, y se deberá tener en cuenta el contenido óptimo del agua. Posterior a esto, se realiza la compactación con un rodillo vibratorio liso autopropulsado y con el rodillo neumático autopropulsado a fin de compactar la capa superficial del pavimento, esta ayuda a la eliminación del agua y cierra las superficies porosas de la capa.

Teniendo en cuenta las tesis revisadas, se observa que en ambos casos el reciclaje en frío resulta económicamente beneficioso, para esto se revisaron los presupuestos de la técnica de reciclaje en frío en comparación a presupuestos de la técnica convencional de pavimentos en caliente. En el caso de la tesis de Paccori (2018) se obtuvo una reducción de 14.5% del costo total y en el caso de la tesis de Villa (2017) se obtuvo una reducción del presupuesto de 12.6%. Observamos un ahorro en ambos casos para la técnica de reciclaje en frío en la carpeta asfáltica.

En las tesis analizadas para reutilización del RAP como agregado para base granular estabilizada, las investigaciones estudiadas son las de Crispín & Helguero (2019) y Bereche & Ríos (2019), el proceso de la técnica es en resumen de la siguiente manera. Primero se fresado del asfalto de acuerdo a la cantidad determinada, se hacen los ensayos correspondientes, posteriormente se esparce de cemento Portland tipo I y RAP, luego viene la estabilización de la Base, aquí consisten en una correcta

dosificación de la base estabilizada. Por último, viene la creación y colocación de la carpeta de rodadura, además de la construcción de la capa superficial (Riego de sello).

#### 5.4. Constatación de hipótesis

H1-1: La reutilización del fresado de asfalto como mezcla asfáltica en frío reduce los costos en pavimentos urbanos.

H1-0: La reutilización del fresado de asfalto como mezcla asfáltica en frío no reduce los costos en pavimentos urbanos.

Tabla N°11 Comparativo de costos 2018

PRESUPUESTO PAVIMENTO FLEXIBLE RECICLADO EN FRÍO EN PLANTA		PRESUPUESTO PAVIMENTO FLEXIBLE EN CALIENTE	
DESCRIPCION	COSTO S/.	DESCRIPCION	COSTO S/.
OBRAS PROVISIONALES	2,000.00	OBRAS PROVISIONALES	2,000.00
MOVIMIENTO DE TIERRAS	1,625.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS	1,625.00
PAVIMENTO	3,061.75	PAVIMENTO	4,385.13
TRANSPORTE	582.00	TRANSPORTE	582.00
SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL	533.94	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL	533.94
<b>COSTO DIRECTO (S/.)</b>	<b>7,802.69</b>	<b>COSTO DIRECTO (S/.)</b>	<b>9,126.07</b>

Fuente: Elaboración propia basada en la tesis de Paccori (2018)

En la tabla N°11 observamos una diferencia en el costo directo de 1,323.38 soles, y también notamos que el mayor ahorro se da en la partida de pavimento, en la subpartida de reposición de carpeta asfáltica, donde los precios varían. El material reciclado significa un ahorro, a diferencia de una carpeta asfáltica en caliente donde se usan materiales vírgenes.

Tabla N°12 Comparativo de costos 2007

PRESUPUESTO RECICLADO DE PAVIMENTO IN SITU EN FRÍO CON EMULSION ASFALTICA		PRESUPUESTO PAVIMENTO CON ASFALTO CALIENTE	
DESCRIPCION	COSTO S/.	DESCRIPCION	COSTO S/.
OBRAS PROVISIONALES	2,000.00	OBRAS PROVISIONALES	2,000.00
MOVIMIENTO DE TIERRAS	27,604.04	MOVIMIENTO DE TIERRAS	54,981.21
PAVIMENTO	143,472.25	PAVIMENTO	122,365.01
TRANSPORTE	3,487.01	TRANSPORTE	6,253.81
SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL	1,386.85	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL	1,386.85
PROTECCION AMBIENTAL	21,996.16	PROTECCION AMBIENTAL	40,890.45
<b>COSTO DIRECTO (S/.)</b>	<b>199,946.31</b>	<b>COSTO DIRECTO (S/.)</b>	<b>227,877.34</b>

Fuente: Elaboración propia basada en la tesis de Villa (2007)

En la tabla N°12 observamos una diferencia en el costo directo de 27,931.03 soles, y notamos que el mayor ahorro se da en la partida de movimiento de tierras, transporte y protección ambiental. A pesar de que en la partida pavimento el precio es mayor en reciclado en frío, el hecho de que en las partidas antes mencionadas exista un ahorro

significativo, esto hace que de manera global el reciclado en frío cueste menos en comparación a un pavimento convencional en caliente.

Paccori, M.F (2018), realizó un análisis para el proceso constructivo en el cual consideró los factores técnicos y económicos, el factor técnico comprende obtener un proceso constructivo bueno y una mezcla optima y el factor económico el costo que necesitara realizar dicho proyecto. Para la comparación económica se realizó para una aplicación de mezcla en frio y otra en caliente, la producción de ambas será realizadas en una planta fija. El presupuesto indica que para una mezcla en frio genera un ahorro del 10% con respecto a una mezcla en caliente. Se propuso utilizar una mezcla en frío con emulsión CSS-1H, teniendo en cuenta que este tipo mezcla toma como indicadores el impacto económico y ambiental en su proceso de elaboración, la dosificación propuesta de la emulsión es de 9% con un contenido de agua de 3.5 %. Así concluyendo que el pavimento flexible reciclado es más económico que uno convencional

Villa, C.V (2007), realizo un análisis en un inicio como un método de rehabilitación, la aplicación fue un método constructivo, por lo que se puede concluir que esta técnica puede ser aplicada de ambas formas, tanto en pavimentos a rehabilitar como en la construcción de nuevos pavimentos de bajo tránsito y debido a su menor costo favorecer la pavimentación en zonas marginales, y llega a la conclusión que el uso del método de rehabilitación de reciclado in situ en frío con emulsiones asfálticas catiónicas es viable tanto ambiental, técnica y económicamente en el país.

Por lo cual se acepta la hipótesis H1-1 y se rechaza la hipótesis H1-0.

H2-1: La reutilización del fresado de asfalto como agregado para base granular estabilizada reduce los costos en pavimentos urbanos.

H2-0: La reutilización del fresado de asfalto como agregado para base granular estabilizada no reduce los costos en pavimentos urbanos.

Tabla N°13 Comparativo de costos 2019

PRESUPUESTO DEL COSTO TOTAL DE BASE GRANULAR ESTABILIZADA		PRESUPUESTO DEL COSTO TOTAL DE UNA CARPETA ASFALTICA CONVENCIONAL	
DESCRIPCION	COSTO S/.	DESCRIPCION	COSTO S/.
OBRAS PROVISIONALES	6,000.00	OBRAS PROVISIONALES	15,000.00
MOVIMIENTO DE TIERRAS	32,850.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS	24,300.00
BASE ESTABILIZADA	72,900.00	BASE ESTABILIZADA	108,675.00
SEÑALIZACION	49,275.00	SEÑALIZACION	62,775.00
OTROS	520.50	OTROS	15,510.00

COSTO DIRECTO (S/.) 161,545.50 COSTO DIRECTO (S/.) 226,260.00

Fuente: Elaboración propia basada en la tesis de Bereche & Ríos (2019)

De la tabla N°13 observamos la diferencia de costos directos, esta es de 64,714.50 soles, el mayor ahorro se da en la partida de obras provisionales, base estabilizada, señalización y otros. Esto pasa porque se da un ahorro significativo en material granular, porque la base ahora será de menor espesor.

Tabla N°14 Comparativo de costos 2019

BASE CONVENCIONAL GRANULAR		BASE ESTABILIZADA (Cemento portland tipo I (2%) + RAP (10%))	
DESCRIPCION	COSTO S/.	DESCRIPCION	COSTO S/.
OBRAS PROVISIONALES	43,500.00	OBRAS PROVISIONALES	33,000.00
MOVIMIENTO DE TIERRAS	197,329.11	MOVIMIENTO DE TIERRAS	22,552.32
PAVIMENTACION	881,697.63	PAVIMENTACION	919,488.64
COSTO DIRECTO (S/.)	1,122,526.74	COSTO DIRECTO (S/.)	975,040.96

Fuente: Elaboración propia basada en la tesis de Helguero & Crispín (2019)

En la tabla N°14 se observa una diferencia de 147,485.78 soles en el costo directo. El mayor ahorro se da en la partida de obras provisionales y movimiento de tierras. Si bien en la parte de pavimentación el costo es mayor, de forma global la base estabilizada con RAP y cemento portland es menor en costos.

Bereche, F.M & Ríos C.J (2019), realizo un análisis obteniéndose que la adición de Reciclado asfáltico de pavimentos (RAP) y emulsión asfáltica del 5.5% de tipo (CSS-1) influyen positivamente incrementando la resistencia al pavimento asfáltico, determinando que a mayor empleo de RAP se obtiene mayor estabilidad. Con los resultados obtenidos se concluye que la propuesta de estabilizar una base granular resulto exitoso y viablemente económica con un costo de 215 404.77 nuevos soles frente a los 301.665.08 nuevos soles de una carpeta asfáltica convencional, teniendo un porcentaje de ahorro del 40.05%.

Crispín, P.E & Helguero, C.L (2019), realizó un análisis obteniendo el costo total de la obra de Separadora Industrial, que en esa investigación representa el uso de una base convencional granular es S/. 1, 589,497.86 soles, es decir, obtuvo un costo promedio de S/. 80.28 por m2 de base, y en una base estabilizada; obtuvo un valor referencial de S/. 1, 380,658.00 soles, lo cual representa un costo promedio de S/. 69.73 por m2 de base estabilizada con cemento portland tipo I, uso del RAP y hormigón de la misma base. En resumen, el costo beneficio es mejor que el de una base granular convencional, teniendo un ahorro de S/. 10.55 soles por metro cuadrado.

Por lo cual se acepta la hipótesis  $H_{2-1}$  y se rechaza la hipótesis  $H_{2-0}$ .

## CONCLUSIONES

1. El uso de la técnica de reutilización del RAP como en el reciclaje en frío para carpeta asfáltica nos permite minimizar los costos directos en los proyectos revisados, ya que se reduce la cantidad de material nuevo, y este es reemplazado por material reciclado. Y esto a su vez reduce los costos en transporte.
2. El uso de la técnica de reutilización del RAP para base granulares estabilizadas, reducen los costos en nuevos pavimentos, ya que el mayor ahorro se da en la etapa de movimiento de tierras y en el transporte. Además, al ser una base estabilizada, la cantidad de material a usar se reduce porque se reduce el espesor de la base.
3. Ambos métodos pueden usarse tanto para la construcción de nuevos pavimentos, como rehabilitación. Siendo la construcción de nuevos pavimentos una solución importante en el ámbito social y ambiental, ya que es beneficioso para una parte de la ciudad que no tiene acceso a vías pavimentadas y es sostenible.
4. En los costos los porcentajes de ahorro en el reciclaje en frío son de 14.5% y 12.6%. Mientras que para la base granular estabilizada los porcentajes de ahorro en los costos son de 15.13% y 28.59%. Es una reducción significativa si tenemos en cuenta la cantidad de dinero se maneja en esa industria.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda que futuras investigaciones realicen un estudio detallado de cada técnica a fin de poder crear una guía con la técnica detallada y que se pueda aplicar en pavimentos urbanos del país.
2. Se recomienda difundir investigaciones del tipo de reutilización de materiales en obras públicas, gobiernos regionales y locales, porque es muy beneficioso para el ambiente, además de lo económico.
3. El reciclado en base granular estabilizada es muy beneficioso y tiene mucha información y aplicaciones, incluso para vías de bajo tránsito, consideramos que puede ser aplicable en el país con una técnica correcta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alba Burgos, P. (2015). *Diagnóstico sobre el empleo de material asfáltico reciclado (RAP) en Bogotá*. (Tesis de pregrado). Universidad de los Andes, Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1992/18347>
- Anampa, M. & Bernaola, E. (2015) *Influencia del material reciclado proveniente del pavimento deteriorado en el Jr. Puno y Av. Abancay de la ciudad de Abancay para la elaboración de concreto nuevo a ser reutilizado en pavimentos*. (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de los Andes, Apurímac, Perú. Obtenido de <http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/212>
- Austroroads (2016) *Maximising the Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mix Design: Field Validation*
- Balbín, R.& Chochón, V. (2019). *Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de Canta en el departamento de Lima 2019*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12727/6001>
- Barguil, E. (2004). *Reciclaje de pavimentos y métodos de reciclaje de pavimentos asfálticos*. (Tesis de pregrado). Universidad Los Andes, Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1992/22026>
- Bejarano, W. (2020). *Aplicación de pavimentos flexibles reciclados en la construcción de nuevos pavimentos económicos en el Perú - 2020. Revisión sistemática*. (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/24758>
- Chero, J. (2019) *Análisis y evaluación del proyecto de reciclado y recapeo de la carretera Sullana – dv. Talara del km 0+000 al km 65+100 – Sullana – Piura*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1790>
- Chuman, J. (2017). *Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016*. (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/267>

- Coronado, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala. Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-pavimentos.pdf>
- Crispín, E., Helguero, L. (2019). *Estructura de un pavimento asfáltico en material reciclado para mejorar sus beneficios integrales* (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2781>
- Díaz, R. (2009). *Guía para diseñar la rehabilitación de una ruta mediante el uso de asfalto espumado; reciclando el pavimento asfáltico existente*. (Tesis de doctorado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcir666g/doc/bmfcir666g.pdf>
- Duitama, J. & Soler, D. (2019). *Evaluación física y mecánica de mezclas fresado y base granular para su empleo como agregados en la conformación de bases estabilizadas de pavimentos flexibles*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/24121>
- Don Brock, J. (2011). *Boletín técnico T-127S: Fresado y Reciclaje*. Recuperado de: <https://docplayer.es/46523106-Boletin-tecnico-t-127s-fresado-y-reciclaje-por-j-don-brock-phd-p-e.html>
- Flores, C. & Saldaña, A. (2020). *La influencia del RAP en la resistencia estructural de un pavimento reciclado en frío para el proyecto de conservación vial de la carretera Binacional Mazocruz – Puente Internacional*. (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/652416>
- Federal Highway Administration Research and Technology. (2012). *Federal Highway Administration. User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction*. Recuperado de <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/rap131.cfm>
- Gómez, J. & Gómez, J. (2019). *Análisis comparativo de las propiedades físico – mecánicas de una mezcla asfáltica en frío, elaborado con agregados reciclados y emulsión asfáltica de rotura lenta, en referencia a una mezcla*

- patrón, Cusco 2019*. (Tesis de pregrado). Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12557/3609>
- Gonzales, A. (2017). *Análisis del comportamiento mecánico de pavimentos con la reutilización de materiales reciclados en vías del Distrito de San Miguel, San Román, Puno – 2017*. (Tesis de pregrado). Universidad Alas Peruanas, Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12990/2754>
- Huallanca, F. (2021). *Ejecución, verificación y seguimiento de reciclado de asfalto en frío con emulsión en el tramo IV y V de la Carretera Central* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/26445>
- Infanzón, R. & Aguilar, A. (2020). *Aprovechamiento de material de pavimento asfáltico envejecido para reciclaje en caliente y reutilización en mezcla asfáltica en caliente*. (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Obtenido de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3689>
- Jara, R. & Pérez, G. (2020). *Reutilización de pavimentos asfálticos reciclados en frío, como alternativa para la construcción de vías provisionales en asentamientos humanos en la ciudad de Lima – Perú*. (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Obtenido de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3683>
- Leiva, F. & Vargas, A. (2017). Mejores prácticas para diseñar mezclas asfálticas con pavimento asfáltico recuperado (RAP). *Infraestructura Vial*, 19(33), 35-44. Obtenido de [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2215-37052017000100035&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-37052017000100035&lng=en&tlng=es).
- Medina, A. & De La Cruz, M. (2015). *Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/581505>
- Méndez, A. (2015) *Evaluación técnica y económica del uso de pavimento asfáltico reciclado (RAP) en vías colombianas*. (Tesis de pregrado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/13208>

- Mendoza, M. & Verdezoto, N. (2018). *Aprovechamiento del material fresado proveniente de carpetas asfálticas de las calles de Guayaquil, depositado en la Cantera Municipal N°8 de la ciudad*. (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/32856>
- Ministerio de Transportes. (2013). *Norma EG-2013 Manual para construcción de Carreteras*. Recuperado de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/manuales.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html)
- Monroy, M., León, J., & Ramos, M. (2020). *Monografía del uso de RAP (pavimentos asfáltico reciclados) para la rehabilitación de vías urbanas del municipio de Girardot-Cundinamarca*. (Tesis de doctorado). Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10656/12063>
- Mora, J. (2020). *Aprovechamiento de reciclado RAP: para mejoramiento de las vías terciarias en Colombia*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/25722>
- Paccori, F. (2018). *Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial -Pachacamac* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Los Andes, Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/804>
- Pajuelo, J. (2019). *Reciclado de pavimentos flexibles y dosificación de emulsión asfáltica para la estabilización a nivel de base*. (Tesis de pregrado). Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú. Obtenido de <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2112>
- Pastás, R. (2021) *Estudio y análisis de los procesos de obtención, almacenamiento y uso del material de pavimento asfáltico reciclado en las diferentes obras viales*. (Tesis de pregrado). Universidad de Antioquía, Medellín, Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10495/21785>
- Rodríguez, E. (2009). *Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla*. (Tesis de pregrado). Universidad de Piura, Piura, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/1350>
- Rodríguez, N. & Cabanillas, G. (2021). *Caracterización del uso de métodos reciclables en la restauración de pavimentos flexibles, Cajamarca 2020*.

- (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.  
Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/29071>
- Rosales, D. (2020). *Mejoramiento de la carpeta asfáltica con problemas de ahuellamiento mediante el método de fresado y slurry seal en la carretera desvío Cerro de Pasco – Chicrin Emp. PE-3N – 2019*. (Tesis de pregrado). Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú. Obtenida de <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2307>
- Santa, P. (2021). *Análisis de nuevas mezclas asfálticas en caliente utilizando material asfáltico reciclado de la Av. Andrés Avelino Cáceres - Provincia de Concepción 2020*. (Tesis de pregrado). Universidad Continental, Huancayo, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/9328>
- Valenzuela, J. (2020). *Diseño de pavimento con mezcla reciclada para reutilizarlos y optimizar costos*. (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/1607>
- Valenzuela, M. (2003). *El asfalto, en la conservación de pavimentos*. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/bmfciv161a/sources/bmfciv161a.pdf>
- Vargas, M. & Rengifo, J. (2017). *Análisis comparativo entre pavimento flexible convencional y pavimento flexible reciclado en las cuadras 1-29 de la avenida La Paz San Miguel - Lima* (Tesis de pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12727/3520>
- Villa, V. (2007) *Reciclado in situ en frío de pavimentos empleando emulsiones asfálticas: aplicación: colegio FAP Manuel Polo Jiménez* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/581465>
- Wirtgen, G. (2004) *Wirtgen: Manual de reciclado en frío*. Recuperado de: <https://www.yumpu.com/es/document/read/14306954/manual-de-reciclaje-en-frío-resansil>

## ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cuáles son las técnicas de reutilización del fresado de asfalto para la optimización de costos en pavimentos urbanos?	Determinar las técnicas de reutilización del fresado de asfalto para minimizar costos en pavimentos urbanos.	Con la determinación de las técnicas de reutilización del fresado de asfalto se mejora los costos en pavimentos urbanos.	FRESADO DE ASFALTO (PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO)	X1: Técnica de reciclado como agregado para base granular  X2: Técnica de reciclado de mezclas asfálticas en frío	Procedimiento, material recuperado y añadido, periodo de ejecución.	MÉTODO: Inductivo ORIENTACIÓN: Aplicada ENFOQUE: Cuantitativo RECOLECCIÓN DE DATOS: Retrolectivo TIPO DE INVESTIGACIÓN: Descriptivo-Aplicativo NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Descriptivo - Explicativo DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: No experimental, transversal, retrospectivo POBLACIÓN: La población son todas las investigaciones nacionales e internacionales. MUESTRA: El tamaño de la muestra es igual a la población. TÉCNICA: La técnica de análisis es documental
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE			
a) ¿En qué medida la técnica del RAP como agregado para base granular permite optimizar los costos en pavimentos urbanos?	a) Desarrollar la técnica del RAP como agregado de base granular para minimizar los costos en pavimentos urbanos.	a) La reutilización del fresado de asfalto como agregado para base granular reduce los costos en pavimentos urbanos.	COSTOS EN PAVIMENTOS URBANOS	Evaluación económica	Metrados, análisis de precios unitarios, presupuesto	
b) ¿En qué medida la técnica del RAP en reciclado de mezcla asfáltica en frío permite optimizar los costos en pavimentos urbanos?	b) Desarrollar la técnica del RAP en reciclado de mezcla asfáltica en frío para minimizar los costos en pavimentos urbanos.	b) La reutilización del fresado de asfalto como mezcla asfáltica en frío reduce los costos en pavimentos urbanos.				

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
VI: FRESADO DE ASFALTO (PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO)	El Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) corresponde al material recuperado de la carpeta asfáltica de un pavimento removido, por medio del fresado El agregado como el ligante asfáltico que conforman el RAP aún poseen la capacidad de aportar ciertas propiedades en una nueva estructura de pavimento.	El material fresado resultante puede ser usado para la fabricación de nuevas mezclas asfálticas, con el reciclado en frío o como agregado para base granular.	Técnica de reciclado como agregado para base granular  Técnica de Reciclado de mezclas asfálticas en frío	Procedimiento, material recuperado y añadido, período de ejecución.	Documentos bibliográficos (tesis, libros, revistas, papers, manuales, páginas web)
VD: COSTOS EN PAVIMENTOS URBANOS	El costo de pavimentos es el valor estimado que hace referencia al presupuesto, es una inversión en actividades y recursos que proporcionan un beneficio.	Para determinar los costos en pavimentos urbanos reutilizando el fresado se realiza una evaluación económica de las diferentes técnicas.	Metrados, análisis de precios unitarios, presupuesto	Metrados, análisis de precios unitarios, presupuesto	Documentos bibliográficos (tesis, libros, revistas, papers, manuales, páginas web)

Fuente: Elaboración propia