

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



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

**PRESENTADA POR  
Bach. JARA TRUJILLO, RAQUEL ROCIO  
Bach. PÉREZ PAITÁN, GIULIANA LUZ**

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

**LIMA – PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por la motivación constante para lograr mis metas, por enseñarme a respetar la vida y nunca rendirme.

A mis dos grandes amores Walter y Santiago por brindarme fortaleza para seguir este camino, enseñándome que con perseverancia y constancia todo se puede lograr.

Pérez Paitán Giuliana Luz

A Dios, por darme lo necesario en mi vida para poder lograr mis metas y objetivos trazados.

A mis queridos padres, a quienes dedico este logro, ya que gracias a su apoyo incondicional y comprensión cumplí uno de los objetivos que me tracé cuando inicié la carrera.

A mis a mis hermanos y a mi tía, por ser parte de este proceso y sobre todo creer en mí y en lo que puedo lograr.

Jara Trujillo Raquel Rocío.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, porque nos ha permitido estar con vida durante todo el desarrollo de esta investigación, cuidándonos y fortaleciéndonos en cada momento.

A nuestro Asesor M. Sc. Ing. Huamán Guerrero, Néstor W. por las sugerencias en el ámbito temático de la Ingeniería Civil, quien con su amplio conocimiento en el ámbito de Pavimentos nos guio en el buen desarrollo de nuestro tema de investigación.

Al Ing. Wilder Rodríguez Mogollón por las constantes sugerencias y orientaciones en el campo metodológico, quien a través de su experiencia en el ámbito de la metodología nos conduce al buen desarrollo de nuestra investigación.

Al Ing. Sergio Estrada quien nos ayudó a dar solución a las constantes dudas en el desarrollo de esta tesis.

A todos nuestros amigos, familiares y demás personas que de alguna manera intervinieron de diferentes formas y nos apoyaron moralmente durante el desarrollo de esta investigación.

Giuliana Pérez y Raquel Jara

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.1. Descripción y Formulación del Problema.....	16
1.1.1. Problema General .....	16
1.1.2. Problemas Específicos .....	16
1.2. Objetivos de la Investigación .....	16
1.2.1. Objetivo General.....	16
1.2.2. Objetivos Específicos .....	17
1.3. Delimitación de la Investigación.....	17
1.3.1. Delimitación espacial.....	17
1.3.2. Delimitación temporal .....	17
1.3.3. Delimitación económica .....	17
1.4. Justificación e importancia.....	17
1.4.1. Justificación Social .....	17
1.4.2. Justificación Metodológica .....	18
1.5. Limitaciones .....	18
1.5.1. Limitaciones técnicas.....	18
1.5.2. Limitaciones económicas.....	18
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Antecedentes de la investigación .....	19
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	19
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	21
2.2. Marco teórico .....	22
2.3. Características físicas y topográficas de los Asentamientos humanos.....	24
2.4. Saneamiento físico-legal de los asentamientos humanos.....	25

2.5.	Condiciones socioeconómicas de la población .....	25
2.6.	Componentes del Pavimento.....	27
2.6.1.	Superficie .....	27
2.6.2.	La base .....	28
2.6.3.	La sub-base .....	28
2.6.4.	La sub rasante .....	28
2.7.	Tipos de Pavimentos .....	29
2.7.1.	Pavimentos Asfálticos.....	29
2.7.2.	Pavimentos Rígidos .....	30
2.8.	Factores que causan el deterioro del Pavimento .....	30
2.8.1.	Factores ambientales.....	31
2.8.2.	Efectos del tráfico .....	31
2.9.	Principales Factores que Afectan la Estructura de Pavimento.....	32
2.10.	Comportamiento del pavimento.....	33
2.10.1.	Comportamiento estructural sometido a cargas.....	33
2.10.2.	Comportamiento funcional .....	34
2.11.	Identificación de fallas en los pavimentos .....	34
2.11.1.	Tipos y causa de los daños estructurales .....	35
2.11.2.	Tipos y causa de los daños superficiales .....	35
2.12.	Procedimientos para la evaluación del pavimento.....	36
2.13.	Concepto de reciclado de pavimentos.....	38
2.14.	Materiales asfálticos para los pavimentos reciclados.....	39
2.14.1.	Cementos Asfálticos .....	40
2.14.2.	Asfaltos Diluidos .....	45
2.14.3.	Asfaltos diluidos producidos en el Perú .....	47
2.14.4.	Especificaciones técnicas para los asfaltos diluidos.....	48
2.14.5.	Agregados pétreos.....	50
2.14.6.	Emulsiones Asfálticas.....	53
2.15.	Aplicación del método de reciclaje en frío como alternativa de construcción de pavimentos asfálticos.....	61
2.15.1.	Reciclado en frío .....	61
2.16.	Técnica para el reciclado de pavimento en frío .....	61
2.16.1.	Pulverización .....	62
2.16.2.	Reprocesamiento.....	62

2.16.3.	Modificación de propiedades mecánicas .....	63
2.16.4.	Reciclado del 100% de RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado) .....	63
2.16.5.	Estabilización con RAP/Base granular .....	63
2.17.	Proceso de reciclado en frío .....	63
2.17.2.	Beneficios de un pavimento asfáltico reciclado en frío .....	69
2.18.	Diseño de mezcla de reciclado en frío .....	72
2.19.	Diseño del espesor del pavimento reciclado en frío superficial.....	74
2.20.	Control de calidad de pavimento reciclado .....	75
2.20.1.	Granulometría del pavimento reciclado.....	75
2.20.2.	Ensayo de lavado asfáltico de pavimento asfáltico reciclado.....	76
2.20.3.	Contenido de emulsión tentativa para la nueva mezcla.....	77
2.20.4.	Ensayo de estabilidad y flujo Marshall.....	79
2.21.	Proceso de colocación de la propuesta técnica de aplicación .....	80
2.22.	Propuesta para plantear la alternativa a las Municipalidades.....	80
2.22.1.	Contenido para presentar propuesta.....	81
2.23.	Definición de términos .....	83
3.	CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....	87
3.1.	Hipótesis.....	87
3.1.1.	Hipótesis general.....	87
3.1.2.	Hipótesis específicas .....	87
3.2.	Variables .....	87
3.2.1.	Definición conceptual de las variables .....	87
3.3.	Definición operacional de la variable .....	87
3.4.	Operacionalización de la variable .....	88
4.	CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	89
4.1.	Método de investigación .....	89
4.2.	Tipo de investigación .....	89
4.3.	Nivel de investigación.....	89
4.4.	Diseño de la investigación .....	89
4.5.	Población y muestra .....	90
4.5.1.	Población Universo.....	90
4.5.2.	Población de estudio .....	90
4.6.	Tipo de muestra.....	90

4.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	90
5.	CAPÍTULO V : PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	91
5.1.	Diagnóstico y situación del Proyecto realizado en el distrito de La Molina....	91
5.2.	Ensayos a realizar trabajos previos para determinar la calidad del pavimento asfáltico reciclado.....	94
5.2.1.	Granulometría del pavimento asfáltico reciclado .....	95
5.2.2.	Ensayo de lavado asfáltico del Pavimento asfáltico reciclado .....	95
5.2.3.	Ensayo de calidad de Material, agregados pétreos .....	96
5.2.4.	Evaluación del análisis granulométrico del pavimento asfáltico reciclado.....	98
5.2.5.	Evaluación del análisis granulométrico del pavimento asfáltico reciclado más el agregado virgen de la cantera La Gloria.....	99
5.2.6.	Contenido de emulsión tentativa para la mezcla asfáltica .....	100
5.2.7.	Ensayo de recubrimiento .....	101
5.2.8.	Ensayo de adherencia.....	101
5.2.9.	Ensayo de estabilidad-flujo Marshall .....	101
5.3.	Equipos y personal necesario para la colocación de la carpeta asfáltica .....	102
5.3.1.	Equipo a utilizar en nuestra alternativa será: .....	102
5.4.	Presentación de Resultados .....	102
5.4.1.	Estudio N° 1: Reciclado in situ de pavimentos.....	102
5.4.2.	Estudio N° 2: Reciclado en frío en Planta de pavimentos .....	106
5.5.	Análisis de Resultados .....	111
5.6.	Contrastación de hipótesis.....	114
5.6.1.	Hipótesis general.....	114
5.6.2.	Hipótesis específica 1 .....	114
5.6.3.	Hipótesis específica 2 .....	115
	CONCLUSIONES .....	117
	RECOMENDACIONES.....	118
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	119
	ANEXOS .....	123

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Número de asentamientos humanos y población estimada, según provincias (1997).....	23
Tabla N°2: Número de asentamientos humanos y población estimada, según conos (1997).....	23
Tabla N°3: Asentamientos humanos registrados y no registrados, según provincias (1997).....	24
Tabla N°4:Lima Metropolitana: Asentamientos humanos de acuerdo con el suelo que ocupan, 1993.....	25
Tabla N°5: Lima Metropolitana: PEA en asentamientos humanos, 1996 .....	26
Tabla N°6: Deterioro o Fallas de los pavimentos asfálticos.....	36
Tabla N°7: Composición química del cemento asfáltico.....	40
Tabla N°8: Ventajas y desventajas de la estabilización con cemento .....	42
Tabla N°9: Clasificación y comercialización de cementos asfálticos en el Perú. ....	43
Tabla N°10: Especificaciones técnicas del cemento asfáltico según su penetración (PEN) .....	44
Tabla N°11: Grado de los asfaltos diluidos RC.....	45
Tabla N°12: Grado de los asfaltos diluidos MC.....	46
Tabla N°13: Grado de los Asfaltos diluidos SC .....	46
Tabla N°14: Clasificación y comercialización de asfaltos diluidos en el Perú .....	47
Tabla N°15 Especificaciones técnicas del asfalto diluido del curado medio (MC).....	48
Tabla N°16: Especificaciones técnicas del asfalto diluido de curado rígido (RC).....	49
Tabla N°17: Requerimiento granulométrico para bases .....	50
Tabla N°18: Requerimiento del agregado grueso según la altitud .....	51
Tabla N°19: Requerimiento del agregado fino .....	51

Tabla N°20: Ensayo de calidad del agregado pétreo .....	52
Tabla N°21: Parámetros de control de calidad - agregado a (altitud).....	53
Tabla N°22: Parámetros de control de calidad de mezcla emulsionadas .....	53
Tabla N°23: Criterios para el diseño de mezclas en frío - emulsión asfáltica .....	54
Tabla N°24: Clasificación de emulsiones asfálticas. ....	55
Tabla N°25: Ensayos de control de calidad de las emulsiones asfálticas .....	57
Tabla N°26: Ensayos de control de calidad de las emulsiones asfálticas .....	58
Tabla N°27: Especificaciones para emulsiones catatónicas .....	60
Tabla N°28: Clasificación de los reciclados in situ en frío.....	68
Tabla N°29: Principales ventajas del reciclado de pavimentos. ....	72
Tabla N°30: Tolerancia en la granulometría y en el espesor del material por reciclar para considerar que un tramo es homogéneo. ....	75
Tabla N°31: Tolerancia granulométrica de los agregados para reciclados en frío in situ empleando materiales bituminosos .....	76
Tabla N°32: Requisitos de calidad de agregados para mezclas asfálticas .....	77
Tabla N°33: Especificaciones de emulsiones catiónicas .....	78
Tabla N°34: Operacionalización de las Variables .....	88
Tabla N°35: Resultado del ensayo granulométrico del Pavimento flexible reciclado ...	95
Tabla N°36: Resultado granulométrico del material reciclado después del lavado asfáltico.....	96
Tabla N°37: Granulometría del agregado grueso de la cantera La Gloria.....	97
Tabla N°38: Granulometría del agregado fino de la cantera La Gloria.....	97
Tabla N°39: Evaluación granulométrica del material reciclado .....	98
Tabla N°40: Curva Granulométrica de la carpeta material reciclada .....	98

Tabla N°41: Evaluación granulométrica del material reciclado para una mezcla en frío .....	99
Tabla N°42: Curva de granulometría corregida del material recicaldo .....	100
Tabla N°43: Ensayo de Adherencia.....	101
Tabla N°44: Resultado de ensayo estabilidad y flujo Marshall para mezcla en frío con emulsión.....	102
Tabla N°45: Presupuesto de reciclado de pavimentos in situ en frío con emulsión asfáltica .....	103
Tabla N°46: Presupuesto de pavimento con asfalto en caliente .....	104
Tabla N°47: Comparación de costos entre el método de reciclaje en frío y en caliente .....	104
Tabla N°48: Presupuesto de Pavimentos asfálticos reciclados en frío en planta.....	106
Tabla N°49: Presupuesto de Pavimentos asfálticos reciclados en frío en planta.....	107
Tabla N°50: Comparación de costos entre el método de reciclaje en frío y en caliente .....	107
Tabla N°51: Tipo de reciclado según tipo de la falla del pavimento.....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Transferencia de carga a través de la estructura del pavimento. ....	27
Figura N°2: Estructuración típica de pavimentos asfálticos. ....	29
Figura N°3: Indicadores de deterioro de pavimento.....	31
Figura N°4: Diagrama de clasificación de técnicas de reciclado de pavimentos .....	39
Figura N°5: Componentes de los cementos asfálticos según el sistema coloidal.....	41
Figura N°6: Tipos de emulsión según la carga presente.....	55
Figura N°7: Proceso de rotura de una emulsión .....	56
Figura N°8: Proceso del Control del Material Reciclado .....	59
Figura N°9: Categorías del reciclado.....	62
Figura N°10: Proceso de reciclado. ....	66
Figura N°11: Típico tren reciclador con mezclador de lechada. ....	67
Figura N°12: Típico tren reciclador con mezclador de lechada y camión de asfalto. ....	68
Figura N°13: Diagrama de flujo del procedimiento de diseño de mezcla en frío. ....	74
Figura N°14: Cálculo del porcentaje de bitumen.....	76
Figura N°15: Selección de agentes estabilizadores. ....	80
Figura N°16: Seguimiento técnico de propuesta .....	82
Figura N°17: Evaluación de proyecto a elegir.....	83
Figura N°18: Vista del sector 6 del asentamiento humanos M.U.S.A.....	91
Figura N°19 : Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6. ....	92
Figura N°20: Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6. ....	92
Figura N°21: Reciclado in situ, Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6 .....	93
Figura N°22: Nivelación de vía, Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6.....	93
Figura N°23: Sellado de vía, Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6.....	94
Figura N°24: Antes y después, Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6 .....	94

Figura N°25: Cuadro comparativo de costos .....	105
Figura N°26: Cuadro comparativo de costos .....	108
Figura N°27: Cuadro comparativo entre reciclaje caliente y reciclaje en frío.....	110
Figura N°28: Beneficios del proyecto, Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6 .....	111
Figura N°29: Beneficios del proyecto, Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6 .....	115

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como problema ¿De qué manera se puede aprovechar los pavimentos deteriorados de otras vías para la construcción de vías provisionales en los asentamientos humanos?, el objetivo general fue, “Determinar la mejora que experimentan los asentamiento 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”, y la hipótesis general fue “La mejor alternativa para aprovechar los pavimentos deteriorados de otras vías y aplicarlos en la construcción de vías provisionales es a través del método de reciclaje en frío”.

La metodología empleada en nuestra investigación fue científica cuantitativa de tipo descriptiva, los ensayos fueron tomados de referencias de otras investigaciones relacionadas a nuestro tema.

Para el desarrollo de la investigación se tomó como población las Zonas Vulnerables de nuestro país, la muestra son los Asentamientos Humanos de la ciudad de Lima-Perú.

La principal conclusión fue: El uso de esta técnica genera beneficios sociales, económicos y ambientales, por lo que pretendemos que las autoridades la tomen como alternativa para la construcción de vías en zonas menos favorecidas.

**Palabras claves:** Reciclaje, reutilización, pavimentos asfálticos, asentamientos humanos

## ABSTRACT

The present investigation had as a problem: In what way can the deteriorated pavements of other roads be used for the construction of temporary roads in human settlements? The general objective was, "To determine the improvement that human settlements experience, thanks to the use of cold recycled asphalt pavements in the construction of temporary roads in the Human Settlements in the city of Lima - Peru ", and the general hypothesis was " The best alternative to take advantage of the deteriorated pavements of other roads and apply them in the construction of temporary roads is through the cold recycling method".

The methodology used in our research was descriptive quantitative scientific, the trials were taken from references from other research related to our topic.

For the development of the research, the Vulnerable Zones of our country were taken as the population, the sample is the Human Settlements of the city of Lima-Peru.

The main conclusion was: The use of this technique generates social, economic and environmental benefits, which is why we want the authorities to take it as an alternative for the construction of roads in less favored

**Keywords:** Recycling, reuse, asphalt pavements, human settlements

## INTRODUCCIÓN

El tema del presente trabajo de investigación corresponde a la reutilización del asfalto que es retirado de los pavimentos deteriorados que usualmente terminan en rellenos sanitarios, para la construcción de vías provisionales para beneficio de poblaciones menos favorecidas de nuestro país.

En 1997, las Municipalidades de Lima Metropolitana reportan que existe un total de 1,980 asentamientos humanos, de los cuales 1,834 (92,6%) corresponden a la provincia de Lima con una población estimada de 2631839 habitantes, de las cuales la mayoría se encuentra ubicadas en los conos de la ciudad y de los cuales en la Provincia de Lima se encuentran registrados 1565 asentamientos humanos y 269 no se encuentran registrados. (Encuesta Nacional de Municipalidades e Infraestructura Socio Económico Distrital, 1997).

Por otro lado, las fallas presentadas en la mayoría de las vías pavimentadas en la ciudad de Lima tanto superficiales como estructurales según su evaluación se Rehabilitan o Mejoran, de igual manera sabemos que por temas políticos las autoridades se enfocan en la construcción de nuevas vías sin importarles las condiciones reales del pavimento.

El reciclaje de pavimentos tiene una variedad de ventajas, entre las principales son la parte económica, ambiental y proceso constructivo, etc., según estudios de investigación sobre el tema de reciclaje de pavimentos, para este estudio optamos por la aplicación en una construcción con una mezcla en frío.

En nuestro país esta técnica no es muy aplicada en las zonas vulnerables debido a la falta de información técnica sobre el buen desempeño que esta pueda tener tanto en lo social, económico, ambiental y debido a la falta de interés de emplear esta alternativa de construcción en Asentamientos Humanos.

La tesis consta de V capítulos las cuales serán descritas según el desarrollo de investigación.

Capítulo I: Este capítulo nos introduce al tema de reciclaje de pavimentos asfálticos y se centra en el objetivo de los mismos, planteamiento del problema, formulación del problema, problema general y específicos, justificación y limitaciones de la investigación.

Capítulo II: Se presentan antecedentes del estudio, el marco teórico y bases teóricas, aspectos generales del área de estudio y definición de términos básicos.

Capítulo III: Se plantea la hipótesis general y específica, las variables e indicadores y la operacionalización de cada una de ellas.

Capítulo IV: Este capítulo aborda los aspectos de diseño centrándonos en el reciclaje, se expone la metodología de la investigación, con el método de investigación, el tipo de investigación, nivel de investigación, diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y técnicas y análisis de datos.

Capítulo V: Este capítulo realizamos la presentación y análisis de resultados de nuestra investigación, así como la contrastación de nuestras hipótesis.

Se finaliza con la presentación de las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

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

### 1.1. Descripción y Formulación del Problema

Durante los últimos años se ha visto que nuestras vías de transporte han llegado a presentar fallas superficiales y estructurales, generando incomodidad en los usuarios, por esta razón es que actualmente se buscan divulgar alternativas que den solución a estos problemas, de la misma manera observamos la falta de atención que tienen las autoridades con respecto a las zonas menos favorecidas de nuestro país, es por ello que analizando ambos problemas planteamos como alternativa de solución el uso del pavimento asfáltico retirado de otras vías y tras procesarlos, reutilizarlos en la construcción de vías provisionales en los Asentamientos Humanos de nuestro país. Además, actualmente la tendencia de conservar el medio ambiente, ha originado la búsqueda de alternativas de protección, tanto en el proceso constructivo como en el uso de los insumos.

El presente trabajo de investigación describe una Propuesta de Aplicación de Pavimento asfáltico reciclado en frío para la construcción de vías provisionales en Asentamientos Humanos en la ciudad de Lima- Perú.

Dada la situación que presentan los Asentamientos Humanos, se busca proponer una metodología de construcción vial que buscará mejorar la calidad de servicio del pavimento, de forma técnica y social.

#### 1.1.1. Problema General

¿De qué manera se puede aprovechar los pavimentos deteriorados de otras vías para la construcción de vías provisionales en los asentamientos humanos?

#### 1.1.2. Problemas Específicos

a) ¿De qué manera la evaluación de fallas de otras vías influye en la construcción de una vía provisional en asentamientos humanos?

b) ¿El método seleccionado será el más económico para la construcción de estas vías en los asentamientos humanos?

### 1.2. Objetivos de la Investigación

#### 1.2.1. Objetivo General

Determinar la mejora que experimentan los asentamiento 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.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar la influencia de la evaluación de fallas en nuestras vías que serán tomadas para ser recicladas.
- b) Determinar si el método seleccionado es rentable para la aplicación de nuestra propuesta con respecto a otras alternativas.

## 1.3. Delimitación de la Investigación

### 1.3.1. Delimitación espacial

La investigación comprende la reutilización del pavimento asfáltico retirado de otras vías para la construcción de vías provisionales en los asentamientos humanos de la ciudad de Lima.

### 1.3.2. Delimitación temporal

Para esta investigación se recopiló información bibliográfica del tema relacionado al “Reciclaje de pavimentos asfálticos” y se siguió de cerca proyectos que fueron ejecutados para poder extraer la información necesaria, más no incluirá ensayos de laboratorio, la información tomada para el desarrollo de esta investigación está basada al uso que se le puede dar al pavimento asfáltico reciclado para la construcción de vías provisionales en Asentamientos humanos, toda la información será procesada de manera descriptiva.

### 1.3.3. Delimitación económica

En la presente investigación se realizó un estudio descriptivo que no incluye ningún tipo de ensayo ni toma de muestras, el financiamiento para la elaboración de esta tesis es propio y no cuenta con ningún tipo de financiamiento externo.

## 1.4. Justificación e importancia

### 1.4.1. Justificación Social

En la presente investigación analizamos las carencias que presentan los Asentamientos humanos de la ciudad de Lima debido a la falta de atención que tienen las autoridades hacia ellos, en este sentido pretendemos que las municipalidades tomen en cuenta nuestra alternativa de reutilización de pavimentos asfálticos obtenidos de otras vías que se encuentran en proceso de mantenimiento o rehabilitación para la construcción de vías provisionales a fin de mejorar las condiciones de vida de los pobladores.

#### 1.4.2. Justificación Metodológica

Para esta investigación recopilamos datos de diversos asentamientos humanos donde pretendemos aplicar nuestra alternativa de construcción de vías provisionales pavimentadas, usando como alternativa la aplicación del método de reciclaje en frío, en la cual especificaremos sus características, los materiales a emplear, equipos de construcción, proceso de aplicación, ensayos y entre otros ítems planteados, información que servirá de sustento para esta y futuras investigaciones.

#### 1.5. Limitaciones

El presente estudio es una investigación documental o bibliográfica.

##### 1.5.1. Limitaciones técnicas

La investigación está limitada a la imposibilidad de realizar de ensayos, toma de muestras de obras en proceso de rehabilitación o mantenimiento, debido a la crisis mundial a causa del COVID 19, lo que hace que esta sea una tesis descriptiva.

Dada a la escasa información bibliográfica sobre nuestro tema en específico, nos limitaremos a plantear solo estudios y resultados que se estén ejecutando, o se hayan ejecutado, para tener una herramienta que conlleve a conseguir los objetivos ya planteados en base a información teórica y detallada de las ventajas económicas y ambientales que el reciclaje de pavimento en frío nos ofrece.

##### 1.5.2. Limitaciones económicas

Debido a la pandemia nuestra investigación no presentará ensayos de ningún tipo, por lo que no presentamos gastos a gran escala, teniendo en cuenta que los ensayos son necesarios para determinar resultados que ayudaran a interpretar el tema de investigación.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

En 1983 el Instituto del Asfalto comienza integrando métodos para el reciclado de pavimentos en caliente y frío, usando el tipo de reciclaje en planta.

Luego de un periodo de aplicación del método de reciclado, éste se retoma en el 2002 dentro de la Guía AASHTO del 2002 como rehabilitaciones, sabemos que esta técnica fue aplicada por primera vez en Alemania.

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

(Méndez Revollo, 2015) en su tesis (Evaluación técnica y económica del uso de pavimentos asfálticos reciclados (RAP) en vías colombianas.) presenta:

El uso de pavimentos asfálticos reciclados para la construcción y rehabilitación de carreteras es un tema que ha venido creciendo desde hace años, debido a la reutilización y potencialización de los materiales existentes que contribuye al medio ambiente por la disminución de explotación de canteras en búsqueda de nuevos agregados, sin embargo no existe una guía clara de esta técnica y por tanto es poco utilizada. Este trabajo busca establecer una perspectiva acerca del uso de pavimentos asfálticos reciclados a partir de estudios realizados, donde encontraron resultados óptimos en cuanto a propiedades mecánicas y dinámicas de las mezclas asfálticas recicladas. Los resultados mostraron que el reciclado en los casos donde ha sido utilizado ha traído un buen comportamiento y una reducción de costos considerable.

(Restrepo Sierra & Stephens Zapata, 2015) (Reciclaje de pavimentos: Estudio de las ventajas económicas del reciclaje en frío in situ de pavimentos asfálticos). presenta:

El presente estudio se realiza verificando el cumplimiento de las especificaciones a nivel nacional que para estos procesos estableció el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y verificando el cumplimiento de las normas IDU ET-2005. El reciclaje —in situ en frío tiene ventajas ecológicas (no necesita afectar las eventuales fuentes de materiales de la zona), económico (bajos costos comparados con reconstrucción) y técnico (los equipos para este proceso han presentado importantes avances tecnológicos) lo cual permitió su aplicación en la vía mencionada, lo cual con la adición de un agente estabilizador (cemento para el presente estudio) permite recuperar las condiciones iniciales de diseño de la estructura intervenida. El presente trabajo termina con un análisis detallado de las

condiciones existentes, revisión de las diferentes opciones de intervención y el estudio económico de las diferentes alternativas de estructura de pavimento para la rehabilitación de la vía referida.

(Wirtgen GmbH, 2004) en su manual (Wirtgen Manual Reciclado en frío) nos explica: Este manual viene estudiando el método de reciclaje desde 1998, en esta segunda edición podemos ir viendo la forma que va tomando el método de reciclaje en frío en el mundo es por ello que nos lleva a ver diferentes tipos de escenarios donde nos muestra desde las fallas hasta los beneficios que nos puede facilitar este método.

(Camacho Plata, 2014) en su tesis (Estudio sobre pavimentos reciclados como posible alternativa económica y ambiental en las futuras obras el país) presenta:

Es de gran importancia el tema de reutilización de residuos para resguardar los recursos naturales, buscar nuevas alternativas de adquisición de materia prima para suplir las necesidades básicas y reducir la insuficiencia de área para almacenar residuos y sí preservar el medio ambiente. El objetivo de este trabajo de investigación es desarrollar un enfoque sobre el uso de pavimentos reciclados como una posible alternativa económica y ambiental en las futuras obras del país. El estudio se efectuó sobre muestras finas y gruesas de agregados reciclados obtenidos a partir de la trituración de la capa de pavimento asfálticos, que eran retiradas de un reparcho, efectuado en la ciudad de Bogotá en una vía privada. De aquí en adelante surge que, inclusive sin tener en cuenta los beneficios ambientales, hay alternativas que implican un inmenso ahorro económico comprando con el uso de agregados naturales, principalmente en lo relacionado con el costo de los materiales y su transportes al lugar de trabajo.

(Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004) en su tesis (Evaluación y Rehabilitación de Pavimentos flexibles por el método del reciclaje) presenta:

Bajo la necesidad de volver a proveer una nueva condición adecuada para el tráfico y con la limitante de la carencia relativa de agregados (con sus altos costos); es necesario volver la vista hacia la recuperación de caminos a través de los métodos que nos beneficien en carreteras durables. Por esta razón se ha investigado sobre técnicas de mantenimiento de vías, que reduzca los costos de una reconstrucción, de mano de obra y equipo a usar, lo que ha traído consigo alternativas como la de extraer los materiales que conforman al pavimento y reutilizarlos, mezclándolos con otros productos dando

origen así a lo que es el reciclaje. afirma que el uso de pavimentos asfálticos reciclado permitirá la reconstrucción de los pavimentos envejecidos y/o deteriorados, empleando sus materiales de construcción originales.

### 2.1.2. Antecedentes Nacionales

(Municipalidad de La Molina, 2012) en su artículo (Construcción de vías con pavimentos reciclados en Asentamientos humanos, 2012) nos presenta:

En su artículo publicado en la página web nos explica el procedimiento que se realizó para la construcción de vías de acceso para asentamientos humanos en Musa (V Etapa), Los Arbolitos, Cerro Alto (El Parral) considerado como zona vulnerable en el distrito de la Molina, Lima, Perú.

(Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotécnica y pavimentos- Sección Suelos y Pavimentos) del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) nos explica:

Se propone como una guía y herramienta para los Ingenieros relacionados al diseño estructural de los pavimentos, con el propósito de homogenizar y estandarizar los diseños, tomando en cuenta la experiencia y estudio sistemático de las características y comportamiento de los materiales y de acuerdo a las condiciones específicas de los diversos factores que inciden en el desempeño de los pavimentos, como el tráfico, el clima y los sistemas de gestión via y tiene por finalidad de proporcionar a los Ingenieros, criterios homogéneos en materia de suelos y pavimentos que faciliten la aplicación en el diseño de las capas superiores y de la superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas y pavimentadas, dando como principal la estabilidad estructural para lograr su mejor desempeño posible en términos de eficiencia técnico – económica en beneficio de la sociedad en su conjunto.

(Yangali Limaco, 2015) en su tesis (Influencia del uso de la carpeta asfáltica reciclada en las propiedades físico-mecánicas de diseño, para rehabilitación de pavimento flexible) presenta:

En su investigación explica las propiedades físico - mecánicas del material fresado o triturado, el trabajo consistió en ver la influencia del uso del material reciclado en la capacidad portante de la capa, base granular. Su evaluación consistió en mejorar el comportamiento estructural de la base granular, por lo cual requirió de ensayo de CBR.

(Paccori Mori, 2018) en su tesis (Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - Pachacamac) presenta:

La presente investigación tiene como problema general ¿En qué medida mejora el uso del pavimento flexible reciclado en la rehabilitación vial de la av. Víctor Malásquez?, el objetivo general es, “Determinar la mejora del uso del pavimento flexible reciclado en la rehabilitación vial de la av. Víctor Malásquez”, y la hipótesis general es, “Utilizando el pavimento flexible reciclado en la rehabilitación vial se mejora la circulación de vehículos y peatones de la av. Víctor Malásquez”. La metodología empleada en la investigación es el científico con un enfoque cuantitativo, el tipo de investigación es Aplicada, con un nivel descriptivo – explicativo y el diseño es no experimental. Para el desarrollo de la investigación se tomó como población la av. Víctor Malásquez-Pachacamac que tiene una longitud de 15 km + 483.00, con un tipo de muestreo no aleatorio o dirigido, la muestra es un área de 250 m<sup>2</sup> comprendidas entre el km 5 +030 y km 5 + 080. La principal conclusión es: Con el uso de pavimentos flexibles reciclados en las rehabilitaciones viales se pueden corregir las deficiencias superficiales severas de un pavimento deteriorado, además su uso puede generar beneficios económicos y ambientales en el momento de la ejecución del proyecto. Palabras claves: Pavimento flexible, rehabilitación vial, reciclado.

## 2.2. Marco teórico

Según datos del INEI para 1997, en Lima Metropolitana existen 1.980 asentamientos humanos que albergan a más de dos millones de pobladores, es por ello que este trabajo pretende impulsar el reciclaje de pavimentos con la finalidad de ser empleadas en la construcción de vías provisionales para zonas menos favorecidas de nuestro país, mediante su reutilización.

Esta alternativa se plantea con un enfoque social y ambiental, en esta investigación analizamos los beneficios de la reutilización de pavimentos asfálticos reciclado en frío que usualmente terminan en rellenos sanitarios y botaderos, mediante esta alternativa pretendemos mejorar las condiciones de vida de esta población.

Tabla N°1: Número de asentamientos humanos y población estimada, según provincias (1997)

Provincias	Asentamientos Humanos	
	Número	Población Estimada
Lima Metropolitana	1980	2631839
Provincia de Lima	1834	2273139
Provincia Callao	146	358700

Fuente: (Encuesta Nacional de Municipalidades e Infraestructura Socio Económico Distrital, 1997)

Uno de los métodos para analizar la distribución de los asentamientos humanos es mediante la sectorización de los conos.

Tabla N°2: Número de asentamientos humanos y población estimada, según conos (1997)

Provincias	Asentamientos Humanos	
	Número	Población Estimada
Lima Metropolitana	1980	2631839
Lima Norte	549	781268
Lima Sur	637	781915
Lima Centro	75	25610
Lima Este	573	684346
Provincia Callao	146	358700

Fuente: (Encuesta Nacional de Municipalidades e Infraestructura Socio Económico Distrital, 1997)

En 1997, las Municipalidades de Lima Metropolitana reportan que existe un total de 1,980 asentamientos humanos, de los cuales 1,834 (92,6%) corresponden a la provincia de Lima y 146 (7,4%) a la provincia del Callao.

Tabla N°3: Asentamientos humanos registrados y no registrados, según provincias (1997)

Provincias	Asentamientos Humanos					
	Total		Registrados		No Registrados	
	N°	Lotes	N°	Lotes	N°	Lotes
Lima Metropolitana	1980	409157	1678	380782	302	28375
Provincia de Lima	1834	380572	1565	360370	269	20202
Provincia Callao	146	28585	1130	20412	33	8173

Fuente: (Encuesta Nacional de Municipalidades e Infraestructura Socio Económico Distrital, 1997)

### 2.3. Características físicas y topográficas de los Asentamientos humanos

Las extensiones de terreno de los asentamientos humanos son variables van de 1 a 4,5 hectáreas, aunque el área utilizable es por lo general bastante menor, a causa de la topografía accidentada. Las familias que los conforman no superan las 250, lo que da una población total aproximada de alrededor de 1.000 personas por asentamiento.

Son poblaciones de extrema pobreza, refugiados de la violencia, desempleados, jóvenes dedicados al comercio ambulatorio y quehaceres de menor cuantía. Los AAHH se ubican en terrenos que presentan dificultades para construir sobre ellos, arenales, pampas, laderas de cerros y ribera de ríos son las ubicaciones más frecuentes.

Las características topográficas de los asentamientos, especialmente las de los más recientes, elevan los costos de habilitación y de consolidación de la vivienda.

En vista de que para edificar en estas zonas es necesario invertir en muros de contención que varían de 2 a 5 m de altura, se hace mas difícil y costoso el traslado de los materiales, con lo que el precio de la construcción se incrementa hasta en 25%. Sin embargo, la población, con su esfuerzo, va transformando estas condiciones hasta convertirlas en espacios habitables. Si bien estos asentamientos han surgido alrededor de otros ya consolidados que cuentan con equipamiento de salud y educación, por su topografía tan agreste, que dificulta la comunicación de unos con otros, requerirán equipamientos adicionales como postas médicas o centros de educación para niños menores de 5 años, que no pueden trasladarse grandes distancias.

Tabla N°4:Lima Metropolitana: Asentamientos humanos de acuerdo con el suelo que ocupan, 1993.

Cono	N° de AA. HH	Características físicas predominantes del suelo				
		Terr. Plano	Pendiente	Cerro	Arenal	Ribera río
Norte	356	96	34	208	17	1
Este	339	105	73	155	0	6
Centro	66	32	1	26	0	7
Sur	256	42	80	107	27	0
Callao	57	39	0	18	0	0
Total	1074	314	188	514	44	14

Fuente: (Censos nacionales; Características sociodemográficas; UNI: Estudio geomorfológico de Lima Metropolitana, 1993)

#### 2.4. Saneamiento físico-legal de los asentamientos humanos

No todos los asentamientos humanos se han constituido por invasión. Algunos se crearon en forma progresiva al ocupar los terrenos por contratos de arrendamiento, promesa de venta de terreno, etcétera, y se encuentran en las mismas condiciones de un asentamiento humano, es decir, carecen de agua, desagüe, electrificación y tienen viviendas precarias. Pero, sobre todo, carecen de documentos legales que certifiquen la propiedad sobre los terrenos que ocupan. Siendo esta una situación muy extendida en todo el país.

#### 2.5. Condiciones socioeconómicas de la población

Con relación a los niveles socioeconómicos en Lima Metropolitana, según la encuesta de Apoyo, Opinión y Mercado de julio de 1997, la siguiente es la ubicación porcentual de la población de acuerdo con cuatro categorías, las cuales están subdivididas en dos subcategorías respectivamente: A: Nivel alto y medio alto (4,3%), con ingresos familiares mensuales de us\$ 5.000 y 3.500 respectivamente.

B: Medio típico y medio bajo (18,0%), con ingresos familiares mensuales de us\$ 1.100 y 700 respectivamente.

C: Bajo ascendente y bajo típico (34,0%), con ingresos familiares mensuales de us\$ 540 y 350 respectivamente.

D: Muy bajo pobre y muy bajo extremo (43,7%), con ingresos familiares mensuales de us\$ 250 y 200 respectivamente.

Estas dos últimas subcategorías son vistas como los estratos pobres y pobres extremos de la sociedad. Esto significa que 77,7% de la población metropolitana se ubica en un nivel socioeconómico bajo o muy bajo (C y D), lo que da cuenta de sus escasos ingresos y, por

ende, de su reducida capacidad de pago. Aunque no existe información desagregada por asentamiento humano, es razonable afirmar que en ellos se concentra la mayoría de la población del nivel D. Por otra parte, la Encuesta de Niveles de Vida señala que el 34% de hogares se encuentran en pobreza crítica sin acceso a la canasta familiar básica, mientras que el 4% se halla en pobreza extrema sin poder completar la canasta alimentaria. En total se calcula que de 2,7 a 3 millones de personas -casi 10 mitad de la población vive en situación precaria. Ello no resulta extra no si se tiene en cuenta que aproximadamente 75% de la población económicamente activa (PEA) de Lima se encuentra en situación de subempleo, casi 10% esta desempleada y tan solo 15% cuenta con un empleo adecuado. Otro indicador que permite graficar la situación es el monto de la remuneración mínima vital legalmente permitida: 136 dolores al mes. Si tomamos como referencia los tasas de pobreza extrema elaboradas por el Ministerio de la Presidencia (Mapa de la Pobreza 1994), observamos que los familias con mayor índice de pobreza extrema se encuentran alojadas en aquellos distritos que tienen un mayor número de habitantes en asentamientos humanos. Cinco de los seis distritos con mayor índice de pobreza tienen mas de la mitad de sus pobladores viviendo en asentamientos humanos.

Tabla N°5: Lima Metropolitana: PEA en asentamientos humanos, 1996

Categoría ocupacional	%	Ocupación principal	%
Asalariados	59,5	Obreros	50,0
Patrones	1,0	T. no calificado	18,0
Independientes	30,0	V. ambulantes	15,5
Trab. Del hogar	4,0	Comercio Minorista	14,5
Trab. No remunerado	4,0	Agricultores	2,0
N. E	1,5		
Total	100,0	Total	100,0

Fuente: (Encuesta Nacional de Municipalidades e Infraestructura Socio Económico Distrital, 1997)

Según cifras del INEI, en los asentamientos humanos de Lima Metropolitana la mayoría de la PEA [59,5%) es asalariada.

A su vez, en 1993, 50% de la PEA se ubicaba en el sector de la economía formal y 48% en la informal urbana . Finalmente, en Lima y Callao aproximadamente 77% de los hogares son dirigidos por hombres y 23% por mujeres . Con esto se ratifica el predominio

de varones, pero se evidencia el fenómeno conocido como «feminización de la pobreza», que da cuenta de abandonos familiares y madres solteras.

Por otro lado, sabemos que la superficie de rodadura es la única parte visible de la carretera.

Debajo de esta superficie, hay una estructura compuesta por varias capas de diferentes materiales.

La estructura del pavimento realiza el trabajo de soportar la carga de tráfico. El peso del vehículo colocado en el suelo se transfiere o disipa a la "sub rasante" (material natural bajo el pavimento) a través de la estructura del pavimento. En términos de capacidad de carga, la sub rasante suele ser una capa débil. La gran carga de tráfico aplicada a la superficie de la acera se distribuirá en el área más grande del nivel inferior hasta llegar a la sub rasante.

La capa de superficie está construida con materiales de alta resistencia para resistir las altas tensiones causadas por las cargas del tráfico, dado que la carga se distribuye en un área más grande de la capa inferior, se reduce el nivel de tensión.

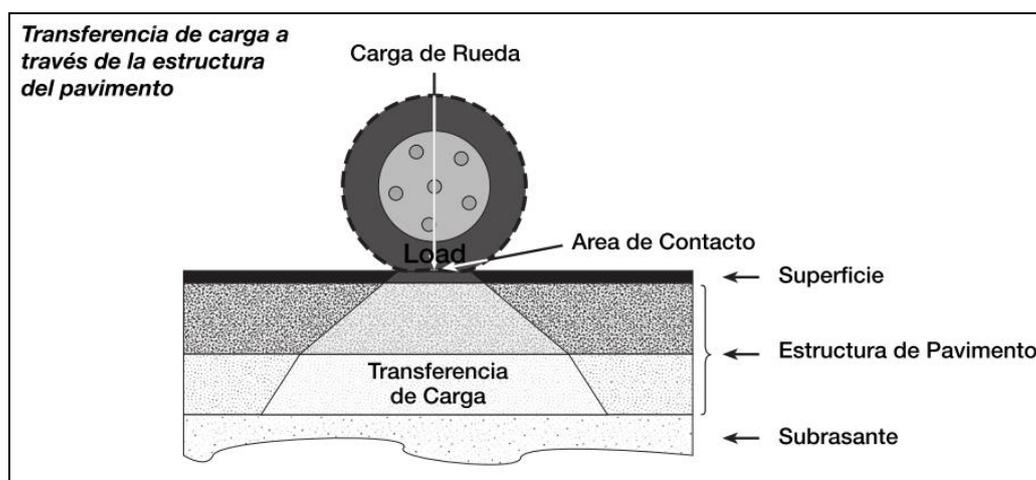


Figura N°1: Transferencia de carga a través de la estructura del pavimento.

Fuente: (Wirtgen Manual Reciclado en frío, 2004)

## 2.6. Componentes del Pavimento

### 2.6.1. Superficie

Las superficies o carpeta de rodadura es la capa del pavimento más expuesta con el tráfico y medioambiente, su función es proteger la estructura del pavimento de influencias destructivas y proporcionar durabilidad e impermeabilidad a la estructura, estas superficies están expuestas a la luz solar, viento, lluvia, nieve y otros factores

naturales, la importancia de estos fenómenos naturales radica en su influencia en las características de los pavimentos. Estos efectos se manifiestan principalmente en:

– Efectos térmicos que causan los cambios de volumen, producto de la expansión y contracción de materiales por cambios de temperatura.

– Efectos de congelamiento, que producen el fenómeno llamado hinchamiento. Ciclos repetitivos de hielo y deshielo causan un mayor daño a las superficies de los caminos.

– Efectos de la radiación producen sobre la superficie de los pavimentos lo comúnmente denominado como “insolación”. La radiación ultravioleta aplicada sobre la superficie del pavimento produce la oxidación del asfalto, volviéndolo frágil. Este proceso se conoce como “envejecimiento”.

#### 2.6.2. La base

Entre sus principales funciones están soportar de forma adecuada la carga transmitida por los vehículos, distribuyéndolos de forma gradual; si se tiene una buena base se puede evitar fallas considerables que afecten la estructura del pavimento.

#### 2.6.3. La sub-base

Esta conformado de material granular, cumple ciertas funciones como el drenaje y controlar la ascensión capilar de agua, de esta forma la sub-base y su funcionamiento estructural permiten proteger la integridad del pavimento.

Su función es actuar como cimiento de la estructura, si el material que constituye a la subrasante es de una buena calidad.

#### 2.6.4. La sub rasante

Es el material natural que soporta la estructura de pavimento puede estar compuesto por material in-situ (si se trata de una condición de corte) o material importado a la obra (si se trata de una condición de relleno). Las características de resistencia del material de subrasante determinan las características de la estructura de pavimento requerida para disipar las fuerzas aplicadas en la superficie. Estas fuerzas deben ser reducidas hasta alcanzar una magnitud tal que pueda ser tolerada por la subrasante, evitando la deformación permanente de la misma.

La Figura N°2 muestra los tipos de materiales que comúnmente se utilizan para construir pavimentos asfálticos, la respuesta de un material (tensiones, deformaciones), a la carga de tránsito depende en gran medida de las propiedades elásticas del material y de la carga misma (magnitud, presión, etc).

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

Figura N°2: Estructuración típica de pavimentos asfálticos.

Fuente: (Wirtgen Manual Reciclado en frío, 2004)

## 2.7. Tipos de Pavimentos

### 2.7.1. Pavimentos Asfálticos

Son aquellos que están contruidos de materiales naturales con las capas superiores con algún tipo de ligante (usualmente asfalto y / o levemente cementadas), sólo los pavimentos asfálticos pueden ser reciclados in-situ.

Una vez que ha finalizado la construcción de una carretera, ésta se somete a las fuerzas destructivas o sollicitaciones del medioambiente y tráfico. Ambos factores actúan en forma continua, reduciendo la calidad de rodadura y la integridad estructural del pavimento.

En cuanto a los pavimentos asfálticos, (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004), han expresado: “El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto a base de varias capas de material principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base. Su cualidad de este pavimento dada su composición flexible es que al ser superior un carga o esfuerzo esta traslada

las cargas restantes hasta la capa inferior pudiendo de esta forma soportar las cargas totales en el conjunto de capas” (pág. 18).

#### 2.7.2. Pavimentos Rígidos

(Rodríguez Míneros & Rodríguez Molina, 2004), señalan en relación al pavimento rígido “El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico sobre una base o directamente sobre la subrasante y además en algunas ocasiones la losa de concreto presenta un armado de acero, la cualidad más importante de este tipo de pavimentos es que los esfuerzos transmitidos a la estructura es minimizada y absorbida por su mayor capacidad de resistencia a los esfuerzos de falla, sin embargo este tiene un costo inicial más elevado que el flexible y su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas” (pág. 17)

### 2.8. Factores que causan el deterioro del Pavimento

A nivel mundial se construyen caminos bajo cualquier condición ambiental, desde climas desérticos con altas temperaturas a regiones altamente lluviosas.

Sin importar la condición ambiental se diseñan con el mismo objetivo de resistir las cargas de tráfico, utilizando el principio de transferencia de carga (generada en la superficie) hacia las capas inferiores de la estructura, de tal forma que la subrasante pueda resistir el tránsito sin sufrir deformaciones.

Los pavimentos se deterioran por un gran número de factores, pero los dos más importantes son los efectos medio ambientales y las cargas de tráfico. El deterioro del pavimento es normalmente medido indirectamente por la calidad de rodado, pero las características visibles como el ahuellamiento y agrietamiento superficial también son relevantes. La Figura N° 3 muestra como estas 3 características relacionan el paso del tiempo y el efecto acumulativo de las cargas de tráfico.

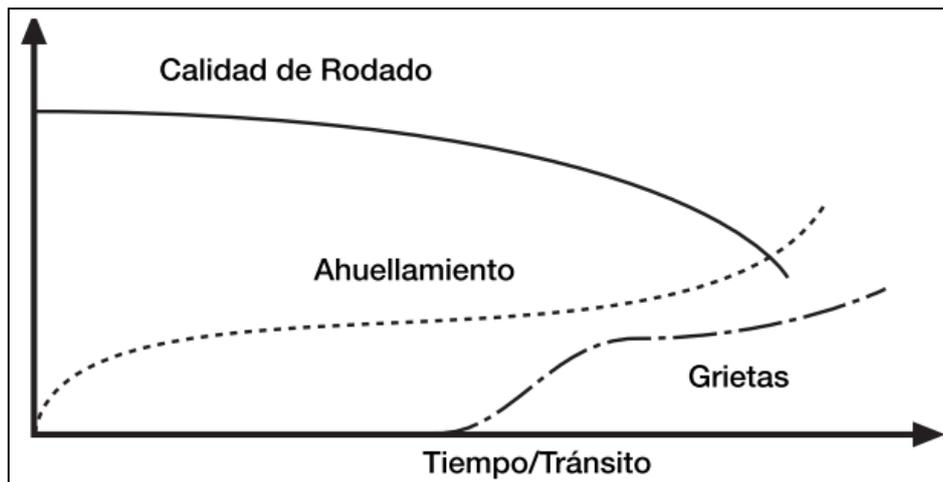


Figura N°3: Indicadores de deterioro de pavimento

Fuente: (Wirtgen Manual Reciclado en frío, 2004)

### 2.8.1. Factores ambientales

Los factores medio ambientales son responsables de la mayor parte del inicio del agrietamiento superficial.

El principal factor que contribuye a este fenómeno es la radiación ultravioleta solar, que causa un endurecimiento lento pero continuo del asfalto. Con el endurecimiento, la capa asfáltica reduce su elasticidad, lo que produce el agrietamiento cuando la superficie se contrae al disminuir su temperatura.

Una vez que la integridad de la superficie se pierde debido al agrietamiento, el pavimento tiende a deteriorarse a una tasa mayor producto del ingreso del agua a las capas subyacentes.

### 2.8.2. Efectos del tráfico

La carga de tráfico es la responsable de la aparición del ahuellamiento y de la aparición de grietas dentro de la estructura de pavimento. Todo vehículo que utilice un camino va a producir una pequeña deformación momentánea en la estructura de pavimento. Sin embargo, la deformación producida por un vehículo liviano (automóvil) es insignificante, mientras que los vehículos pesados producen grandes deformaciones. El paso de una gran cantidad de vehículos tiene un efecto acumulativo que gradualmente lleva a una deformación permanente y/o agrietamiento de fatiga en el pavimento. Es importante destacar que los ejes sobrecargados de los camiones pesados producen un efecto extremadamente nocivo en la estructura de pavimento, acelerando el deterioro.

Este deterioro es causado básicamente por dos mecanismos dentro de la estructura de pavimento:

– Deformación permanente causada por densificación, donde las tensiones de cargas repetitivas hacen que las partículas dentro de las capas del pavimento se aglomeren más, produciendo una reducción en los vacíos de los materiales. En el material granular, tal pérdida de vacíos produce un aumento en la capacidad de soporte (materiales más densos son más resistentes), pero en las capas asfálticas el efecto es nocivo. Una reducción en el contenido de vacíos en el asfalto no sólo causa ahuellamiento bajo la huella de los neumáticos, sino que también éste comienza a actuar como una especie de fluido.

Este fluido crea una especie de medio hidráulico, el cual genera presiones de poro producidas por las cargas de tráfico. El fenómeno hidráulico causa el desplazamiento lateral de la mezcla asfáltica a lo largo de los ejes de las huellas.

– Agrietamiento de fatiga en materiales ligados, este se inicia en la parte inferior de la capa, donde la deformación unitaria de tracción producida por las cargas de rueda alcanza su máxima magnitud. A partir de este punto de la capa, las grietas se propagan hacia la superficie. La deformación permanente que sufre el material bajo la superficie hacen que esta condición sea aún más crítica, al producirse un incremento de las deformaciones unitarias de tracción por cargas de rueda.

## 2.9. Principales Factores que Afectan la Estructura de Pavimento

El agua es el principal enemigo de las estructuras en los pavimentos. La saturación con agua hace que los materiales se vuelvan deformables y proporciona una lubricación entre las partículas, al mismo tiempo que las cargas de tráfico son aplicadas. La capacidad de soporte del material en condición seca es siempre mayor que en estado húmedo, y mientras más cohesivo (o arcilloso) sea el material, mayor es la susceptibilidad a la humedad. Además, si el agua presente en la estructura alcanza su punto de congelamiento, se produce una expansión en volumen de la misma, lo que genera daño considerable. Por lo tanto, la importancia de prevenir el ingreso del agua a la estructura de pavimento, especialmente en los materiales de más baja calidad de las capas inferiores es fundamental. El objetivo final de los pavimentos es permitir el tráfico vehicular. El volumen y tipo de tráfico esperado en un camino determinan los requerimientos geométricos y estructurales de pavimentos.

“Los ingenieros de transporte trabajan con estadísticas de tráfico proyectados (en términos de: números de vehículos, composición vehicular, y tamaño de los mismos) con el fin de determinar los requerimientos geométricos (alineación, número de pistas, etc). Los ingenieros de pavimentos necesitan las estadísticas de tráfico proyectado (en términos de: número de vehículos, composición vehicular, y cargas por eje) para determinar los requerimientos estructurales del camino. Por lo tanto, la estimación acertada del tráfico proyectado, tanto en volumen como en tipo de vehículos, es de gran importancia.” (Wirtgen Manual Reciclado en frío, 2004)

Desde el punto de vista del diseño de pavimentos, las características más importantes del tráfico son aquellas que permiten definir la magnitud y frecuencia de las cargas de superficie que el camino puede anticipar durante la vida estimada del pavimento.

Según (Humpiri Pineda, 2015, pág. 16), un pavimento debe contar con ciertas características que permitirán cumplir con su función de construcción las cuales son:

- a) Tener una resistencia a las cargas sometidas por el tráfico.
- b) Tener una resistencia a los agentes de intemperismo.
- c) Tener una textura superficial óptima para las velocidades previstas de diseño para los vehículos.
- d) Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- e) Tener una regularidad óptima, para que brinde un confort de viaje a los usuarios.
- f) Debe ser durable y económico.
- g) Tener características para condiciones de lluvia, tener una buena condición de drenajes.

## 2.10. Comportamiento del pavimento.

Toma como principales consideraciones el comportamiento funcional, estructural y de seguridad de un pavimento. Un aspecto de mayor importancia de este último es la resistencia a la fricción entre el pavimento – neumático.

### 2.10.1. Comportamiento estructural sometido a cargas

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

Los pavimentos asfálticos de cierta forma presentan mayores tensiones la cual conlleva a una mayor deformación, esto se da por su forma de distribuir los esfuerzos ocasionados por el tránsito, Es por ello, que la calidad es mayor cuando se aproxima más a la superficie y menor cuando se acerca a la subrasante, debido a que los esfuerzos producidos por el tránsito van disminuyendo con la profundidad.

#### 2.10.2. Comportamiento funcional

Se asocia a la capacidad del pavimento que tiene para brindar un servicio a los usuarios, es ese sentido las características predominantes son el confort o calidad de transitabilidad en este caso la rugosidad superficial, textura, adecuada fricción, fisuras, son deficiencias percibidas por los usuarios, las probabilidades de dañar mercancías de transporte, el desgaste de los vehículos y consumo de energía.

(Fano & Chavez, 2017) señalan que “Para poder evaluar esta característica se desarrolló el concepto de “serviciabilidad-comportamiento” recomendado en la carretera experimental de la AASHTO. Dicho concepto de serviciabilidad está basado en cinco aspectos esenciales, los cuales son”:

- a) Las carreteras son realizadas para el confort y conveniencia del público usuario.
- b) El confort o la calidad de transitabilidad, es una cuestión de respuestas subjetivas u opiniones del usuario.
- c) La serviciabilidad puede ser planteada del análisis de las calificaciones de los usuarios de la carretera, llamándosele ratio de serviciabilidad.
- d) Algunas de las características físicas de un pavimento pueden ser medidas objetivamente, las cuales pueden estar relacionadas a evaluaciones subjetivas, produciendo así un índice de serviciabilidad objetivo.
- e) El comportamiento puede ser representado por los antecedentes de serviciabilidad que tiene el pavimento.

#### 2.11. Identificación de fallas en los pavimentos

Los tipos de fallas que presenta un pavimento asfáltico son: fallas estructurales y fallas superficiales.

Los deterioros de la primera categoría se asocian generalmente con obras de rehabilitación de costo alto. Los deterioros de la segunda categoría se relacionan generalmente con obras de mantenimiento periódico (por ejemplo, carpeta delgada de concreto asfáltico o tratamiento superficial)”. (Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación vial, 2018, pág. 85)

### 2.11.1. Tipos y causa de los daños estructurales

Según el (Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación vial, 2018) “Los deterioros estructurales caracterizan un estado estructural del pavimento, concerniente al conjunto de las diferentes capas del mismo o bien solamente a la capa de superficie. Las cargas circulantes resultan generalmente”. (pág. 85)

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

### 2.11.2. Tipos y causa de los daños superficiales

Según el (Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación vial, 2018) “Los deterioros superficiales se originan en general por un defecto de construcción, por un defecto en la calidad de un producto o por una condición local particular que el tráfico acentúa”. (pág. 86)

Tabla N°6: Deterioro o Fallas de los pavimentos asfálticos.

Clasificación de los deterioros/fallas	Código de deterioro/falla	Deterioro / Falla	Gravedad
Deterioros o fallas Estructurales	1	Piel de cocodrilo	1: Malla grande (> 0.5 m) sin material suelto 2: Malla mediana (entre 0.3 y 0.5 m) sin o con material suelto 3: Malla pequeña (< 0.3 m) sin o con material suelto
	2	Fisuras longitudinales	1: Fisuras finas en las huellas del tránsito (ancho ≤ 1 mm) 2: Fisuras medias corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 1 mm y ≤ 3 mm) 3: Fisuras gruesas corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 3 mm). También se denominan grietas.
	3	Deformación por deficiencia estructural	1: Profundidad sensible al usuario < 2 cm 2: Profundidad entre 2 cm y 4 cm 3: Profundidad > 4 cm
	4	Ahuellamiento	1: Profundidad sensible al usuario pero ≤ 6 mm 2: Profundidad > 6 mm y ≤ 12 mm 3: Profundidad > 12 mm
	5	Reparaciones o parchados	1: Reparación o parchado para deterioros superficiales. 2: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado. 3: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado.
Deterioros o fallas superficiales	6	Peladura y Desprendimiento	1: Puntual sin aparición de la base granular (peladura superficial). 2: Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular. 3: Continuo con aparición de la base granular.
	7	Baches (Huecos)	1: Diámetro < 0.2 m 2: Diámetro entre 0.2 y 0.5 m 3: Diámetro > 0.5 m
	8	Fisuras transversales	1: Fisuras Finas (ancho ≤ 1 mm) 2: Fisuras medias, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 1 mm y ≤ 3 mm) 3: Fisuras gruesas, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 3 mm). También se denominan grietas.

Fuente: (Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación vial, 2018, pág. 86)

## 2.12. Procedimientos para la evaluación del pavimento

La evaluación del pavimento tiene como objetivo el análisis y estimación del valor estructural remanente, además busca proporcionar informaciones básicas necesarias de investigación que permitirán definir a juicio abierto las cantidades de fallas del pavimento, además de realizar un adecuado muestreo y diversos ensayos de materiales que buscarán la mayor optimización del reciclaje asfáltico.

Los testigos y/o perforaciones se usan para poder obtener la estratigrafía de las capas que conforman al pavimento además de ayudar a obtener muestras para ensayos en laboratorio. Para los materiales asfálticos los ensayos más usados son la extracción convencional del asfalto, que permiten obtener el contenido óptimo de asfalto mediante tamizado y

granulometría de los agregados. A través de una evaluación se define las acciones de mantenimiento y/ o rehabilitación a ejecutar según las deficiencias encontradas.

La evaluación de un pavimento por general consiste en determinar las deficiencias superficiales o estructurales existentes en un pavimento, además de las causas que lo originan. La característica que tiene el realizar una evaluación es poder establecer un diagnóstico que nos permita seleccionar y proyectar soluciones más adecuadas para los mantenimientos viales. Una evaluación debe tener en consideración estos aspectos.

Tienen que ser sistemática y permanente, porque a través de ella se busca la detección de daños en el pavimento, claro está que esta debe realizarse ni bien se observe las primeras muestras de fallas para poder tomar medidas preventivas de mantenimiento.

No se debe asumir determinadas condiciones o propiedades de los materiales, dado que esto puede impedir que se obtengan los resultados deseados.

Determinar las condiciones de las fallas y su respectiva solución de mantenimiento.

“La evaluación a realizar para efectos prácticos, considera la toma de datos como la base metodológica principal a desarrollar a partir de la inspección visual del pavimento, debiéndose hacer las anotaciones de lo observado mientras se maneja o camina sobre la red vial en estudio, en planillas especialmente preparadas para tal fin” (Humpiri Pineda, 2015, pág. 51)

A continuación, se describen en forma resumida los pasos a seguir para efectuar la evaluación superficial de los pavimentos, mediante la inspección visual de las vías.

#### Paso 1: Inspección Visual de la Vía

Consiste en realizar un recorrido sobre la vía con el fin de estudiarlo, este paso consiste en obtener una información básica y sistematizada que permitirá observar el tramo de mayor deficiencia superficial.

#### Paso 2: Observación de fallas

Nos permitirá analizar las condiciones superficiales en la que se encuentra el pavimento, su función es la de examinar las fallas en función del tipo, la severidad, su ancho de influencia y las causas que puedan originarlas.

#### Paso 3: Registro en planilla de evaluación

Consistirá en registrar todo lo observado durante el recorrido de la inspección visual, se anotará todas las fallas del área de muestra escogida para determinar el tipo de tratamiento de mantenimiento posible a aplicar. A través de este procedimiento se podrá definir la condición del pavimento, posibilitando definir algunos programas de conservación vial.

#### Paso 4: Evaluaciones opcionales

Mediante la ayuda de equipos no destructivos se puede tener un mejor resultado pudiéndose obtener la capacidad estructural y el análisis del desplazamiento vertical de su superficie (deflexión) de un pavimento. Entre los sistemas de medición tenemos:

- a) El deflectografo Iacroy
- b) El curviametro
- c) La viga benkelman
- d) El deflectometro de impacto

#### 2.13. Concepto de reciclado de pavimentos.

Se le denomina en la construcción reciclaje de pavimentos a la reutilización de materiales que conformaban las capas estructurales del pavimento, puesta que aquellas ya cumplieron su finalidad inicial. Mediante el reciclado se busca transformar el pavimento degradado en una estructura con calidad y capacidad homogénea, que cuente con las características de soportar cargas como al inicio de su construcción.

Las técnicas y metodologías que se han desarrollado para el reciclaje de pavimentos obedecen, a un desarrollo básico de conceptos empíricos y a comprobaciones de campo las cuales tienen que ser experimentadas directamente durante el proceso de ejecución.

De acuerdo con (Restrepo Sierra & Stephens Zapata, 2015) “Consiste en la buena gradación del material existente como residuo, puesto que ese material ya sufrió los procesos de selección, clasificación y trituración, que lo hicieron apto para la producción de materiales que conforman las estructuras de pavimento (bases granulares y mezclas asfálticas). Por otra parte, se fundamentan en principios químicos que trabajan sobre el ligante asfáltico presente en los residuos o escombros de pavimentos, que, aunque envejecido y de cantidad variable, puede ser reutilizado con la ayuda de aditivos químicos, agentes rejuvenecedores o complementado con la acción de emulsiones asfálticas o crudos pesados tratados” (pág. 24)

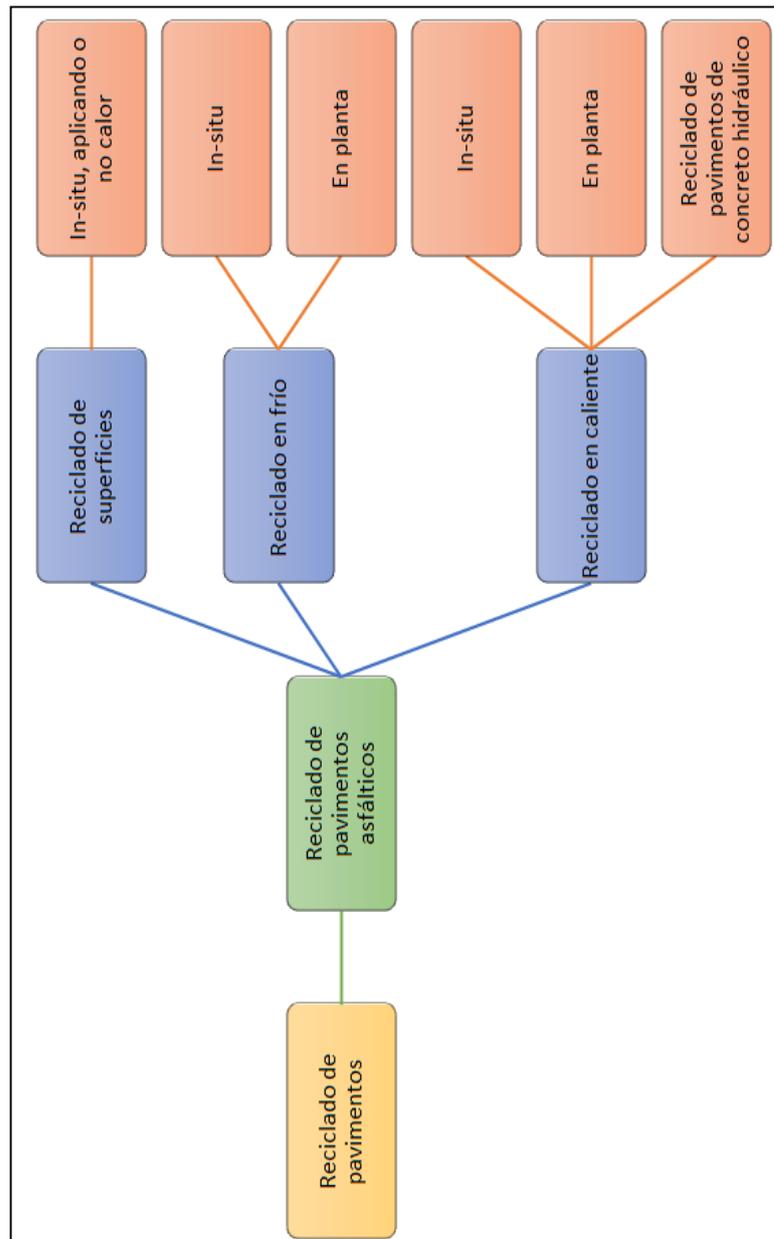


Figura N°4: Diagrama de clasificación de técnicas de reciclado de pavimentos

Fuente: (Evaluación y Rehabilitación de Pavimentos flexibles por el método del reciclaje, 2004)

#### 2.14. Materiales asfálticos para los pavimentos reciclados

Según el proceso de obtención de los materiales asfálticos se consideran dos grupos, los productos naturales y productos manufacturados

En los productos naturales se consideran a los asfaltos naturales y las rocas asfálticas, estos productos son formados por la composición natural de petróleo. Y en los productos manufacturados se encuentran los cementos asfálticos del petróleo, los asfaltos diluidos y las emulsiones asfálticas estos productos son obtenidos después del proceso de destilación del petróleo crudo.

Estas son:

- a) Cementos asfálticos
- b) Agregados pétreos
- c) Emulsiones asfálticas

#### 2.14.1. Cementos Asfálticos

Naturaleza y composición del cemento asfáltico.

Según (Vallejo Ramirez, 2011), “Químicamente los cementos asfálticos son mezclas muy complejas de hidrocarburos, que contienen en sus moléculas además azufre, oxígeno, nitrógeno, compuestos metálicos, obtenidos como subproductos en el refinado de los petróleos. (pág. 2)

Tabla N°7: Composición química del cemento asfáltico

Elemento	Porcentaje (%)
Carbono	80 a 88
Hidrógeno	9 a 12
Nitrógeno	0 a 2
Azufre	0 a 3
Oxígeno	0 a 12

Fuente: (Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfálticas y su evaluación del daño de humedad utilizando fillers comerciales, 2011)

Según en el cuadro se puede observar que los elementos químicos del carbono y el hidrogeno presentan una mayor variación de porcentaje, indicando que estos elementos se presentan en mayor cantidad en la composición del cemento asfáltico, pero desde luego también indica que dichos elementos presentan comportamientos muy diferentes con respecto a los otros elementos de menor concentración, los elementos químicos de concentración mayor en el cemento asfáltico generan un comportamiento diferente.

Según (Vallejo Ramirez, 2011)“los cementos asfálticos forman un sistema coloidal, esto quiere decir que cuentan con una fase dispersa y una fase continua. La fase dispersa está constituida por las partículas más pesadas, asfáltenos, mientras que la fase continua es un medio fluido aceitoso formado por los componentes más ligeros, máltenos”. (pág. 3)

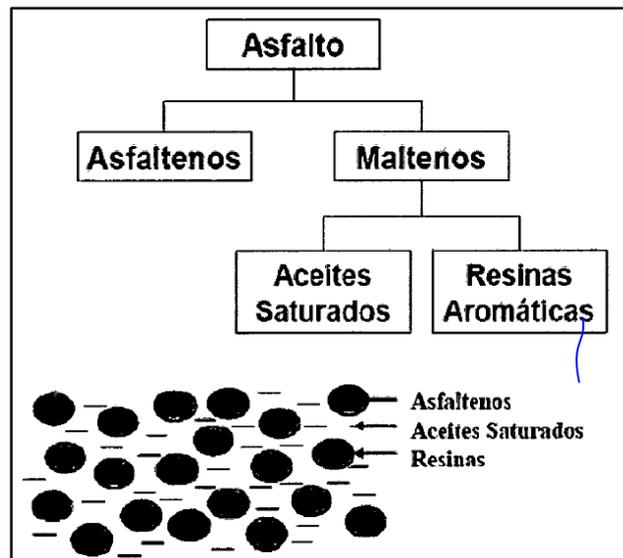


Figura N°5: Componentes de los cementos asfálticos según el sistema coloidal

Fuente: (Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica, 2015)

Refleja la composición del cemento asfáltico en la figura 05 el contenido del asfaltenos en el cemento asfáltico por lo regular tiene una variación de entre 15% y un 20%.

Los asfaltenos según (Vallejo Ramirez, 2011)) “son las partículas sólidas sin un punto de fusión definido y de alto peso molecular, además de ser el componente que le da dureza al cemento asfáltico y de ser muy adherentes no intervienen directamente en la adherencia de los agregados”. (pág. 4)

Los máltenos según (Vallejo Ramirez, 2011)) “son la fracción soluble en hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición. Generalmente existe mayor proporción de maitenes que asfaltenos, dándole mayor calidad al cemento asfáltico debido a que regula en gran parte las propiedades químicas de estos”. (pág. 4)

Las resinas aromáticas perteneciente al tercer componente del cemento asfáltico los aceites son más pesadas y tienen un punto de ebullición más elevado, las resinas dan características cementantes o aglutinantes al cemento asfáltico.

Los aceites saturados igualmente perteneciente al tercer componente se caracteriza por dar consistencia generando que el cemento asfáltico se trabajable, además de proteger de la oxidación debido a su gran estabilidad química.

Tabla N°8: Ventajas y desventajas de la estabilización con cemento

<b>Estabilización con cemento</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Disponibilidad.</b> El cemento se puede obtener en cualquier parte del mundo, a granel o en bolsas.	El agrietamiento por retracción es inevitable. Sin embargo, puede ser minimizado.
<b>Costo.</b> En relación al asfalto, el cemento no es caro.	Aumenta la rigidez en pavimentos flexibles.
<b>Facilidad de aplicación.</b> El cemento puede ser esparcido a mano si no se encuentran disponibles esparcidores mecánicos o mediante lechadas.	Requiere de un curado apropiado y protección para el tráfico a temprana edad una vez puesto en servicio, particularmente de vehículos pesados que se desplazan a baja velocidad.
<b>Aceptación.</b> El cemento es conocido y ampliamente aceptado en la industria de la construcción. Métodos estándares y especificaciones se encuentran disponibles.	

Fuente: (Wirtgen Manual Reciclado en frío, 2004)

#### 2.14.1.1. Características de los cementos asfálticos.

El comportamiento de un cemento asfáltico debe responder las exigencias requeridas para su empleo en proyectos de carreteras, estas exigencias son:

- Tiene que ser suficientemente fluido durante su empleo (bien mediante calentamiento, fluidificación o emulsificación) esto sirve para cumpla funciones de recubrimiento y adherencia para los agregados empleados.
- Presentar la suficiente consistencia y viscosidad para que el pavimento con altas temperaturas y bajo la acción del tráfico, no presente deformaciones.
- Tener una flexibilidad óptima para soportar bajas temperaturas, para evitar que el pavimento se vuelva frágil.
- Las propiedades de consistencia de un cemento asfáltico, tales como la viscosidad, fluencia y demás propiedades dependen de la temperatura en la que se encuentra y del tiempo en que se ejecutara su aplicación a un determinado pavimento.

### 2.14.1.2. Cementos Asfálticos Producidos en Perú.

Clasificación comercial de los cementos asfálticos de petróleo en el Perú.

Tabla N°9: Clasificación y comercialización de cementos asfálticos en el Perú.

Clasificación	RESPSOL	PETROPERÚ
PEN 10/20	NO	SI
PEN 20/30	NO	SI
PEN 40/50	NO	SI
PEN 60/70	NO	SI
PEN 85/100	SI	SI
PEN 120/150	SI	SI

Fuente: (Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfálticas y su evaluación del daño de humedad utilizando fillers comerciales, 2011)

La denominación PEN significa que se trata de un cemento asfáltico de petróleo, además indica el rango de penetración del cemento asfálticos

### 2.14.1.3. Especificaciones del cemento asfáltico.

Tabla N°10: Especificaciones técnicas del cemento asfáltico según su penetración (PEN)

Tipo		Grado de Penetración											
		PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300			
Grado	Ensayo	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
<b>Pruebas sobre el material Bituminoso</b>													
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300		
Punto de inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177			
Ductilidad, 25°C, 5cm/mín, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100			
Solubilidad en Tricloro-etileno %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0			
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) <sup>(1)</sup>	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1		
Ensayo de la Mancha (Oliensies) <sup>(2)</sup>													
Solvente Nafta - Estándar.			Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		
Solvente Nafta - Xileno, %Xileno	ASSHTO M 20		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		
Solvente Heptano - Xileno, %Xileno			Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		
<b>Pruebas sobre la Película Delgada a 163 C, 3,2 mm, 5 h</b>													
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5		
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+			
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm <sup>(3)</sup>	MTC E 306		50		75		100		100		100		

(1),(2) Ensayo opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado.

(3) Si la ductibilidad es menor a 100 cm, el amteral se aceptará si la ductilidad a 15, 5 °Ces mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/mín.

Fuente: (Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para Construcción, 2013)

## 2.14.2. Asfaltos Diluidos

Conocido también como “cut backs” o “asfaltos fluidificantes” su obtención se debe a la dilución de cementos asfálticos con algún derivado del petróleo, tales como la gasolina, kerosene, nafta, etc. Estos disolventes tienen como característica principal disminuir la viscosidad del cemento asfáltico permitiendo su mejor aprovechamiento en la puesta en obra, sin embargo, luego de ser aplicado sobre el pavimento los elementos disolventes se evaporan produciendo la pérdida de un producto nada despreciable y generando una contaminación atmosférica, así como riesgos de inflamación por el carácter de los diluyentes utilizados.

La evaporación de elementos mencionados está influenciada por el tipo de solvente utilizado, por la temperatura del medio ambiente, por la velocidad del aire y por el ligante utilizado en el ambiente.

### 2.14.2.1. Asfaltos diluidos de curado rápido (RC):

Compuesto de un disolvente que se evapora rápidamente después de ser aplicado sobre el pavimento, se caracteriza por que el disolvente empleado es un material con un bajo punto de ebullición esta son la gasolina o la nafta.

Tabla N°11: Grado de los asfaltos diluidos RC

Grado	Residuo Asfáltico en volumen
RC-70	55%
RC-250	65%
RC-800	75%
RC-3000	80%

Fuente: (Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfálticas y su evaluación del daño de humedad utilizando fillers comerciales, 2011)

#### 2.14.2.2. Asfaltos diluidos de curado medio (MC):

Tabla N°12: Grado de los asfaltos diluidos MC

Grado	Residuo Asfáltico en volumen
MC-30	50%
MC-70	55%
MC-250	67%
MC-800	75%
MC-3000	0.8

Fuente: (Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfálticas y su evaluación del daño de humedad utilizando fillers comerciales, 2011)

#### 2.14.2.3. Asfaltos diluidos de curado lento (SC):

Su obtención se genera a través de dos procedimientos, el primero consiste en mezclar el asfalto con gas oil de al punto de ebullición y el segundo consiste en controlar el caudal y temperatura del crudo durante el proceso de destilación, cabe mencionar que el asfalto se obtiene en la primera destilación. En el siguiente cuadro se muestra los asfaltos de SC.

Tabla N°13: Grado de los Asfaltos diluidos SC

Grado
SC-70
SC-250

Fuente: (Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfálticas y su evaluación del daño de humedad utilizando fillers comerciales, 2011)

Los asfaltos diluidos están representados por dos letras y la enumeración, las letras designan el tipo y la enumeración indican el grado de viscosidad. Según la clasificación aquellos asfaltos que presentan una enumeración baja indican que el asfalto es menos viscoso y más fluido, y aquellos que presentan una enumeración mayor indican que presentan mayor viscosidad y menos fluidez.

### 2.14.3. Asfaltos diluidos producidos en el Perú

En el siguiente cuadro se muestra la clasificación y las empresas que comercializan los asfaltos diluidos en nuestro país.

Tabla N°14: Clasificación y comercialización de asfaltos diluidos en el Perú

Clasificación	REPSOL	PETROPERU
MC 30	SI	SI
MC 70	NO	SI
RC 70	NO	SI
RC 250	SI	SI

Fuente: (Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfálticas y su evaluación del daño de humedad utilizando fillers comerciales, 2011)

## 2.14.4. Especificaciones técnicas para los asfaltos diluidos

Tabla N°15 Especificaciones técnicas del asfalto diluido del curado medio (MC)

Tipo	Material Bituminoso Diluido									
	RC-70		RC-250		RC-800		RC-3000			
	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
<b>Pruebas sobre el Material Bituminoso</b>										
Viscosidad Cinemática a 60 °C, cSt	70	140	250	500	800	1.600	3.000	6.000		
Punto de Inflamación, °C	-	-	27	-	27	-	27	-		
Contenido de Agua, %	-	0,2	-	0,2	-	0,2	-	0,2		
<b>Ensayo de destilación:</b>										
Destilado, porcentaje por volumen del total de destilado a 360 °C	10									
- a 190°C	50		35		15					
- a 225°C	70		60		45		25			
- a 260°C	85		80		75		70			
- a 315°C	55		65		75		80			
Residuo del destilado a 360°C, % en volumen por diferencia										
<b>Pruebas en el Residuo de Destilación:</b>										
Viscosidad absoluta a 60 °C, Pa.s. (P)(*)	60	240	60	240	60	240	60	240		
	(600)	(2.400)	(600)	(2.400)	(600)	(2.400)	(600)	(2.400)		
Dcutilidad a 25°C, 5 cm/mín, cm	100	-	100	-	100	-	100	-		
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-		
Ensayo de la Mancha (Oliensies)(**)										
Solvente Nafta-Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo		
Solvente Nafta-Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo		
Solvente Heptano-Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo		

(\*) En reemplazo del ensayo de viscosidad absoluta del residuo, se puede reportar el ensayo de penetración a 100g, 5s a 25°C, siendo el rango de 80 a 120 para los materiales bituminosos citados.

(\*\*) Porcentajes de solvente a usar, se determinara si el resultado del ensayo indica positivo Fuente: ASTM D 2028 Y AASHTO M-81

Fuente: (Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para Construcción, 2013)



#### 2.14.5. Agregados pétreos

Los agregados pétreos o minerales granulares, como arena, grava, piedra, escoria o relleno mineral son ampliamente usados en la composición primaria de un pavimento ya sea de un pavimento asfáltico o rígido, por lo general son empleadas en las bases y sub-bases y relleno de carreteras.

Estos materiales también son utilizados para la elaboración de mezclas asfálticas para los pavimentos asfálticos.

Tomando en consideración la aplicación del material reciclado y dada su diversidad de aplicación en la mejora de las vías, estas pueden ser usadas en la mejora de la estructura del pavimento, sin embargo, su aplicación depende de la evaluación que se le da al pavimento, de esta forma el resultado no indicara que capa necesita ser rehabilitada. Por las informaciones recolectadas durante la investigación de la tesis se pudo observar que dicho sistema de mantenimiento se realiza a las capas de la carpeta asfáltica y base granular por lo que se tomará como referencia las (Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para Construcción, 2013), cabe mencionar que si el resultado de la evaluación indica que la rehabilitación se realiza en la carpeta asfáltica esta necesitará un proceso de diseño de mezcla.

A continuación, se muestra las gradaciones para una base granular y los límites de gradación para una mezcla asfáltica.

##### 2.14.5.1. Gradación para bases granulares

Tabla N°17: Requerimiento granulométrico para bases

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso (%)			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100		
25 mm. (1")		75 a 95	100	100
9,5 mm. (3/8")	30 a 65	40 a 75	50 a 85	60 a 100
4.75 mm. (N° 4)	25 a 55	30 a 60	35 a 65	50 a 85
2,0 mm. (N° 40)	15 a 40	20 a 45	25 a 50	40 a 70
425 µm. (N° 40)	8 a 20	15 a 30	15 a 30	25 a 45
7 µm. (N° 200)	2 a 8	5 a 15	5 a 15	8 a 15

Fuente: (Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para Construcción, 2013)

La gradación A se usa para alturas mayores a 3000 m.s.n.m

Tabla N°18: Requerimiento del agregado grueso según la altitud

ENSAYO	NORMA MTC	NORMA ASTM	NORMA AASTHO	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 fracturas	MTC E 210	D 5821		40% mín.	50% mín.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	40% mín.
Partículas chatas y alargadas (1)		D 4791		15% máx.	15% mín.
Sales solubles totales	MTC E 219	D 1888		0.5% máx.	0.5% mín.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	C88	T 104		18% mín.

Fuente: (Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para Construcción, 2013)

Tabla N°19: Requerimiento del agregado fino

Ensayo	Norma	Requerimientos Altitud	
		< 3.000 msnm	>= 3.000 msnm
Índice plástico	MTC E111	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%

Fuente: (Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para Construcción, 2013)

## 2.14.5.2. Ensayos de control de los agregados pétreos.

Tabla N°20: Ensayo de calidad del agregado pétreo

Ensayo	Norma Técnica	Descripción
Análisis Granulométrico	NTP 400.012 (01) NTP 400.018 (02)	Permite determinar los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada.
Contenido de Humedad	NTP 339.127 (98)	Permite determinar la cantidad de agua contenida en las moléculas de suelo y/o agregado.
Límites de Consistencia	NTP 339.129 (99)	Permite determinar el límite líquido, plástico, índice plástico de un suelo o agregado fino.
Equivalente de Arena	NTP 339.148 (00)	Permite determinar la proporción realtiva del contenido de polvo fino nocivo o material arcilloso en los suelos o agregados finos.
Impurezas Orgánicas	NTP 400.024 (99)	Permite determinar de forma cualitativa de presencia de materia orgánica dentro de un suelo o agregado fino.
Abrasión	NTP 400.019 (02)	Permite determinar la resistencia al desgaste de agregados triturados o en estado natural.
Durabilidad	NTP 400.016 (99)	Permite determinar la resistencia al peso unitario suelto y compactado de los agregados.
Peso Unitario	NTP 400.017 (99)	Permite determinar el peso unitario suelto y compactado de los agregados.
Peso Especifico y Absorción	NTP 400.021 (02)	Permite determinar el peso específico aparente y real de los agregados.
Partículas Chatas y Alargadas.	NTP 400.040 (99)	Permite determinar el porcentaje en peso del material que presenta una o más caras de fractura del agregado.
Caras de Fractura	MTC E - 210 (00)	Permite determinar el porcentaje en peso del material que presenta una o más caras de fractura del agregado.
Series Solubles	MTC E - 219 (00)	Permite determinar el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua de los agregados pétreos.
Adhesividad de los Ligantes Bituminosos a los Áridos Finos (Procedimiento Riedel Weber)	MTC E - 220 (00)	Permite determinar la adhesividad de los materiales bituminosos con los agregados triturados finos.
Coathing and Stripping of Bitumen - Aggregate Mixture	AASHTO T - 162	Permite determinar la adhesividad de los materiales bituminosos con los agregados gruesos.

Fuente: (Reciclado en frío de pavimentos flexibles, con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas, 2012)

Tabla N°21: Parámetros de control de calidad - agregado a (altitud)

CARACTERÍSTICAS	ALTITUD (m.s.n.m)	
	Menor a 3000	Mayor a 3000
Durabilidad (el sulfato de sodio) (%)	12 máx.	10 máx.
Durabilidad (el sulfato de magnesio) (%)	18 máx.	15 máx.
Abrasión (%)	40 máx.	35 máx.
Partículas chatas y alargadas (%)	10 máx.	10 máx.
Sales solubles totales (%)	0.5 máx.	0.5 máx.
Absorción (Agregados Grueso) (%)	1	Según Diseño
Absorción (Agregados Fino) (%)	0.5	Según Diseño
Adherencia	95	95
Adhesividad (Rebel Weber) (%)	4 min	6 min
Índice de Plasticidad (Malla N°40) (%)	N. P	N. P
Índice de Plasticidad (Malla N°200) (%)	4 máx.	N. P

Fuente: (Reciclado en frío de pavimentos flexibles, con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas, 2012)

#### 2.14.6. Emulsiones Asfálticas

Son productos emulsificador, que a través de la integración mecánica y química entre dos o más materiales permite mejorar la calidad de la mezcla para su posterior aplicación al pavimento. Las emulsiones presentan su composición, tipos y clasificación.

Tabla N°22: Parámetros de control de calidad de mezcla emulsionadas

Propiedades de los Ensayos	Mínimo	Máximo
Estabilidad, N (lb) a 22.2° C (72°F)	2224	-
Mezcla para pavimentos	-500	-
Porcentaje de pérdida de estabilidad	-	50
Después de saturación de vacíos e inmersión	-	50
Agregado para recubrimiento	50	-

Fuente: (Reciclado en frío de pavimentos flexibles, con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas, 2012)

Tabla N°23: Criterios para el diseño de mezclas en frío - emulsión asfáltica

Propiedades de los Ensayos	Mínimo	Máximo
Estabilidad, N (lb) a 22.2° C (72°F)	2224	-
Mezcla para pavimentos	-500	-
Porcentaje de pérdida de estabilidad	-	50
Después de saturación de vacíos e inmersión	-	50
Agregado para recubrimiento	50	-

Fuente: (Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para Construcción, 2013)

#### 2.14.6.1. Componentes

“La emulsión asfáltica tiene tres componentes básicos: asfalto, agua y agente emulsivo. En algunas ocasiones la emulsión puede contener otros aditivos, como estabilizantes, mejoradores de recubrimiento, mejoradores de adherencia o agentes de control de rotura” (Fernández Larrauri, 2012, pág. 24)

La composición del asfalto en la emulsión está entre 50% y 75%, el agua es otro componente, aunque no se ha determinado qué porcentaje afectará a la mezcla de la emulsión porque el agua contiene impurezas que afectan la emulsión y por último tenemos el agente emulsivo cuyo fin es mantener las gotitas del asfalto en suspensión estable permitiendo controlar el tiempo de rotura.

#### 2.14.6.2. Tipos

Estas son aniónicas y catiónicas, se caracterizan por la carga eléctrica a la cual están rodeados las partículas del asfalto. Las aniónicas son cuando las partículas del asfalto están cargadas negativamente y se pasan al ánodo, las catiónicas tiene una función inversa debido a que estas están cargadas eléctricamente positivas lo produce su migración hacia cátodo.

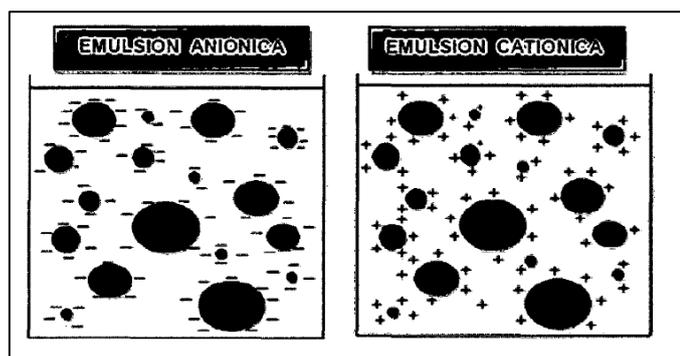


Figura N°6: Tipos de emulsión según la carga presente.

Fuente: (Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica, 2015)

### 2.14.6.3. Clasificación

Las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) y AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Según las normas la emulsión está dividida según la velocidad de rotura de cada emulsión.

Tabla N°24: Clasificación de emulsiones asfálticas.

Emulsión Asfáltica Aniónica (ASTM D997, AASHTO M140)	Emulsión Asfáltica Catiónica (ASTM D2397, AASHTO M208)
RS-1	CRS-1
RS-2	CRS-2
HFRS-2	-
MS-1	-
MS-2	CMS-2
MS-2h	CMS-2h
HFMS-1	-
HFMS-2	-
HFMS-2h	-
HFMS-2s	-
SS-1	CSS-1
SS-1h	CSS-1h

Fuente (Reciclado en frío de pavimentos flexibles, con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas, 2012)

Las terminologías con las cuales está representada su clasificación indican que tipo de propiedades tiene la emulsión. Los RS-MS-SS,

indican tiempo rotura (alta-media-baja), Los RS tiene deficiencias de mezclado entre agregados, los MS tiene facilidad de agregarse con el agregado grueso y no con el fino y la SS y QS sirven para la mezcla de los agregados finos. El QS tiene mayor velocidad de rotura con respecto al SS.

La rotura de una emulsión es el recubrimiento del asfalto al agregado, como se puede ver en la figura el agua cuyo elemento está en la mezcla asfáltica pasa por proceso de evaporación, dejando que el asfalto recubra y mejore sus adherencias entre los agregados pétreos.

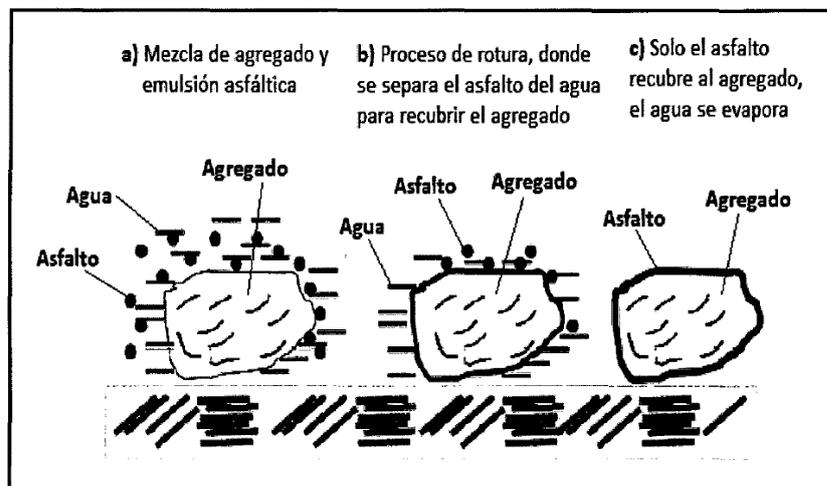


Figura N°7: Proceso de rotura de una emulsión

Fuente: (Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica, 2015)

La letra C indica que el tipo de emulsión es catiónica y las que no tiene son aniónicas, el sufijo h significa que la base asfáltica es más consistente o dura (hard) y el sufijo S indica que la base asfáltica es blanda (soft), Las terminologías HF indica que la emulsión es de alta flotación.

En la actualidad existen emulsiones asfálticas catiónicas modificadas con polímeros, el polímero agregado mejora las propiedades de las emulsiones de forma mecánica y reológica.

Tabla N°25: Ensayos de control de calidad de las emulsiones asfálticas

Ensayo	Norma Técnica	Descripción
Velocidad saybolt Furol, 25°C.	ASTM D - 24400	Permite determinar la viscosidad o consistencia de las emulsiones asfálticas por medio del viscosímetro Saybolt Furol.
Estabilidad al Almacenamiento, 24 horas	ASTM D - 24400	Permite determinar la estabilidad de la emulsión durante el almacenamiento por medio de la medición de la tendencia de los glóbulos del asfalto a sedimentar durante un período de tiempo igual a un día (24 horas).
Sedimentación, 05 días	ASTM D - 24400	Permite determinar la estabilidad de la emulsión durante el almacenamiento por medio de la medición de la tendencia de los glóbulos del asfalto a sedimentar durante un período de tiempo igual a cinco días.
Sieve Test (Tamiz N° 20)	ASTM D - 24400	Permite determinar la calidad y estabilidad de la emulsión por medio de la medición de la cantidad de partículas retenidas en el tamiz.
Cubrimiento de Agregado	ASTM D - 24400	Permite determinar la capacidad de la emulsión asfáltica para reducir el agregado completamente, resillar el efecto de mezclado mientras permanece con una película sobre el agregado y resistir la acción de lavado.

Fuente: (Reciclado en frío de pavimentos flexibles, con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas, 2012)

Tabla N°26: Ensayos de control de calidad de las emulsiones asfálticas

Ensayo	Norma Técnica	Descripción
		del agua uan vez finaliza la mezcla. No se realiza para emulsiones asfálticas de rotura rápida
Carga de Partículas.	ASTM D - 244/00	Permite detemrnar la carga eléctrica de la emulsión. Pudiendo ser aniónicas, catiónicas o no iónicas.
Contenido de Agua.	ASTM D - 244/00	Permite determinar la caditad de agua contenida en la emulsión, mediante la destilación a reflujo.
Residuo por Evaporación.	ASTM D - 244/00	Permite determiar la cantidad de cemento asfáltico contenido en la emulsión. En este tipo de ensayo cabe la posibilidad de envejecimiento del residuo asfáltico.
Redisuo por Destilación	ASTM D - 244/00	Permite separar el agua del cemento asfáltico. Para psoteriamente al ultimo de ellos realizar ensayos del control de calidad.
Penetración, 25°C, gr, 5s, 0.1mm	ASTM D - 5/97	Permite detemriar la consistencia del residuo asfáltico contenido en la emulsión.
Ductilidad, 25°C, 5cm/min.	ASTM D - 113/99	Permite determinar la ductilidad del residuo asfáltico contenido en la emulsión.
Recuperación elástica, 25°C, 5cm/min.	ASTM D - 2042/96	Está basado en el ensayo de ductilidad y permite detemriar la capacidad de recuperación luego de experimentar una deformación del residuo asfáltico contenido en la emulsión asfáltica modificada.
Solubilidad en Tricloroetileno	ASTM D - 2042/97	Permite detemriar la solubilidad del residuo asfáltico contenido en la emulsión.

Fuente: (Reciclado en frío de pavimentos flexibles, con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas, 2012)

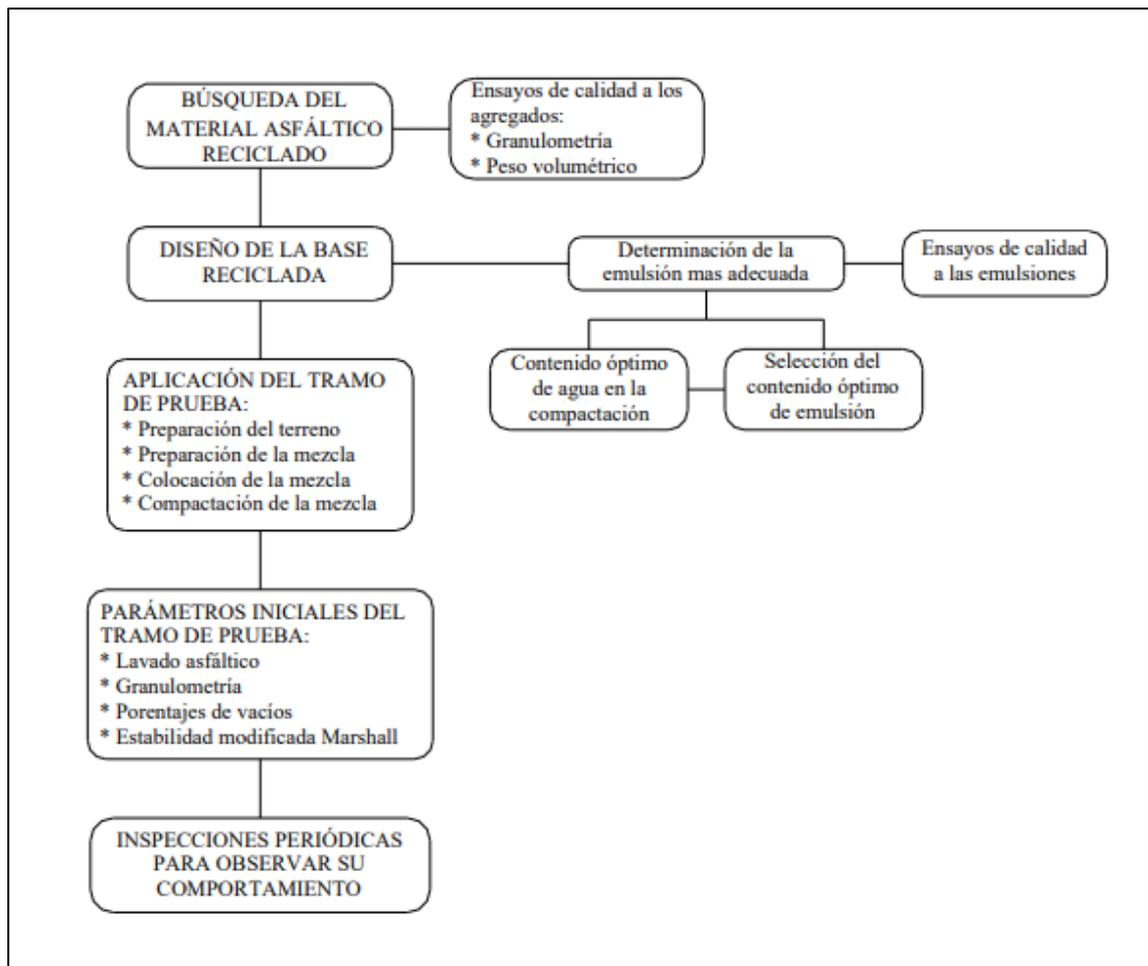


Figura N°8: Proceso del Control del Material Reciclado

Fuente: (Reciclado in situ en frío de pavimentos empleando emulsiones asfálticas- Aplicación: Colegio FAP Manuel Polo Jiménez, urb. San Gabino- Santiago de Surco, 2007)

El material reciclado obtenido durante el proceso de fresado de la carpeta asfáltica existente, estará conformado por agregado y cemento asfáltico envejecido, para el cual será necesario realizar ensayos de laboratorio que me permitirán determinar las propiedades físicas y mecánicas del material reciclado actual.

Las emulsiones asfálticas actúan como un material ligante durante el proceso de mezclado, es por ese motivo que debemos realizar los ensayos que corroboren su aplicación en función de la destilación.

## 2.14.6.4. Especificaciones Técnicas Para emulsiones asfálticas.

Los ensayos permiten definir las características que presenta el agente emulsivo.

Tabla N°27: Especificaciones para emulsiones catatónicas

Tipo	Rotura Rápida				Rotura Media				Rotura Lenta				Rotura Rápida	
	CRS-1		CRS-2		CHS-2		CHS-2h		CSS-1		CSS-1h		COS-1h	
Grado	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
<b>Prueba de Emulsiones</b>														
- Viscosidad Saybolt Furol a 25°Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100	100
- Viscosidad Saybolt Furol a 50°Cs	20	100	400	50	450	50	450	50	450	-	-	-	-	-
- Estabilidad de Almacenamiento, 24h, %(**)	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Demulsibilidad, 35 cm <sup>3</sup> , 0.8% Dioctilsulfosuccinato sódico, %	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Revestimiento y Resistencia al agua														
- Revestimiento agregado seco										Bueno				
- Revestimiento, agregado seco después del rociado										Aceptable				
- Revestimiento, agregado húmedo										Aceptable				
- Revestimiento, agregado húmedo de después del rociado										Aceptable				
Carga de partícula	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
Prueba de Tamiz % (**)	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1
Mazla con Cemento, %										-	2,0	-	2,0	-
Destilación:														
- Destilación de aceite, por volumen de emulsión	-	3	-	3	-	3	-	3	-	12	-	12	-	12
- % Residuo	60	-	65	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-
<b>Pruebas sobre el Residuo de destilación:</b>														
- Penetración, 25°C, 100g, 5s	100 <sup>(*)</sup>	250 <sup>(*)</sup>	100 <sup>(*)</sup>	250 <sup>(*)</sup>	100	250	40	90	100	250	40	90	40	90
- Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	50 <sup>(*)</sup>	150 <sup>(*)</sup>	50 <sup>(*)</sup>	150 <sup>(*)</sup>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
- Solubilidad en Tricloroetano, %	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5

(\*\*) Este requerimiento de prueba en muestras representativas se exige.

(\*) En función a las condiciones climáticas del Proyecto se definirá uno de los grados indicados (50-150 ó 100-250)

Fuente: ASTM D 2397 y D 3910.

Fuente: (Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para Construcción, 2013)

## 2.15. Aplicación del método de reciclaje en frío como alternativa de construcción de pavimentos asfálticos

### 2.15.1. Reciclado en frío

Según (Restrepo Sierra & Stephens Zapata, 2015), el reciclaje en frío constituye un procedimiento de construcción internacionalmente reconocido desde el punto de vista ecológico, económico y técnico, pues posee, por una parte, características de rapidez en su ejecución debido al avance tecnológico de las máquinas disponibles en la actualidad y, por otro lado, contribuye significativamente en el manejo ambiental al reducir la explotación de canteras fuentes de agregados pétreos. Además, disminuye el ítem del transporte de materiales y permite conseguir un material nuevo de características”.

## 2.16. Técnica para el reciclado de pavimento en frío

“El reciclado en frío por lo general utiliza el 100 por ciento de pavimento asfáltico reciclado (RAP) durante el proceso de tratamiento. Por lo general su sistema de trabajo a nivel de superficie de rodadura o carpeta asfáltica comprende entre 2 a 4 pulgadas (50 a 100 mm) y cuando el sistema de trabajo comprende mayor profundidad esta tiene un rango de ente 5 a 6 pulgadas (125 a 150 mm)”. (Paccori Mori, 2018, pág. 43)

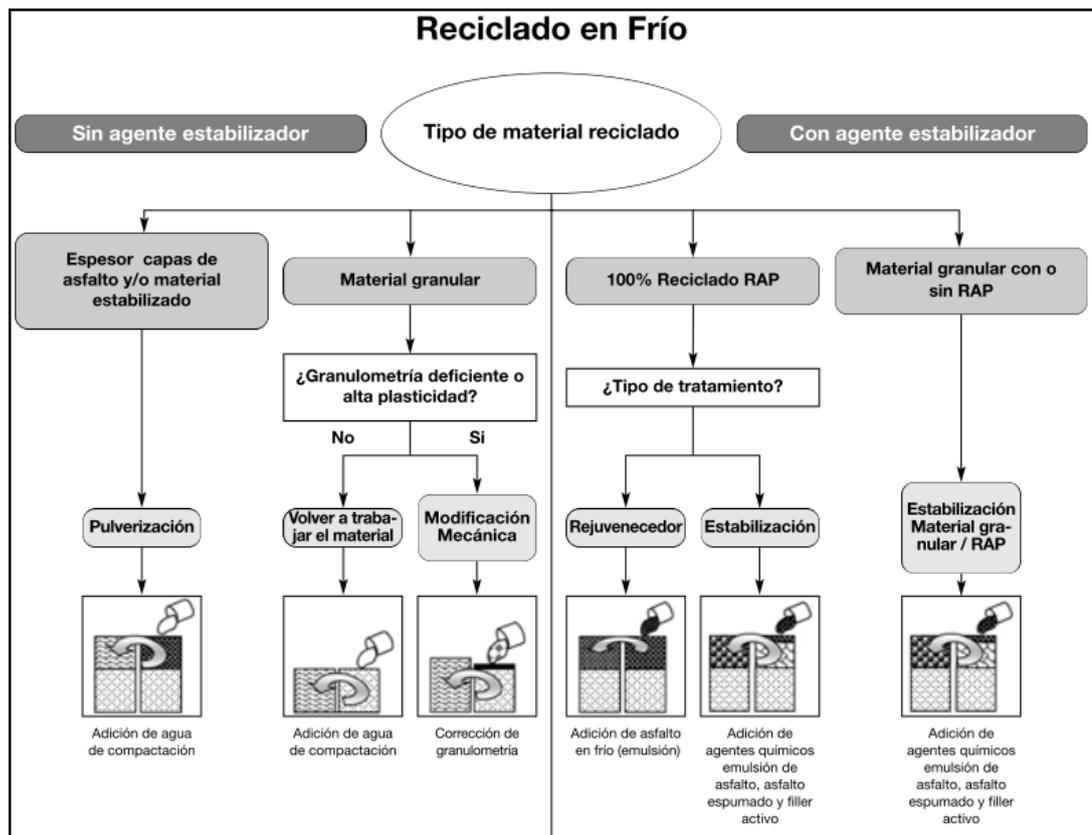


Figura N°9: Categorías del reciclado

Fuente: (Wirtgen Manual Reciclado en frío, 2004)

### 2.16.1. Pulverización

“Cuando se recicla un pavimento que contiene capas asfálticas gruesas, no siempre es necesario adicionar un agente estabilizador. Ocasionalmente, las capas asfálticas gruesas que estén agrietadas por fatiga severa, son tratadas mejor mediante la pulverización anticipada de la capa asfáltica completa. Seguido a ello, se compacta el material para crear un “granular reconstituido”. Luego, sobre esta capa asfáltica reconstituida se construyen la base asfáltica nueva y las capas superficiales, obteniéndose una estructura de pavimento equilibrada”. (Fano & Chavez, 2017, pág. 81)

### 2.16.2. Reprocesamiento

“Es la técnica mediante el cual se busca obtener al máximo beneficio ejecución constructivo de una carretera, consiste en volver a trabajar y recompactar la capa superior del pavimento. La finalidad de este proceso es que se busca homogenizar la capa y las propiedades de capacidad de soporte del nuevo o viejo pavimento.” (Paccori Mori, 2018, pág. 44)

### 2.16.3. Modificación de propiedades mecánicas

“Consiste en obtener una gradación granulométrica óptima, en cuanto a la unión de los materiales granulares faltantes y los reciclados cuyo fin es alcanzar las condiciones de compactación para el material reutilizado.” (Paccori Mori, 2018, pág. 44)

### 2.16.4. Reciclado del 100% de RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado)

“La estabilización Granular/RAP puede ser efectuada mediante el reciclado a distintas profundidades, generalmente entre 150 mm y 250 mm. Cuando la capacidad estructural necesita ser mejorada para ajustarse a mayores demandas de tráfico, la profundidad del reciclado puede incrementarse, alcanzando un aumento en el espesor de la nueva capa estabilizada. Sin embargo, es necesario que el pavimento existente tenga un espesor mínimo de material natural de buena calidad para aplicar esta alternativa. Los pavimentos deteriorados compuestos por capas estabilizadas (por ejemplo, con cemento o cal hidratada) también pueden ser reciclados.” (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 33)

### 2.16.5. Estabilización con RAP/Base granular

“La estabilización Granular/RAP puede realizarse mediante el reciclado, generalmente en profundidades entre 150mm y 250mm. Estos valores pueden incrementarse, si la capacidad estructural del pavimento necesita ser mejorada, alcanzando así, un aumento en el espesor de la capa reciclada; sin embargo, para aplicar esta alternativa es necesario tener un espesor mínimo de material natural de buena calidad.

Por otro lado, el reciclado de las capas granulares superficiales existentes es realizado usualmente con agentes estabilizantes. La estabilización con cemento o cal hidratada habitualmente se realiza entre 150 mm a 250 mm de profundidad, mientras que estabilizar con emulsión o asfalto espumado solo requiere entre 125 mm a 150 mm de profundidad.” (Fano & Chavez, 2017, pág. 81)

## 2.17. Proceso de reciclado en frío

El reciclado en frío puede ser realizado en planta o in-situ.

En planta, el reciclado se logra mediante el transporte del material recuperado de un pavimento existente a un depósito central, donde el material se trabaja con una unidad de procesamiento (como un mezclador continuo). In-situ, el reciclado se logra utilizando una máquina recicladora móvil.

En general, el proceso en planta es la opción más cara en términos de costo por metro cúbico de material.

Esto se debe principalmente a los costos de transporte, que no existen en el reciclado in situ. Sin embargo, ambos métodos de reciclado tienen su nicho en la industria de la construcción y la decisión sobre cuál debe ser aplicado está definido básicamente por:

- Tipo de construcción. El proceso en planta habitualmente es considerado donde el material reciclado se puede utilizar en la construcción de un nuevo pavimento asfáltico, y en el refuerzo de un pavimento existente.
- El material in-situ del pavimento existente que va a ser reciclado. Cuando el material de la capa superior de un pavimento existente va a ser reciclado, la variabilidad y/o condición del material en ocasiones requiere un proceso de selección o pre-tratamiento (por ejemplo, reducir el tamaño de una capa asfáltica gruesa).

#### 2.17.1.1. Reciclado en planta

“Son las actividades que se realizan en lugar predeterminado, su obtención generalmente será producido por un fresado pudiendo ser esta de forma superficial asfáltica o base granulada, los materiales reciclados como la base granular, el asfalto, los agregados nuevos y agentes de reciclaje pasan a combinarse en una planta central donde se producirá el nuevo material reciclado para su posterior tendido y compactado con métodos y equipos convencionales, las características de mezclado del nuevo material son solicitadas dependiendo de la necesidad requerida. Por otra parte, el reciclado en planta tiene algunos beneficios como:

- Se tiene un mejor control del material de entrada, en el reciclado en planta se puede mezclar distintos tipos de agregados y al poder controlar el ingreso del material se puede obtener productos más específicos.
- Calidad de mezclado, como la operación del mezclado de agregados es continuo se pueden hacer modificaciones para alterar el tiempo en que el material es retenido dentro de la cámara de mezclado durante este proceso se puede cambiar la calidad de la mezcla.
- Posibilidad de aglomerar el material, tener la facilidad de que los materiales tratados puedan ser almacenado y empleados cuando sea necesario.” (Paccori Mori, 2018, pág. 45)

### 2.17.1.2. Reciclado In-situ

Para (Paccori Mori, 2018, pág. 46) define el reciclado in-situ, es una de las técnicas del RAP (Pavimentos Asfáltico Recicladados), consiste en poder reutilizar los materiales procedentes de las capas del pavimento asfáltico que ya han estado en servicio y que por diversos factores y envejecimiento natural estas ya han perdido algunas propiedades con respecto a su construcción inicial, como la cohesión, textura, composición, geometría, etc., pero a través de esta técnica se busca una mezcla homogénea a través de un nuevo ligante (emulsión bituminosa) y ciertos porcentajes de agua y aditivos (cemento y cal), se busca que estas den como resultado una mezcla con capacidades de soporte y calidad al igual que su construcción inicial, el nuevo mezclado pueden ser utilizados para integrar nuevas capas del mismo pavimento. Por lo general este tipo de rehabilitación es utilizada para pavimentos viejos o con un avanzado deterioro.

El pavimento reciclado en frío in-situ tiene un procedimiento que será ejecutado en etapas.

- a) Disgregación de los materiales del pavimento existente mediante el fresado del espesor recomendado por el diseño de tratamiento.
- b) Detección y extracción de sobre tamaños
- c) Adicción y mezclado de agente estabilizado
- d) Extendido, nivelación y compactación
- e) Curado
- f) Colocación de la capa superficial nueva o cubrimiento del material reciclado”

“El elemento más importante de una máquina recicladora es el rotor fresador-mezclador equipado con un gran número de puntas, especialmente diseñadas para este proceso. El tambor normalmente rota y pulveriza el material del pavimento existente.” (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 30) (Ver Figura N°10)

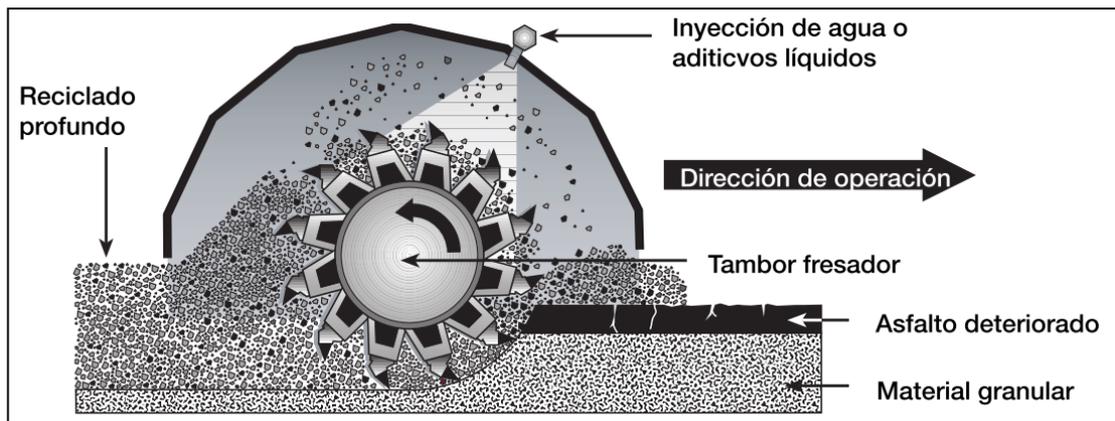


Figura N° 10: Proceso de reciclado.

Fuente: (Wirtgen Manual Reciclado en frío, 2004)

“A medida que la máquina avanza con el tambor rotando, el agua de un tanque acoplado a la recicladora se llena mediante mangueras dentro de la cámara de mezclado de la recicladora. El flujo de agua es medido con precisión mediante un micro procesador controlado por un sistema de bombeo, mientras que el tambor mezcla el agua con el material reciclado para alcanzar el contenido necesario de humedad. De esta forma es posible conseguir altos niveles de compactación. Agentes estabilizadores líquidos, como lechada cemento / agua o emulsión asfáltica, tanto en forma separada como combinadas, pueden ser introducidas directamente a la cámara de mezclado de una forma similar. Además, el asfalto espumado puede ser inyectado dentro de la cámara de mezclado mediante una barra aspersora especialmente diseñada.” (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 30)

Agentes estabilizadores poderosos, como la cal hidratada, son normalmente repartidos en la superficie del pavimento existente, delante de la recicladora. La recicladora pasa trabajando sobre el estabilizador en polvo, mezclando a éste con el material recuperado, para luego inyectarle agua, todo en una sola pasada.

Los trenes de reciclado pueden ser configurados de distinta manera, dependiendo de la aplicación de reciclado y del tipo de agente estabilizador que sea utilizado. En cada caso la máquina recicladora

ejerce la tracción en el tren de reciclado, empujando o tirando el equipo que está conectado a la misma mediante barras de empuje o lanzas.

“El tren de reciclado se utiliza cuando el material es estabilizado con lechada de cemento. La tasa de aplicación requerida de cemento y agua se mide con exactitud antes de mezclarse para formar una lechada, la cual es bombeada a la recicladora mediante una manguera flexible y posteriormente inyectada dentro de la cámara pulverizadora. Alternativamente, el cemento puede ser esparcido sobre el pavimento existente delante de la recicladora, sustituyendo el mezclador de lechada por un tanque de agua.” (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 31) (Ver Figura N°11)

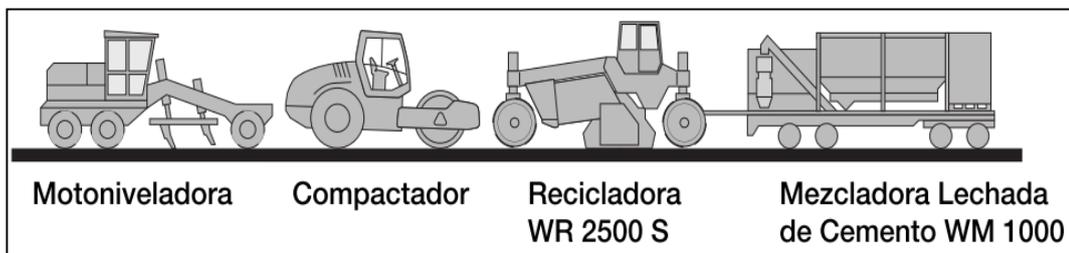


Figura N°11: Típico tren reciclador con mezclador de lechada.

Fuente: (Wirtgen Manual Reciclado en frío, 2004)

“El material que sale de la recicladora recibe la compactación inicial del rodillo pesado vibratorio para alcanzar una densidad uniforme en todo el material. Posteriormente el material se perfila con una motoniveladora antes de ser finalmente compactado utilizando un compactador neumático y un rodillo vibratorio.

Cuando la emulsión o el asfalto espumado se aplican junto con la lechada de cemento se configura un tren de reciclado similar al anterior, formado por un tanque suministrador de asfalto empujado delante del mezclador de lechada.

En los casos donde el cemento se esparce como polvo sobre la superficie del camino delante del tren de reciclado, el tanque de asfalto se acopla directamente a la recicladora y el tanque de agua es empujado, liderando el tren de reciclado. En el caso de utilizar una recicladora montada sobre orugas y equipada con placa compactadora, el uso de una motoniveladora para perfilar la superficie puede no ser necesario.” (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 31)

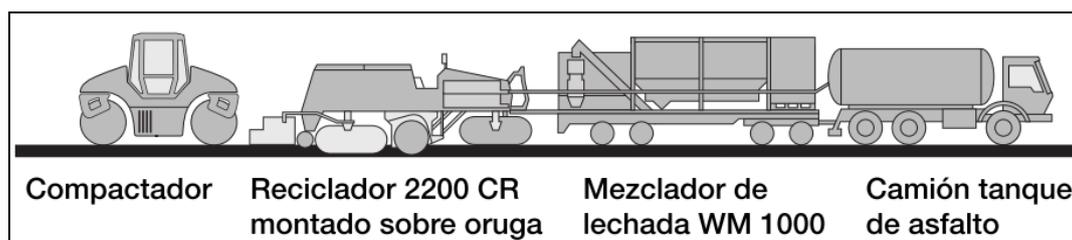


Figura N°12: Típico tren reciclador con mezclador de lechada y camión de asfalto.

Fuente: (Wirtgen Manual Reciclado en frío, 2004)

Tabla N°28: Clasificación de los reciclados in situ en frío

Clase	Emulsión asfáltica			Cemento
	I	II	III	IV
Dosificación del ligante o conglomerante	4 - 7 %	3 - 5%	2 - 4%	4- 6%
Pavimento que se recicla	Pavimento asfáltico (<5cm) + base granular	Pavimento asfáltico (<5cm) + base granular	Mezclas asfálticas	Pavimentos degradados
Espesor del reciclado (cm)	8 - 15	8 - 15	5 - 15	15 - 35
Objetivos	Estabilización y regularización del pavimento		Reciclado y regeneración del ligante existente	Formación in-situ de una base tratada

Fuente: (Villa Chaman, 2007)

a) El reciclado de la clase I se aplica habitualmente a pavimentos flexibles y semirrígidos, que vayan a verse sometidos en general a una categoría de tráfico pesado T3 o T4, sin problemas serios en el terraplén.

b) Los reciclados de la clase II y III se emplean habitualmente para tratar las situaciones de deterioro correspondiente a:

- La fisuración por fatiga de pavimentos flexibles y semirrígidos.
- El despegue de la capa de rodadura.
- La reflexión de grietas de retracción de bases tratadas con cemento que no estén muy degradadas.
- La fisuración por envejecimiento del ligante o por acción de las sollicitaciones térmicas.

c) El reciclado tipo IV es una magnífica alternativa si se precisa rehabilitar pavimentos con un avanzado estado de deterioro estructural, a veces incluso con problemas en el terraplén, para hacer frente a unos tráficos incluso de una categoría superior a la que venían soportando.

#### 2.17.2. Beneficios de un pavimento asfáltico reciclado en frío

Algunos de los beneficios más evidentes del reciclado en frío para la rehabilitación y construcción de pavimentos son:

##### 2.17.2.1. Factores medio ambientales.

Para (Wirtgen GmbH, 2004), “ Se hace uso del 100% de los materiales del pavimento existente. No se necesita crear sitios de materiales, y el volumen del nuevo material que debe ser importado a la obra desde pozos de agregados es minimizado. Esto reduce los efectos en el medio ambiente (en la actualidad, y debido a los métodos tradicionales de construcción, es frecuente observar cortes de gran tamaño en cerros, para extraer materiales de construcción), los cuales son inevitables cuando se abre una zona para extraer materiales. Además, el transporte es reducido en forma drástica. El consumo de energía total es reducido en forma considerable, así como el efecto destructivo de los vehículos de transporte en la red vial.” (pág. 40)

#### 2.17.2.2. Calidad de la capa reciclada.

Se logra una alta y consistente calidad de mezclado de los materiales in-situ con el agua y los agentes estabilizadores. La adición de fluidos es precisa debido al microprocesador que controla los sistemas de bombeo. El material reciclado, más los aditivos, son mezclados en forma intensa en la cámara del tambor fresador-mezclador.

#### 2.17.2.3. Integridad estructural.

“El proceso de reciclado en frío produce capas ligadas gruesas que son homogéneas y no de ubicación de las obras u otros factores que así lo justifiquen.” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

#### 2.17.2.4. La alteración de la sub rasante es mínima.

La alteración de la estructura de pavimento subyacente es mínima comparada a la rehabilitación utilizando técnicas tradicionales de construcción. El reciclado en frío generalmente es una operación que requiere una sola pasada de máquina. Cuando se utiliza una recicladora montada sobre orugas, las ruedas traseras pasan sólo una vez sobre el material subyacente. Las recicladoras montadas sobre neumáticos reparten el material detrás de la máquina, evitando cualquier contacto entre las ruedas y el material expuesto bajo la estructura del pavimento (en ocasiones el material de pavimento que se vuelve a trabajar con maquinaria convencional somete a la subrasante a cargas repetitivas con un alto estado de tensiones, causando problemas de levantamiento en esta, lo que se traduce en excavar y rellenar con material importado). (Wirtgen Manual Reciclado en frío, 2004)

#### 2.17.2.5. Menores tiempos de construcción.

Las recicladoras son capaces de producir con altas tasas de rendimiento que reducen significativamente los tiempos de construcción comparados con métodos alternativos de rehabilitación. Esta reducción de tiempos

también disminuye los costos y generan un beneficio intangible para los usuarios del camino, ya que las interrupciones de tráfico son menores.

#### 2.17.2.6. Seguridad.

Uno de los beneficios más importantes del proceso de reciclado en frío es la seguridad vial que es posible conseguir. El tren de reciclado completo se puede acomodar en el ancho de una pista. Por ejemplo, en caminos con dos pistas, el reciclado puede ser llevado a cabo a lo largo de una mitad del ancho del camino durante el día. El ancho completo del camino, incluyendo la pista completamente reciclada, puede ser abierta al tráfico al anochecer.

#### 2.17.2.7. Costo-efectividad.

Los beneficios expuestos anteriormente se combinan para hacer del reciclado en frío una alternativa altamente atractiva para la construcción de nuevas vías en términos de costo-efectividad.

Tabla N°29: Principales ventajas del reciclado de pavimentos.

PRINCIPALES VENTAJAS DE LAS TECNICAS DE RECICLADO	
TECNICA DE RECICLADO	VENTAJAS
Reciclado superficial	Mejora la resistencia al deslizamiento
	Corrige las deficiencias de origen superficial
	Mejora el perfil geometrico de la calzada
	Permite eliminar la capa de restitución de galibo en refuerzos del pavimento
Reciclado "IN SITU"	Mejora la resistencia al deslizamiento
	Corrige las deficiencias de origen superficial y estructural
	Permite eliminar la capa de restitución de galibo en refuerzos del pavimento
	Elimina temporalmente las fisuras reflejas
	Permite corregir las características de las mezclas asfálticas superficiales (6 a 7 cm) con deformaciones plásticas)
	Mejora el perfil geometrico de la calzada
Reciclado en Planta	Refuerza estructuralmente al pavimento de acuerdo con las necesidades del proyecto
	Corrige las deficiencias de origen superficial y estructural
	Produce mezclas asfálticas de mejor calidad
	Permite eliminar o corregir las capas intermedias de deficiente comportamiento
	Elimina las fisuras reflejas
	Mejora la resistencia al deslizamiento
	Corrige el perfil geometrico de la calzada

Fuente: (Reciclaje de pavimentos: Estudio de las ventajas económicas del reciclaje en frío in situ de pavimentos asfálticos, 2015)

## 2.18. Diseño de mezcla de reciclado en frío

Según (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004, pág. 127), Para el reciclado de mezcla en frío, el objetivo primario del diseño de la mezcla es producir una mezcla comparable a una hecha con todos los materiales nuevos. Sin embargo, no hay universalmente aceptado ningún método de diseño de mezcla para el reciclado de mezcla en frío. En general, pruebas de laboratorio, formulas empíricas o experiencias pasadas con proyectos idénticos son usados para establecer el contenido inicial de asfalto, con la intención de ajustar esto, si es necesario, después de que la construcción ha empezado. En vista que el proceso de reciclaje en frío puede realizarse tanto en planta como In-situ y los criterios referentes al diseño de la mezcla reciclada varían un poco uno del otro de acuerdo a lo siguiente:

Reciclado in situ: básicamente el diseño de la mezcla reciclada consiste en llevar la granulometría de los materiales de la carpeta asfáltica existente (RAP) y parte base granular (RAM) dependiendo del espesor a reciclar, a una de las granulometrías especificadas si es que estos no la cumplen, la corrección de la granulometría se realiza agregando material nuevo, por lo que los ensayos de laboratorio de muestras representativas del pavimento a reciclar desempeñan un papel sumamente importante para definir la gradación del material existente, el tipo y cantidad de agente estabilizador a utilizar durante el reciclado in-situ.

Reciclado en planta: en este proceso los materiales son escarificado tanto de la carpeta asfáltica como de la base granular para ser llevados a una planta en donde se determinan sus granulometrías por separado y fácilmente estos se combinan en porcentajes determinados para hacerlos llegar a una granulometría especificada agregando material nuevo si es necesario, luego se procede a la determinación del tipo y cantidad de agente estabilizador a utilizar en la mezcla reciclada. En las secciones siguientes se desarrolla un diseño de mezcla para reciclado en planta por ser un tanto más complejo la combinación de agregados ya que considera la carpeta asfáltica, base granular y agregado nuevo por separado mientras que el reciclado in situ combina la mezcla de base y carpeta como una sola granulometría con material nuevo cuando es necesario.

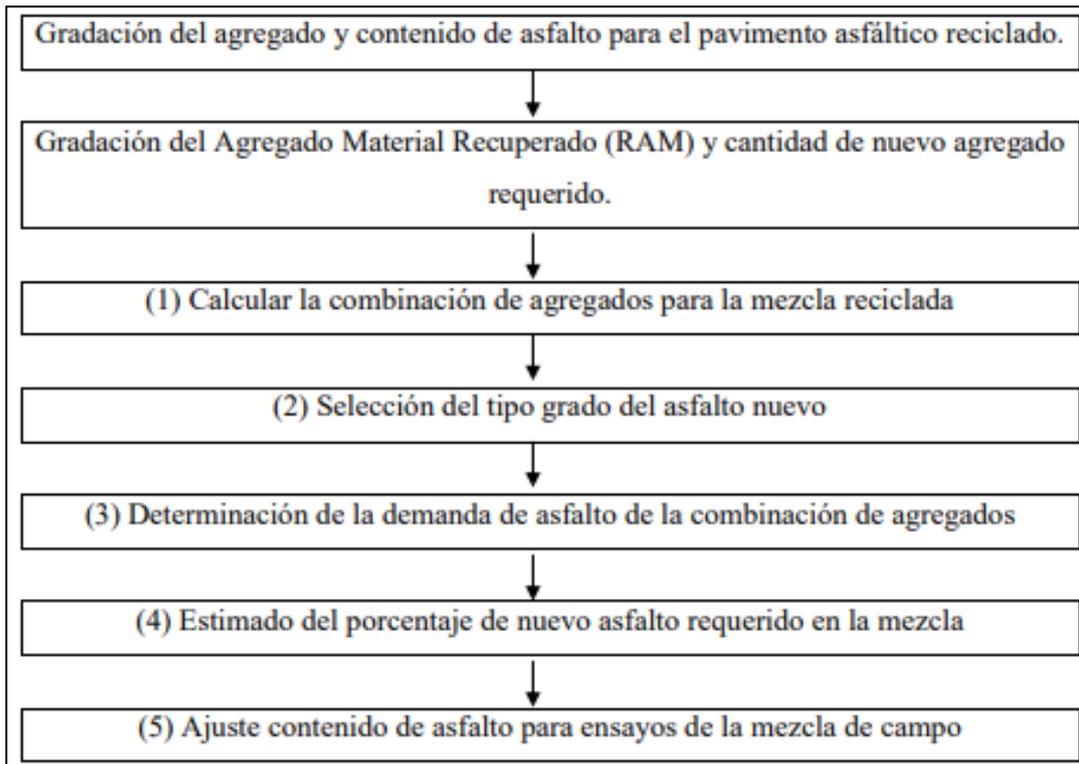


Figura N°13: Diagrama de flujo del procedimiento de diseño de mezcla en frío.

Fuente: (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004, pág. 130)

## 2.19. Diseño del espesor del pavimento reciclado en frío superficial

Para (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004, pág. 172).

“El reciclaje superficial se lleva a cabo como un medio para eliminar el agrietamiento severo de las capas asfálticas y, a su vez, mejorar el índice de servicio. Frecuentemente se desarrolla esta categoría de reciclaje como una estrategia a corto plazo, pero también puede usarse en aquellos pavimentos en los que las capas asfálticas superiores son débiles. Los espesores del reciclaje superficial varían entre 80 y 150 mm. Con el reciclaje superficial, puede existir un ligero mejoramiento de la capacidad estructural del pavimento, debido al efecto del revestimiento asfáltico que normalmente se aplica sobre la capa tratada. La limitación al ingreso de agua a las capas inferiores también tenderá a prolongar la vida del pavimento.

(VER ANEXO 8)

## 2.20. Control de calidad de pavimento reciclado

### 2.20.1. Granulometría del pavimento reciclado

Se realiza sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto. Las curvas obtenidas deberán ajustarse según las tolerancias establecidas. Cuando los valores obtenidos no cumplan este requisito, se deberá preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje de emulsión que dé lugar al contenido medio de asfalto residual de la mezcla elaborada con dicho material.

Se debe controlar el tamaño máximo del material granulado del pavimento asfáltico existente, puesto que el sobre tamaño podría incrementar la segregación y los vacíos de aire. También, para secciones recicladas de poco espesor, del orden de 50 mm, el sobre tamaño podría producir imperfecciones en la capa cuando está siendo colocada, la granulometría de nuestra muestra reciclada, se realiza para determinar si nuestro material es homogéneamente regular y que este dentro de los parámetros de la granulometría establecida por el Manual del MTC EG-2013 de Especificaciones Técnicas para la construcción.

Tabla N°30: Tolerancia en la granulometría y en el espesor del material por reciclar para considerar que un tramo es homogéneo.

CARACTERÍSTICA	TOLERANCIA	
Granulometría (tolerancia respecto de la masa total del material por reciclar)	Porcentaje que pasa de tamiz de 2 mm y mayores (N°10 y mayores)	± 6
	Porcentaje que pasa tamiz de 425 µm (N°40)	± 4
	Porcentaje que pasa tamiz de 75 µm	± 3
Espesor (variación en el espesor de la capa en mm)	Capas asfálticas	25
	Capas granulares	50
Sales solubles totales (%)	0.5 máx.	0.5 máx.
Absorción (Agregados Grueso) (%)	1	Según Diseño
Absorción (Agregados Fino) (%)	0.5	Según Diseño
Adherencia	95	95
Adhesividad (Rebel Weber) (%)	4 mín.	6 mín.
Índice de Plasticidad (Malla N°40) (%)	N. P	N. P
Índice de Plasticidad (Malla N°200) (%)	4 máx.	N. P

Fuente: (Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para Construcción, 2013)

Tabla N°31: Tolerancia granulométrica de los agregados para reciclados en frío in situ empleando materiales bituminosos

TAMIZ	Tolerancia en puntos de % sobre el peso seco de los agregados
2,00 mm (N°10) y mayores	± 6
425 μm (N° 40)	± 4
75 μm (N° 200)	± 3

Fuente: (Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para Construcción, 2013)

“Se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para uso como agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la especificación técnica de la obra y proporcionar datos necesarios para el control de producción de agregados. La determinación del material que pasa el tamiz de 75 μm (N°200) no se obtiene por este ensayo.” (Manual de Ensayos de Materiales, 2016, pág. 303)

#### 2.20.2. Ensayo de lavado asfáltico de pavimento asfáltico reciclado

En este ensayo se determinará el porcentaje de asfalto presente en el pavimento, se determinará si los agregados utilizados en dichos pavimentos cumplen o están dentro del rango establecido en especificaciones verificando así la calidad del pavimento. Según la norma MTC E502 para la “Extracción cuantitativa asfalto en mezclas para pavimentos”, este dato es necesario para así poder obtener el contenido asfáltico residual tentativo.” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

$$\text{Contenido de bitumen \%} = \left[ \frac{(W_1 - W_2) - (W_3 + W_4)}{W_1 - W_2} \right] \times 100$$

Donde:

- W<sub>1</sub> = Peso de la porción de ensayo.
- W<sub>2</sub> = Peso de agua en la porción de ensayo.
- W<sub>3</sub> = Peso del agregado mineral extraído.
- W<sub>4</sub> = Peso de materia mineral en lo extraído.

Figura N° 14: Cálculo del porcentaje de bitumen.

Fuente: (Manual de Ensayos de Materiales, 2016)

### 2.20.2.1. Ensayo de calidad del Material, agregados pétreos

Este ensayo sirve para ver la calidad de los agregados gruesos de la cantera que proveerá el material para la ejecución del proyecto.

“Las propiedades del agregado son un factor determinante en muchas de las elecciones relacionadas con la mezcla óptima. Por lo tanto, es necesario realizar ensayos sobre el agregado. Se requieren aproximadamente 80 lb (36.3 kg) de agregado para realizar los ensayos sobre el material. Adicionalmente, se requieren 150 lb (68.1 kg) de agregado para cada tipo y grado de emulsión por evaluar en el diseño de la mezcla. Los siguientes ensayos deben ser ejecutados sobre las fuentes de agregados obtenidas de una cantera.” (Villa Chaman, 2007, pág. 37)

Tabla N°32: Requisitos de calidad de agregados para mezclas asfálticas

	<b>ASTM</b>	<b>AASTHO</b>	<b>MTC</b>	<b>NTP</b>
<b>Análisis por cribado o tamizado de agregado fino y grueso:</b>				
Tamizado en seco	C136	T27	E 204	400.012
Tamizado en húmedo	C117	T11	E 202	339.132
Densidad y absorción del agregado grueso:	C127	T85	E 206	400.021
Densidad y absorción del agregado fino:	C128	T84	E 205	400.022
Equivalente de arena del agregado fino:	D2419	T176	-	-

Fuente (Reciclado in situ en frío de pavimentos empleando emulsiones asfálticas- Aplicación: Colegio FAP Manuel Polo Jiménez, urb. San Gabino- Santiago de Surco, 2007)

### 2.20.3. Contenido de emulsión tentativa para la nueva mezcla

Según el (Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para Construcción, 2013), “De acuerdo con la aplicación y según lo establezca la respectiva especificación, se utilizarán emulsiones catiónicas de rotura rápida, media y lenta, cuyas características básicas se presentan en la siguiente tabla N° 34.

Tabla N°33: Especificaciones de emulsiones catiónicas

Tipo	Rotura Rápida						Rotura Media						Rotura Lenta						Rotura rápida	
	CRS-1		CRS-2		CHS-2		CHS-2h		CSS-1		CSS-1h		CSS-1h		CSS-1h		COS-1h			
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max		
<b>Prueba de Emulsiones</b>																				
- Viscosidad Saybolt Furol a 25°Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
- Viscosidad Saybolt Furol a 50°Cs	20	100	100	400	50	450	50	450	450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
- Estabilidad de Almacenamiento, 24h, %(**)	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Demulsibilidad, 35 cm <sup>3</sup> , 0.8% Dioctilsulfosuccinato sódico, %	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
- Revestimiento y Resistencia al agua	Bueno																			
- Revestimiento agregado seco	Aceptable																			
- Revestimiento, agregado seco después del rociado	Aceptable																			
- Revestimiento, agregado húmedo	Aceptable																			
- Revestimiento, agregado húmedo después del rociado	Aceptable																			
Carga de partícula	Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo			
Prueba de Tamiz % (**)	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1		
Mezcla con Cemento, %																				
Destilación:																				
- Destilación de aceite, por volumen de emulsión	-	3	-	65	-	65	-	65	-	65	-	65	-	65	-	65	-	65		
- % Residuo	60	-	65	-	65	-	65	-	65	-	65	-	65	-	65	-	65	-		
<b>Pruebas sobre el Residuo de destilación:</b>																				
- Penetración, 25°C, 100g, 5s	100 <sup>(*)</sup>	250 <sup>(*)</sup>	100 <sup>(*)</sup>	250 <sup>(*)</sup>	100	250	100	250	100	250	100	250	100	250	100	250	100	250		
- Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	50 <sup>(*)</sup>	150 <sup>(*)</sup>	50 <sup>(*)</sup>	150 <sup>(*)</sup>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
- Solubilidad en Tricoretleno, %	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
- Solubilidad en Tricoretleno, %	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5		

(\*) CQS - 1H, emulsión que debe cumplir los requisitos considerados en la Norma D 3910

(\*\*) Este requerimiento de prueba en muestras representativas se exige.

(\*) En función a las condiciones climáticas del Proyecto se definirá uno de los grados indicados (50-150 ó 100-250)

Fuente: ASTM D 2397 y D 3910.

Fuente: (Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para Construcción, 2013)

Según (Villa Chaman, 2007), El contenido de emulsión será calculado de forma teórica mediante la fórmula:

$$\%E = ((0.07 \times B) + (0.03 \times C)) \times 100/A$$

%E: porcentaje de emulsión

A: contenido de residuo asfáltico en la emulsión CSS-1H (ensayo laboratorio o referencial)

B: % que pasa la malla N°4

C: 100 – B % retenido en la malla N°4

#### 2.20.4. Ensayo de estabilidad y flujo Marshall

“La estabilidad y flujo Marshall son características de las mezclas bituminosas determinadas a partir de especímenes compactados de una geometría específica y en una manera prescrita. La estabilidad Marshall es la máxima resistencia a la deformación a una razón constante de carga. La magnitud de la estabilidad Marshall varía con el tipo y gradación del agregado y grado del bitumen empleado, así como su cantidad. Varias agencias establecen criterios para los valores de la estabilidad Marshall. El flujo Marshall es una medida de la deformación de las mezclas bituminosas determinado durante el ensayo de estabilidad. No existe un valor ideal, pero hay límites aceptables. Si el flujo en el contenido óptimo de asfalto sobrepasa el límite superior, la mezcla se considera demasiado plástica o inestable, y si está bajo el límite inferior esta se considera demasiado rígida.” (Manual de Ensayos de Materiales, 2016)

## 2.21. Proceso de colocación de la propuesta técnica de aplicación



Figura N°15: Selección de agentes estabilizadores.

Fuente: Elaboración propia

## 2.22. Propuesta para plantear la alternativa a las Municipalidades

En esta investigación tenemos como propósito presentar antes las municipalidades de Lima la alternativa de la reutilización de los materiales sobrantes de otras vías y crear por el método de reciclaje en frío un pavimento superficial provisional que sea colocado en asentamiento humanos, es decir aprovechar un pavimento antiguo y determinar la viabilidad técnica, económica y ambiental con el uso de materiales reciclado.

Esta alternativa pretende motivar a las municipalidades enfocarse más en las zonas vulnerables de su distrito, con esta alternativa esperamos mejorar la calidad de vida de los pobladores con accesos viales asfaltados, tenemos como antecedente el uso

de pavimentos asfálticos reciclados del proyecto realizado en el Distrito de La Molina.

Los ensayos a los materiales se tendrían que llevar a cabo sobre unos materiales ya sometidos a la acción de los equipos de disgregación.

Sin embargo, es muy frecuente que las muestras extraídas del pavimento no están disgregadas, esta circunstancia debe ser tenida en cuenta y, en la medida de lo posible, habría que estimar o simular en laboratorio los efectos de la futura disgregación, especialmente en la fase en la que se establezcan las fórmulas de proyecto.

En nuestra alternativa planteada, optamos que sea una vía provisional ya que debido a que los asentamientos humanos en su mayoría no cuentan con redes de agua y alcantarillado, es por ello que esta alternativa planteada usa pavimentos reciclados los cuales podrán ser removidos fácilmente cuando coloquen las redes de agua y desagüe.

## 2.22.1. Contenido para presentar propuesta

### 2.22.1.1. Documentos

- a) Informe técnico relativo a la Memoria descriptiva del estudio de suelos con fines de pavimentación, conteniendo un anexo con planos de ubicación de las obras, registros de calicatas y perforaciones, resultados de los ensayos de laboratorio y fotografías.
- b) Plano de pavimentos mostrando los detalles constructivos en planta, secciones y detalle.
- c) Especificaciones técnicas..

### 2.22.1.2. Informe técnico

- a) Generalidades conteniendo una descripción de la ubicación de las obras, características topográficas del terreno, estado de las vías existentes, tipos del pavimento a emplearse en el proyecto, climatología, alcances y limitaciones del informe técnico.
- b) Ensayos de campo con la descripción detallada de los trabajos efectuados en el campo.

- c) Ensayos de laboratorio con la descripción detallada de los trabajos efectuados en el laboratorio.
- d) Interpretación de los resultados, análisis de los ensayos de campo y laboratorio ,conjuntamente con la información referencial , para elaborar los perfiles estratigráficos típicos, y caracterizar la subrasante y el suelo de fundación.

### 2.22.1.3. Planos

Considerando los detalles constructivos de los pavimentos y de sus obras de protección:

Espesores, detalles de juntas en planta y en sección, encuentro con otras obras existentes



Figura N°16: Seguimiento técnico de propuesta

Fuente: Elaboración propia

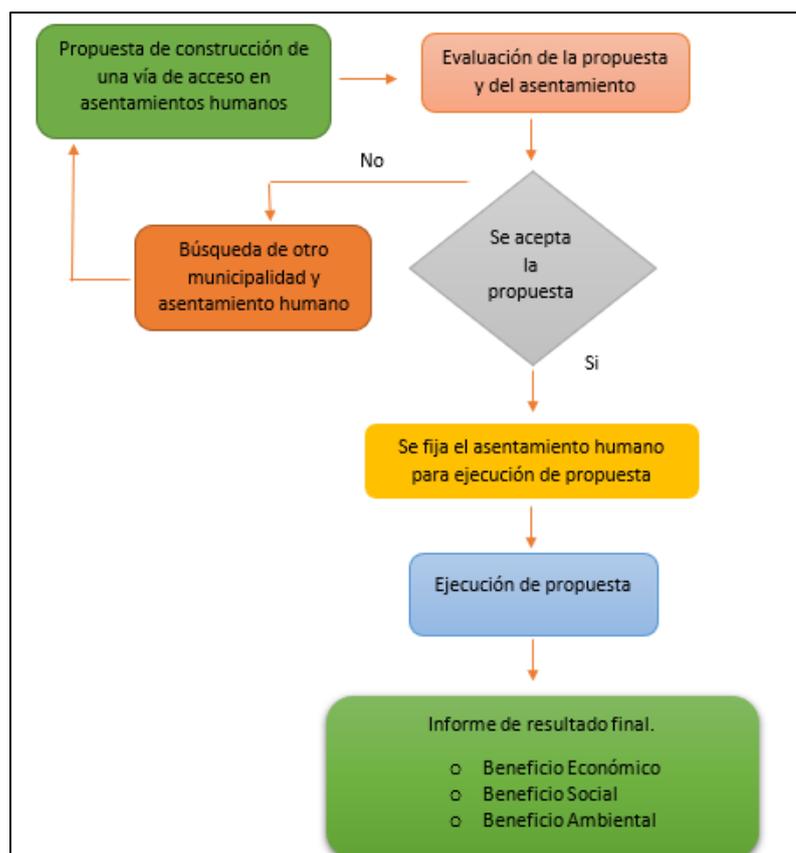


Figura N°17: Evaluación de proyecto a elegir

Fuente: Elaboración propia

### 2.23. Definición de términos

**Agregado:** Es el producto de la mezcla de dos materiales, arena y piedra de granulometría variable, su origen puede ser natural o superficial.

**Alternativa:** Es la posibilidad de elegir entre dos o más cosas.

**Asentamiento humano.** - Se entiende por asentamiento humano aquella agrupación de familias establecidas sin título legal y que carecen de alguno de los servicios básicos (agua, desagüe, electrificación, pistas, veredas, etc.).

**Asfalto:** Es la mezcla sólida y compacta que es empleado en la construcción de pavimentos asfáltico, por mayor uso es utilizado en la carpeta asfáltica.

**Carpeta Asfáltica:** Es la capa de menor espesor y se ubica en la parte superior del pavimento el cual tiene la función de soportar la abrasión de neumáticos de los vehículos, está compuesto por materiales pétreos y asfálticos.

**Curado:** es la propiedad del ligante asfáltico, sucede cuando una emulsión rompe y las partículas coalescentes.

**Daños:** deficiencias superficiales y estructurales producidas por los factores ambientales y tráfico.

**Deflexión:** El desplazamiento vertical temporal de un pavimento proveniente de la aplicación de cargas de las ruedas de los vehículos.

**Emulsión asfáltica.-** Es una mezcla de cemento asfáltico y agua, que con el emulsificante una emulsión estable que permite tender las carpetas asfálticas "en frío", es decir, a temperaturas menores a 100°C.

**Escarificado:** Es la actividad encargadas de remover la porción de la carpeta asfáltica existente, se utiliza equipos como la motoniveladora con escarificador incorporado.

**Estabilizadores:** son los materiales encargados de estabilizar una superficie.

**Especificación técnica.** - Parte del expediente técnico en el que se detallan la descripción de los trabajos, los materiales, los equipos y procedimientos de construcción, el control de calidad, la medición y la forma de pago.

**Fundación:** es parte de la estructura del pavimento que tiene como función transmitir en forma adecuada las cargas de la estructura al suelo y brindar a la misma un sistema de apoyo estable.

**Granulometría:** determina cuantitativamente los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, mediante tamices de aberturas cuadradas.

**INEI:** Instituto Nacional de Estadística e Informática, órgano rector de los Sistemas Nacionales de Estadística e Informática en el Perú. Norma, planea, dirige, coordina, evalúa y supervisa las actividades estadísticas e informáticas oficiales del país.

**Infraestructura vial pública.** - Todo camino, arteria, calle o vía férrea, incluidas sus obras complementarias, de carácter rural o urbano de dominio y uso público.

**Intervención.** - Es la obra, trabajo u operación ejecutada en las áreas de dominio público a cargo de las empresas prestadoras de servicio, con la finalidad de ampliar, mantener, refaccionar o reparar su infraestructura.

**Mantenimiento.** - Estas son reparaciones que se llevan a cabo de manera regular o rutinarias en una carretera o vía. Sirven para extender la vida de la estructura y su correcto funcionamiento.

**Material Reciclado.** - Son aquellos materiales que aún conservan sus propiedades y se pueden reutilizar después de su uso principal gracias al tratamiento de reciclaje.

**Pavimento.** - Estructura construida sobre la sub rasante 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.

**Parcheo:** tratamiento que se hace a la vía en el que se intervienen áreas localizadas de pavimento para corregir defectos relacionados con un deterioro estructural o problemas de humedad, de materiales o de construcción, la intervención puede abarcar sólo las capas asfálticas (parcheo) o comprender también las granulares o estabilizadas hasta lograr un apoyo firme (bacheo), dependiendo de la naturaleza del deterioro.

**Pista o calzada.** - Parte de una vía destinada al tránsito de vehículos, compuesta por uno o más carriles. No incluye la berma.

**Rehabilitación.** - Es la actividad constructiva que permite restaurar las condiciones físicas, superficiales y estructurales de las vías.

**Reciclaje.** - Consiste en el método de la reutilización del material para la fabricación de un material nuevo.

**Reconstrucción.** - Renovación completa de una obra de infraestructura vial, previa demolición parcial o completa de la existente, pudiendo modificarse sus características originales.

**Reutilización.** - La realización de un pavimento en mal estado, mediante un tratamiento, adicionando un estabilizador como el asfalto, emulsión o el cemento, quedando un material que sirve como un refuerzo o como parte de una nueva calzada.

**Rugosidad:** es calidad superficial del pavimento es decir que analiza la carpeta asfáltica aun nivel de desgaste.

**Sostenibilidad.** -Equilibrio entre la sociedad con su medio ambiente, de manera que la población pueda satisfacer sus necesidades de forma equitativa con una utilización apropiada de los recursos, cuidando de ellos y permitiendo su regeneración, para no comprometer la vida de las generaciones venideras, ni la del resto de los seres vivos.

**Superficie de Rodadura:** Es aquella faja que se ha condicionado especialmente para el tránsito de los vehículos. En las carreteras de primera categoría esta superficie es pavimentada.

**Sub base.** - Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de base.

**Mantenimiento:** son actividades de reparación que se realizan de manera regular, periódica o rutinario a una vía o carretera su finalidad es prolongar la vida de servicio de la estructura y su buen funcionamiento.

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis general

La mejor alternativa para aprovechar los pavimentos deteriorados de otras vías y aplicarlos en la construcción de vías provisionales es a través del método de reciclaje en frío.

#### 3.1.2. Hipótesis específicas

- a) La evaluación de fallas en los pavimentos asfálticos son relevantes en la propuesta técnica del reciclado de pavimentos asfálticos en la construcción de nuevas vías.
- b) La alternativa propuesta de reutilización de pavimentos asfálticos en frío reduce su costo en un 50% con respecto a otras propuestas.

### 3.2. Variables

#### 3.2.1. Definición conceptual de las variables

Variable Independiente (X)

Construcción de vías.- Proceso por el cual se ejecuta una vía con características acorde a las normas de diseño vigente.

Variable Dependiente (Y)

Pavimentos reciclados .- Supone la reutilización de materiales de una vía que de otro modo serían desechados provocando contaminación y causando efectos negativos en el ambiente, se busca obtener un buen comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del material extraído de la carpeta asfáltica.

#### 3.3. Definición operacional de la variable

Variable X (Construcción de vías)

Para esta investigación tenemos dos tipos :

Vías provisionales

Vías definitivas

Variable Y (Pavimentos reciclados)

Para esta investigación tenemos dos tipos :

Reciclaje en frío

Reciclaje en caliente

### 3.4. Operacionalización de la variable

Tabla N°34: Operacionalización de las Variables

VARIABLE	Dimensión	Indicadores
VARIABLE INDEPENDIENTE (X)		Resistencia
1. Construcción de vías	Diseño	Costo
VARIABLE DEPENDIENTE (Y)	Serviciabilidad	Confort
2. Pavimentos reciclados	Comportamiento	Calidad

Fuente: Elaboración Propia

Las variables nos permiten mantener un estudio de orden descriptivo e informativo en el cual podemos seguir desarrollando parte de nuestro tema de la construcción de una vía provisional en asentamientos humanos con la reutilización de pavimentos mediante el método de reciclaje en frío.

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. Método de investigación

Para este tipo de investigación se hizo una investigación científica cuantitativa de diversos estudios enfocados en el reciclaje de pavimentos asfálticos, para la aplicación de nuestra alternativa en asentamientos humanos, donde buscamos mejorar su calidad de vida proponiendo la construcción de vías provisionales pavimentadas, usando como alternativa la aplicación del método de reciclaje en frío, en la cual especificaremos sus características, los materiales a emplear, equipos de construcción, proceso de aplicación, ensayos y entre otros ítems planteados.

### 4.2. Tipo de investigación

El estudio de nuestra investigación es de forma descriptiva básica, ya que buscamos ampliar nuestra información aplicando nuestras técnicas e informar a las demás personas que buscan investigar sobre el reciclaje y la realización de pavimentos beneficiando a localidades de bajos recursos, aplicando nuestro tema estudiado “REUTILIZACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS RECICLADOS EN FRÍO, COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS PROVISIONALES EN ASENTAMIENTOS HUMANOS EN LA CIUDAD DE LIMA – PERÚ.”

### 4.3. Nivel de investigación

- a) Investigación aplicada, porque va a permitir reutilizar el material deteriorado de otras vías por el método del reciclaje, favoreciendo a pobladores de asentamientos humanos que no cuentan con vías asfaltadas.
- b) Investigación descriptiva, porque se realizarán investigaciones sobre el proceso de reutilización de pavimentos asfálticos proponiendo el método del reciclaje en frío para mejorar la estructura actual de los pavimentos y utilizar mejor los recursos.
- c) Investigación no experimental, porque esta tesis tiene la finalidad de recopilar información, más no de realizar ensayos.

### 4.4. Diseño de la investigación

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

#### 4.5. Población y muestra

##### 4.5.1. Población Universo

Asentamientos humanos del Perú que han sufrido por la carencia de vías asfaltadas debido a la informalidad.

##### 4.5.2. Población de estudio

Asentamientos humanos de la ciudad de Lima, la cuales carecen de vías asfaltadas debido a la informalidad.

#### 4.6. Tipo de muestra

Nuestro estudio va enfocado en los beneficios que aportan el reciclaje de pavimentos y su aplicación en zonas vulnerables, específicamente en los Asentamientos humanos de la ciudad de Lima.

#### 4.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el desarrollo de este estudio se realizará con diversas fuentes como tesis, artículos, papers, revistas, artículos, entre otros, de las cuales recopilaremos los resultados y cálculos.

Buscaremos información referente a nuestro tema de fuentes confiables y enfocaremos nuestro estudio en la aplicación del reciclaje para la construcción de vías de acceso provisionales en asentamientos humanos de la ciudad de Lima.

Para la selección de asentamientos humanos que puedan ser beneficiados nos ayudaremos de fuentes como el INEI para conocer los asentamientos humanos que sí cuentan con accesos, para ser consideradas en nuestro estudio, ya que sabemos que existen asentamientos que se encuentran en cerros y no presentan accesos.

Teniendo en cuenta las ventajas económicas y ambientales que presenta el método de reciclaje en frío in situ, la consideramos como la mejor alternativa para este estudio.

Por último realizamos los estudios correspondientes para poder realizar la construcción de la nueva vía, que se construirá con el pavimento reciclado por el método de reciclaje en frío.

- La inspección visual: A través de la toma de foto se interpretará el estado de la vía de forma referencial.

- Documentos: La información obtenida fue teórica de manera bibliográfica para poder interpretar la aplicación de pavimentos asfálticos reciclados.

- Trabajo de Gabinete: Se utilizó la información de campo, documentación y ensayos realizados en el laboratorio, realizamos el proceso de información con ayuda de diversos programas y softwares.

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

### 5.1. Diagnóstico y situación del Proyecto realizado en el distrito de La Molina

Durante varias décadas los pobladores del Asentamiento Humano “Musa- V etapa”, en La Molina, no han podido disfrutar de vías públicas asfaltadas, debido a que no estaban interconectadas a la red de agua y desagüe de la capital.

El polvo y la tierra se sumaban a la falta de los servicios básicos, afortunadamente para las 300 familias que conformaban ese sector popular, el municipio puso en marcha un plan piloto vial, que a bajo costo y reutilizando el asfalto retirado en otras calles del distrito donde se ejecutaban obras de rehabilitación, les permite ahora contar con una pista “reciclada” o provisional.

Toda la capa asfáltica que se retiró de la avenida Alameda del Corregidor, que cubría una extensión de 30 mil m<sup>2</sup>, se trasladó hacia la V Etapa de MUSA para mejorar la calidad de vida de los pobladores.

La pista “reciclada” tiene una extensión de 500 metros de largo por 6 de ancho y 3 pulgadas de grosor. Antes de aplicarse se acondicionó el terreno con maquinaria pesada y luego se impermeabilizó el asfalto para una mayor duración.



Figura N°18: Vista del sector 6 del asentamiento humanos M.U.S.A.

Fuente: (Construcción de vías con pavimentos reciclados en Asentamientos humanos, 2012)



Figura N°19 : Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6.

Fuente: (Construcción de vías con pavimentos reciclados en Asentamientos humanos, 2012)

Se determinaron la zonas del distrito que no contaban con tratamiento superficial de sus vías, siendo los identificados aquellos Asentamientos humanos de las partes altas del distrito con una gran área de vías a nivel de terreno natural.



Figura N°20: Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6.

Fuente: (Construcción de vías con pavimentos reciclados en Asentamientos humanos, 2012)

Reciclado In situ en frío:

El procedimiento usual y básico consiste fundamentalmente en las siguientes operaciones.

- Fresado en frío de un cierto espesor.
- Mezclado del material obtenido con una proporción determinada de agua.
- Compactación energética.
- Curado de la capa reciclada ( MC-30)

- Compactación con arena fina.

Compactación y nivelación de la Sub rasante con el material existente.



Figura N°21: Reciclado in situ, Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6

Fuente: (Construcción de vías con pavimentos reciclados en Asentamientos humanos, 2012)

Se esparció mediante el uso de motoniveladoras, hasta conseguir los espesores deseados que pudieran variar entre 2” y 4”. Se realizó la nivelación utilizando instrumentos topográficos.



Figura N°22: Nivelación de vía, Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6

Fuente: (Construcción de vías con pavimentos reciclados en Asentamientos humanos, 2012)

Se procedió al sellado de vía con arena fina y rodillo neumático.



Figura N°23: Sellado de vía, Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6

Fuente: (Construcción de vías con pavimentos reciclados en Asentamientos humanos, 2012)



Figura N°24: Antes y después, Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6

Fuente: (Construcción de vías con pavimentos reciclados en Asentamientos humanos, 2012)

En el proyecto realizado en la V etapa del Asentamiento humano MUSA sector 6, al haberse aplicado esta alternativa vimos que pudieron acceder a servicios de seguridad ciudadana así como servicios de limpieza pública, sistemas de transporte público y comercio.

## 5.2. Ensayos a realizar trabajos previos para determinar la calidad del pavimento asfáltico reciclado

Para este punto tomamos como referencia los ensayos realizados en la tesis de (Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - Pachacamac, 2018), en su tesis realiza diversos ensayos para la rehabilitación de una vía, en nuestro caso los ensayos se limitan al análisis granulométrico realizado al pavimento reciclado que se utilizará para la

construcción de nuestra vía provisional en los asentamientos humanos, de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis granulométrico procedemos a añadirle los aditivos y agregados faltantes para el nuevo pavimento, por otro lado con la realización de ensayos de suelos de la zona donde se aplicará esta alternativa.

### 5.2.1. Granulometría del pavimento asfáltico reciclado

Se tomó una muestra de material reciclado de 1500 gr, posterior se hizo el ensayo granulométrico en seco del material reciclado.

Tabla N°35: Resultado del ensayo granulométrico del Pavimento flexible reciclado

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
N°4	4.750	7.0	86.9	13.1
N°10	2.000	10.1	97.0	3.0
N°20	0.850	2.3	99.3	0.7
N°30	0.600	0.2	99.6	0.4
N°40	0.425	0.1	99.7	0.3
N°60	0.250	0.1	99.8	0.2
N°100	0.150	0.1	99.9	0.1
N°200	0.075	0.1	99.9	0.1
FONDO		0.1		

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

Fuente: (Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - Pachacamac, 2018)

### 5.2.2. Ensayo de lavado asfáltico del Pavimento asfáltico reciclado

Para este ensayo se tomó un peso inicial de material reciclado de 1500 gr. Posterior se realizó el lavado asfáltico con tricloroetileno puro, luego se hizo el ensayo granulométrico del material reciclado, esto es para poder observar el tamaño de los agregados pétreos.

Peso inicial seco: =1500.00 gr

Peso lavado seco: =1409.0 gr

Porcentaje de cemento asfáltico (% C.A) = 6.07 % 76

Tabla N°36: Resultado granulométrico del material reciclado después del lavado asfáltico

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
N°4	4.760	24.0	32.5	67.5
N°10	2.000	24.3	56.8	43.2
N°40	0.426	21.3	78.1	21.9
N°80	0.180	6.7	84.7	15.3
N°200	0.074	5.6	90.4	9.6
FONDO		9.6		

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

<b>Cemento Asfáltico %</b>	<b>6.07</b>
----------------------------	-------------

Fuente: (Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - Pachacamac, 2018)

### 5.2.3. Ensayo de calidad de Material, agregados pétreos

Los ensayos de calidad de los agregados se tomarán de la cantera La gloria. La empresa de brindarnos dicha información es T y R Construcciones y Servicios. En la tabla se muestra el ensayo de calidad de los agregados gruesos.

Tabla N°37: Granulometría del agregado grueso de la cantera La Gloria

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

Fuente: T y R Construcciones y Servicios

En la esta tabla se muestra el ensayo de calidad del agregado fino

Tabla N°38: Granulometría del agregado fino de la cantera La Gloria

TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTRAJE			ESPECIFICACIÓN EMPÍRICA	DESCRIPCIÓN DE LA MUETRA TAMAÑO MÁXIMO 1/2"
			RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA		
2 1/2"	36.100						
2"	23.400						
1 1/2"	19.050						
1"	12.700						HUMEDAD: 1.1 %
3/4"	9.300						PSI: 869.9 gr
1/2"	4.760						PS: gr
3/8"	2.000	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 40	0.420	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			

Fuente: (Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - Pachacamac, 2018)

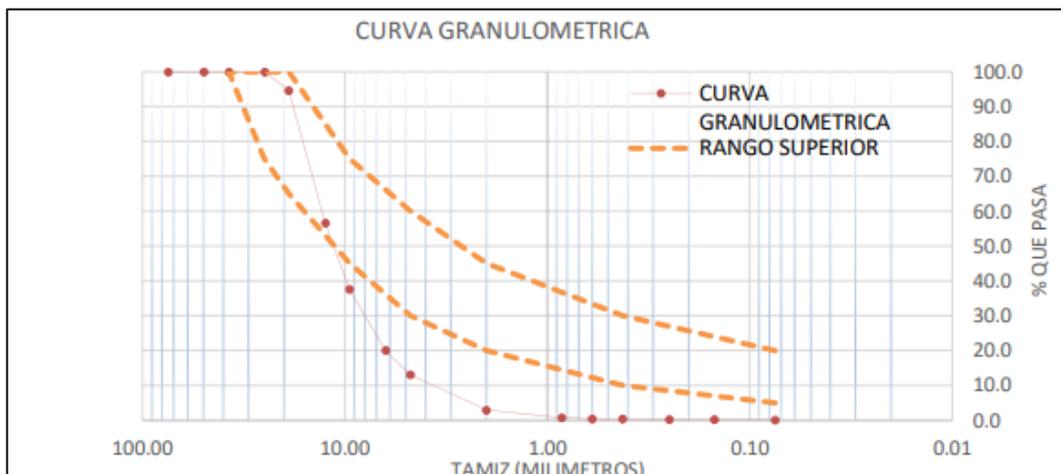
## 5.2.4. Evaluación del análisis granulométrico del pavimento asfáltico reciclado

Tabla N°39: Evaluación granulométrica del material reciclado

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos	% Pesos Retenidos	% Retenidos Acumulados	% QUE PASA	ESPECIF.		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0			MUESTRA ANALISIS GRANULOMETRICO
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100.0			DE PAVIEMNTO REICLADO
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	CURVA GRANULOMETRICA PARA
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0	75	100	MEZCLA ASFALTICA EN FRIO
3/4"	19.000	79.5	5.30	5.3	94.7	65	100	
1/2"	12.500	570.0	38.00	43.3	56.7			
3/8"	9.500	286.5	19.10	62.4	37.6	45	75	
1/4"	6.300	262.5	17.50	79.9	20.1			
N°4	4.750	105.0	7.00	86.9	13.1	30	60	
N°10	2.000	151.5	10.10	97.0	3.0	20	45	
N°20	0.850	34.5	2.30	99.3	0.7			
N°30	0.600	3.0	0.20	99.5	0.5			
N°40	0.425	1.5	0.10	99.6	0.4	10	30	
N°60	0.250	1.5	0.10	99.7	0.3			
N°100	0.150	1.5	0.10	99.8	0.2			
N°200	0.075	1.5	0.10	99.9	0.1	5	20	
FONDO		1.5	0.10	100	0.0			
		1500.0	100					

Fuente: (Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - Pachacamac, 2018)

Tabla N°40: Curva Granulométrica de la carpeta material reciclada



Fuente: (Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - Pachacamac, 2018)

Como se observa en la figura de la granulometría para mezclas asfálticas en frío, nos indica que el material para entrar en los rangos de la mezcla este debe ser mezclado con

agregados vírgenes, según la figura y el ensayo granulométrico necesita equilibrar los agregados finos.

### 5.2.5. Evaluación del análisis granulométrico del pavimento asfáltico reciclado más el agregado virgen de la cantera La Gloria

Los análisis son trabajados con los materiales pasantes.

El análisis realizado es para compensar los agregados pétreos con el fin de que estas tengan un buen comportamiento en la mezcla asfáltica en frío según la EG-2013.

Tabla N°41: Evaluación granulométrica del material reciclado para una mezcla en frío

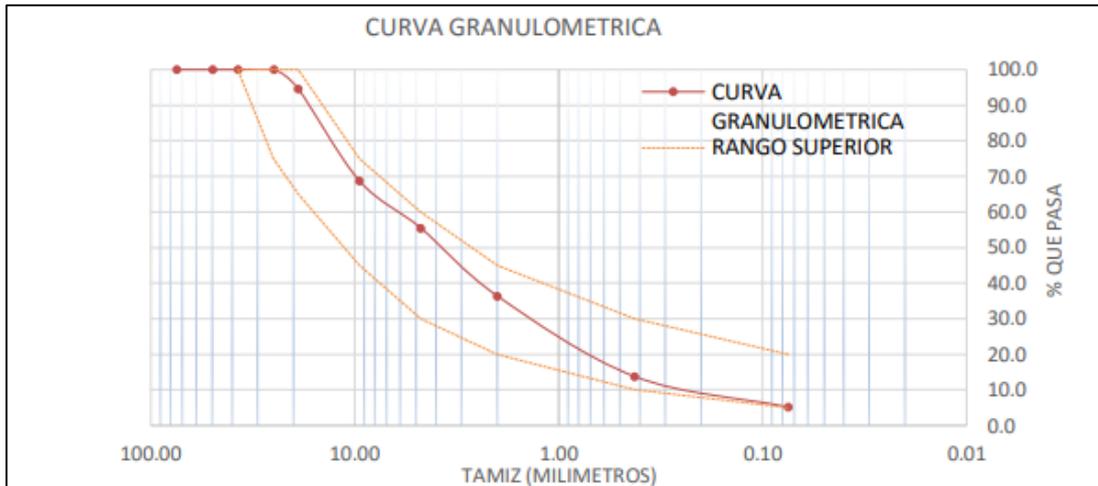
#### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO PARA MEZCLA EN FRIO

NORMA ASTM D2172 / MTC E 502 - ASTM D422

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% Q' PASA RAP	% Q' PASA FINA	MEZCLA 50%RAP +50% FINO	TOTAL	ESPECIF. "EN FRIO IN SITU"		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000	100.0			100.0			MUESTRA : ANALISIS GRANULOMETRICO
2"	50.000	100.0			100.0			DEL PAVIMENTO RECICLADO MAS
1 1/2"	37.500	100.0			100.0	100	100	AGREGADOS VIRGENES DE LA CANTERA
1"	25.000	100.0			100.0	75	100	LA GLORIA
3/4"	19.000	94.7			94.7	65	100	
3/8"	9.500	37.6	100.0	68.8	68.8	45	75	
N°4	4.750	13.1	97.9	55.5	55.5	30	60	
N°10	2.000	3.0	69.8	36.4	36.4	20	45	
N°40	0.425	0.4	27.2	13.8	13.8	10	30	
N°200	0.075	0.1	10.3	5.2	5.2	5	20	
FONDO		0.0						

Fuente: (Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - Pachacamac, 2018)

Tabla N°42: Curva de granulometría corregida del material reciclado



Fuente: (Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - Pachacamac, 2018)

#### 5.2.6. Contenido de emulsión tentativa para la mezcla asfáltica

La emulsión a usar para este proyecto es CSS-1H, es una emulsión catiónica súper estable, o emulsión de rotura lenta, la selección de esta emulsión se debe a que presenta un mejor comportamiento con los materiales finos. La emulsión CSS-1H escogida contiene un 61% de mezcla asfáltica.

#### Cantidad aproximada de emulsión

El contenido de emulsión será calculado de forma teórica mediante la

fórmula:  $\%E = ((0.07 \times B) + (0.03 \times C)) \times 100/A \%$

E: porcentaje de emulsión A: contenido de residuo asfáltico en la emulsión CSS-1H (ensayo laboratorio o referencial)

B: % que pasa la malla N°4

C:  $100 - B$  % retenido en la malla N°4 Utilizando la fórmula para obtener % de emulsión a aplicar para nuestro proyecto:

A: 61%

B: 55.5 %

C: 45.5%  $\%E = ((0.07 \times 55.5) + (0.03 \times 45.5)) \times 100/61$

$\% E = 6.9 \approx 7 \%$

Los rangos de para contener la emulsión óptima varia en 1%. Indicando que nuestra variación será en  $6\% < 7\% < 8\%$  respectivamente, se recuerda que estos porcentajes de emulsión son tentativos, ya que solo sirven de referencia para obtener el contenido óptimo de emulsión, para nuestro caso al realizar una solo una briqueta para el ensayo respectivo se tomó el valor de 9% con fines de una mezcla óptima.

#### 5.2.7. Ensayo de recubrimiento

Consistió en tomar 3 muestras de 100 gr de la nueva dosificación, la cuales se le agrego agua entre los 2.5, 3 y 3.5 % respectivamente. En nuestra calibración para ensayo de estabilidad – flujo Marshall, se tomó una mezcla que comprende 50% de material reciclado más 49% de agregado fino virgen, se le adiciono 1% de cemento y por último se le agrego la emulsión cuyo contenido optimo es de 9%.

Toda la calibración anterior se mezcló manualmente en un recipiente hasta obtener una buena dispersión en la totalidad de la mezcla. Luego del mezclado se pasó a colocar sobre una superficie limpia y plana el mezclado a fin de estimar visualmente el grado de recubrimiento.

#### 5.2.8. Ensayo de adherencia

Consiste en tomar las muestras del ensayo de recubrimiento, la idea es obtener el pesaje del material adherido a los agregados, en nuestro caso:

Tabla N°43: Ensayo de Adherencia

% 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

Fuente: (Paccori Mori, 2018)

#### 5.2.9. Ensayo de estabilidad-flujo Marshall

El ensayo se realizó con dos muestras, según el EG-2013- Manual de carreteras – especificaciones técnicas generales para construcción.

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.

Tabla N°44: Resultado de ensayo estabilidad y flujo Marshall para mezcla en frío con emulsión

ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D 6927 / AASHTO T245

BRIQUETA N°	ESTABILIDAD (Kg,)	FLUJO (0.01")	FLUJO (mm)
1	930	26	6.5
2	844	22	5.5

Fuente: (Paccori Mori, 2018)

Según los resultados de estabilidad se puede decir que 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.

### 5.3. Equipos y personal necesario para la colocación de la carpeta asfáltica

#### 5.3.1. Equipo a utilizar en nuestra alternativa será:

- a) Barredora mecánica 10 – 20 HP
- b) Cargador de ruedas 200 HP
- c) Fresadora 565 HP
- d) Pavimentadora sobre orugas 105 HP
- e) Rodillo vibratorio liso autopropulsado 101 – 135 HP
- f) Camión cisterna 4 x 122 HP 1500 GAL - Volquete 6 x 4 330 HP 15m<sup>3</sup>
- g) Herramientas Manuales

### 5.4. Presentación de Resultados

#### 5.4.1. Estudio N° 1: Reciclado in situ de pavimentos

Según el estudio (Reciclado in situ en frío de pavimentos empleando emulsiones asfálticas- Aplicación: Colegio FAP Manuel Polo Jiménez, urb. San Gabino-Santiago de Surco, 2007)

Como se muestra a continuación, podemos ver los presupuestos para el método de reciclaje de pavimentos asfálticos in situ en frío y pavimentos con asfalto en caliente, esta técnica fue aplicada según lo siguiente:

Período del proyecto: 15 años

Área de aplicación: 185.31 m<sup>2</sup>

Volumen: 11.12 m<sup>3</sup>

Tabla N°45: Presupuesto de reciclado de pavimentos in situ en frío con emulsión asfáltica

<b>PRESUPUESTO RECICLADO DE PAVIMENTO IN SITU EN FRÍO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA</b>						
Colegio Manuel Polo Jimenez, Urb. San Gabino - Surco					Costo a:	Nov 2006
Item	Descripción	Unidad	Metrado	Precio	Parcial	Total
<b>01.00.00</b>	<b><u>OBRAS PROVISIONALES</u></b>					<b>2,000.00</b>
01.01.00	Movilización y desmovilización de equipos	glb	1.00	2,000.00	2,000.00	
<b>02.00.00</b>	<b><u>MOVIMIENTO DE TIERRAS</u></b>					<b>459.88</b>
02.01.00	Demolición y remoción del pavimento existente (con fresadora a 2")	m2	99.96	4.60	459.88	
<b>03.00.00</b>	<b><u>PAVIMENTOS</u></b>					<b>1,815.44</b>
03.01.00	Imprimación	m2	99.96	1.78	178.32	
03.02.00	Base asfáltica reciclada en frío (con mezcladora)	m3	6.00	272.96	1,637.12	
<b>04.00.00</b>	<b><u>TRANSPORTE</u></b>					<b>58.09</b>
04.01.00	Transporte de mezcla asfáltica en frío para d <= 1 km	m3-km	7.50	7.75	58.09	
<b>05.00.00</b>	<b><u>SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL</u></b>					<b>277.37</b>
05.01.00	Señales preventivas	und	2.00	138.69	277.37	
<b>06.00.00</b>	<b><u>PROTECCIÓN AMBIENTAL</u></b>					<b>824.86</b>
06.01.00	Recuperación ambiental en áreas afectadas	m2	15.00	54.99	824.86	
	<b>COSTO DIRECTO (S/.)</b>					<b>5,435.64</b>
	Gastos Generales Fijos			(7.00% del CD)		380.49
	Gastos Generales Variables			(13.00% del CD)		706.63
	Utilidad			(10.00% del CD)		543.56
	<b>SUB TOTAL</b>					<b>7,066.34</b>
	I.G.V.			(19.00% del ST)		1,342.60
	<b>TOTAL DE LA PROPUESTA ECONÓMICA (S/.)</b>					<b>S/ 8,408.94</b>
	<b>Total del presupuesto en dólares</b>			(T.C. S/. 3.22)		<b>\$ 2,611.47</b>

Fuente: (Villa Chaman, 2007)

Tabla N°46: Presupuesto de pavimento con asfalto en caliente

PRESUPUESTO PAVIMENTO CON ASFALTO CALIENTE						
Aplicación 1.00 km				Costo a:		Nov 2006
Item	Descripción	Unidad	Metrado	Precio	Parcial	Total
<b>01.00.00</b>	<b><u>OBRAS PROVISIONALES</u></b>					<b>2,000.00</b>
01.01.00	Movilización y desmovilización de equipos	glb	1.00	2,000.00	2,000.00	
<b>02.00.00</b>	<b><u>MOVIMIENTO DE TIERRAS</u></b>					<b>54,981.21</b>
02.01.00	Demolición y remoción del pavimento existente (con bulldozer)	m2	6,000.00	9.16	54,981.21	
<b>03.00.00</b>	<b><u>PAVIMENTOS</u></b>					<b>122,365.01</b>
03.01.00	Inprimación	m2	6,000.00	1.78	10,703.52	
03.04.00	Carpetas asfálticas en caliente	m3	360.00	310.17	111,661.49	
<b>04.00.00</b>	<b><u>TRANSPORTE</u></b>					<b>6,253.81</b>
04.01.00	Transporte de mezcla asfáltica en caliente para d <= 1 km	m3-km	450.00	7.75	3,487.01	
04.02.00	Transporte de mezcla asfáltica en caliente para d > 1 km	m3-km	0.00	1.55	0.00	
04.03.00	Transporte de material excedente de corte d <= 1 km	m3-km	540.00	5.12	2,766.80	
04.04.00	Transporte de material excedente de corte d > 1 km	m3-km	0.00	1.96	0.00	
<b>05.00.00</b>	<b><u>SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL</u></b>					<b>1,386.85</b>
05.01.00	Señales preventivas	und	10.00	138.69	1,386.85	
<b>06.00.00</b>	<b><u>PROTECCIÓN AMBIENTAL</u></b>					<b>40,890.45</b>
06.01.00	Acondicionamiento de excedentes en zonas de botaderos	m3	540.00	34.99	18,894.29	
06.02.00	Recuperación ambiental en áreas afectadas	m2	400.00	54.99	21,996.16	
	<b>COSTO DIRECTO (S/.)</b>					<b>227,877.34</b>
	Gastos Generales Fijos			(7.00% del CD)		15,951.41
	Gastos Generales Variables			(13.00% del CD)		29,624.05
	Utilidad			(10.00% del CD)		22,787.73
	<b>SUB TOTAL</b>					<b>296,240.54</b>
	I.G.V.			(19.00% del ST)		56,285.70
	<b>TOTAL DE LA PROPUESTA ECONÓMICA (S/.)</b>					<b>S/ 352,526.24</b>
	<b>Total del presupuesto en dólares/km.</b>			(T.C. S/. 3.22)		<b>\$ 109,480.20</b>

Fuente: (Villa Chaman, 2007)

Tabla N°47: Comparación de costos entre el método de reciclaje en frío y en caliente

Reciclado de pavimentos in situ en frío		Método convencional (Mezcla asfáltica en caliente)	
Descripción	COSTOS S/.	Descripción	COSTOS S/.
Obras provisionales	2,000.00	Obras provisionales	2,000.00
Movimiento de tierras	27,604.04	Movimiento de tierras	54,981.21
Pavimentos	143,472.24	Pavimentos	122,365.01
Transporte	3,487.01	Transporte	6,253.81
Señalización y seguridad vial	1,386.85	Señalización y seguridad vial	1,386.85
Protección ambiental	21,996.16	Protección ambiental	40,890.45
<b>COSTO DIRECTO (S/.)</b>	<b>199,946.31</b>	<b>COSTO DIRECTO (S/.)</b>	<b>227,877.34</b>

Elaboración Propia

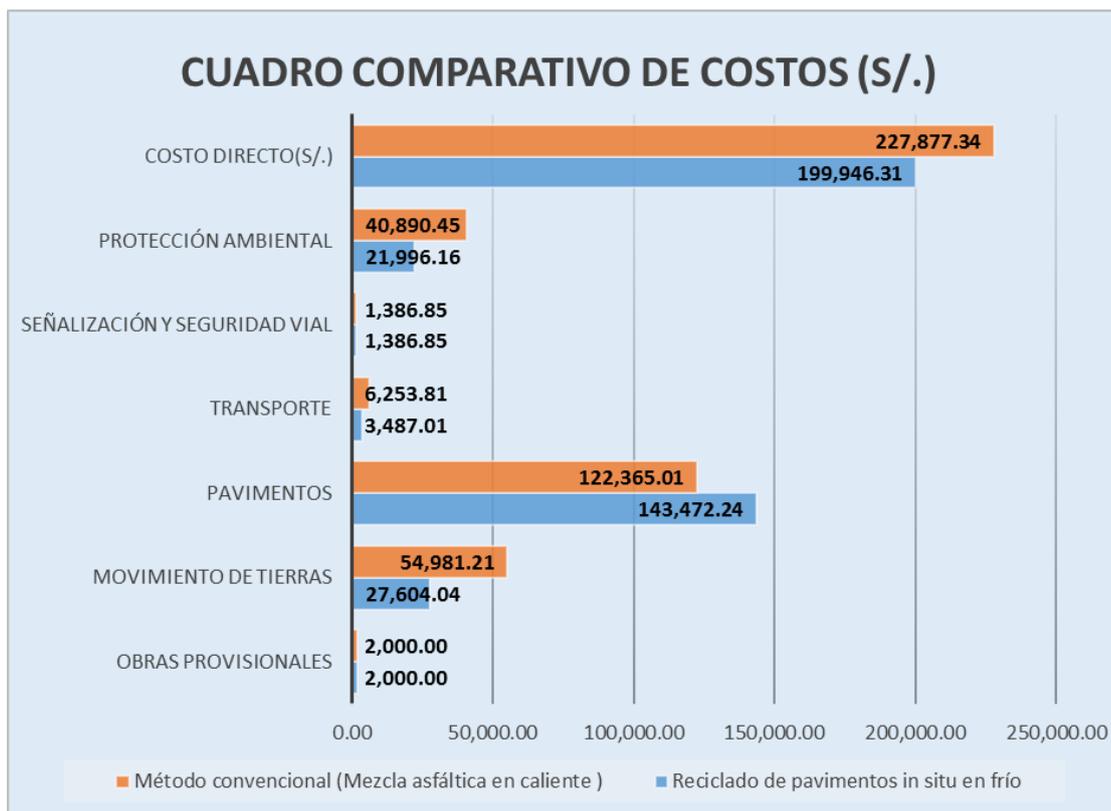


Figura N°25: Cuadro comparativo de costos

Elaboración Propia

- a) Los costos de las obras provisionales y señalización y seguridad vial no presentan variación entre ambas.
- b) El costo del pavimento en el caso del reciclado in situ en frío es más caro que en el método convencional.
- c) Los costos de movimientos de tierra, transporte y protección ambiental son mucho más caros en el caso del método tradicional que con el reciclado in situ en frío.
- d) En base a la aplicación realizada en el tramo de prueba, se pudieron extraer costos precisos de la elaboración y aplicación de un reciclado in situ en frío con emulsión asfáltica catiónica y se llegó a obtener un ahorro entre el 10 y 20% (13.97%) en comparación de haberla realizado con un método convencional, como es el usar mezcla asfáltica en caliente.

#### 5.4.2. Estudio N° 2: Reciclado en frío en Planta de pavimentos

Según el estudio (Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - Pachacamac, 2018)

Para el siguiente estudio se delimito para un área de 250 m<sup>2</sup>, la propuesta para dicha rehabilitación es reciclar el material para luego ser procesada en una planta fija, afín de tener una buena mezcla, la reposición consistirá en una capa 2” a fin de reponer el mismo espesor de pavimento.

Tabla N°48: Presupuesto de Pavimentos asfálticos reciclados en frío en planta

<b>PRESUPUESTO</b>					
<b>PROYECTO:</b>	<b>PRESUPUESTO PAVIMENTO FLEXIBLE RECICLADO EN FRIO EN PLANTA</b>				
<b>CLIENTE:</b>	<b>FRANKLIN LUIS PACCORI MORI</b>				
<b>UBICACION:</b>	<b>AV. VICTOR MELASQUEZ, MANCHAY, PACHACAMAC</b>				
<b>FECHA BASE:</b>	<b>07-07-2018</b>	<b>MONEDA: NUEVOS SOLES</b>			
ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PU	PARCIAL
<b>1</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>				<b>2,000.00</b>
1.1	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	GLB	1.00	2.000.00	2,000.00
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>				<b>1,625.00</b>
2.1	DEMOLICION Y REMOCION DEL PAVIMENTO EXISTENTE (CON FRESADORA A 1")	M2	250.00	6.50	1,625.00
<b>3</b>	<b>PAVIMENTOS</b>				<b>3,061.75</b>
3.1	IMPRIMACION	M2	250.00	2.12	530.00
3.2	REPOSICION DE CARPETA ASFALTICA CON MARE EN FRIO	M3	12.50	202.54	2,531.75
<b>4</b>	<b>TRANSPORTE</b>				<b>582.00</b>
4.1	TRANSPORTE DE RECICLADO ASFALTICO	M3-KM	75.00	7.76	582.00
<b>5</b>	<b>SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL</b>				<b>533.94</b>
5.1	SEÑALES PREVENTIVAS	UND	3.00	177.98	533.94
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>7,802.69</b>
<b>GASTOS GENERALES 10%</b>					<b>780.27</b>
<b>UTILIDAD 10%</b>					<b>780.27</b>
<b>SUB TOTAL</b>					<b>9,363.23</b>
<b>IGV 18%</b>					<b>1,685.38</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>					<b>11,048.61</b>

Fuente: (Paccori Mori, 2018)

Tabla N°49: Presupuesto de Pavimentos asfálticos reciclados en frío en planta

<b>PRESUPUESTO</b>					
<b>PROYECTO:</b>		<b>PRESUPUESTO PAVIMENTO FLEXIBLE EN CALIENTE</b>			
<b>CLIENTE:</b>		<b>FRANKLIN LUIS PACCORI MORI</b>			
<b>UBICACION:</b>		<b>AV. VICTOR MELASQUEZ, MANCHAY, PACHACAMAC</b>			
<b>FECHA BASE:</b>		<b>08-07-2018</b>	<b>MONEDA: NUEVOS SOLES</b>		
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	MOVIMIENTOS DE TIERRAS				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	306.41	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
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>9,126.07</b>
<b>GASTOS GENERALES 10%</b>					<b>912.61</b>
<b>UTILIDAD 10%</b>					<b>912.61</b>
<b>SUB TOTAL</b>					<b>10,951.29</b>
<b>IGV 18%</b>					<b>1,971.23</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>					<b>12,922.52</b>

Fuente: (Paccori Mori, 2018)

Tabla N°50: Comparación de costos entre el método de reciclaje en frío y en caliente

Reciclado de pavimentos en frío en planta		Método convencional (Mezcla asfáltica en caliente)	
DESCRIPCIÓN	Costo S/.	DESCRIPCIÓN	Costo S/.
Obras provisionales	2,000.00	Obras provisionales	2,000.00
Movimiento de tierras	1,625.00	Movimiento de tierras	1,625.00
Pavimentos	3,061.75	Pavimentos	4,385.13
Transporte	582	Transporte	582
<b>COSTO DIRECTO (S/.)</b>	<b>7,802.69</b>	<b>COSTO DIRECTO (S/.)</b>	<b>9,126.07</b>

Elaboración Propia

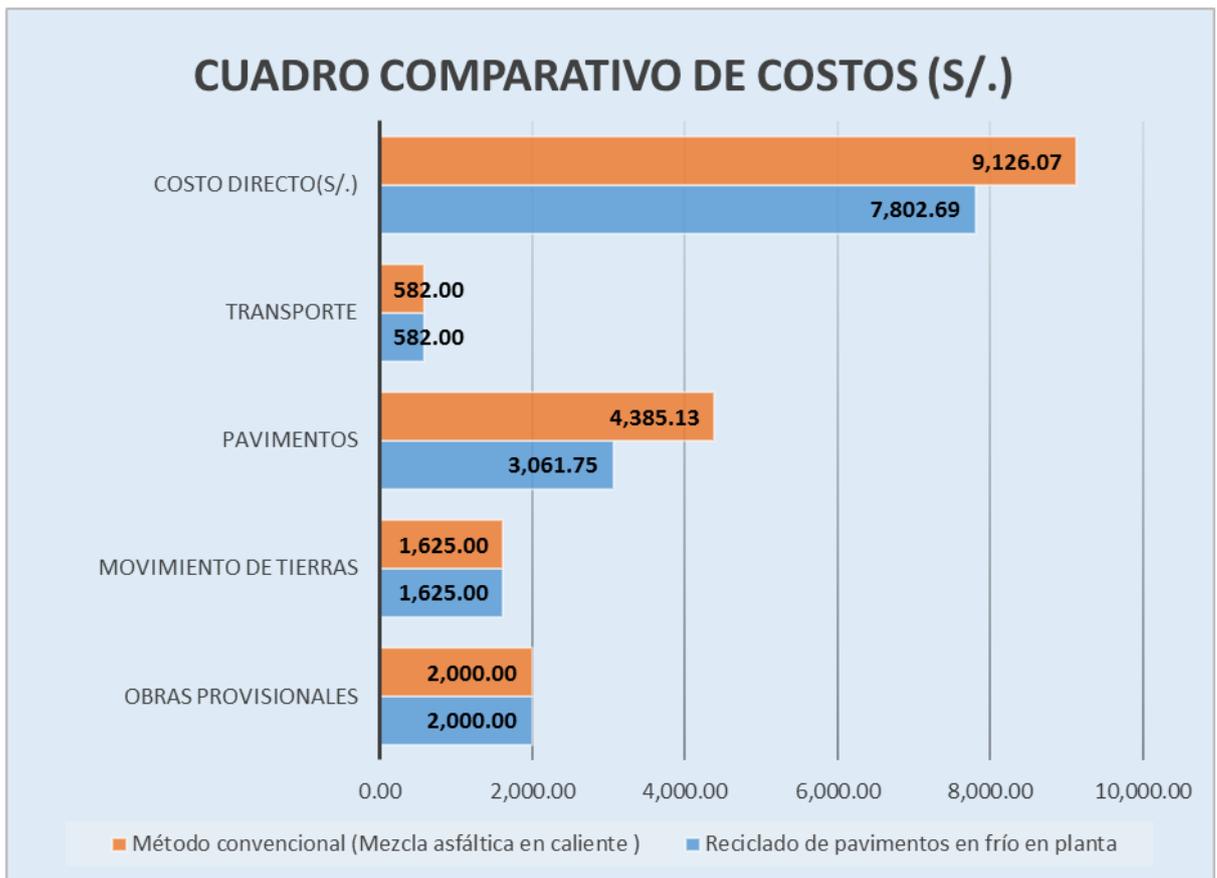


Figura N°26: Cuadro comparativo de costos  
Elaboración Propia

- a) Los costos de las obras provisionales y movimiento de tierras no presentan variación entre ambas.
- b) El costo del pavimento en el caso del reciclado in situ en frío es más económico que en el método convencional.
- c) Podemos apreciar que en este estudio el reciclaje de pavimentos en frío se realizan en planta y aún así son más económicos que el caso del método tradicional.
- d) El costo de la propuesta comprende la elaboración de la mezcla en frío con emulsiones en una planta fija, el costo se realizó haciendo comparación entre una rehabilitación con mezcla asfáltica en caliente, llego a obtener un ahorro de caso s/.1200.00 esto representa un 10 %.

1. Teniendo en cuenta que en el Estudio N° 1 donde se realiza el reciclaje de Pavimentos in situ y en el Estudio N° 2 donde se realiza el reciclaje de Pavimentos en planta, se observa que en ambos casos el uso de este método es más económico en comparación al método convencional de Reciclaje de pavimentos en caliente.
2. Para el Estudio N° 1 se pudieron extraer costos precisos de la elaboración y aplicación de un reciclado in situ en frío con emulsión asfáltica catiónica y se llegó a obtener un ahorro entre el 10 y 20% (13.97%) en comparación de haberla realizado con una mezcla asfáltica en caliente.
3. Para el Estudio N° 2, el costo de la propuesta comprende la elaboración de la mezcla en frío con emulsiones en una planta fija, el costo se realizó haciendo comparación entre una rehabilitación con mezcla asfáltica en caliente, llego a obtener un ahorro de caso s/.1200.00 esto representa un 10 %.
4. Según el tipo de falla que presenta nuestro pavimento a reciclar podremos saber el tipo de reciclado que debemos realizar.

Tabla N°51: Tipo de reciclado según tipo de la falla del pavimento

TIPO DE FALLA DEL PAVIMENTO	TIPO DE RECICLADO		
	Fresado Superficial	Reciclado Parcial	Reciclado Profundo
<b>Defectos Superficiales</b>			
Pérdida de áridos	x	x	
Exudación	x		
Pérdida de fricción	x		
<b>Deformaciones</b>			
Corrugaciones (ondulaciones)	x (1)		
Ahuellamiento poco profundo	x (1)		
Ahuellamiento profundo		x (2)	x (2,3)
<b>Grietas Asociadas a Cargas</b>			
Piel de cocodrilo		x	x
En la huella de circulación		x	x
En los bordes		x	x
<b>Grietas no Asociadas a Cargas</b>			
En bloque (retracción)		x	x
Transversales (térmicas)		x	x
<b>Grietas de Reflexión</b>		x	x
<b>Baches</b>			
Superficiales		x	x
Profundos		x	x
<b>Problemas de Base / Subbase</b>			x
<b>Calidad de Rodado / Rugosidad</b>			
Irregularidades generalizadas	x		
Depresiones (asentamientos)	x (4)		x (5)
Hinchamientos	x (4)		x (6)

(1) Puede ser una corrección temporal si no es removida toda la capa afectada o tratada con la adición de mezcla asfáltica especial.  
(2) Se puede requerir la adición de árido nuevo para mezclas inestables.  
(3) Se puede requerir la estabilización química de la subrasante, si el suelo es blando y húmedo.  
(4) Puede ser sólo corrección temporal si la falla está relacionada a problemas de la subrasante.  
(5) Se usa si las depresiones son debidas a la subrasante blanda y húmeda.  
(6) Se usa si el hinchamiento es debido a un suelo expansivo de la subrasante.

Fuente: (Estudio de reciclado en frío: Primera parte)

- Según el proyecto (Municipalidad de La Molina, 2012) donde se reciclaron los pavimentos asfálticos de la Av. Alameda del Corregidor para la construcción de vías provisionales en asentamientos humanos del distrito de La Molina, esta alternativa contribuye con diversos beneficios, tanto económicos, ambientales y técnicos con respecto a la construcción de una nueva vía.

	Reciclado de pavimentos in situ en frío		Método convencional (Mezcla asfáltica en caliente)		
<b>Ambiental</b>	Reutilización de los agregados y del asfalto en los pavimentos existentes.		Hay que triturar y/o extraer nuevos materiales pétreos.		
	La disposición, como desecho, de los materiales del pavimento es reducida o en gran parte eliminada.		Hay que eliminar el pavimento antiguo en botaderos generando un impacto ambiental negativo en la zona.		
	Conservación de energía al construirse en el lugar, y no requerirse combustible para el calentamiento de los materiales.		Consumo de combustible tanto para el transporte como para el calentamiento de los agregados.		
<b>Técnico</b>	Se evita elevar la rasante de la carpeta asfáltica.		Los recapeos elevan la rasante siendo esto algo negativo.		
	El agregado se usa frío.		Hay que calentar el agregado, aumentando los tiempos.		
	Se reducen al mínimo las perturbaciones causadas por las operaciones de construcción a las demás capas del pavimento existente.		Los métodos de demolición de la carpeta existente afectan negativamente las capas inmediatas inferiores reduciendo la vida útil de estas.		
	Las capas siguientes al reciclado se colocan ya sobre una base estable y no deteriorada, consiguiéndose finalmente una vida útil mayor. El período de construcción es menor.		El período de construcción es mayor.		
<b>Económico</b>	Descripción	Costo S/. (1)	Descripción	Costo S/. (2)	Variación (2/1)
	OBRAS PROVISIONALES	2,000.00	OBRAS PROVISIONALES	2,000.00	0.00%
	MOVIMIENTO DE TIERRAS	27,604.04	MOVIMIENTO DE TIERRAS	54,981.21	99.18%
	PAVIMENTOS	143,472.24	PAVIMENTOS	122,365.01	-14.71%
	TRANSPORTE	3,487.01	TRANSPORTE	6,253.81	79.35%
	SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL	1,386.85	SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL	1,386.85	0.00%
	PROTECCIÓN AMBIENTAL	21,996.16	PROTECCIÓN AMBIENTAL	40,890.45	85.90%
	COSTO DIRECTO (S/.)	199,946.31	COSTO DIRECTO (S/.)	227,877.34	13.97%

Figura N°27: Cuadro comparativo entre reciclaje caliente y reciclaje en frío

Fuente: (Villa Chaman, 2007)

- Para (Paccori Mori, 2018), la evaluación de las fallas del pavimento son una parte fundamental, ya que de acuerdo a las condiciones en las que se encuentre el pavimento a reciclar, sabremos que cantidad de material se podrá utilizar y la cantidad de aditivos que se necesitará para poder ser aplicados a su propuesta de rehabilitación de vías.
- Para la propuesta de construcción de vías provisionales propusimos el método de reciclaje en frío in situ, ya que al ser empleado el reciclaje in situ el material fresado no llega a abandonar la obra, sino que se trata allí mismo y vuelve a extenderse directamente. Esto no solo ahorra muchos viajes de camión hasta la planta de tratamiento, sino que también acorta los tiempos de extendido.
- Observamos que la aplicación del método de reciclaje de pavimentos en la construcción de vías en zonas vulnerables mejorará las condiciones de vida de su población y podrán acceder a servicios de seguridad ciudadana, limpieza pública y mejores accesos para obtener servicios de cisterna de agua.
- Del proyecto (Municipalidad de La Molina, 2012) podemos ver que la aplicación del método de reciclaje de pavimentos en la construcción de vías en zonas vulnerables

mejorará las condiciones de vida de su población y podrán acceder a servicios de seguridad ciudadana, limpieza pública y mejores accesos para obtener servicios de cisterna de agua, por otro lado el costo de la propuesta comprende según el proyecto realizado en el distrito de La Molina una inversión aproximada de S/.40,000 para un tramo de 500 metros de largo por 6 metros de ancho y 3 pulgadas de grosor, por lo que la aplicación de este método es más económica en un 75% con respecto a la construcción de una nueva vía.

Situación Previa ( sin proyecto)	Situación actual (con proyecto)
El trazo de la vía era irregular, sin alineamiento ni nivelación lo cual propiciaba, entre otros, la invasión de los derechos de vía	La vía está bien trazada y se respetan los derechos de vía.
La no existencia de proyectos de servicios de agua y desagüe para la vía inviabilizaba realizar grandes gastos de pavimentación definitiva	Se pudieron mejorar las condiciones de accesibilidad sin realizar grandes inversiones.
Era prácticamente imposible transitar con vehículos automotores para efectuar el recojo de residuos sólidos, prestar servicios de transporte público o de seguridad ciudadana.	Se facilita el acceso de vehículos permitiendo la prestación de los servicios públicos.
Se necesitaban aproximadamente S/.160,000 para pavimentar la vía.	La vía se pavimentó con una inversión aproximada de S/.40,000.
Acceso vehicular imposibilitado a 600 vecinos.	600 vecinos se benefician al contar con accesibilidad vehicular directa a sus viviendas.

Figura N°28: Beneficios del proyecto, Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6

Fuente: (Municipalidad de La Molina, 2012)

## 5.5. Análisis de Resultados

1. En general podemos decir que el uso de pavimentos reciclados son más económicas y ambientalmente sostenibles ya que como sabemos, usualmente los pavimentos retirados de otras vías son desechados en botaderos o rellenos sanitarios, causando así contaminación ambiental por lo que con nuestra alternativa planteada aprovechamos estos pavimentos asfálticos para darles otra oportunidad en beneficio

de la sociedad y el ambiente, reduciendo costos y mejorando las condiciones de vida de zonas menos favorecidas de nuestro país.

De acuerdo con (Villa Chaman, 2007, págs. 72-73) nos dice cuáles son los principales beneficios económicos al usar el reciclado en frío con emulsiones asfálticas:

- a) La disposición, como desecho, de los materiales del pavimento es reducida o en gran parte eliminada por lo que hay un ahorro de combustible.
  - b) Conservación del consumo de combustible al construirse en el lugar y no requerirse calentamiento de los materiales.
  - c) Hay una preservación de los recursos naturales gracias a la reutilización/recuperación de los agregados y del asfalto en los pavimentos existentes.
  - d) El transporte de materiales pétreos a la obra no existe.
  - e) El período de construcción es menor.
  - f) El asfalto en el MAR se recupera cuando menos en un 50 %
2. El estudio del tipo de fallas que presente nuestro pavimento a reciclar será indispensable para poder saber el tipo de reciclado que necesitamos realizar, ya sea fresado superficial, reciclado parcial o reciclado profundo.
3. Esta investigación tuvo como propósito proponer como alternativa la reutilización de pavimentos asfálticos reciclados buscando así poder ayudar a reducir el impacto ambiental en nuestro país, mediante la técnica de reciclaje en frío buscamos beneficiar de manera social a los pobladores de los asentamientos humanos de la ciudad de Lima, brindándoles un impacto positivo tanto en su seguridad como en sistema de transporte mucho mas comfortable y seguro.

De acuerdo a (Villa Chaman, 2007, págs. 72-78) nos dice cuáles son los principales beneficios ambientales al usar el reciclado en frío con emulsiones asfálticas:

- a. Hay una preservación de los recursos naturales gracias a la reutilización/recuperación de los agregados y del asfalto en los pavimentos

existentes, la cantidad a triturar o extraer de nuevos materiales pétreos es mucho menor.

- b. No hay un impacto ambiental tan negativo en la zona como el necesitar botaderos pues la disposición, como desecho, de los materiales del pavimento es reducida o en gran parte eliminada.
  - c. Conservación de energía al construirse en el lugar y casi no requerirse combustible para el calentamiento de los materiales.
4. Se puede afirmar que estos costos pueden reducirse aun más, en el caso de la rehabilitación con el método de reciclado in situ en frío con emulsión asfáltica, debido a que en el tramo de prueba del Estudio N° 1 se experimentó con esta técnica por lo que los rendimientos fueron bajos, pero con el tiempo estos irán mejorando y por lo tanto bajando los costos de ésta.
5. De acuerdo al estudio de la tesis (Villa Chaman, 2007, pág. 78), pudimos observar los principales beneficios técnicos al usar el reciclado en frío con emulsiones asfálticas:
- Se evita elevar la rasante, no variando el diseño original de ésta ni afectando los niveles de las tapas de los buzones.
- Al usar las emulsiones asfálticas hay ventajas con respecto a los asfaltos en caliente, en que pueden ser usadas con el agregado frío o calentado, seco o húmedo. Esto último es también una ventaja sobre los asfaltos diluidos, que requieren que el agregado esté seco.
  - Se puede tratar un solo carril de una calzada que tenga varios para el mismo sentido.
  - Se reducen al mínimo las perturbaciones causadas por las operaciones de construcción a las demás capas del pavimento existente; de esta manera, sus materiales conservan intacta su resistencia y su humedad de equilibrio.
  - Las capas siguientes al reciclado se colocan ya sobre una base estable y no deteriorada, consiguiéndose finalmente una vida útil mayor.
  - El período de construcción es menor. Si bien se ha tratado de separar los beneficios de usar el reciclado de pavimentos en frío usando emulsiones

asfálticas, en tres áreas principales, podemos darnos cuenta que están interrelacionados, por lo que algunos de ellos aparecen en dos áreas o más.

6. En el caso del proyecto realizado en el distrito de La Molina observamos los diversos beneficios que se obtuvieron con la realización del proyecto, ya que se pudieron mejorar las condiciones de accesibilidad sin realizar grandes inversiones, se facilitó el acceso de vehículos permitiendo la prestación de servicios públicos.
7. Según el proyecto realizado en el distrito de La Molina, con el uso de material reciclado se reducen los costos a un 75 % con respecto a la pavimentación de una nueva vía.

## 5.6. Contrastación de hipótesis

### 5.6.1. Hipótesis general

Hipótesis Alternativa (H<sub>i</sub>): La mejor alternativa para aprovechar los pavimentos deteriorados de otras vías es el método de reciclaje en frío.

Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>): La mejor alternativa para aprovechar los pavimentos deteriorados de otras vías no es el método de reciclaje en frío.

La incorporación del RAP en la fabricación de pavimentos asfálticos en caliente o en frío reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>, gracias al poco consumo de agregados y de asfalto, aunque cuando se realiza el diseño de la mezcla en plantas asfáltica, hay un aumento considerable en el uso de estos debido al calentamiento que se produce.

De igual manera como podemos observar en la Figura N° 28 el uso de esta técnica presenta diversas ventajas en comparación al método convencional del uso de pavimentos reciclados en caliente.

Por ende, H<sub>i</sub> es válido.

### 5.6.2. Hipótesis específica 1

Hipótesis Alternativa (H<sub>i1</sub>): La evaluación de fallas en los pavimentos asfálticos influyen en la propuesta técnica del reciclado de pavimentos asfálticos en la construcción de nuevas vías.

Hipótesis Nula (H<sub>01</sub>): La evaluación de fallas en los pavimentos asfálticos no influyen en la propuesta técnica del reciclado de pavimentos asfálticos en la construcción de nuevas vías.

De acuerdo al (Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación vial, 2018, pág. 85)

Los tipos de fallas que presenta un pavimento asfáltico son: fallas estructurales y fallas superficiales.

Los deterioros de la primera categoría se asocian generalmente con obras de rehabilitación de costo alto. Los deterioros de la segunda categoría se relacionan generalmente con obras de mantenimiento periódico (por ejemplo, carpeta delgada de concreto asfáltico o tratamiento superficial)”.  
Dada que nuestra propuesta esta enfocada en la construcción de una nueva vía provisional con pavimentos reciclados, la cantidad de material a reciclar dependerá del tipo de reciclaje que se realice de acuerdo a la evaluación de las fallas que presente el pavimento a reciclar.

Por ende,  $H_{i1}$  es válido.

### 5.6.3. Hipótesis específica 2

Hipótesis Alterna ( $H_{i1}$ ): La alternativa propuesta de reutilización de pavimentos asfálticos en frío reduce su costo en un 50% con respecto a otras propuestas.

Hipótesis Nula ( $H_{o1}$ ): La alternativa propuesta de reutilización de pavimentos asfálticos en frío no reduce su costo en un 50% con respecto a otras propuestas.

Se necesitaban aproximadamente S/.160,000 para pavimentar la vía.	La vía se pavimentó con una inversión aproximada de S/.40,000.
---	--

Figura N°29: Beneficios del proyecto, Asentamiento Humano M.U.S.A. sector 6

Fuente: (Construcción de vías con pavimentos reciclados en Asentamientos humanos, 2012)

Consideramos el proyecto de La Molina donde observamos que el costo de construcción tuvo un ahorro de un 75% con respecto a un pavimento nuevo, por otro lado observamos los costos unitarios del método de reciclaje donde se ve que con el método de reciclaje en frío tenemos un ahorro con el método convencional el cual fue realizado en el distrito de Surco, por lo que demostramos que el uso de pavimentos reciclados en frío será la mejor alternativa para la construcción de nuevas vías, de acuerdo a la información obtenida en el proyecto realizado en el distrito de

La Molina, donde se pudo ver que la inversión realizada para la ejecución de dicho proyecto es 75% menos que realizar la pavimentación de una nueva vía.  
Por ende, H<sub>2</sub> es válido.

## CONCLUSIONES

1. El uso de esta técnica genera beneficios sociales, económicos y ambientales, por lo que pretendemos que las autoridades la tomen como alternativa para la construcción de vías en zonas menos favorecidas.
2. Podemos concluir que el uso de esta técnica puede ser aplicada tanto en planta como in situ, ya que en ambos casos la técnica del reciclaje en frío fue la que presentó mayores beneficios en comparación al reciclaje en caliente.
3. Este método puede emplearse 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 vulnerables de nuestro país.
4. Para la realización de esta investigación obtuvimos datos del INEI para conocer la cantidad de asentamientos humanos en los que se podrían aplicar nuestra alternativa, tomamos como referencia específica el proyecto realizado en La Molina, ya que fue el único proyecto en el que se emplearon pavimentos reciclados en frío para su aplicación en asentamientos humanos de su distrito, habiendo recibido un premio internacional el año 2012 por su iniciativa; por otro lado, tenemos como referencia 9 estudios nacionales y 15 estudios internacionales relacionados al reciclaje en frío y su aplicación en rehabilitaciones y mantenimientos.
5. De acuerdo a las investigaciones realizadas así como mostramos en el análisis de resultados se concluye que el uso de pavimentos asfálticos reciclados en frío in situ es una buena alternativa debido a su diseño y fácil colocación, ya que al reutilizar el material de otras vías se reducen los costos de manera significativa con respecto a los agregados y el transporte, la aplicación de esta alternativa genera beneficios técnicos, económicos y ambientales, así contribuimos en la conservación de los recursos naturales en el momento de la ejecución del proyecto.
6. La granulometría de los agregados desempeña un papel importante a la hora de diseñar la mezcla ya que, en base a ello se determina el tipo y el porcentaje de ligante o emulsión que se va a utilizar en el proceso.
7. Finalmente concluimos que el uso de esta alternativa reduce los costos de manera significativa, como se pudo observar en el proyecto realizado en el distrito de La Molina donde se redujeron los costos a un 75 % con respecto a la pavimentación de una nueva vía.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones a profundidad sobre las emulsiones asfálticas, para poder identificar la que tenga mejor característica o propiedades para el diseño de la mezcla.
2. Según la investigación realizada los estudios que se le realizan a los asfaltos convencionales son los mismos que se le realiza al diseño de mezcla con RAP. Por lo tanto es recomendable usar este método, también debemos considerar que esta alternativa se realiza en tiempos relativamente cortos.
3. Se recomienda impulsar esta alternativa tratando de ampliar el método de pavimentos asfálticos reciclados en frío, para que las autoridades la tomen en cuenta y puedan emplearla para mejorar la calidad de vida de su población.
4. Se recomienda reutilizar el material de otras vías afectadas por diversos factores, en vez de ser desechadas a botaderos o rellenos sanitarios, dándoles una segunda oportunidad en beneficio de diversas zonas vulnerables de nuestro país.
5. Se recomienda que para futuras investigaciones se pueda realizar un manual que guíe el diseño de mezclas asfálticas en frío y en caliente, para así facilitar el desarrollo de la infraestructura vial de nuestro país.
6. Se recomienda la aplicación de pavimentos flexibles reciclados en los proyectos de construcción de nuevas vías en zonas vulnerables de nuestro país, su aplicación comprende la preservación de recursos renovables y un menor costo de ejecución.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camacho Plata, H. (2014). *Estudio sobre pavimentos reciclados como posible alternativa económica y ambiental en las futuras obras el país*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Fuente: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13482?show=full>
- Chuman Aguirre, J. (2016). *Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo*. Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú. Fuente: <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/267>
- Fano & Chavez. (2017). *Diseño estructural de un pavimento básico reciclado y mejorado con cemento portland para diferentes modificaciones en el proyecto de conservación vial de Huancavelica*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Fuente: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/622302>
- Fernández Larrauri, V. C. (2012). *Reciclado en frío de pavimentos flexibles, con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Fuente: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3414>
- Galván Huamaní, L. M. (2015). *Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Fuente: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4384>
- Humpiri Pineda, K. (2015). *"Análisis superficial de pavimento flexibles para el mantenimiento de vías en la región de Puno"*. Universidad Andina "Nestor Caceres Velasquez", Juliaca, Perú. Fuente: <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/426>
- INEI. (1993). *Censos nacionales; Características sociodemográficas; UNI: Estudio geomorfológico de Lima Metropolitana*. Lima. Fuente:

[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/B5BB9C6DBA9AF49A05257DC50081492E/\\$FILE/40\\_pdfsam\\_720450WP0SPANIOs0Lima0Metropolitana.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/B5BB9C6DBA9AF49A05257DC50081492E/$FILE/40_pdfsam_720450WP0SPANIOs0Lima0Metropolitana.pdf)

INEI. (1997). *Encuesta Nacional de Municipalidades e Infraestructura Socio*

*Económico Distrital*. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima.

Fonte:

<http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0360/CAP2075>.

HTM

Méndez Revollo, A. A. (2015). *Evaluación técnica y económica del uso de pavimentos*

*asfálticos reciclados (RAP) en vías colombianas*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras:*

*Especificaciones técnicas generales para Construcción*. Lima, Perú. Fonte:

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/manuales.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos,*

*geología, geotécnica y pavimentos- Sección Suelos y Pavimentos*. Lima, Perú.

Fonte:

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/manuales.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayos de*

*Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Fonte:

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/manuales.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html)

Ministerio de transportes y comunicaciones. (2018). *Manual de Carreteras:*

*Mantenimiento o Conservación vial*. Lima, Perú. Fonte:

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/manuales.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html)

- Municipalidad de La Molina. (2012). (J. C. Zurek, Produtor) Fonte:  
<https://ipmcse.fiu.edu/conferencia-alcaldes/material-de-inters/pavimentos.pdf>
- Paccori Mori, F. L. (2018). *Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - Pachacamac*. Universidad Peruana Los Andes, Lima, Perú. Fonte: <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/804>
- Restrepo Sierra, H., & Stephens Zapata, S. A. (2015). *Reciclaje de pavimentos: Estudio de las ventajas económicas del reciclaje en frío in situ de pavimentos asfálticos*. Universidad de Medellín, Medellín, Colombia. Fonte:  
<https://repository.udem.edu.co/handle/11407/2163>
- Robles Bustios, D. (2015). *Cálculo del índice de condición del pavimento (PCI) Barranco - Lima*. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Fonte:  
<http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2399>
- Rodríguez Mineros, C. E., & Rodríguez Molina, J. A. (2004). *Evaluación y Rehabilitación de Pavimentos flexibles por el método del reciclaje*. Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador. Fonte:  
<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2234/>
- Thenoux Z., G., & García S., G. (s.d.). *Estudio de reciclado en frío: Primera parte*.  
Fonte: [file:///C:/Users/51992/Downloads/391-2361-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/51992/Downloads/391-2361-1-PB%20(1).pdf)
- Vallejo Ramirez, D. (2011). *Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfálticas y su evaluación del daño de humedad utilizando fillers comerciales*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Fonte:  
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3311>
- Villa Chaman, V. (2007). *Reciclado in situ en frío de pavimentos empleando emulsiones asfálticas- Aplicación: Colegio FAP Manuel Polo Jiménez, urb. San Gabino-Santiago de Surco*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. Fonte:

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/581465/Tesis%20Villa%20Cham%C3%A1n.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Wirtgen GmbH. (2004). *Wirtgen Manual Reciclado en frío* (2 ed.). Windhagen,

Alemania: Wirtgen GmbH. Fuente:

<https://www.yumpu.com/es/document/read/14306954/manual-de-reciclaje-en-frio-resansil>

Yangali Limaco, G. O. (2015). *Influencia del uso de la carpeta asfáltica reciclada en las propiedades físico-mecánicas de diseño, para rehabilitación de pavimento flexible*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. Fuente:

<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/406>

## **ANEXOS**

Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	98
Anexo 2: Ensayo Marshall Modificado .....	99
Anexo 3: Modelo de Ficha de Evaluación de Pavimento Flexible.....	100
Anexo 4: Modelo de Presupuesto para pavimentos reciclados en frío. ....	101
Anexo 5: Modelo de Análisis de precios unitarios de movimiento de tierra.....	102
Anexo 6: Modelo de análisis de precio unitarios de pavimentos reciclados. ....	103
Anexo 7: Modelo de análisis de precios unitarios de material reciclado en frío. ....	104
Anexo 8: Diagrama de flujo que detalla la metodología de investigación y diseño de pavimentos para reciclaje superficial.....	106

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA Y OPERACIONES				
TEMAREUTILIZACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS RECICLADOS EN FRÍO, COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS PROVISIONALES EN ASENTAMIENTOS HUMANOS EN LA CIUDAD DE LIMA – PERÚ.				
PROBLEMAS	OBJETIVO	HIPOTESIS	OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	VARIABLE INDEPENDIENTE	Tipo de Investigación
¿De qué manera se puede aprovechar los pavimentos deteriorados de otras vías para la construcción de vías provisionales en los asentamientos humanos?	Determinar la mejora que experimentan los asentamiento 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.	La mejor alternativa para aprovechar los pavimentos deteriorados de otras vías y aplicarlos en la construcción de vías provisionales es a través del método de reciclaje en frío.	<b>X: Construcción de vías</b>	<b>Diseño Metodológico</b>
			<b>X1: Vías provisionales X2: Vías definitivas</b>	<b>Método de Investigación:</b> Científico
Problemas Específicos	Objetivos Especificos	Hipótesis Específica	VARIABLE DEPENDIENTE	Tipo de Investigación
a) ¿De qué manera la evaluación de fallas de otras vías influye en la construcción de una vía provisional en asentamientos humanos?	a) Determinar la influencia de la evaluación de fallas en nuestras vías que serán tomadas para ser recicladas.	a) La evaluación de fallas en los pavimentos asfálticos son relevantes en la propuesta técnica del reciclado de pavimentos asfálticos en la construcción de nuevas vías.	<b>Y: Pavmientos reciclados</b>	a) Investigación aplicada b) Investigación descriptiva <b>Diseño de Investigación:</b> No experimental
b) ¿El método seleccionado será el más económico para la construcción de estas vías en los asentamientos humanos?	b) Determinar si el método seleccionado es rentable para la aplicación de nuestra propuesta con respecto a otras alternativas.	b) La alternativa propuesta de reutilización de pavimentos asfálticos en frío reduce su costo en un 50% con respecto a otras propuestas.	<b>Y1: Reciclaje en frío Y2: Reciclaje en caliente</b>	<b>Población:</b> Asentamientos humanos de la ciudad de Lima, la cuales carecen de vías asfaltadas debido a la informalidad. <b>Tipo de muestra:</b> Nuestro estudio va enfocado en los beneficios que aportan el reciclaje de pavimentos y su aplicación en zonas vulnerables, específicamente en los Asentamientos humanos de la ciudad de Lima. <b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</b> Análisis estadístico de fuentes como el INEI para conocer los asentamientos humanos que sí cuentan con accesos, para ser consideradas en nuestro estudio. Referencias Bibliográficas y fichas de evaluación. <b>La inspección visual:</b> A través de la toma de foto se interpretará el estado de la vía de forma referencial. <b>Documentos:</b> La información obtenida fue teórica de manera bibliográfica para poder interpretar la aplicación de pavimentos asfálticos reciclados. <b>Trabajo de Gabinete:</b> Se utilizó la información de campo, documentación y ensayos realizados en el laboratorio, realizamos el proceso de información con ayuda de diversos programas y softwares.

Anexo 1: Matriz de Consistencia

## MODELO DE FICHA DE ENSAYO MARSHALL MODIFICADO

DATOS GENERALES								
CLIENTE:	MUNICIPALIDAD DE LIMA							
UBICACIÓN:	LIMA							
OBRA:	CONSTRUCCION DE VIA EN ASENTAMIENTO HUMANO							
DATOS DE LA MUESTRA								
DISEÑO:	MEZCLA ASFÁLTICA PARA BASE SUPERFICIAL							
PROCEDENCIA:	MATERIAL EXISTENTE EN PLATAFORMA							
FECHA:								
ENSAYO MARSHALL MODIFICADO								
ASTM D-1559								
ASFALTO	AGREGADO							
Tipo y Grado		Agregado Grueso en peso de la Mezcla, %						
Asfalto en Emulsion, %		Agregado Fino en peso de la Mezcla, %						
Gravedad especifica del asfalto ( B ), g/cc		Gravedad Esp. Bulk del Agregado ( C ), g/cc						
Asfalto residual en la mezcla ( A ), %								
MEZCLA Y COMPACTACION	PRUEBA							
Agua de mezcla, %		Fecha ensayo muestra seca						
Agua de compactación, %		Fecha rotacion muestra inmersa						
Fecha de compactación		Fecha ensayo muestra humeda						
PORCENTAJE DE EMULSION CSS-1 : 4%								
DATOS MUESTRA COMPACTADA	SECO				SATURADO			
		1	2	PROM.		3	4	PROM.
DENSIDAD BULK								
Peso de la probeta en aire ( D )						X	X	X
Peso de la probeta en agua ( E )						X	X	X
Peso de la probeta SSD ( F )						X	X	X
Volumen por desplazamiento						X	X	X
Peso Espec. Bulk Probeta ( G )						X	X	X
Peso Espec. seco Bulk probeta						X	X	X
Espesor ( mm.)						X	X	X
ESTABILIDAD								
Lectura Dial								
Estabilidad sin corregir								
Factor de correccion								
Estabilidad corregida ( S )								
Fluencia								
CONTENIDO DE HUMEDAD								
Peso muestra fallada ( H )								
Peso muestra seca estufa ( I )								
Contenido de Humedad ( K )								
Humedad Absorbida		X	X	X		X	X	X
Vacios totales maximos, %		X	X	X		X	X	X

Anexo 2: Ensayo Marshall Modificado

## MODELO DE FICHA DE EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

<b>PROYECTO:</b>	REUTILIZACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS RECICLADOS EN FRÍO, COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS PROVISIONALES EN ASENTAMIENTOS HUMANOS					
<b>LONGITUD DEL TRAMO:</b>						
<b>UBICACIÓN:</b>	ASENTAMIENTOS HUMANOS - CONO SUR					
<b>FALLAS EN PAVIMENTOS</b>	<b>SEVERIDAD</b>			<b>EXTENSIÓN</b>		
	Bajo	Medio	Alto	<20%	20%-50%	>50%
<b>DEFICIENCIAS O FALLAS ESTRUCTURALES</b>						
PIEL DE COCODRILO						
FISURAS LONGITUDINALES						
DEFORMACIONES						
AHUELLAMIENTOS						
<b>DEFICIENCIAS O FALLAS SUPERFICIALES</b>						
PELADURA Y DESPRENDIMIENTO						
BACHES (HUECOS)						
FISURAS TRANSVERSALES						
EXUDACIÓN						
<b>CONDICIONES DE MATERIAL</b>						
EXCELENTE ( )						
BUENA ( )						
REGULAR ( )						
MALA (X)						
PÉSIMA ( )						
<b>Descripción de observación:</b>						

Anexo 3: Modelo de Ficha de Evaluación de Pavimento Flexible

## PRESUPUESTO

PRESUPUESTO					
<b>PROYECTO:</b> PRESUPUESTO PARA EL PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO EN FRÍO					
<b>CLIENTE:</b> MUNICIPALIDAD DE LIMA					
<b>UBICACIÓN:</b> ASENTAMIENTOS HUMANOS - CONO SUR					
<b>FECHA BASE:</b> 10/11/2020		<b>MONEDA:</b> SOLES			
ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PU	PARCIAL
<b>1 OBRAS PROVISIONALES</b>					
1.1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS	GLB		2000.00	0.00
<b>2 MOVIMIENTO DE TIERRA</b>					
2.1	DEMOLICIÓN Y REMOCIÓN DEL PAVIMENTO EXISTENTE ( CON FRESADORA A1")	M2		6.50	0.00
<b>3 PAVIMENTOS</b>					
3.1	IMPRIMACIÓN	M2		2.12	0.00
3.2	REPOSICIÓN DE CARPETA ASFALTICA CON MARE EN FRIO	M3		202.54	0.00
<b>4 TRANSPORTE</b>					
4.1	TRANSPORTE DE RECICLADO ASFALTICO	M3-KM		7.76	0.00
<b>5 SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL</b>					
5.1	SEÑALES PREVENTIVAS	UND		177.98	0.00
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>0.00</b>
<b>GASTOS GENERALES 10%</b>					<b>0</b>
<b>UTILIDAD 10%</b>					<b>0</b>
<b>SUB TOTAL</b>					<b>0.00</b>
<b>IGV 18%</b>					<b>0.00</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>					<b>0.00</b>

Anexo 4: Modelo de Presupuesto para pavimentos reciclados en frío.

(Partidas a tener en cuenta)



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
PROYECTO:	PRESUPUESTO PARA EL PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO EN FRÍO						
CLIENTE:	MUNICIPALIDAD DE LIMA						
UBICACIÓN:	ASENTAMIENTOS HUMANOS - CONO SUR						
FECHA BASE:	10/11/2020	MONEDA:	SOLES				
<b>3.2 REPOSICIÓN DE CARPETA ASFALTICA CON MARE EN FRIO</b>							
Rendimiento:	250.0000	M3/DÍA	Unidad: M3	Precio Unitario: 202.64 x (M3)			
	<b>Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>PU</b>	<b>Parcial</b>	
	CAPATAZ	HH					
	OPERARIO	HH					
	PEÓN	HH					
					<b>Mano de Obra:</b>	<b>0.00</b>	
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO					
	VOLQUETE 6X4 330HP 15M3	HM					
	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100 HP 5-5-20TN	HM					
	RODILLO VIB. LISO AUTOPROPULSADO 101-135 HP	HM					
	PAVIMENTACIÓN SOBRE ORUGAS 105HP	HM					
					<b>Mano de Obra:</b>	<b>0.00</b>	
	MATERIAL ASFALTICO RECICLADO EN FRIO CON EMULSIÓN	M3					
					<b>Equipos:</b>	<b>0.00</b>	
<b>4.1 TRANSPORTE DE RECICLADO ASFALTICO</b>							
Rendimiento:	1,500.0000	M2/DÍA	Unidad: M2	Precio Unitario: 8,60 x (M2)			
	<b>Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>PU</b>	<b>Parcial</b>	
	OFICIAL	HH					
					<b>Mano de Obra:</b>	<b>0.00</b>	
	PETROLEO DIESEL	GAL					
					<b>Equipos:</b>	<b>0.00</b>	
	VOLQUETE 6X4 330HP 15M3	HM					
					<b>Equipos:</b>	<b>0.00</b>	
<b>5.1 SEÑALES PREVENTIVAS</b>							
Rendimiento:	4.0000	UND/DÍA	Unidad: UND	Precio Unitario: 2.12 x (M2)			
	<b>Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>PU</b>	<b>Parcial</b>	
	CAPATAZ	HH					
	OPERARIO	HH					
	PEÓN	HH					
					<b>Mano de Obra:</b>	<b>0.00</b>	
	SEÑAL PREVENTIVA	UND					
					<b>Mano de Obra:</b>	<b>0.00</b>	
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO					
					<b>Equipos:</b>	<b>0.00</b>	

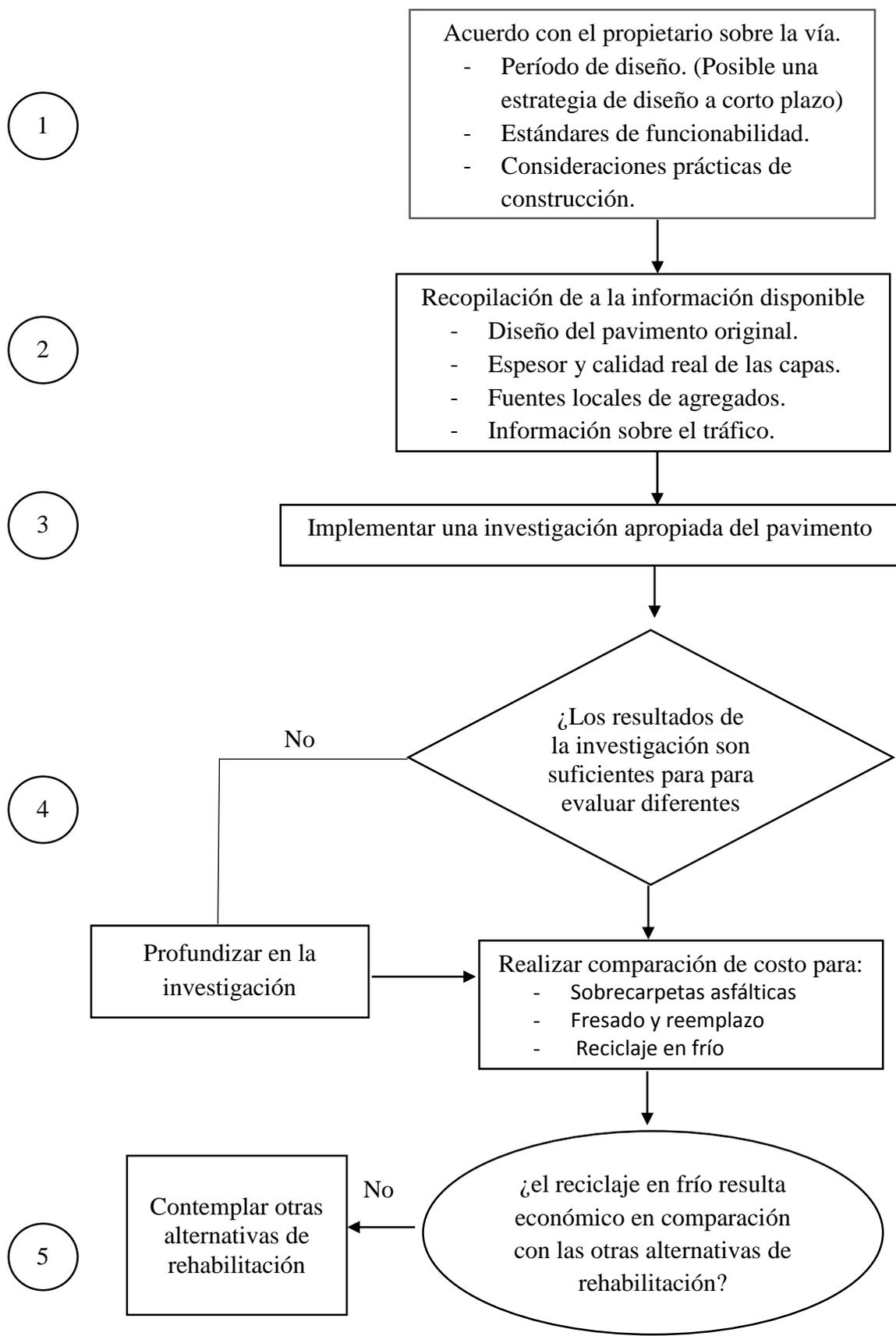
Anexo 6: Modelo de análisis de precio unitarios de pavimentos reciclados.

(Equipos, materiales y recursos humanos a tener en cuenta)

SUB PARTIDAS - ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PROYECTO:	PRESUPUESTO PARA EL PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO EN FRÍO					
CLIENTE:	MUNICIPALIDAD DE LIMA					
UBICACIÓN:	ASENTAMIENTOS HUMANOS - CONO SUR					
FECHA BASE:	11/11/2020	MONEDA:	SOLES			
<b>MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO EN FRÍO CON EMULSIÓN</b>						
Rendimiento:	500.0000	M3/DÍA	Unidad: M3	Precio Unitario: 144.13 x (M3)		
Insumo	Unidad	cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial	
OPERARIO	HH					
PEÓN	HH					
					<b>Mano de Obra:</b>	<b>0.00</b>
MATERIAL ASFALTICO RECUPERADO	M3					
ARIDOS DE APORTE (ARENA GRUESA)	M3					
CEMENTO PORLAND TIPO I (42.5KG)	BLS					
AGUA EN PRODUCCIÓN ASFALTICA	GLN					
EMULSIÓN ASFALTICA CSS-1H (9%)	GLN					
					<b>Mano de Obra:</b>	<b>0.00</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO					
PLANTA DE ASFALTO	HM					
CAMION CISTERNA AGUA 4X2 122HP 1500 GAL	HM					
					<b>Equipos:</b>	<b>0.00</b>

Anexo 7: Modelo de análisis de precios unitarios de material reciclado en frío.

(Equipos, materiales y recursos humanos a tener en cuenta)



6

Llevar a cabo diseños de mezcla en el laboratorio para determinar las propiedades del material reciclado

¿Se requieren agregados adicionales?

Si

Muestreo de fuentes de agregados

7

Finalizar el diseño del pavimento y concretar los costos de construcción para el reciclaje superficial.

Anexo 8: Diagrama de flujo que detalla la metodología de investigación y diseño de pavimentos para reciclaje superficial.