

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**APLICACIÓN DE SLURRY SEAL PARA LA OPTIMIZACIÓN DE  
COSTOS EN MANTENIMIENTO PARA VÍAS NO  
PAVIMENTADAS**

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

**PRESENTADO POR:**

**Bach. CHUMBE COVEÑAS, GABRIELA**

**Bach. ORTIZ VELASQUEZ, RICK GEORGE**

**ASESOR: MSc. Ing. HUAMÁN GUERRERO, NÉSTOR WILFREDO**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy; muchos de mis logros se los debo a ustedes donde se incluye este. Me formaron con disciplina y algunas libertades, ahora me siguen motivando constantemente para alcanzar mis anhelos. Gracias Mami y Papi.

Gabriela Chumbe Coveñas

A los caminos que no tomé, pues mi compromiso era con otro, y a quienes transitaron por aquellos caminos sin mí, no como recuerdo, porque nunca conocí esos ‘pudiera haber sido’, ni como lamento, pues cada ‘si’ implica un millar de ‘nos’, sino como reconocimiento de los insondables costos inherentes a cada decisión.

Rick George Ortiz Velásquez

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, por habernos brindado los conocimientos de esta maravillosa carrera y a pesar de las circunstancias se sigue innovando para seguir formando profesionales; a todas las personas que han sido parte hasta ahora de nuestro desarrollo profesional de campo; y a las personas que de alguna manera nos apoyaron en el desarrollo de la tesis, entre ellos docentes y familiares.

Gabriela Chumbe y Rick Ortiz

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>12</b>
1.1 Formulación y delimitación del Problema General y Específicos.....	12
1.1.2 Problema General .....	13
1.1.3 Problemas Específicos .....	13
1.2 Objetivo General y Específicos .....	14
1.2.1 Objetivo General.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos .....	14
1.3 Delimitación de la Investigación: Temporal, Espacial y Temática .....	14
1.3.1 Delimitación Temporal.....	14
1.3.2 Delimitación Espacial.....	14
1.3.3 Delimitación Temática.....	14
1.4 Justificación e Importancia del Estudio .....	15
1.4.1 Justificación: .....	15
1.4.2 Importancia: .....	18
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1 Antecedentes del Estudio de Investigación .....	20
2.2 Investigaciones Relacionadas con el Tema .....	20
2.2.1 Ámbito Internacional.....	20
2.2.2 Ámbito Nacional.....	27
2.3 Bases Teóricas Vinculadas a las Variables de Estudio.....	33
2.3.1 Pavimentos.....	33
2.3.1.1 Estructura de los Pavimentos Asfálticos o Flexibles .....	34
2.3.1.2 Capacidad Portante de la Sub-Rasante.....	36
2.3.1.3 Compactación de Suelos .....	36
2.3.2 Vías no Pavimentadas.....	37
2.3.2.1 Bases Mejoradas o Estabilizadas.....	37
2.3.2.2 Imprimación de Bases .....	38
2.3.2.3 Morteros Asfálticos .....	39

2.3.2.4 Emulsiones Asfálticas .....	39
2.3.3 Slurry Seal .....	40
2.3.3.1 Componentes de Slurry Seal .....	41
2.3.3.2 Tipos de Slurry Seal .....	41
2.3.4 Deterioro en la Vida Útil de la Vía: .....	42
2.3.4.1 Fases de Deterioro .....	42
2.3.4.2 Frecuencia de Mantenimiento .....	44
2.3.5 Conservación de Vías .....	45
2.3.5.1 Tipos de Tratamiento .....	47
2.3.5.2 Tipos de Fallas .....	48
2.3.6 Costos en Vías .....	48
2.3.6.1 Costos de Ejecución de Vías .....	49
2.3.6.2 Costos de Operación.....	49
2.3.7 Costos de Mantenimiento .....	50
2.3.7.1 Costos de Mantenimiento de Vías no Pavimentadas .....	50
2.3.7.2 Costos de Mantenimiento de Vías con Slurry Seal .....	51
2.4 Definición de Términos Básicos .....	51
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>53</b>
3.1 Hipótesis .....	53
3.1.1 Hipótesis principal .....	53
3.1.2 Hipótesis secundarias.....	53
3.2 Variables .....	53
3.2.1 Definición conceptual de las variables .....	53
3.2.1.1 Aplicación de Slurry Seal:.....	53
3.2.1.2 Optimización de Costos de Mantenimiento: .....	55
3.2.2 Operacionalización de variables .....	57
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>58</b>
4.1 Tipo y nivel de la investigación .....	58
4.2 Diseño de investigación .....	58
4.3 Población y muestra.....	58
4.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	59
4.4.1 Tipos de Técnicas e Instrumentos.....	59
4.4.2 Criterios de Validez y Confiabilidad .....	59

4.4.3 Procedimientos para la Recolección de Datos .....	59
4.5 Técnicas para el Procesamiento y Análisis de la Información .....	60
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>61</b>
5.1 Diagnóstico y Situación Actual .....	61
5.1.1 Data de Antecedentes de Viales .....	61
5.1.2 Herramientas de recolección de datos .....	62
5.2 Presentación de Resultados.....	62
5.2.1 Índice de Vías no Pavimentadas en la Red Vial Nacional.....	62
5.2.2 Media de Costos de Mantenimiento en Vías no Pavimentadas.....	63
5.2.3 Media de Costos de Mantenimiento en Vías no Pavimentadas con Slurry Seal .....	64
5.3 Análisis de Resultados .....	64
5.3.1 Cuantificación de Costos Optimizados por el Uso de Slurry Seal .....	64
5.4 Contrastación de Hipótesis .....	68
5.1.1 Hipótesis general .....	68
5.1.2 Hipótesis específica 1 .....	69
5.1.3 Hipótesis específica 2 .....	69
5.1.4 Hipótesis específica 3 .....	70
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>73</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>77</b>
ANEXO 1: Matriz de consistencia .....	77
ANEXO 2: Matriz de Operacionalización.....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Criterios para Establecer el Nivel de Mantenimiento Rutinario. ....	44
Tabla 2 - Criterios para Establecer el Nivel de Mantenimiento Periódico. ....	45
Tabla 3 - Situación de vías no pavimentadas en función de la Red Vial Nacional. ....	61
Tabla 4 - Situación de kilometraje de Vías No Pavimentadas según condición de Afirmado.....	63
Tabla 5 - Costos Medios de Mantenimiento para Vías no Pavimentadas con Material Granular Convencional.....	63
Tabla 6 - Costos Medios de Mantenimiento para Vías no Pavimentadas con Slurry Seal. ....	64
Tabla 7 - Frecuencia de Mantenimiento para Vías No Pavimentadas con Material Granular Convencional.....	64
Tabla 8 - Frecuencia de Mantenimiento para Vías No Pavimentadas con Slurry Seal. .	65
Tabla 9 - Costos de Mantenimiento de Vías No Pavimentados para un periodo de 4 años según frecuencia de mantenimiento.....	65
Tabla 10 - Costos de Mantenimiento en Vías no Pavimentadas desagregados por semestre. ....	66
Tabla 11 -Costos de Mantenimiento de Vías No Pavimentados con Slurry Seal para un periodo de 4 años según frecuencia de mantenimiento. ....	66
Tabla 12 - Costos de Mantenimiento en Vías no Pavimentadas con Slurry Seal, desagregados por semestre.....	66
Tabla 13 - Tabla Cruzada de Costos de Mantenimiento en Vías no Pavimentadas en función de su acabado Granular Convencional o acabado con Slurry Seal.....	67
Tabla 14 - Correlación entre variables.....	68
Tabla 15 - Evaluación de consistencia por Pruebas de Chi-Cuadrado .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Sección Transversal de una Vía. ....	35
Figura 2 - Clasificación de Capas del Pavimento Flexible. ....	35
Figura 3 - Condición de una Vía sin Mantenimiento.....	43
Figura 4 - Distribución porcentual de Vías según ubicación geográfica y condiciones de la Vía.....	61
Figura 5 - Contrastación de Costos de Mantenimiento en Vías No Pavimentadas, entre acabado de Material Granular Convencional versus Slurry Seal .....	67



## RESUMEN

La presente tesis investiga la optimización de costos en mantenimiento para vías no pavimentadas mediante la aplicación de Slurry Seal, en la cual optamos por usar un modelo de Inventario e Inspección de campo que fue propuesto por: (Ing. Vivar Romero German, Ing. Gutiérrez Lazares Wilfredo) en su libro Pavimentos de Concreto y Asfalto Mantenimiento y Reparación. 1ra Edición. American Concrete Institute (ACI). Lima Perú. Octubre de 1996.

El Slurry Seal es un mortero asfáltico hecho de agregados finos con granulometría densa son mezclados con emulsión y agua para formar un mortero que es esparcido sobre la superficie del camino con espesores en rangos de 3-30 mm dependiendo del agregado de mayor tamaño. El proceso es usualmente hecho con una mezcladora-pavimentadora especialmente diseñada, aunque algunos tipos de morteros permiten cierta labor manual. Las emulsiones generalmente usadas son de tipo catiónico de ruptura media o lenta. En este caso considerando el espesor de Tipo I (4 a 15mm) y la optimización de costos basados en la vida útil, tipos de falla y costos de mantenimiento de las vías.

En el inicio de la tesis se describe la preparación del pavimento, el CBR y Proctor modificado como base de acceso para la aplicación de Slurry Seal con la clasificación y propiedades de costo de mantenimiento. Para dicho análisis se ha tomado en cuenta como referencia el proyecto de “Comparación De Costos Y Tecnología De Mantenimiento Utilizando Slurry Seal Y Mantenimiento Convencional En Un Pavimento Flexible”, entre diversos estudios.

Finalmente, después de analizar los costos de un pavimento que queda en base afirmada sin carpeta de rodadura o sin sellar, versus un pavimento con la aplicación de un sello de mortero asfáltico se concluye que la aplicación de Slurry Seal influye significativamente en la optimización de costos en mantenimiento para vías no pavimentadas.

**Palabras Clave:** Micropavimento, Slurry Seal, costos de mantenimiento, carpeta de rodadura, vías no pavimentadas.

## **ABSTRACT**

This thesis investigates the optimization of maintenance costs for unpaved roads through the application of Slurry Seal, in which we choose to use an Inventory and Field Inspection model that was proposed by: (Ing. Vivar Romero German, Ing. Gutiérrez Lazares Wilfredo) in his book Concrete and Asphalt Paving Maintenance and Repair, 1st Edition. American Concrete Institute (ACI). Lima Peru. October 1996.

Slurry Seal is an asphalt mortar made of fine aggregates with dense granulometry that are mixed with emulsion and water to form a mortar that is spread over the road surface with thicknesses ranging from 3-30 mm depending on the largest aggregate size. The process is usually done with a specially designed mixer-paver, although some types of mortars allow some manual labor. The emulsions generally used are of the medium or slow breaking cationic type. In this case considering the thickness of Type I (4 to 15mm) and the optimization of costs based on the lifespan, types of failure and maintenance costs of the tracks.

At the beginning of the thesis, the preparation of the pavement, the CBR and modified Proctor are described as a theoretical basis for the application of Slurry Seal with the classification and maintenance cost properties. For this analysis, the project "Comparison Of Maintenance Costs And Technology Using Slurry Seal And Conventional Maintenance In A Flexible Pavement" has been taken into account as a reference, among various studies.

Finally, after analyzing the costs of a pavement that remains on an affirmed base without rolling or unsealed, versus a pavement with the application of an asphalt mortar seal, it is concluded that the application of Slurry Seal significantly influences the optimization of costs. under maintenance for unpaved roads.

**Key Words:** Micro-pavement, Slurry Seal, maintenance costs, tread binder, unpaved roads.

## **INTRODUCCIÓN**

Dentro del trabajo realizado, tenemos como función demostrar de que la aplicación de Slurry Seal influye en la optimización de costos en mantenimiento para vías no pavimentadas, por lo cual tomamos como referencia que actualmente en las provincias del país, se vienen utilizando de manera frecuente y cotidiana este tipo de vías, manejando este contexto, se ha elaborado un trabajo de investigación; teniendo en consideración que estas carreteras son de gran importancia en el desarrollo local, regional y nacional, ya que el mayor porcentaje de la vialidad se encuentra en esta categoría.

Se elabora este estudio basándonos en la normativa de aplicación obligatoria estandarizada por en MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones) en todo el territorio nacional para los proyectos de vialidad de uso público, según el Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito.

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

## **1.1 Formulación y delimitación del Problema General y Específicos**

Todos los pavimentos requieren una gestión vial adecuada que permita alargar su vida útil y mantener un adecuado nivel de serviciabilidad de los mismos, a fin de que los usuarios tengan un adecuado confort y estas vías puedan cumplir adecuadamente su función. Sin embargo, en Perú, debido a una gestión poco óptima, las vías suelen ser dejadas sin mantenimiento por largo periodo tras su construcción (Mesía, J. y Sanjine, E. 2018).

En zonas en las que el tráfico no justifica la construcción de vías pavimentadas, se utilizan actualmente los pavimentos con tratamientos superficiales como el tratamiento bicapa, lechada asfáltica, Micropavimento, entre otros. Estas soluciones permiten dotar a las vías afirmadas de una superficie que incrementa su resistencia al tránsito y a otros efectos de la carga vehicular. Sin embargo, al igual que todo pavimento, con el tiempo estas presentan fallas por lo que se hace necesario evaluar la condición de la superficie a fin de determinar si requieren algún tipo de intervención. Sin embargo, tras revisar los diferentes manuales del Ministerio de Transporte, hemos podido observar que no existe una metodología completa que permita determinar el índice de condición del pavimento.

El Manual de Inventarios Viales (2016) es el que contiene un poco más de información, enumerando las fallas que deben ser evaluadas en este tipo de pavimentos como son: fisuramiento, deformación, reparaciones, desprendimiento, huecos y exudación. Sin embargo, no especifica cómo se debe determinar la severidad de cada falla ni cómo se llega al indicador final del estado de condición superficial. Esto genera una serie de problemas al momento de tener que evaluar estos pavimentos, ya que a falta de una normativa nacional específica, se recurre a la aplicación de otros métodos como el PCI, que no han sido diseñados para este tipo de tratamientos y que muestran fallas que no son tan comunes en pavimentos básicos como la piel de cocodrilo, lo que ocasiona, que al aplicarlas, el resultado del índice de condición puede no ser tan preciso a comparación de si se utilizara una

metodología que sí ha sido diseñada para estos tratamientos y que además puede ser aplicada a la realidad nacional peruana.

Así mismo según el Manual De Diseño De Carreteras No Pavimentadas De Bajo Volumen De Tránsito (2008) el elevado costo de una reconstrucción total de una carretera, incluyendo ajustes en el trazado, generalmente es injustificable. Las referencias de pérdidas del patrimonio vial por causas del mal estado de las carreteras y la existencia de lugares donde ocurren accidentes, son normalmente aisladas.

Frecuentemente las características de diseño de las carreteras existentes se comportan de modo satisfactorio y suficiente en la mayor parte de la ruta y sólo requieren de obras de mantenimiento periódico oportuno. Para ello es necesario, en cada caso, analizar el grado de problema y la cantidad de recursos que se justifica gastar para superar cualquier deficiencia. En este proceso, se tienen normalmente alternativas que, debidamente evaluadas, permitirán seleccionar el proyecto óptimo a ejecutar. En este análisis, la magnitud de la demanda de usuarios de la carretera es muy importante para poder valorar los beneficios que la comunidad obtendrá y su relación entre el monto de los beneficios frente a los costos de las obras.

Es por ello que el presente trabajo busca determinar la optimización de costos, en función a la revisión de manuales, investigaciones, papers y guías internacionales, una metodología de determinación del índice de condición superficial para los tratamientos superficiales.

### 1.1.2 Problema General

¿De qué manera la aplicación de Slurry Seal influencia para la optimización de costos en mantenimiento para vías no pavimentadas?

### 1.1.3 Problemas Específicos

a) ¿De qué manera la Estructura del pavimento influye para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas?

b) ¿De qué manera la condición de vías no pavimentadas o sin capa de rodadura influyen para optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas?

c) ¿De qué manera la adecuada aplicación de Slurry Seal influye para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas?

## 1.2 Objetivo General y Específicos

### 1.2.1 Objetivo General

Determinar que la aplicación de Slurry Seal influye para la optimización de costos en mantenimiento para vías no pavimentadas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

a) Determinar que la estructura del pavimento influye para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.

b) Determinar que la condición de vías no pavimentadas o sin carpeta de rodadura, influye negativamente para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.

c) Determinar que la adecuada aplicación de Slurry Seal influye para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.

## 1.3 Delimitación de la Investigación: Temporal, Espacial y Temática

### 1.3.1 Delimitación Temporal

Se consideran investigaciones de los últimos 10 años, excepto en caso de manuales y libros los cuales tienen un periodo de hasta 25 años

### 1.3.2 Delimitación Espacial

Se ha determinado que se revisará normativa e investigaciones a nivel Nacional e Internacional y el caso aplicativo será en la Región San Martín, en Perú.

### 1.3.3 Delimitación Temática

Se tomará en cuenta el estudio de pavimentos económicos, también llamados pavimentos básicos, que implican: Tratamiento Superficial Monocapa y Bicapa, Lechada Asfáltica o Slurry Seal y Micropavimentos; además de estudios de costos de los mismos.

## 1.4 Justificación e Importancia del Estudio

### 1.4.1 Justificación:

Diversos países a nivel mundial han venido desarrollando metodologías adecuadas a su realidad para poder determinar el índice de condición de los pavimentos.

Uno de los pioneros en el tema es Estados Unidos, país en donde se han desarrollado diversos manuales, guías y se han ejecutado una serie de investigaciones que exponemos a continuación.

El Departamento de Transporte del Estado de Washington elaboró un reporte en 2015, titulado “Chip Seal Performance Measures - Best Practices”, con el objetivo de evaluar los indicadores de desempeño de los pavimentos con tratamientos bituminosos que permitan tener un valor que indique la vida útil del pavimento y cuando necesitan una intervención como mantenimiento o recapeo. Aquí se explican algunos indicadores basados en análisis ingenieril como el número de fricción, profundidad de textura y profundidad de perfil. Como métodos cualitativos, se detallan las clasificaciones visuales como el Utah DOT, el Long- term Pavement Performance (LTPP), Pavement Rating Scores PRS, el modelo del Ministerio de transportes de Ontario, Kansas DOT Y Ohio DOT. Este estudio menciona también que de todas las fallas que podrían presentar este tipo de pavimentos, las más comunes son la exudación y la pérdida del agregado lo que ocasiona la reducción de la resistencia de la superficie del pavimento.

Lawson W, y Senadheera S, desarrollaron un paper titulado “Mantenimiento de tratamientos bituminosos: Soluciones para la exudación en las superficies de los pavimentos”. Este estudio tiene como propósito identificar las soluciones de mantenimiento para pavimentos con tratamientos bituminosos que presentan fallas como exudación. Se determinaron como principales causas de este tipo de fallas la pérdida de los agregados, la aplicación de demasiado agregado. La pérdida de los agregados suele estar relacionada, a su vez, con cambios anormales en las temperaturas llegando a temperaturas demasiado bajas durante o después del colocado de la capa bituminosa. Otra causa está

relacionada con el inadecuado uso de polímeros en la carpeta. El tráfico pesado puede presionar demasiado el agregado dentro de la capa bituminosa ocasionando su desprendimiento y posterior exudación. Finalmente están las causas relacionadas a la construcción, relacionada a la preparación adecuada del material bituminoso y el uso de sellos para evitar la pérdida de los agregados.

En el Paper “Especificaciones para la aceptación de la calidad de construcción de tratamientos bituminosos” (2019), Adams, J., Castorena, C. y Kim R. buscaron proveer una guía que determine cuándo se debe aceptar, penalizar o rechazar un tratamiento superficial bituminoso basado en una toma de muestras que permita evaluar el estándar del mismo. Las principales fallas que suelen encontrarse y que determinan que el tratamiento no es efectivo son la pérdida de agregados y la exudación y se vuelve crítico poder contar con criterios objetivos que permitan a los gobiernos aceptar o rechazar estos pavimentos a fin de evitar las fallas previamente mencionadas. Una de las principales causas de la pérdida de los agregados es la pobre capacidad de adhesión entre el agregado y la emulsión la cual se intensifica con el incremento de la carga vehicular. La gradación, otra falla común, suele medirse mediante el coeficiente de desempeño uniforme, ya que se ha determinado que, en aquellas vías con un agregado más uniforme, la pérdida del mismo es menos común que en aquellas con colocación poco uniforme del agregado. La metodología para determinar su aceptación o rechazo de estos tratamientos puede ser evaluada eficazmente mediante muestras extraídas en campo lo que permite conocer el potencial de retención de los agregados según el nivel de tráfico y el tipo de aglutinante.

Hasan, O. y Mojtaba, Z, desarrollaron un informe de investigación en el año 2018 para el Departamento de transporte de Illinois al cual se le denominó “Desarrollo de modelos de predicción del rendimiento del pavimento para tratamientos de preservación”. Este estudio tiene como propósito evaluar el desempeño de los tratamientos para la preservación de pavimentos, los cuales fueron usados en la implementación de un programa de preservación del pavimento por el Departamento de Transporte de Illinois a partir del año 2005,



en base a la cantidad de los proyectos acumulados durante todos estos años nos permitirán evaluar la efectividad de los tratamientos. Se han desarrollado modelos de predicción de la condición del pavimento para nueve tratamientos de conservación en los que resultó lo siguiente: los tratamientos superficiales bituminosos son los que poseen una vida útil más corta de 3 a 4 años. Para los tratamientos con Micropavimento de una sola pasada y dos pasadas, su vida útil se podría extender aproximadamente de 6 a 7 años, respectivamente. Para el tratamiento con sello de capa se demostró que la vida útil podría ser más de 7 años, en comparación con el tratamiento de reciclado en frío en el lugar con recubrimiento y tratamiento de superficie puede extender la vida útil del pavimento de 8 a 10 años.

Rico A, Téllez R, Garnica P, desarrollaron una publicación técnica “Pavimentos flexibles problemática, metodologías de diseño y tendencias”, en donde describe la problemática general del comportamiento del pavimentos flexible, debido a esto se reconoce que para la ciudad de México no existe un método de análisis y diseño de pavimentos flexibles, motivo por el cual se describe 4 métodos utilizados los cuales son: el método propuesto por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, el del Catalogo Técnico de uso en España, el propuesto por el instituto Norteamericano de Asfalto y finalmente el propuesto por la AASHTO, tras la evaluación se comparan los métodos de acuerdo al costo del pavimentos diseñado se recomienda uno.

El Departamento de administración y Evaluación de Pavimentos elaboró un catálogo de fallas el 2016, titulado “Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación”, con el objetivo de implementar un sistema de evaluación de pavimentos y preparación de un programa de rehabilitación de carreteras, este catálogo permitirá identificar los tipos de fallas que ocurren y así de esta manera tener en cuenta el tipo de reparación que se debe de considerar. En este catálogo se describe las fallas para los pavimentos flexibles y mixtos, entre los cuales podemos encontrar los siguiente: deformaciones permanentes(ahuellamientos, hundimiento, corrugación, hinchamiento), fisuraciones o agrietamientos, desintegraciones(desprendimientos, peladuras, baches, roturas de borde, pulimento de superficie) y otras fallas(exudación,

bacheos, etc.), también describe las fallas en los pavimentos rígidos, las cuales son: defectos de superficie (descaramientos, peladuras, pulimento superficial, fisuras plásticas), defectos estructurales (fisuras longitudinales, fisuras transversales, fisura de esquina, fisura múltiple, rotura o bache, bombeo, escalonamiento, hundimiento, levantamientos) y defectos de juntas (deficiencias material sello, desportillamiento, fisuras por funcionamiento de juntas), por último hace referencia al tipo de reparaciones que se debe de hacer para cada una de estas fallas que se provocan en la superficie de rodadura de las vías.

El Ministerio de Obras Públicas elaboró una guía de diseño el 2002, titulado “Guía estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito”, con el objetivo de presentar soluciones estructurales en caminos de bajo volumen de tránsito, homogenizando y proponiendo nuevas soluciones estructurales de pavimentos más económicos que tengan una vida útil de 5 a 10 años con un buen nivel de Serviciabilidad. La guía se enfoca en la metodología para diseñar vías que abarcan la gran variedad de caminos regionales y comunales para los cuales va dirigido esta guía, se debe tener en cuenta que la guía de diseño no es recomendable para caminos con bastante carga vehicular. En esta guía se presenta esencialmente los siguientes aspectos: metodología para el estudio y selección de los rangos de tránsito de diseño, metodología para el estudio y selección de los rangos de capacidad de soporte del suelo o subrasante, metodología para determinar condiciones climáticas desfavorables, fundamentos de diseño, criterios en la selección del tipo de material, estructura y tipo de pavimento que se seleccionará de acuerdo a los parámetros de clima, construcción, tránsito y suelos

#### 1.4.2 Importancia:

El mantenimiento que se le da a una carretera es de vital importancia ya que comprende aspectos económicos con respecto al tiempo, a la duración, cada cuanto tiempo se la dará mantenimiento y la calidad del mantenimiento para garantizar la vida útil de la vía. El papel de Ingeniero es muy importante para darle un buen mantenimiento a una carretera porque requiere de soluciones

innovadoras como esta que responde a criterios de desarrollo sostenible, optimizando los costos para dar calidad de vida a la sociedad, un pueblo y una ciudad.

Las exigencias de los costos con respecto al mantenimiento de vías de bajo volumen llevan a desarrollar distintos procesos y nuevos equipos de trabajo fiables y eficientes, brindando un mejor servicio y disponibilidad a los usuarios.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del Estudio de Investigación

En el Perú, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) tiene como función emitir las normas para diseño y construcción de carreteras para redes viales nacional, departamental o regional y vecinal o rural.

Por esta razón, buscamos que nuestra base teórica tenga lineamiento con otras investigaciones similares y enfocando dicho lineamiento en los manuales del MTC que tienen carácter de cumplimiento obligatorio según el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado con Decreto Supremo N° 034-2008-MTC publicado el año 2008 con modificatoria de 28-05-2013.

Respecto al trabajo con Slurry Seal sobre un afirmado, decidimos tener en cuenta los Manuales de:

- Manual de Carreteras: Manual de Conservación Vial (MTC)
- Manual de Carreteras: Sección suelos y pavimentos (MTC)
- Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) (MTC)

### 2.2 Investigaciones Relacionadas con el Tema

#### 2.2.1 Ámbito Internacional

Amaya León & Pulido Roncancio (2015) en la investigación: Estudio de tratamiento superficial con slurry seal para conservación de pavimentos flexibles, incorporando gravas finas para mejorar características de textura superficial.

Se tiene como objetivo mostrar la técnica de rehabilitación y mejoramiento de vías con un tratamiento superficial en este caso Slurry Seal la cual pretende tener un mejor comportamiento con relación a otras mezclas asfálticas. También en esta se presentarán el correcto proceso de aplicación de esta tecnología usada en la investigación la cual se propone para un mantenimiento preventivo y rehabilitación de superficies de pavimentos realizados con

mezclas asfálticas. Como conclusión de la investigación se tuvo que el tratamiento superficial propuesto en la investigación es la mejor alternativa que se tiene en lo que concierne a rehabilitación de pavimentos de cemento asfáltico debido a su fácil colocación y preparación in situ, de igual manera mejora en una reducción de costos para la rehabilitación ya que se aumentará la vida útil del pavimento de cemento asfáltico en Colombia

Gutiérrez, M. (2017) en su investigación: Planificación y gestión de infraestructuras - Gestión de carreteras no pavimentadas.

En la ingeniería Civil en el área de las infraestructuras sigue siendo una disciplina cuya función útil en la sociedad es buscar la solución a los problemas que se le presenten a esta con métodos nuevos y eficientes. La reflexión de la importancia de la gestión en las carreteras no pavimentadas tendrá como reto principal el de mejorar en presente y futuro la calidad de este tipo de infraestructuras, lograr satisfacer las necesidades de la sociedad que hace uso de estas. Este trabajo no tiene como fin solo hacer un aporte a los conocimientos hasta ahora compartidos sobre las infraestructuras de carreteras sino como plantear el desarrollo de una metodología para la evaluación de los caminos no pavimentados para que de tal manera se pueda ayudar a solventar la toma de decisiones en la problemática de este tipo de infraestructura y contar con una herramienta para estimar la condición o el estado de la carretera que se evalúe. Debido a ello, este trabajo de Fin Máster está conformado en representar lo anteriormente mencionado. Viéndose reflejado con los análisis y resultados obtenidos. (p.16).

Así mismo tiene como objetivo principal realizar, a partir de un caso práctico, un análisis del uso de modelos de deterioro para carreteras no pavimentadas y estudiar su importancia en la gestión de estas infraestructuras. Esto a través del software especializado HDM-4, además de obtener referencias de normativas y especificaciones que avalen los resultados obtenidos. (p.16)

Faura, J. (2015) presenta: Potencialidades turísticas del municipio de tipacoque estrategias para su desarrollo local trata sobre una investigación que tuvo como objetivo suministrar un tipo de soporte técnico relacionado con los conceptos teóricos y prácticos, de la utilización de los sellos de lechada asfáltica o

micropavimentos “Slurry Seal”, para la implementación de esta alternativa de preservación en vías del orden terciario, o municipales. (p.4).

El mismo autor, menciona que las lechadas asfálticas y los micropavimentos cumplen objetivos similares para: proteger las capas inferiores, rejuvenecer e impermeabilizar la superficie de rodadura, incrementar la seguridad puesto que corrige la textura superficial, corregir pérdida de áridos gruesos y finos, mejorar la apariencia dando un mayor valor estético, entre otros. Sin embargo, el autor define el término lechada asfáltica a la mezcla de agregado, emulsión asfáltica de quiebre lento, agua y aditivo, cuyo espesor se encuentra en el rango de 3 a 10 mm. Mientras que el micropavimento es considerado como una mezcla de emulsión asfáltica modificada con polímeros y agregados triturados, finos minerales, agua y aditivo, cuyo espesor varía en el rango de 10 a 50 mm. (p. 4-5). Además, el micropavimento es una alternativa económica para adecuación de vías urbanas y especialmente rurales; menciona también “que en este tipo de pavimentos se pueden utilizar las capas sub rasantes de las vías existentes que a nivel rural en su gran mayoría están a nivel de afirmado”. (p.2).

El autor concluye que la versatilidad de los micropavimentos “slurry seal” reduce el deterioro de las vías y su costo de mantenimiento, es una solución para sellar pavimentos que se encuentran en avanzado estado de oxidación, restaurar la textura superficial, proveer de mayor resistencia al deslizamiento y corregir el desprendimiento de partículas o raveling. Económicamente hablando, los costos de operación y de conservación son menores con relación a una carretera afirmada, justificando así la inversión de esta intervención, puesto que cumple el requisito básico que es la impermeabilización de las capas granulares. (p.18-19)

Orellana, M., Peña, E. y Pérez, B. (2015) en su investigación: Propuesta de diseño y proceso constructivo de lechada asfáltica en el mantenimiento de obras viales en El Salvador. Habla de una investigación que tuvo como objetivo general elaborar una propuesta de diseño y proceso constructivo para la aplicación de lechadas asfálticas en el mantenimiento de vías. (p.4).

Explican que los tratamientos superficiales se clasifican de manera tradicional según el tipo de base en la cual se coloca ya sean: en calles no pavimentadas (tratamiento Simple y tratamiento doble) o en pavimentos existentes (slurry seal y micropavimentos). Sin embargo, mencionan que, debido al desarrollo de estas alternativas, la gama de aplicación es amplia y posee diversos escenarios. (p.31-35).

Los autores definen a los sellos asfálticos a aquellos revestimientos de emulsiones asfálticas con agregado fino y los clasifican en dos tipos: lechada asfáltica (slurry seal), y microaglomerado (Micropavimento). (p.9).

La lechada asfáltica (slurry seal) es definida como la “mezcla de agregado de granulometría cerrada, emulsión asfáltica, fillers, aditivos y agua”. (Orellana, M. et al., 2015, p.59) Y los micropavimentos se definen como una “mezcla de emulsión asfáltica modificada con polímero, agregado mineral triturado y bien graduado”. (p.59).

Los autores explican que un programa de Conservación de Pavimentos se conforma principalmente de: Mantenimiento preventivo, rehabilitación menor (no estructural) y mantenimiento rutinario.

- Mantenimiento preventivo, es aquella estrategia para prolongar la vida útil del pavimento e incluyen colocación de Tratamiento Superficial, Slurry Seal , micropavimentos.

- En un mantenimiento periódico, un Tratamiento Superficial es la principal actividad para restablecer características del pavimento sin llegar a ser refuerzo estructural y en caminos sin pavimentar, renovación de la superficie.

Dentro de las conclusiones se puede señalar que “el uso de micropavimentos, como técnica de mantenimiento vial, contribuye al mejoramiento de las superficies de rodadura”. (p.211)

Del Rosario, A. (2016-2017) en su investigación: Diseño de un plan de mantenimiento para infraestructuras viales en la República Dominicana. Aplicación a la carretera El Seibo - Hato Mayor.

Justifica que en la República Dominicana la falta de una política de mantenimiento preventivo lleva necesariamente a un mantenimiento correctivo, que requiere de una reconstrucción. Esto se produce al no enmendar a tiempo los problemas ocasionados a las infraestructuras por el uso, lo que

ocasiona que las vías pierdan sus características de diseño hasta un punto donde se pone en riesgo la calidad del servicio que se otorga a los usuarios. En los últimos años, los recursos económicos destinados por el estado para este fin han ido en declive, y a falta de un plan de mantenimiento adecuado, esto ha ocasionado que se deterioren de forma evidente las principales carreteras del país, tanto vías troncales como vías secundarias, causando un sobre coste innecesario y problemas de seguridad vial. (p.16).

Tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento para la conservación de carreteras en la República Dominicana aplicado a la carretera El Seibo - Hato Mayor. (p.16)

Gonzales D. (2018) mencionó en su tesis: Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito.

Los pavimentos están sometidos constantemente a la influencia de cargas, a veces hasta muy por sobre de la sollicitación establecido en el diseño. A su vez, puede estar sometido bajo adversas condiciones climáticas. Todos estos factores disminuyen la vida útil de la estructura, por lo que si no es sometido a un buen y constante mantenimiento estos pueden sufrir fallas. Estas que pueden perjudicar a largo plazo el paquete estructural, ya que dependiendo del nivel de severidad se puede necesitar hasta una reconstrucción total, situación, que implicaría un elevado costo y problemas de tránsito, debido a los desvíos provisorios que se necesitarán realizar para poder intervenir en el camino dañado. (p.10).

Tiene como objetivo optimizar la reparación de los pavimentos de asfalto, utilizando para tal efecto las tecnologías conocidas más apropiadas de reparación. (p.11).

Alvarado J. y Freille F (2015) mencionó en su tesis: Propuesta de un programa de mantenimiento de la vía Izamba - Píllaro, provincia de Tungurahua. Tiene como objetivo elaborar un programa de mantenimiento de la vía Izamba (Yacupamba) – Píllaro (Redondel de ingreso), provincia de Tungurahua, para prolongar la vida útil del pavimento. (p.2).



Así mismo determinar las condiciones de la capa de rodadura y demás elementos, Establecer los tipos de fallas existentes y el Índice de Condición del Pavimento, Proyectar el mantenimiento preventivo, Elaborar el presupuesto referencial para el mantenimiento vial. (p.2).

Villavicencio C. (2015) mencionó en su tesis: Impacto de la aplicación de nuevas tecnologías de sellado con capa de protección asfáltica, en los plazos, costos y calidad de construcción de caminos secundarios en Chile. Tiene como objetivos analizar el impacto de nuevas tecnologías en los plazos de ejecución, los costos de construcción y la calidad de las capas de protección asfálticas empleadas en el desarrollo y la mantención de la red nacional de caminos secundarios de Chile.

Recopilar y estudiar los antecedentes disponibles respecto a la aplicación de estas tecnologías en el país y en el extranjero, correspondientes al uso e impacto de las tecnologías de Sellado de Grava Sincrónico (Synchronous Chip Sealing) y a la Micro pavimentación Slurry o Cape Seal, en la efectividad y calidad de los sellos asfálticos en cuya construcción intervienen. Analizar y evaluar si la utilización de estas nuevas tecnologías conlleva una mejora sustancial en el estándar de ejecución de los sellos asfálticos con respecto de los procesos de ejecución tradicionales que actualmente se utilizan en el país, específicamente en relación a su impacto en los costos y tiempos de ejecución de la construcción nueva y mantenimiento de caminos secundarios de la red vial chilena. Estudiar, analizar y exponer nuevos antecedentes, junto con criterios de evaluación, que consideren el impacto en costos y en efectividad del uso de estas nuevas tecnologías, y así facilitar las decisiones de inversión vial cuando se comparan las distintas opciones económicamente viables para la construcción nueva de caminos secundarios y su mantenimiento. (p.3)

Maldonado J. y Rodríguez H (2016) mencionó en su tesis: Material de sellado asfáltico para el mantenimiento rutinario de la red vial.

El presente trabajo se propone emplear un material de sellado asfáltico para el mantenimiento rutinario de la red vial en especial para vías de bajos volúmenes de tránsito; con ese propósito, se recopilan antecedentes de experiencias

asociadas con la aplicación en el mantenimiento de vías de: tratamientos superficiales, de micro pavimentos, sellos asfálticos y sellos de arena asfalto. Se realizan ensayos con el empleo de emulsión en frío y asfalto en caliente con materiales del río Coello con el propósito de determinar las cantidades de materiales para obtener las proporciones óptimas del material de sellado asfáltico. De igual manera se muestran técnicas y procesos constructivos útiles para el mejoramiento y conservación de la malla vial nacional. El trabajo se encuentra organizado en cinco capítulos, el primero de los cuales busca precisar el problema de investigación y sus objetivos. El segundo capítulo presenta el sustento teórico requerido para el desarrollo de los objetivos, con base en el cual se definen en el siguiente capítulo los ensayos para el diseño del material de sellado. A su vez los dos capítulos finales contienen los resultados y las conclusiones del trabajo. (p.12).

Andrade A. (2018) mencionó en su tesis: Mejora de la gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos en la ciudad de Valencia a través de la predicción de su deterioro.

La importancia de sistemas de gestión que ayuden a tener un mantenimiento vial adecuado y que las vías se mantengan en buen estado. La mayoría de las investigaciones y modelos desarrollados a nivel internacional tienen sus bases en las zonas en las que se han realizado los análisis, por lo que se hace necesario analizarlas y adaptarlas a los casos específicos requeridos en otros países que aún no cuentan con un procedimiento desarrollado ad-hoc. El objetivo principal de esta investigación es conocer el estado del arte relacionado a los sistemas de gestión de los pavimentos, analizar el estado de las vías y los factores que causan el deterioro. Como las metodologías identificadas se tienen VIZIR, PCI, PASER, IRI, CRT, PSI, PQI, PDI, PAVER, etc, de las cuales no todas tienen el mismo proceso, algunas se basan en un análisis visual y otras requieren de equipos especializados. Finalmente, para la evaluación de la condición de los pavimentos, se utilizó la metodología PCI con ayuda de Google Earth para poder conocer las principales fallas superficiales, llegando a la conclusión de que los pavimentos en la ciudad de Valencia necesitan contar con un sistema de gestión que les permita realizar los mantenimientos respectivos, pero 9 de

las 24 vías obtuvieron más de 5% de error, por lo que se concluye también que el PCI no es el método adecuado para determinar el deterioro de las vías.

### 2.2.2 Ámbito Nacional

Mancha, R (2016) en su estudio: Análisis comparativo del costo por niveles de serviciabilidad entre el tratamiento superficial slurry seal y el tratamiento granular convencional.

Menciona que la presente investigación está dirigida al empleo de nuevas tecnologías de conservación o mantenimiento de nuestra infraestructura vial, en los diferentes niveles de jerarquía de los caminos no pavimentados de nuestra región de Huancavelica, inculcando nuevos conceptos de conservación por niveles de serviciabilidad, que en la actualidad son denominadas Soluciones Básicas. Realizando un análisis comparativo entre la conservación o mantenimiento granular convencional (Mantenimiento Periódico, Mantenimiento Rutinario Mecanizado y el Mantenimiento Rutinario Manual de caminos no Pavimentados) y el Mantenimiento o Conservación por Niveles de Servicio (Soluciones Básicas — Slurry Seal), determinaremos las diferencias en el costo y la serviciabilidad de las mismas. Para ello, se analizó el procedimiento que se maneja en la actualidad con respecto al mantenimiento y conservación Vial (Manual de carreteras Mantenimiento o Conservación Vial), mediante el uso de las normativas vigentes que se emplean en el país, y el análisis respectivo de la conservación por niveles de servicio (Slurry Seal) mediante la normativa de esta nueva tecnología aplicada en diferentes países desarrollados y con un ingreso temeroso a las políticas nacionales de nuestro país debido a su relativo elevado costo inicial pero que luego se revierten ampliamente, por los menores costos de las actividades de mantenimiento a lo largo del periodo de servicio del proyecto, la cual debe ser considerada como una alternativa técnica, económica y ambiental, de tal manera que brinde a las carreteras no pavimentadas una mayor vida útil y presten un mejor nivel de servicio. El análisis comparativo de ambos métodos de conservación será aplicado a un solo camino de nuestra Red Vial Nacional no pavimentada (Afirmada) Ubicada en la región de Huancavelica, perteneciente a un sector de

la ruta PE-3SD (Dv. Colcabamba-Dv. Cobriza) L= 65.248 Km., considerando las características geológicas, geotécnicas, topográficas y climáticas de la ubicación del proyecto. (p. IX)

Gutiérrez, M. (2017) en su estudio: Planificación y gestión de infraestructuras - Gestión de carreteras no pavimentadas, las carreteras son uno de los factores más importante para el desarrollo económico y social de un país, siendo en muchos de ellos la principal forma de comunicación, por lo que siguen teniendo alta importancia para cualquier país en desarrollo ya que las redes viales constituyen sin lugar a dudas la necesidad esencial en el mundo moderno. Existe una gran cantidad de documentos que avalan el gran interés que genera el tema de caminos no pavimentados alrededor del mundo. Norteamérica y Sudamérica son las zonas que mayor aportación a esa documentación ofrecen para conocimiento y aplicación.

Es por ello que la gestión de pavimentos en las carreteras no pavimentadas constituye una de las funciones más importantes en las organizaciones operadoras de este tipo de infraestructuras ya que el objetivo principal será el de adoptar y llevar a cabo las decisiones necesarias para mantener una vía, aunque esta no se encuentre pavimentada para que los límites admisibles de deterioro que se hayan fijado se cumplan lo máximo posible.

En términos generales, los sistemas de gestión de pavimentos son conjuntos de procedimientos y herramientas cuyo propósito es asistir a las organizaciones operadoras de carreteras en la aplicación de alternativas técnicas y económicamente óptimas para la conservación en el corto y medio plazo formulando de mantenimientos anuales y/o multianuales. En este trabajo fin de máster se ha realizado un análisis de los modelos de deterioro en carreteras no pavimentadas, desarrollados bajo el uso de herramientas de análisis de software especializado HDM-4 con enfoques tanto económicos como técnicos.

Gómez C. (2017) en su tesis: Uso y aplicaciones de las emulsiones asfálticas. Explicó en qué consiste el uso de las emulsiones asfálticas, sus componentes, sus ventajas en el uso, sus clasificaciones, sus procesos de fabricación y aplicaciones y un caso práctico con la emulsión asfáltica más usada en el Perú, el slurry seal o lechada asfáltica. Las emulsiones son utilizadas para

tratamientos superficiales como chip seal, sello de lechada asfáltica, micropavimentos, cape seal. Como conclusiones, afirma que no se ha encontrado información técnica, normativa nacional que permitiese seguir algún parámetro definido por lo que se tuvo que recurrir a otros autores adaptando las metodologías a la realidad de nuestro país. Adicionalmente, verificó según las fichas de mantenimiento de la región de Moquegua, que la emulsión asfáltica de mayor uso es la Lechada Asfáltica o Slurry Seal, debido a la protección, economía, seguridad y facilidad de dosificación. Como recomendación, sugiere que se siga con la investigación sobre el uso de emulsiones en tratamientos superficiales debido a la escasa información y normativa nacional. Esta investigación guarda relación con nuestra tesis ya que sirve como base para conocer cómo se utilizan las emulsiones en tratamientos superficiales y sirve de sustento a nuestra problemática porque concluye que la normativa peruana sobre tratamientos superficiales y su diseño y evaluación superficial es bastante escasa. (p. viii)

Humpiri K. (2015) en su tesis: Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región de Puno.

Buscó en su tesis, identificar los daños sufridos en los pavimentos flexibles en las vías de la región de Puno en la cual se realizó una evaluación visual, identificado el deterioro de la superficie de rodadura que presenta niveles de severidad baja, media y alta en algunos casos, producto de esta evaluación se han encontrado fallas superficiales las cuales tienen una mayor incidencia las fisuras longitudinales y transversales, ahuellamientos, desgaste superficial entre otras, las cuales producen la disminución de la condición y el nivel de Serviciabilidad del pavimento, por eso es importante el mantenimiento y conservación periódicamente de las vías y de esta manera mejorar el nivel de servicio.

Ochoa O. (2017) en su estudio: Aplicación del micropavimento para mejorar los costos de la pavimentación de la cancha deportiva en el asentamiento humano los huertos de Manchay, distrito de Pachacamac, 2017.

Adapta las bases teóricas de la ingeniería civil para aportar una solución para mejorar los costos de fabricación de canchas deportivas mediante el uso de micropavimentos. Dicho estudio tiene por objetivo evaluar cómo la aplicación del micropavimento reduce los costos de la pavimentación de la cancha deportiva en el Asentamiento humano Los Huertos de Manchay, distrito de Pachacamac 2017. La variable independiente fue micropavimento la variable dependiente costos de pavimento. Se utilizó el tipo de investigación cuantitativa y por su finalidad aplicada, siendo su diseño de investigación cuasi experimental. Los datos recolectados en las fichas de recolección de datos fueron procesados y analizados por el software SPSS versión 22. Los resultados son: 29% de ahorro. (p. xi)

Pequeño D. (2015) en su tesis: Comparación de costos y tecnología de mantenimiento utilizando slurry seal y mantenimiento convencional en un pavimento flexible.

Realiza la comparación de costos y tecnología entre un mantenimiento convencional y otro con Slurry Seal en un pavimento flexible, y en ella se desarrolla un modelo de Inventario e Inspección de campo que cita el Ing. German Vivar e Ing. Wilfredo Gutiérrez en su libro Mantenimiento y Reparación de Pavimentos de Concreto y Asfalto para la descripción del estado de cada tipo de mantenimiento.

El Slurry Seal es una mezcla compuesta por emulsión catiónica super estable, agregado árido, agua y filler, con un espesor mínimo de un centímetro sustentado en la norma ASTM D-3910 “Práctica para diseño, análisis y construcción de imprimación de suelos (slurry seal), normalizada por la Guía ISSA A-105; El mantenimiento convencional Bicapa está compuesto por dos capas de espesores variables que utiliza gravilla y emulsión, sustentada en la norma NLT 150/63 “Método para la determinación de áridos gruesos y finos” y AASHTO-T84, AASHTO-T85 que corresponden al peso específico de la masa del agregado. En el inicio de la tesis se describe la clasificación y propiedades de cada tipo de mantenimiento, con la descripción de los ensayos y dosificación de los morteros. Para dicho análisis se ha tomado en cuenta como

referencia el proyecto de mantenimiento en la carretera Chilete-San Pablo-Empalme Ruta 3N, de donde se muestran los Costos Unitarios de cada mantenimiento seguido del Análisis de Tecnología utilizada por cada mantenimiento, finalizando con la comparación del Costo Anual Equivalente para obtener cuál de las alternativas de mantenimiento es la de mejor costo efectivo. Adicionalmente se detallan los equipos, el análisis granulométrico, estándares y normas de cada tratamiento. Finalmente de la comparación de estos dos tipos de mantenimiento se concluye que el costo por metro cuadrado con Slurry Seal es de 4.26 s./m<sup>2</sup> y una vida útil promedio de cuatro años, el costo por metro cuadrado con Bicapa es de 9.00 s./m<sup>2</sup> y una vida útil promedio de cinco años. (p. x)

Saldaña B y Taipe W. (2018) en su estudio: Rehabilitación y mejoramiento en vías de bajo volumen de tránsito a nivel tratamiento superficial Slurry Seal Canayre Puerto Palmeras-Ayacucho.

Mediante la utilización del material Slurry Seal y el diseño de cunetas, badenes y alcantarillas (obras de arte), otorga una guía práctica para incrementar el tiempo de vida de una carretera de bajo volumen de tránsito a nivel de afirmado, disminuyendo los costos de mantenimiento. La tesis cuyo proyecto denominado “Rehabilitación y Mejoramiento de vías de bajo volumen de tránsito a nivel tratamiento superficial Slurry Seal Canayre – Puerto Palmeras – Ayacucho”, está enfocada para prestar una solución rápida, económica y sostenible con el medio ambiente en el mejoramiento vial; gran cantidad de las vías ubicadas en el distrito de Canayre son a nivel de afirmado por el bajo presupuesto asignado a la zona; las fuertes lluvias y el mal sistema de drenaje de las mismas deterioran rápidamente estas vías. Con los resultados obtenidos se diseñó las obras que ayudan a rehabilitar el tramo Canayre – Puerto Palmeras, mejorando sus características como la superficie de rodadura, así mismo añadiendo cunetas, alcantarillas, plazoletas de cruce y señales informativas y preventivas. (p. xii)

Criollo C. (2020) en su estudio: Análisis técnico-económico entre el tratamiento superficial con slurry seal y bicapa para la corona de la presa

poechos (desde km 3+600 – hasta km 7+500), distrito lancones, provincia de Sullana, departamento de Piura como una alternativa de aplicación de un tratamiento superficial a la vía de la Presa Poechos. Para ello, se realizaron diseños de ambos tipos de tratamiento superficial con Slurry Seal y Bicapa, para las mismas condiciones de tránsito, terreno de fundación, a partir de cada uno de los diseños obtenidos y las cantidades de materiales a utilizarse, se realizó la comparación de costos. Por otro lado, la parte técnica analiza la eficacia y el comportamiento durante su periodo de diseño. Finalmente, realizando la evaluación técnica-económica el tratamiento superficial con Slurry Seal refleja ser la alternativa más rentable y con mejor desempeño durante su vida de diseño. El objetivo general es analizar técnica-económicamente el tratamiento superficial con Slurry Seal y Bicapa, según su diseño y dosificación. Como objetivos específicos tenemos: analizar técnicamente el tratamiento superficial con Slurry Seal y Bicapa, Analizar económicamente el tratamiento superficial con Slurry Seal y Bicapa. Se concluye que al realizar la comparación económicamente el tratamiento superficial con Slurry Seal resulta ser más rentable, de acuerdo a las mismas condiciones de tráfico y suelo empleados para el tratamiento superficial bicapa.

Es muy importante que el buen mantenimiento y consideraciones de elementos de drenaje ayudará a cumplir el periodo de diseño del tratamiento superficial. Al realizar el análisis técnico es muy necesario considerar las condiciones que ofrece la zona de estudio para elegir el tratamiento superficial más adecuado. Al realizar el análisis económico aplicando la metodología del análisis de precios unitarios, se concluye que la mejor alternativa de tratamiento superficial es el Slurry Seal. Todo este análisis técnico y económico permite finalmente conocer la alternativa más rentable, menos contaminante y que se pueda ajustar a las condiciones reales de la zona del proyecto. La vía de la presa Poechos es de mucha importancia en la región ya que resulta ser un atractivo turístico y se desarrolla la agricultura, entre otras, por lo tanto, mejorar la transitabilidad, detener el deterioro, brindar seguridad y comodidad al transeúnte. De este modo con cada uno de los resultados obtenidos al finalizar esta investigación, se tendrá una forma de forma de trabajo más económica, menos contaminante y de buena calidad, que servirá de ejemplo para el resto



de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito que se realizan en nuestro país. (p. xvii)

Quintana J. (2020) en su estudio: Mortero asfáltico o slurry seal como tratamiento superficial para pavimentos de afirmado tuvo como objetivo analizar los estándares nacionales e internacionales para la colocación de mortero asfáltico sobre un camino no pavimentado y pavimentado.

Se realizó una investigación aplicada, cualitativa, descriptiva y experimental; para aclarar la definición y aplicación del mortero asfáltico según los estándares nacionales e internacionales y mediante un experimento a escala natural se comprobó su colocación como supresor de polvo en afirmado ya que el ahuellamiento producido fue menor al ahuellamiento máximo permitido siguiendo el método de diseño de afirmado normado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (p.xi)

## 2.3 Bases Teóricas Vinculadas a las Variables de Estudio

### 2.3.1 Pavimentos

Según Montejo, A. (2006), el pavimento:

Está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de explanaciones y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura de pavimento.

Según la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Rosario, El pavimento es:

Estructura de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas de materiales elaborados o no, colocados sobre el terreno acondicionado, que tiene como función el permitir el tránsito de vehículos:

- Con seguridad.
- Con comodidad.
- Con el costo óptimo de operación.
- Superficie uniforme.
- Superficie impermeable.
- Color y textura adecuados.
- Resistencia a la repetición de cargas.
- Resistencia a la acción del medio ambiente.
- Que no transmita a las capas inferiores esfuerzos mayores a su resistencia.

Es importante tener en cuenta que el pavimento puede revestirse con diferentes materiales, como piedras o maderas. El término, sin embargo, suele asociarse en algunos países al asfalto, el material utilizado para construir calles, rutas y otras vías de comunicación. Las denominadas mezclas asfálticas y el hormigón son los materiales más habituales para crear el pavimento urbano, ya que tienen un buen rendimiento de soporte y permiten el paso constante de vehículos sin sufrir grandes daños. En los últimos años se ha promovido el desarrollo de pavimento que sea sostenible y que respete el medio ambiente. En este sentido cabe mencionar la creación de pavimento que combina el asfalto con el polvo de caucho que se obtiene a partir de neumáticos reciclados y la utilización del producto conocido como noxer, que tiene la capacidad de absorber la contaminación que producen los tubos de escape de los vehículos.

#### 2.3.1.1 Estructura de los Pavimentos Asfálticos o Flexibles

Según la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Rosario:

Son aquellos contruidos con materiales asfálticos y materiales granulares. En general, están contruidos por una capa delgada de mezcla asfáltica contruida sobre una capa de base y una capa de subbase las que usualmente son de material granular. Estas capas descansan en una capa de suelo compactado, llamada subrasante.



Figura 1 - Sección Transversal de una Vía.

Fuente: Pavimentos (Universidad Tecnológica Nacional)

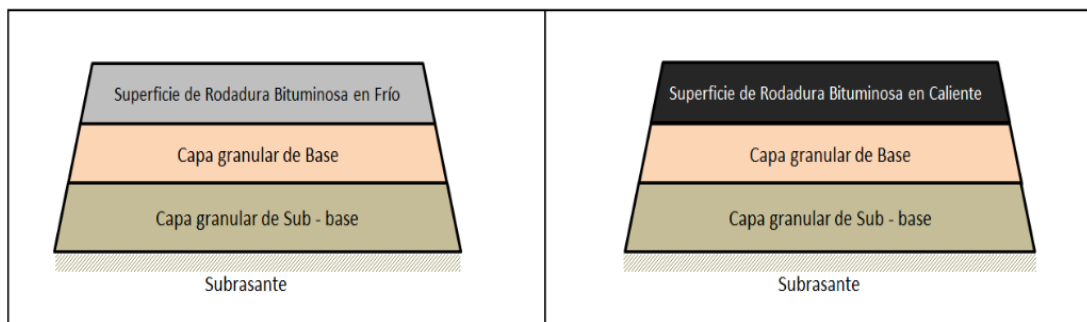


Figura 2 - Clasificación de Capas del Pavimento Flexible.

Fuente: Quintana J. (2020)

#### A) Sub Base

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ( $CBR \geq 40\%$ ) o tratada con asfalto, cal o cemento.

#### B) Base

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como función principal de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ( $CBR \geq 80\%$ ) o será tratada con asfalto, cal o cemento.

### C) Carpeta de Rodadura - Superficie de Rodadura

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

#### 2.3.1.2 Capacidad Portante de la Sub-Rasante

Se denomina Capacidad Portante a la capacidad de un terreno de fundación de soportar cargas aplicadas sobre éste. Técnicamente la Capacidad Portante es la máxima presión promedio que puede soportar un suelo antes de presentar asentamientos excesivos o fallas estructurales por corte.

La Capacidad Portante está definida por las diferentes propiedades mecánicas de los suelos, que se basan en transmitir cargas o redistribuir la fuerza aplicable en esfuerzos tangenciales entre las diversas partículas que conforman el suelo, o para este caso, la Sub-Rasante. Entre las propiedades más importantes para el cálculo de la capacidad portante están el contenido de humedad, la distribución entre el tamaño de las partículas o granulometría, la clasificación de los suelos y su nivel de compactación.

#### 2.3.1.3 Compactación de Suelos

Hay que tener en cuenta que la compactación de suelos es un proceso mecánico destinado a mejorar las características de comportamiento de los materiales térreos que constituyen la sección estructural de las carreteras, los ferrocarriles o las aeropistas.

Así mismo la compactación de suelos es una técnica de trabajo de campo donde en principio, el proceso de compactación en el campo debe conducirse hacia la identificación de qué equipo habrá de emplearse y que operaciones habrán de realizarse para obtener en un suelo dado un cierto conjunto de propiedades mecánicas. Se sabe que existen diferentes modos de compactar materiales en el campo, pueden

ser por amasado, por presión, por impacto, por vibración y por métodos mixtos dentro de las categorías ya mencionadas.

### 2.3.2 Vías no Pavimentadas

Son carreteras cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.

Las Vías no Pavimentadas están conformadas estructuralmente por una Base y Sub-Base apoyada sobre la Sub-Rasante, y no cuenta con una superficie de rodadura que de aporte estructural. Este tipo de vías son una alternativa usualmente tomada para carreteras de bajo volumen de tránsito debido a las ventajas económicas que posee, al no considerar asfaltos o material bituminoso para la superficie de rodadura.

Sin embargo, también poseen desventajas frente a una vía pavimentada, ya que son vulnerables al desgaste por tránsito de vehículos y no cuentan con una capa impermeabilizante en su cara exterior, permitiendo la infiltración de agua a la Sub-Base y lixiviación de finos por causa de las precipitaciones.

#### 2.3.2.1 Bases Mejoradas o Estabilizadas

La base mejorada o estabilizada consiste en una combinación del suelo con cemento portland o cal; su estabilidad depende de la resistencia que proporcione el cemento o la cal.

La combinación de materiales con el suelo, proporcionan una rigidez sensible, por lo que la base tiende a funcionar ya como una losa, repartiendo las cargas del tráfico sobre una superficie mayor, como si se tratara de una base granular; además, el material resulta prácticamente inalterable por los agentes ecológicos (humedad, temperatura). Al mismo tiempo, dicha rigidez no es demasiado elevada, permitiendo que la base se adapte a deformaciones lentas de las capas subyacentes, sin que se produzcan agrietamientos excesivos, como en el caso de un firme rígido. Se trata, por lo tanto, de un material distinto,

tanto de las bases granulares como de los firmes rígidos y en cierto modo, intermedio entre los dos.

#### 2.3.2.2 Imprimación de Bases

La imprimación asfáltica es un proceso donde se aplica un material asfáltico diluido en forma plana a una superficie hecha de un material granular no tratado, por ejemplo, grava de río o sub base, o en una superficie de base no tratada, como la piedra, la escoria, la roca entre otras.

Teniendo en cuenta el Manual de Carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), en el documento de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013), el mortero asfáltico consiste en la colocación de una mezcla de emulsión asfáltica modificada o no con polímeros, y agregados pétreos, sobre la superficie de una vía. Además, también señala las exigencias para los materiales, equipo a utilizar para su elaboración y colocación, como se denota a continuación.

Así mismo para la elaboración y aplicación del mortero asfáltico, es un preparado en el cajón mezclador de la máquina que pasará a través de una compuerta vertedero a la caja repartidora, la cual se encargará de distribuirla de manera uniforme sobre la superficie.

El avance del equipo se hará paralelamente al eje de la carretera y su velocidad se ajustará para garantizar una aplicación correcta del mortero y una superficie uniforme.

El mortero debe ser aplicado solamente cuando la temperatura atmosférica a la sombra esté por encima de los 10°C. Con la imprimación asfáltica se sellan poros, grietas y pequeñas fisuras, dando ya una pequeña impermeabilización.

### 2.3.2.3 Morteros Asfálticos

Teniendo en cuenta el Manual de Carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), en el documento de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013), el mortero asfáltico consiste en la colocación de una mezcla de emulsión asfáltica modificada o no con polímeros, y agregados pétreos, sobre la superficie de una vía. Además, también señala las exigencias para los materiales, equipo a utilizar para su elaboración y colocación, como se denota a continuación.

Así mismo para la elaboración y aplicación del mortero asfáltico, es un preparado en el cajón mezclador de la máquina que pasará a través de una compuerta vertedero a la caja repartidora, la cual se encargará de distribuirla de manera uniforme sobre la superficie.

El avance del equipo se hará paralelamente al eje de la carretera y su velocidad se ajustará para garantizar una aplicación correcta del mortero y una superficie uniforme.

El mortero debe ser aplicado solamente cuando la temperatura atmosférica a la sombra esté por encima de los 10°C y la superficie del camino se encuentre seca, y las condiciones climáticas sean favorables.

### 2.3.2.4 Emulsiones Asfálticas

Son el resultado de la dispersión de pequeñas micro partículas de asfalto dentro de una matriz acuosa. Según diferentes estudios las emulsiones contienen entre un 40 % a un 75 % de asfalto y a temperatura ambiente presentan consistencia líquida que va desde fluida hasta muy viscosa.

Para designar la viscosidad de la emulsión se utilizan números donde “1” se refiere a una baja viscosidad de la emulsión y “2” contrariamente se refiere a una alta viscosidad. En cuanto a la rigidez o dureza del asfalto residual, se utiliza la letra minúscula “h” (“hard”) para indicar un asfalto residual de rigidez alta, si no lleva ninguna letra indica un

residuo de rigidez media, si tiene una “H” quiere decir que tiene una rigidez muy alta y finalmente, si lleva una letra minúscula “s” (“soft”) indica un asfalto residual mucho más blando.

Existe una prueba que permite determinar la polaridad eléctrica de los glóbulos de asfalto en las emulsiones, con el propósito de identificarlas como aniónicas cuando los glóbulos tienen una carga eléctrica negativa, y como catiónicas cuando su carga es positiva. El procedimiento consiste en inducir una corriente eléctrica a través de la emulsión, mediante dos electrodos y observar a cuál de ellos son atraídos los glóbulos de asfalto.

### 2.3.3 Slurry Seal

Es una mezcla de una emulsión asfáltica aprobada, que contiene agregado mineral, agua y aditivos especificados, proporcionados, mezclados y uniformemente esparcidos sobre una superficie adecuadamente preparada como descrito por el Buyer’s Authorized Representative. (BAR)” (p.2).

Los materiales que se emplean para la preparación del slurry seal son los siguientes:

a) Asfalto emulsionado, deberá satisfacer el grado (SS-1, SS-1h, CSS-1h, mezcla con grado de rotura rápida) como especificado en (ASTM D977, D2397; AASHTO M140, M208; ISSA T 102). b) Agregados, consistirá en piedra triturada natural o industrialmente (granito, escoria, piedra caliza u otros agregados de alta calidad o una combinación de esto). Arenas de textura uniforme o menor del 1.25% de absorción de agua no deben exceder del 50% del total de la mezcla de agregado. c) Filler mineral, puede ser cemento portland, cal hidratada, piedra caliza, “flyash” y otro relleno aprobado que cumple los requerimientos de la ASTM D242. d) Agua, debe ser agua potable y compatible con la mezcla. e) Aditivos, pueden ser utilizados para acelerar o retardar el tiempo de rotura o mejorar la superficie terminada.



### 2.3.3.1 Componentes de Slurry Seal

A. AGREGADO: Según diferentes estudios se describen tres granulometrías de agregados, Tipo I, II y III. Granulometrías más gruesas con un tamaño mayor de 11 mm fueron usadas satisfactoriamente para llenado de fisuras y agregados de granulometría clasificada, con ó sin aditivos de fibras, son también especificados en algunos países.

B. EMULSIÓN MODIFICADA: Emulsiones asfálticas modificadas para un sello con mortero son normalmente con polímeros que modifican la emulsión, pero necesitan ser probadas específicamente en compatibilidad y reactividad con el agregado usado. El nivel de asfalto en el diseño de mezcla es primeramente determinado por el uso y propiedades de adhesión del sellado.

C. AGUA: El agua utilizada para la fabricación de los sellos de lechada asfáltica debe estar libre de aceites, ácidos, álcalis, materias orgánicas u otras sustancias contaminantes. No debe utilizarse agua salada ni salobre (con mayor contenido de sal que el agua salada de mar). Se deberá usar agua potable de calidad conocida, que esté de acuerdo con la norma AASHTO T 26. Cuando la calidad del agua sea cuestionable, se debe cumplir con lo establecido en la tabla 2 de la Especificación AASHTO M 157.

### 2.3.3.2 Tipos de Slurry Seal

Estos sellos se clasifican en Tipo I, II, ó III según el tamaño de los agregados donde:

- Tipo I: pasando 2,36 mm, tamiz No 8.

- Tipo II: pasando 4,75 mm, tamiz No 4.

- Tipo III: pasando 9,5 mm, tamiz No 3/8.

Al igual que los ligantes y la mezcla asfáltica, la emulsión asfáltica y las lechadas asfálticas tienen que cumplir con estrictos controles y especificaciones de calidad.

#### 2.3.4 Deterioro en la Vida Útil de la Vía:

Según diferentes estudios los pavimentos sufren un proceso de deterioro permanente debido a los diferentes agentes que actúan sobre ellos, tales como: el agua, el tráfico, la gravedad en desniveles y pendientes, etc.

Teniendo en cuenta dichos elementos, se considera que afectan al pavimento, en mayor o menor medida, pero su acción es permanente y termina deteriorándose, llegando al punto de convertirse en intransitable.

Por lo tanto, el mantenimiento no es una acción que puede efectuarse en cualquier momento, sino más bien es una acción sostenida en el tiempo, orientada a prevenir los efectos de los agentes que actúan sobre el pavimento, buscando con ello el momento correcto y preciso de prevenir o corregir las imperfecciones que puedan darse.

##### 2.3.4.1 Fases de Deterioro

Para Menéndez, 2003: El ciclo de vida de un pavimento consta de cuatro fases, las cuales se describen a continuación:

**Fase A: Construcción:** Un pavimento puede ser de construcción sólida o con algunos defectos constructivos. De todos modos, entra en servicio apenas se termina la obra. El pavimento se encuentra, en ese momento, en excelentes condiciones para satisfacer plenamente las necesidades de los usuarios. (Punto A de la figura 3).

**Fase B: Deterioro Lento y Poco Visible:** Durante cierto número de años el pavimento va experimentando un proceso de desgaste y debilitamiento lento, principalmente en la superficie de rodadura. Este desgaste se produce en proporción al número de vehículos livianos y pesados que circulan por el pavimento, aunque también por la influencia del clima, del agua de las lluvias o aguas superficiales y otros factores.

Durante la fase B el pavimento se mantiene en aparente buen estado y el usuario no percibe el desgaste, a pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas, (Punto B de la figura 3).

Fase C: Deterioro Acelerado: Después de varios años de uso, la superficie de rodadura y otros elementos del pavimento están cada vez más “agotados”; el pavimento entra en un período de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito vehicular. Los daños comienzan siendo puntuales y poco a poco se van extendiendo hasta afectar la mayor parte de la estructura del pavimento, (Punto C de la figura 3).

Fase D: Descomposición Total: Esta fase constituye la última etapa de su existencia y puede durar varios años. Durante este período el paso de los vehículos se dificulta seriamente, la velocidad de circulación baja bruscamente y la capacidad del pavimento queda reducida a sólo una fracción de la original.

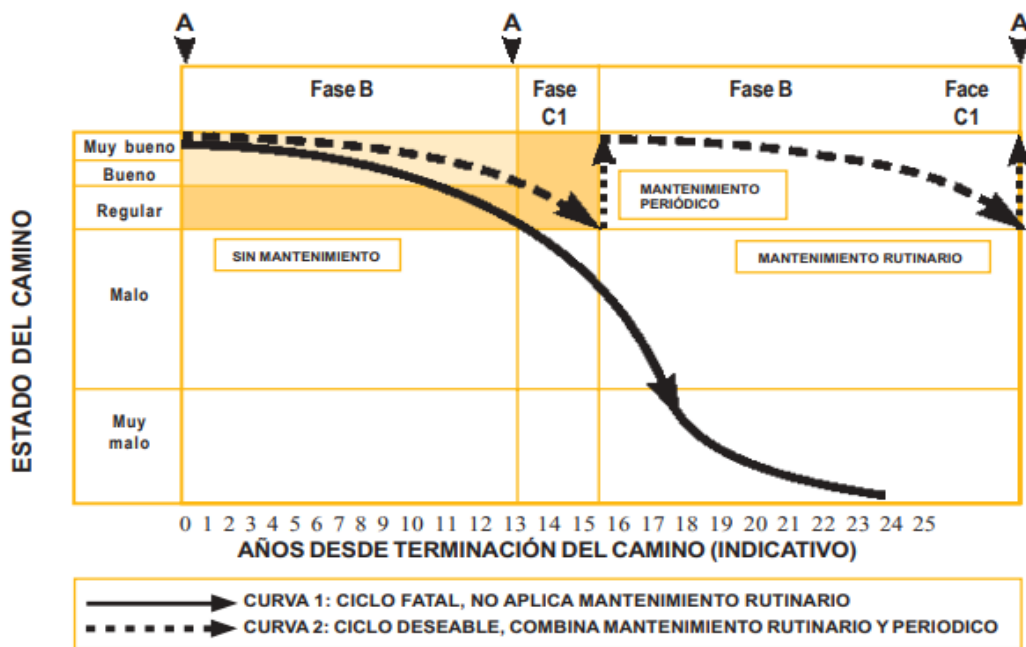


Figura 3 - Condición de una Vía sin Mantenimiento

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

### 2.3.4.2 Frecuencia de Mantenimiento

El mantenimiento de vías estará, irrevocablemente ligado al deterioro del mismo, y éste a su vez depende de diferentes factores, tales como desgaste natural por su propio uso, agentes externos, fallas geológicas, etc. Es por ello que deberán ser consideradas dos tipos de mantenimiento: Mantenimiento Rutinario y Mantenimiento Periódico.

**Mantenimiento Rutinario:** El mantenimiento rutinario es el conjunto de actividades que se ejecutan en forma permanente y sistemática a lo largo de la calzada y en las zonas aledañas, que consiste en la reparación de pequeños defectos en la superficie de rodadura, limpieza de bermas y señalización, el mantenimiento de los sistemas de drenaje con actividades como limpieza de cunetas, descoles, alcantarillas y demás obras, remoción de pequeños derrumbes, rocería de taludes y zonas laterales o bordes; y que se realizan con mucha frecuencia en los diferentes tramos de la vía. Debe ser de carácter preventivo y la finalidad principal es la conservación de todos los elementos de la vía con la mínima cantidad de alteraciones o de daños y, en lo posible, conservando las condiciones iguales o similares que tenía después de la construcción o la rehabilitación. Se aplica con regularidad una o más veces al año, dependiendo de las condiciones específicas de la vía.

Tabla 1 - Criterios para Establecer el Nivel de Mantenimiento Rutinario.

MANTENIMIENTO RUTINARIO	
CRITERIO PARA APLICACIÓN	VALOR
Espesor de lastrado	mayor o igual a 10 centímetros
Bombeo	de 2 a 3 %
Baches, encalaminados	de 0 a 10 %
Ahuellamientos, hundimientos	de 0 a 5%
Señalización	sí cuenta con señalización
Cunetas y alcantarillas	limpias
Puentes, pontones, muros de contención y badenes	en buen estado

Fuente: Mantenimiento Rutinario de Caminos con Microempresas

Mantenimiento Periódico: Se define como el conjunto de actividades que se ejecutan en períodos, por lo general, de más de un año y que tienen como fin el evitar la aparición de daños en la estructura de rodadura y evitar la aparición de daños o el empeoramiento de los defectos existentes tales como baches, agrietamientos, asentamientos y deformaciones en general.

El objetivo de este mantenimiento está enfocado a preservar las buenas características de la superficie de rodadura, a conservar la integridad de la misma y a corregir los defectos puntuales mayores. También se pueden incluir actividades socio-ambientales y de atención de emergencias viales como la remoción y extracción de derrumbes menores.

Tabla 2 - Criterios para Establecer el Nivel de Mantenimiento Periódico.

<b>MANTENIMIENTO PERIÓDICO</b>	
<b>CRITERIO PARA APLICACIÓN</b>	<b>VALOR</b>
Espesor de lastrado	de 5 a 10 centímetros
Bombeo	menor a 2%
Baches, encalaminados	de 10 a 40 %
Ahuellamientos, hundimientos	de 5 a 15%
Señalización	no cuenta con señalización
Cunetas y alcantarillas	limpias a medianamente colmatadas
Puentes, pontones, muros de contención y badenes	en estado bueno a regular

Fuente: Mantenimiento Rutinario de Caminos con Microempresas

### 2.3.5 Conservación de Vías

Tomando en cuenta el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, conservar es mantener una cosa o cuidar su permanencia o también guardar con cuidado una cosa.

De ese modo la conservación vial preserva el mismo significado, pero la aplicación de esta tiene un sentido bastante más amplio. Por ello optamos por definir la Conservación Vial como el conjunto de actividades necesarias para la preservación o mantenimiento de una carretera y por ende de cada uno de sus componentes en las mejores condiciones para el tráfico de los vehículos,

similares a las características iniciales tanto geométrica como la capa de rodadura que tuvo cuando fue construida, o al estado último al cual ha llegado después de posibles mejoras a lo largo del tiempo.

Las carreteras también constituyen un importante valor patrimonial para todos y en cualquier país debido a los costos de los proyectos de infraestructura vial; en el Perú contamos con el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) que clasifica y jerarquiza las redes viales del país siendo esta clasificación:

- Red Vial Nacional
- Red Vial Departamental o Regional
- Red Vial Vecinal o Rural

Así mismo estas se encuentran a cargo de los diferentes niveles gubernamentales como es el Gobierno Nacional a través de Provias Nacional encargado de la Red vial Nacional, y los gobiernos locales, Gobierno Regional, Municipalidades Provinciales y Distritales, encargados de la Red Vial Departamental o Regional y de la Red Vecinal o Rural respectivamente, a través de Provias Descentralizado y los Institutos Viales Provinciales (IVP).

De este modo el patrimonio si no se conserva de manera adecuada, corre un grave peligro de deterioro, con la consecuencia de la pérdida de transitabilidad y valor. En la gestión Vial, como todo proyecto de infraestructura bajo la responsabilidad del estado peruano, tiene las siguientes etapas o fases:

- Pre inversión: En esta etapa comprende los estudios de los proyectos que, a su vez, tienen etapas secuenciales de: perfil, prefactibilidad, factibilidad con anteproyecto, que llevan hacia la calificación de viabilidad del proyecto y finalmente al proyecto constructivo que, además, lleva la posibilidad de una alternativa denominada proyecto pre constructivo. Siendo ambas dos alternativas indistintamente útiles para la etapa siguiente del proyecto.
- Inversión: Engloba la ejecución de obras de rehabilitación, mejoramiento y construcción del proyecto.

- Gastos de mantenimiento o gastos corrientes: Engloba todas las obras de conservación vial. Es la etapa destinada a la preservación del patrimonio vial y que es esencial para el seguimiento o monitoreo permanente del comportamiento operativo de las carreteras, de manera que se pueda programar no sólo la ejecución rutinaria, periódica de las tareas de conservación o los trabajos puntuales de recuperación o complementación necesarios para ello, sino adicionalmente alimentar al centro de consolidación de esa información para su utilización en la evaluación sustentada de los planes de conservación vial. El mantenimiento o conservación vial implica una serie de actividades de obras e instalaciones, que se realizan de manera continua o permanentemente en las carreteras que conforman la red vial. Para la ejecución de la conservación vial se requiere un presupuesto anual, cuya ejecución del gasto se realiza mediante contratos por terceros o por administración directa de la entidad, y teniendo siempre como meta de la conservación vial preservar el nivel de servicio inicial de la misma, como ya se mencionó antes en el sector público los gastos de conservación corresponden a la clasificación presupuestal de gastos corrientes y debe de cumplir una previsión de cantidades de necesidades estimada por la experiencia de la unidad y del personal directamente encargado de realizar los trabajos o partidas del gasto.

Algo relevante de las actividades que conforman el mantenimiento vial no requiere los estudios de pre inversión, debido a que se trata de obras de prevención o de corrección menor de los deterioros y en cuanto se van identificando nuevos inicios de deterioros se procede de manera inmediata su corrección para que estos no prosigan o se incrementen, pero sí requieren de una programación técnica sistemática ya que de esta forma nos permitirá sustentar el gasto necesario.

#### 2.3.5.1 Tipos de Tratamiento

Los tipos de tratamientos están enfocados de acuerdo en este caso teniendo en cuenta al tratamiento superficial como toda actividad que tiene por objeto brindar al pavimento de determinadas características superficiales sin pretender con ello un aumento de resistencia

superficial. Se clasifican dependiendo del número de riegos en: Simples y Múltiples.

Tratamiento Superficial Simple: Cuando se trata de una única aplicación de asfalto seguida de un riego de agregado.

Tratamiento Superficial Múltiple: Si son dos ó más los riegos alternados de asfalto y agregado.

#### 2.3.5.2 Tipos de Fallas

Los tipos de fallas se clasifican de acuerdo a los niveles de serviciabilidad o niveles de servicio básico a controlar:

a. Caminos no pavimentados: Afirmados, control de perfilado, control de rugosidad y control de espesor de la capa de afirmado

b. Caminos pavimentados: Pavimentos Flexibles, Semirrígidos. Control de fisuras y baches, control de ahuellamiento, control de textura superficial, control de rugosidad y control de deflexiones. Fisuras y baches (no se admitirán); significa que cada vez que aparezca una fisura o bache, debe ser prontamente sellada o parchada y Ahuellamiento (corrección de ahuellamientos mayores a 12mm)

c. Caminos pavimentados: Rígidos, control de fisuras y baches, control de sello de juntas y control de rugosidad.

#### 2.3.6 Costos en Vías

Los costos en vías son todos aquellos se requieren a manera general para construir en la vía, desde la cotización de materiales, recursos, insumos y servicios en horas hombre de todos aquellos que participarán en la realización de una vía, eso incluye los costos previos a la ejecución y la ejecución misma.



### 2.3.6.1 Costos de Ejecución de Vías

Los costos de ejecución de obras viales están basados en precios unitarios de acuerdo a las partidas necesarias para dicha ejecución, dentro de lo cuales podemos categorizar los siguientes:

**Costo Indirecto:** Se refiere a los gastos generales y a la utilidad del contratista, que es la persona o empresa que es contratada por otra organización o particular para la construcción de obras de infraestructura vial.

**Costo Directo:** Son todos los costos referentes a las diferentes partidas (enumeradas y cuantificadas) necesarias para la ejecución de la infraestructura vial; donde se consideran los siguientes puntos.

- **Mano de obra:** Se conoce como mano de obra al esfuerzo físico y mental que se pone al servicio de la fabricación de un bien. El concepto también se utiliza para nombrar al costo de este trabajo, es decir, el precio que se le paga.
- **Análisis de precios unitarios:** El APU (Análisis de Precios Unitarios) es un análisis financiero que obtiene valores antes de realizar una actividad que represente una inversión económica.

### 2.3.6.2 Costos de Operación

Los costos de operación o costos de producción son aquellos gastos necesarios para mantener un proyecto, un equipo en funcionamiento y la línea de procesamiento.

El costo de operación tiene dos características opuestas, que algunas veces no están bien entendidas en los países en vías de desarrollo. La primera es que para producir bienes uno debe gastar; esto significa generar un costo, la segunda característica es que los costos deberían ser mantenidos tan bajos como sea posible y eliminados los innecesarios; a su vez esto no significa el corte o la eliminación de los costos indiscriminadamente.

Cuando se analiza la importancia dada al costo de producción en los países en vías de desarrollo, otro aspecto que debería ser examinado respecto a una determinada estructura de costos, es que una variación en el precio de venta tendrá un impacto inmediato sobre el beneficio bruto porque éste último es el balance entre el ingreso (principalmente por ventas) y el costo de producción. En consecuencia, los incrementos o las variaciones en el precio de venta, con frecuencia son percibidos como la variable más importante (junto con el costo de la materia prima), particularmente cuando existen amplias variaciones del precio.

### 2.3.7 Costos de Mantenimiento

Se tiene en cuenta que para tomar decisiones basadas en la estructura de costos, y teniendo presente que para un administrador una de sus principales tareas será minimizar los costos, entonces es importante conocer sus componentes. Por lo cual los costos, en general, se pueden agrupar en dos categorías:

Los costos que tienen relación directa con las operaciones de mantenimiento y los costos por pérdidas de producción.

También se considera el costo global del mantenimiento ya que es la suma de cuatro costos:

- Costos Fijos
- Costos Variables
- Costos Financieros
- Costos De Fallo

#### 2.3.7.1 Costos de Mantenimiento de Vías no Pavimentadas

El costo de mantenimiento de vías no pavimentadas se desarrolla de acuerdo a los factores de clima e índice de tráfico. Según esos factores se podrá calcular cada cuanto tiempo se realizará el mantenimiento y cuál será su costo.

### 2.3.7.2 Costos de Mantenimiento de Vías con Slurry Seal

Para los costos de mantenimiento de vías con Slurry Seal se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Preparación de la superficie existente.
- Elaboración y aplicación del mortero asfáltico.
- Juntas de trabajo.
- Apertura al tránsito.
- Reparaciones.
- Costos directos (conformados por los costos de la mano de obra, materiales, equipos y herramientas).
- Costos indirectos (conformados por los gastos generales y utilidad), nos enfocaremos en los primeros.

## 2.4 Definición de Términos Básicos

1. Pavimento: superestructura de una vía, constituida sobre la subrasante y compuesta normalmente por la subbase, la base y la capa de rodadura, cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir los esfuerzos al terreno, distribuyéndolas en tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales así como proveer una superficie lisa y resistente para los efectos del tránsito.
2. Vías no pavimentadas: Vías conformadas solo hasta el nivel de base o afirmado.
3. Carpeta de rodadura: Superficie por la cual transitan las personas y vehículos.
4. Suelo: Superficie sobre la que se pisa, generalmente recubierta de algún material para hacerla lisa y resistente.
5. Mortero asfáltico: Mezcla uniforme de agregados finos, agua y un cementante
6. Emulsiones asfálticas: Sistema en equilibrio estable de dos líquidos no miscibles, dispersos el uno en el otro.
7. Slurry Seal: Agregados finos con granulometría densa son mezclados con emulsión y agua para formar un mortero que es esparcido sobre la superficie del

camino con espesores en rangos de 3-30 mm dependiendo del agregado de mayor tamaño.

8. Costos: Se define como coste o costo al valor que se da a un consumo de factores de producción dentro de la realización de un bien o un servicio como actividad económica. Durante un proceso de producción o en la prestación de un servicio por parte de una empresa se desgasta o utiliza un factor productivo o varios.

9. Deterioro: Empeoramiento del estado, calidad, valor, etc., de una cosa.

10. Mantenimiento: Conservación de una cosa en buen estado o en una situación determinada para evitar su degradación.

11. Mantenimiento rutinario: Es el conjunto de actividades que se ejecutan permanentemente a lo largo del camino y que se realizan diariamente en los diferentes tramos de la vía.

12. Mantenimiento periódico: es el conjunto de actividades que se ejecutan en períodos, en general, de más de un año y que tienen el propósito de evitar la aparición o el agravamiento de defectos mayores, de preservar las características superficiales, de conservar la integridad estructural de la vía.

13. Asfalto: uno de los líquidos residuales de la destilación del crudo de petróleo, que se encuentra en estado natural u se obtiene por medios mecánicos.

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 Hipótesis principal

La aplicación de Slurry Seal influye significativamente para la optimización de costos en mantenimiento para vías no pavimentadas.

#### 3.1.2 Hipótesis secundarias

- a. La estructura del pavimento influye significativamente para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas
- b. La condición de vías no pavimentadas o sin capa de rodadura influyen significativamente para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.
- c. La adecuada aplicación del Slurry Seal influye significativamente para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.

### 3.2 Variables

#### 3.2.1 Definición conceptual de las variables

##### 3.2.1.1 Aplicación de Slurry Seal:

El Slurry Seal es un mortero asfáltico hecho de agregados finos con granulometría densa son mezclados con emulsión y agua para formar un mortero que es esparcido sobre la superficie del camino con espesores en rangos de 3-30 mm dependiendo del agregado de mayor tamaño. El proceso es usualmente hecho con una mezcladora-pavimentadora especialmente diseñada, aunque algunos tipos de morteros permiten cierta labor manual. Las emulsiones generalmente usadas son de tipo catiónico de ruptura media o lenta. La Asociación Internacional de Recubrimientos con Morteros (International Slurry Surfacing Association) proporciona procedimientos de pruebas para

diseños de mezclas de morteros asfálticos. Dependiendo de la selección del emulsificante en la formulación de la emulsión, el sistema puede proveer morteros asfálticos de ruptura rápida (quick setting) donde puede abrirse al tráfico en 60 minutos ó de ruptura lenta que pueden permitir alguna labor manual. La aplicación de capas a mayor espesor con morteros de ruptura rápida (quick setting) modificados con polímeros, son llamados micro-pavimentos o micro-recubrimientos. Para mejores resultados, la reactividad de la emulsión deberá ser compatible con el agregado, pero pueden ser adicionados aditivos químicos en la pavimentadora para ajustar el tiempo de ruptura. (Asfaltos, 2014).

Mortero asfáltico o llamado también en inglés, Slurry Seal es una mezcla de finos, agregados con granulometría densa mezclados con emulsión asfáltica, agua y Filler los cuales pueden ser aplicados en capas delgadas sobre la superficie desgastada del pavimento. Normalmente es preparada y aplicada por una mezcladora-pavimentadora especialmente diseñada, pero pueden ser mezcladas en mezcladores portátiles simples y aplicados manualmente. El Slurry Seal es una mezcla rica en asfalto usada principalmente para el mantenimiento preventivo ó para corregir defectos menores en rutas principales ó interestatales, urbanas y zonas residenciales, pistas de aeropuertos y áreas de parqueos, estacionamientos y aceras. Es normalmente diseñado no más grueso que 1 ½ veces más el agregado de mayor tamaño, típicamente 3-14 mm (1/ 8-9 / 16" de espesor). El Slurry Seal puede ser aplicado a nuevas o superficies negras existentes (pavimento asfáltico), concreto, para estabilizar bases y sobre nuevos o usados tratamientos superficiales. Los riegos de liga son normalmente requeridos excepto en concreto. La compactación no es generalmente requerida excepto para áreas en donde no hay tráfico, como playas de estacionamiento y pistas de aeropuertos. (ASFALTOS, 2014).

La lechada asfáltica Slurry Seal es una mezcla de agregado de granulometría cerrada, emulsión asfáltica, arena, fillers, aditivos y

agua. La mezcla es aplicada como un tratamiento de superficie. Puede ser tanto una técnica de mantenimiento preventiva como correctiva. Cualquier pavimento que es estructuralmente débil en áreas localizadas, debiera ser reparado antes de la aplicación de la lechada asfáltica (Asphalt Institute-Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, 2010)

Se utiliza también como técnicas de mantenimiento preventivo periódico y rehabilitación de superficies, también se utiliza como sello superficial para corregir irregularidades. El Slurry pasa por distintos ensayos, para que una vez llevado a obra tenga la calidad necesaria para ser vertida, el espesor de este mortero va de 0.3 mm a 30 mm de espesor, algunas veces, dependiendo de lo que se necesite se llega a verter 2 cm de espesor (Herencia, 2009).

También es una mezcla compuesta por una emulsión asfáltica, agregado mineral, agua y aditivos; las mezclas en frío también pueden ser utilizadas para la elaboración de slurry seal; la emulsión asfáltica (CSS1) y el agua componen la mezcla líquida que pueden ser esparcidas a razón de 1.5 *lit/m<sup>2</sup>* - 2 *lit/m<sup>2</sup>* de forma tal que las  $\frac{3}{4}$  partes del agregado mineral esparcido quede embebido en el asfalto, la tabla 4 muestra la utilización del slurry para diferentes espesores, la tasa de aplicación del agregado puede alcanzar valores de 12 *kg/m<sup>2</sup>*, finalmente se realiza la compactación, los procedimientos descritos se realiza con equipo mecánicos como camión imprimador, esparcidor de agregados y rodillos neumáticos, aunque la mejor forma de aplicación es utilizar un equipo como el de la figura 30, que permita mezclar todos los ingredientes del slurry y aplicarlos directamente en la superficie.

#### 3.2.1.2 Optimización de Costos de Mantenimiento:

Es la mejora o perfeccionamiento de los costos implícitos en la conservación de la vía ya ejecutada, para asegurar el completo desarrollo de la vida útil de la misma. Pueden ser por mantenimientos rutinarios establecidos o por mantenimientos periódicos en caso de desgaste o presencia de fallas, teniendo en cuenta que los costos de

mantenimiento son el factor principal que determina el tiempo de vida útil para los proyectos viales, y que por ende un proceso clave para asegurar la inversión del proyecto, con la finalidad de mejorar la rentabilidad de los procesos productivos, cada día se dedican enormes esfuerzos destinados a visualizar, identificar, analizar, implantar y ejecutar actividades para la solución de problemas y toma de decisiones efectivas y acertadas, que involucren un alto impacto en las áreas de vías y metas de producción, costos de operación y mantenimiento, así como garantizar una buena imagen de la empresa y la satisfacción de sus clientes y del personal que en ella labora.

Para dicha optimización es necesario crear planes de mantenimiento o de cuidado de activos que contemplan durante su desarrollo la determinación de las frecuencias de mantenimiento, lo que constituye uno de los puntos más relevantes para la rentabilidad.



### 3.2.2 Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	
Variable Independiente		QUÉ MIDE	Variable Dependiente			
Aplicación de Slurry Seal	Estructura del pavimento	Diseño de carpeta asfáltica	costos de mantenimiento	Deterioro en la vida útil de una vía	Fases de deterioro	
		Capacidad portante			Frecuencia de Mantenimiento	
		Compactación de suelo				
	Vías no pavimentadas o sin carpeta de rodadura	Bases mejoradas		Conservación de vías	Tipos de tratamiento	
		Morteros asfálticos				
		Emulsiones asfálticas				
	Slurry Seal	Componentes de Slurry Seal		Costos de mantenimiento	Tipos de fallas	
		Tipos de Slurry Seal				Costos de mantenimiento a vías no pavimentadas
						Costos de Mantenimiento de vías con Slurry Seal

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

### 4.1 Tipo y nivel de la investigación

Para el presente trabajo, el método de investigación desarrollado fue el deductivo, ya que busca investigar metodologías internacionales y nacionales para luego aplicar la más idónea a una realidad específica, que en este caso fueron los climas tropicales de la Región San Martín.

Teniendo en cuenta parte de trabajos previos con el objetivo de adquirir un conocimiento nuevo, la orientación fue aplicada; para así descubrir cuál de las metodologías ya existentes puede ser aplicada en los climas tropicales de la Región San Martín.

El enfoque de la tesis fue cuantitativo, ya que estudia la existencia de una relación numérica y se basa en la recolección y análisis de datos sobre las variables y a su vez. Recolección y análisis de datos fue retro lectiva porque todas nuestras fuentes fueron secundarias, basaremos nuestro estudio en manuales, libros, investigaciones, guías y otros.

El nivel de investigación fue descriptivo, ya que en este trabajo se busca especificar las características de las diferentes metodologías de evaluación superficial para pavimentos básicos.

El diseño de la investigación fue no experimental, ya que no podemos manipular la variable independiente. Retrospectivo, ya que contamos con información previamente desarrollada.

### 4.2 Diseño de investigación

La muestra constó de 12 investigaciones que realizaron los ensayos y los resultados de la aplicación del Slurry Seal en vías no pavimentadas, y su implicancia en los costos, nivel de erosión, desgaste y tiempo de vida útil de la vía.

### 4.3 Población y muestra

Como población se tuvo todos los manuales, guías, informes, papers que contengan metodologías de evaluación superficiales para pavimentos básicos o tratamientos superficiales.

## 4.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

### 4.4.1 Tipos de Técnicas e Instrumentos

Fuentes secundarias de recolección de datos:

Las fuentes secundarias fueron los Manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Tesis pasadas relacionadas con el tema, Libros y manuales internacionales de países como Estados Unidos y artículos científicos. Estos documentos servirán para poder obtener todo el marco teórico, así como para el desarrollo de la tesis en cuanto al análisis de las metodologías de evaluación superficial internacionales para determinar cuál de ellas puede ser aplicada al Perú.

### 4.4.2 Criterios de Validez y Confiabilidad

La validez del contenido se refiere al grado en que un instrumento refleja un dominio específico de contenido de lo que se mide (Hernández, Fernando y Baptista, 2014, p201).

La validez del contenido de los instrumentos registrados en las fichas de recolección del presente estudios, fue realizado por juicio de expertos, ingenieros especialistas del tema de investigación de la escuela de ingeniería civil de la Universidad Ricardo Palma, así como también la matriz de consistencia, coherencia, suficiencia y calidad con los que están redactados los instrumentos mencionados.

### 4.4.3 Procedimientos para la Recolección de Datos

Toda la información recolectada se basa en investigación bibliográfica por lo que el procedimiento de recolección consiste en utilizar base de datos académicas y la revisión de publicaciones oficiales de los Ministerios de transportes u otros órganos responsables de la gestión vial en Perú y a nivel de América.

#### 4.5 Técnicas para el Procesamiento y Análisis de la Información

Para la búsqueda inicial de los libros, manuales, paper y diversas investigaciones, se realizará una búsqueda en las bases de datos utilizando las siguientes combinaciones de palabras “pavimentos básicos”, “tratamiento superficial”, “pavimentos para tránsito bajo”, “índice de condición superficial”, “fallas superficiales”, “serviciabilidad”, tanto en español como en inglés. Una vez encontradas las fuentes, se procederá a seleccionar aquellas que contengan metodologías completas que permitan determinar el índice de condición de la superficie de los pavimentos básicos. Posteriormente se explicará el detalle de cada proceso, realizando una comparación a nivel de tipo de fallas que considera, cuantificación de las fallas y método de cálculo del indicador final, además de la clasificación y rangos de dichos indicadores.

Finalmente se seleccionará la metodología más idónea para ser aplicada en un caso específico en Perú, que ya haya sido evaluada mediante otro método como el PCI, para poder analizar y validar la metodología.

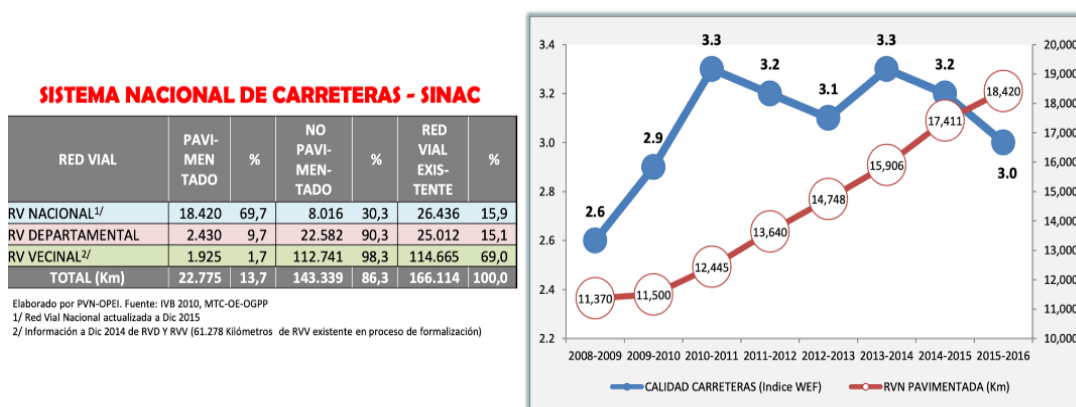
## CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.1 Diagnóstico y Situación Actual

#### 5.1.1 Data de Antecedentes de Viales

Actualmente tenemos un 30% de vías no pavimentadas correspondientes a las redes nacionales.

Tabla 3 - Situación de vías no pavimentadas en función de la Red Vial Nacional.



Fuente: Provias Nacional

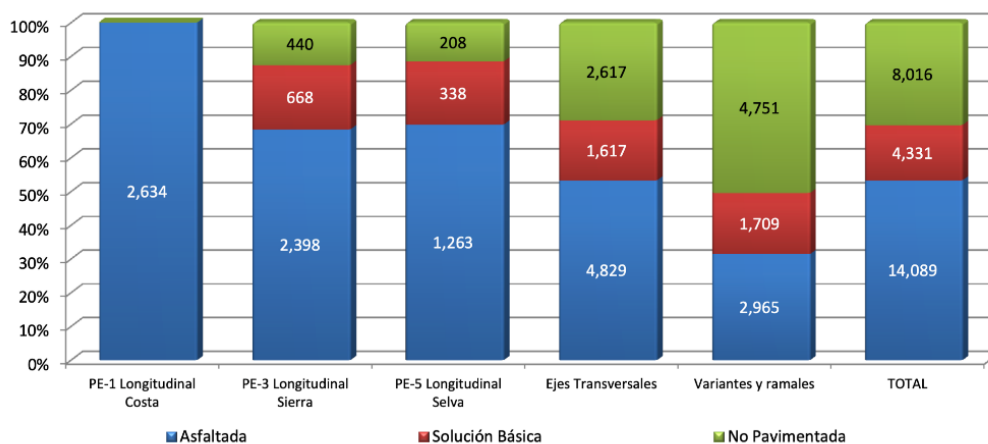


Figura 4 - Distribución porcentual de Vías según ubicación geográfica y condiciones de la Vía.

Fuente: Provias Nacional

### 5.1.2 Herramientas de recolección de datos

- Tablas de diseño.
- Manual de diseño.
- Análisis de precios unitarios e insumos de CAPECO.
- Ensayos de laboratorio.
- Pruebas de canteras (CBR, PROCTOR MODIFICADO).
- Normas de diseño de vía de bajo volumen de tránsito.
- Hojas de cálculos de presupuesto.

## 5.2 Presentación de Resultados

Luego de haber investigado sobre la aplicación mortero asfáltico Slurry Seal según los estándares nacionales, sirve para la conservación de las superficies de rodadura; en el caso de bases granulares o suelos naturales, brinda una capa que impermeabiliza y protege de la humedad, de tal manera la aplicación del Slurry Seal en una Vía no Pavimentada (sin carpeta de rodadura), genera una optimización de costos al reducir la frecuencia de mantenimientos necesarios para que la vía se mantenga en un correcto estado. De esta manera se puede deducir que la aplicación del Slurry seal genera una optimización en los costos de mantenimiento al reducir la frecuencia de mantenimientos. Haciendo notar que, al tener una adecuada estructura del pavimento, se genera reduce la frecuencia se mantenimiento y a la vez optimiza los costos de mantenimiento. También hacemos notar que la condición de la vía sin carpeta de rodadura influye de manera negativa en esta optimización de costos y por último determinamos que la adecuada aplicación del Slurry Seal, prologa el tiempo en el cual se genera la fase de deterioro.

### 5.2.1 Índice de Vías no Pavimentadas en la Red Vial Nacional

La información es en unidades de KM.

Tenemos 34% de vías en estado de afirmado o Base y un 66 % de vías no afirmadas a nivel de terreno natural.

Tabla 4 - Situación de kilometraje de Vías No Pavimentadas según condición de Afirmado.

<b>NO PAVIMENTADA</b>			
<b>AFIRMADA</b>		<b>NO AFIRMADA</b>	
<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>%</b>
<b>41,126.21</b>	<b>34%</b>	<b>80,847.59</b>	<b>66%</b>
<b>TOTAL (100%)</b>			
<b>121,973.80</b>			

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones

### 5.2.2 Media de Costos de Mantenimiento en Vías no Pavimentadas

En los caminos no pavimentados, que vienen a ser en este caso los caminos afirmados con material granular se puede medir la serviciabilidad, de acuerdo a las diferentes medidas de control como son el perfilado, la rugosidad y el espesor de la capa del afirmado, para poder obtener un nivel de serviciabilidad adecuado, se tendrá que emplear en conjunto el tratamiento granular convencional. El cual comprende:

- MANTENIMIENTO RUTINARIO MANUAL
- MANTENIMIENTO RUTINARIO MECÁNICO
- MANTENIMIENTO PERIÓDICO

Tabla 5 - Costos Medios de Mantenimiento para Vías no Pavimentadas con Material Granular Convencional.

<b>MANTENIMIENTO GRANULAR CONVENCIONAL</b>	
<b>TIPO DE MANTENIMIENTO</b>	<b>COSTO / KM (S/.)</b>
MANTENIMIENTO RUTINARIO MANUAL	S/13,826.90
MANTENIMIENTO RUTINARIO MECANIZADO	S/14,191.12
MANTENIMIENTO PERIODICO	S/50,846.20
<b>TOTAL</b>	<b>S/78,864.22</b>

Fuente: Propia

### 5.2.3 Media de Costos de Mantenimiento en Vías no Pavimentadas con Slurry Seal

Para el caso del tratamiento de Slurry Seal una vez aplicado o rehabilitado, se le aplicará el tratamiento superficial, con una imprimación mediante emulsión asfáltica y el slurry seal. Mediante el cual se superpone a las reparaciones realizadas; a los controles de fisuras, baches, ahuellamiento, textura superficial, rugosidad y deflexiones que proporcionan un adecuado nivel de servicio, en base a un costo por km; teniendo como resultado final una superficie de rodadura lisa y uniforme, donde quedan ocultas las reparaciones y controles.

Tabla 6 - Costos Medios de Mantenimiento para Vías no Pavimentadas con Slurry Seal.

<b>MANTENIMIENTO POR SLURRY SEAL</b>	
<b>TIPO DE MANTENIMIENTO</b>	<b>COSTO / KM (S/.)</b>
SLURRY SEAL	S/105,120.40
MANTENIMIENTO MANUAL	S/10,704.30
<b>TOTAL</b>	<b>S/115,824.70</b>

Fuente: Propia.

## 5.3 Análisis de Resultados

### 5.3.1 Cuantificación de Costos Optimizados por el Uso de Slurry Seal

Se realizó una proyección de costos por KM. en un periodo de 04 años. Para cada uno de las intervenciones en ambos tratamientos, las cuales deben de ser aplicados para su conservación. Por lo cual contemplamos los siguientes tipos de mantenimientos.

Tabla 7 - Frecuencia de Mantenimiento para Vías No Pavimentadas con Material Granular Convencional.

<b>MANTENIMIENTO GRANULAR CONVENCIONAL</b>	
MANTENIMIENTO RUTINARIO MECANIZADO	02 VECES CADA AÑO
MANTENIMIENTO RUTINARIO MANUAL	PERMANENTE
MANTENIMIENTO PERIODICO	CADA 04 ANOS

Fuente: Propia.



Tabla 8 - Frecuencia de Mantenimiento para Vías No Pavimentadas con Slurry Seal.

<b>MANTENIMIENTO POR SLURRY SEAL</b>	
MANTENIMIENTO RUTINARIO MANUAL	PERMANENTE
MANTENIMIENTO PERIODICO	CADA 04 AÑOS

Fuente: Propia.

Para los ciclos establecidos obtendremos los siguientes cuadros para un periodo de 04 años, con lo que obtendremos una diferencia de S/. 71,745.16 el cual demuestra que el tratamiento superficial de slurry seal es económicamente más rentable que el tratamiento convencional granular convencional en el tiempo. Lo cual optimiza los costos en vías no pavimentadas.

Tabla 9 - Costos de Mantenimiento de Vías No Pavimentados para un periodo de 4 años según frecuencia de mantenimiento.

<b>MANTENIMIENTO GRANULAR CONVENCIONAL</b>			
<b>TIPO DE MANTENIMIENTO</b>	<b>COSTO / KM (S/.)</b>	<b>N DE VECES EN 4 AÑOS</b>	<b>TOTAL (S/.)</b>
MANTENIMIENTO RUTINARIO MANUAL	S/13,826.90	4	S/55,307.60
MANTENIMIENTO RUTINARIO MECANIZADO	S/14,191.12	8	S/113,528.96
MANTENIMIENTO PERIODICO	S/50,846.20	1	S/50,846.20
<b>TOTAL</b>	<b>S/78,864.22</b>		<b>S/219,682.76</b>

Fuente: D&G Maquinarias y Servicios SAC.

Se tiene en cuenta que los precios están por costos globales, entre operarios y capataz sumando un total de 7 personas. Así mismo, se indica que el costo es en particular de una vía a la cual se realizó mantenimiento, en un acceso de vía no pavimentada; donde el transporte, herramientas y equipos son escasos.

Tabla 10 - Costos de Mantenimiento en Vías no Pavimentadas desagregados por semestre.

MANTENIMIENTO GRANULAR CONVENCIONAL	TIPO DE MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO RUTINARIO MANUAL	MANTENIMIENTO RUTINARIO MECANIZADO	MANTENIMIENTO PERIODICO	TOTAL
	COSTO / KM (S/.)	S/13,826.90	S/14,191.12	S/50,846.20	S/78,864.22
	N DE VECES EN 4 AÑOS	4	8	1	
	AÑO 1 - mes 06	S/6,913.45	S/14,191.12	S/6,355.78	S/27,460.35
	AÑO 1 - mes 12	S/13,826.90	S/28,382.24	S/12,711.55	S/54,920.69
	AÑO 2 - mes 18	S/20,740.35	S/42,573.36	S/19,067.33	S/82,381.04
	AÑO 2 - mes 24	S/27,653.80	S/56,764.48	S/25,423.10	S/109,841.38
	AÑO 3 - mes 30	S/34,567.25	S/70,955.60	S/31,778.88	S/137,301.73
	AÑO 3 - mes 36	S/41,480.70	S/85,146.72	S/38,134.65	S/164,762.07
	AÑO 4 - mes 42	S/48,394.15	S/99,337.84	S/44,490.43	S/192,222.42
	AÑO 4 - mes 48	S/55,307.60	S/113,528.96	S/50,846.20	S/219,682.76
	TOTAL (S/.)	S/55,307.60	S/113,528.96	S/50,846.20	S/219,682.76

Fuente: Propia.

Tabla 11 -Costos de Mantenimiento de Vías No Pavimentados con Slurry Seal para un periodo de 4 años según frecuencia de mantenimiento.

MANTENIMIENTO POR SLURRY SEAL			
TIPO DE MANTENIMIENTO	COSTO / KM (S/.)	N DE VECES EN 4 AÑOS	TOTAL (S/.)
SLURRY SEAL	S/105,120.40	1	S/105,120.40
MANTENIMIENTO MANUAL	S/10,704.30	4	S/42,817.20
<b>TOTAL</b>	<b>S/115,824.70</b>		<b>S/147,937.60</b>

Fuente: Propia.

Tabla 12 - Costos de Mantenimiento en Vías no Pavimentadas con Slurry Seal, desagregados por semestre.

MANTENIMIENTO POR SLURRY SEAL	TIPO DE MANTENIMIENTO	SLURRY SEAL	MANTENIMIENTO MANUAL	TOTAL
	COSTO / KM (S/.)	S/105,120.40	S/10,704.30	S/115,824.70
	N DE VECES EN 4 AÑOS	1	4	
	AÑO 1	S/13,140.05	S/5,352.15	S/18,492.20
	AÑO 1	S/26,280.10	S/10,704.30	S/36,984.40
	AÑO 2	S/39,420.15	S/16,056.45	S/55,476.60
	AÑO 2	S/52,560.20	S/21,408.60	S/73,968.80
	AÑO 3	S/65,700.25	S/26,760.75	S/92,461.00
	AÑO 3	S/78,840.30	S/32,112.90	S/110,953.20
	AÑO 4	S/91,980.35	S/37,465.05	S/129,445.40
	AÑO 4	S/105,120.40	S/42,817.20	S/147,937.60
	TOTAL (S/.)	S/105,120.40	S/42,817.20	S/147,937.60

Fuente: Propia.

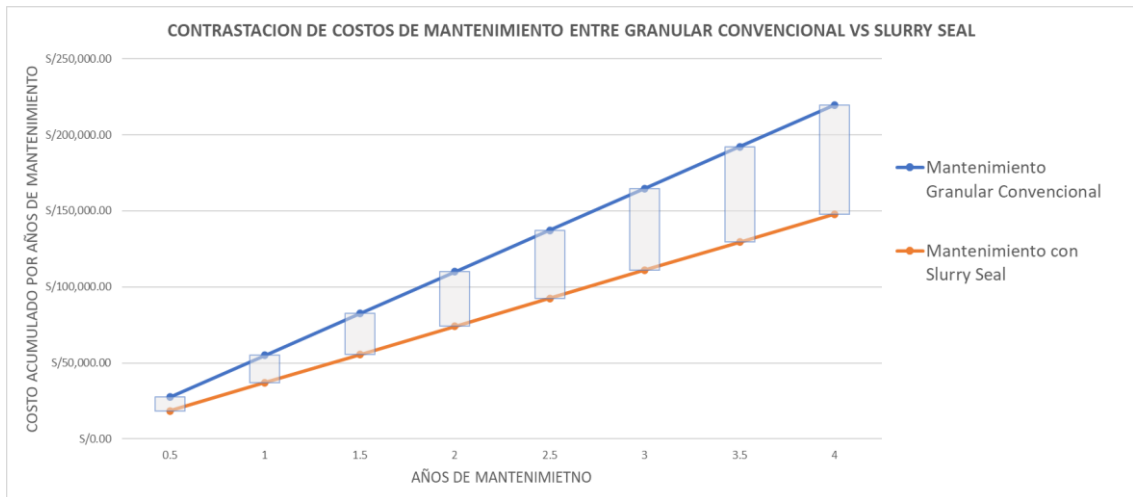


Figura 5 - Contrastación de Costos de Mantenimiento en Vías No Pavimentadas, entre acabado de Material Granular Convencional versus Slurry Seal

Fuente: Propia.

Tabla 13 - Tabla Cruzada de Costos de Mantenimiento en Vías no Pavimentadas en función de su acabado Granular Convencional o acabado con Slurry Seal.

Tabla cruzada COSTOMANTENIMIENTO\_CON\_SLURRY\_SEAL\*MANTENIMIENTO\_GRANULAR\_CONVENCIONAL

		MANTENIMIENTO_GRANULAR_CONVENCIONAL								Total	
		1	S/54,920.69	S/82,381.04	S/109,841.38	S/137,301.73	S/164,762.07	S/192,222.42	S/219,682.76		
COSTOMANTENIMIENTO _CON_SLURRY_SEAL	S/18,492.20	Recuento	1	0	0	0	0	0	0	0	1
		Recuento esperado	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	1.0
		% del total	12.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%
	S/36,984.40	Recuento	0	1	0	0	0	0	0	0	1
		Recuento esperado	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	1.0
		% del total	0.0%	12.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%
	S/55,476.60	Recuento	0	0	1	0	0	0	0	0	1
		Recuento esperado	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	1.0
		% del total	0.0%	0.0%	12.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%
	S/73,968.80	Recuento	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		Recuento esperado	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	1.0
		% del total	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%
	S/92,461.00	Recuento	0	0	0	0	1	0	0	0	1
		Recuento esperado	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	1.0
		% del total	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%
	S/110,953.20	Recuento	0	0	0	0	0	1	0	0	1
		Recuento esperado	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	1.0
		% del total	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%	0.0%	0.0%	12.5%
	S/129,445.40	Recuento	0	0	0	0	0	0	1	0	1
		Recuento esperado	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	1.0
		% del total	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%	0.0%	12.5%
	S/147,937.60	Recuento	0	0	0	0	0	0	0	1	1
		Recuento esperado	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	1.0
		% del total	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%	12.5%
Total		Recuento	1	1	1	1	1	1	1	1	8
		Recuento esperado	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	8.0
		% del total	12.5%	12.5%	12.5%	12.5%	12.5%	12.5%	12.5%	12.5%	100.0%

Fuente: Propia.

Tabla 14 - Correlación entre variables.

**Correlaciones**

		MANTENIMIENTO_GRANULAR_CONVENCIONAL	COSTOMANTENIMIENTO_CON_SLURRY_SEAL
MANTENIMIENTO_GRANULAR_CONVENCIONAL	Correlación de Pearson	1	1.000**
	Sig. (bilateral)		.000
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	42.000	42.000
	Covarianza	6.000	6.000
	N	8	8
COSTOMANTENIMIENTO_CON_SLURRY_SEAL	Correlación de Pearson	1.000**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	42.000	42.000
	Covarianza	6.000	6.000
	N	8	8

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Propia.

Al generar la calificación estadística de la correlación entre las variables de costos de mantenimiento. Basados en el puntaje obtenido de la correlación de Pearson, siendo este 1, se interpreta que los valores indican una correlación positiva, en la que los valores de ambas variables tienden a incrementarse juntos.

#### 5.4 Contrastación de Hipótesis

Al haber desarrollado el análisis de la aplicación de Slurry Seal para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas, se presenta la comprobación de hipótesis planteadas.

##### 5.1.1 Hipótesis general

Hipótesis Alternativa (H<sub>i</sub>): La aplicación de Slurry Seal influye significativamente en la optimización de costos en mantenimiento para vías no pavimentadas.

Hipótesis Nula (Ho): La aplicación de Slurry Seal no influye significativamente en la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.

#### 5.1.2 Hipótesis específica 1

Hipótesis Alterna (Hi1): La estructura del pavimento influye significativamente para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.

Hipótesis Nula (Ho1): La estructura del pavimento no influye significativamente para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.

De acuerdo al análisis realizado se determina que la estructura del pavimento influye significativamente para la optimización de costos de mantenimiento, ya que genera menor presencia de fallas en la base, disminuyendo los costos por reparaciones en los mantenimientos periódicos; por lo cual influye para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.

#### 5.1.3 Hipótesis específica 2

Hipótesis Alterna (Hi2): La condición de vías no pavimentadas o sin capa de rodadura influyen significativamente para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.

Hipótesis Nula (Ho2): La condición de vías no pavimentadas o sin capa de rodadura no influyen significativamente para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.

Del análisis realizado se encuentra que debido a las propiedades físicas que tiene una vía sin carpeta de rodadura, se encuentra vulnerable ante su exposición a la intemperie; en especial al lavado del material fino a causa de las precipitaciones. Es por ello que la condición de la vía sin carpeta de rodadura influye de manera negativa para la optimización de costos de mantenimiento.

### 5.1.4 Hipótesis específica 3

Hipótesis Alternativa (Hi3): La adecuada aplicación de Slurry Seal influye significativamente para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.

Hipótesis Nula (Ho2): La adecuada aplicación de Slurry Seal no influye significativamente para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.

Con el estudio realizado se identifica que de los componentes están basados según dosificación y consistencia y los tipos de slurry seal según el espesor, lo cual asegura que una adecuada aplicación del Slurry Seal, genera una fase de deterioro prolongado y controlable; que influye en el costo de mantenimiento para vías no pavimentadas

Tabla 15 - Evaluación de consistencia por Pruebas de Chi-Cuadrado

### Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	56.000 <sup>a</sup>	49	.229
Razón de verosimilitud	33.271	49	.958
Asociación lineal por lineal	7.000	1	.008
N de casos válidos	8		

a. 64 casillas (100.0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es .13.

Fuente: Propia.

Así mismo siendo la prueba de **chi-cuadrado de Pearson** la que contrasta si las diferencias observadas entre los dos grupos son atribuibles al azar. Ho=Sí

hay independencia entre las variables ( $p > 0,05$ )  $H_1 =$  No hay independencia entre las variables ( $p < 0,05$ ), o bien las variables son dependientes. Teniendo en cuenta que el puntaje fue de 0.13.

Tabla 16 - Medidas Simétricas.

		Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>
Intervalo por intervalo	R de Pearson	1.000	.000 <sup>b</sup>
Ordinal por ordinal	Correlación de Spearman	1.000	.000 <sup>b</sup>
N de casos válidos		8	

a. No se presupone la hipótesis nula.

b. Se basa en aproximación normal.

Fuente: Propia.

Según el análisis realizado en el programa estadístico SPSS se encuentra un total de 8 casos válidos teniendo en cuenta un lineamiento progresivo basado en semestres, teniendo dos mantenimientos por año, sumando un total de 8 mantenimientos en 4 años.

Como no se presupone la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alterna.

## CONCLUSIONES

1. Para La aplicación del Slurry Seal en una Vía no Pavimentada (sin carpeta de rodadura), genera una optimización de costos al reducir la frecuencia de mantenimientos necesarios para que la vía se mantenga en un correcto estado, a su vez que logra extender la Vida Útil de la vía, protegiendo las bases. Concluyendo que la aplicación de Slurry Seal influye para la optimización de costos en mantenimiento para vías no pavimentadas.
2. Así mismo se concluye que una adecuada estructura del pavimento, genera menor presencia de fallas en la base, disminuyendo los costos por reparaciones en los mantenimientos periódicos; por lo cual influye para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas.
3. Debido a las propiedades físicas que tiene una vía sin carpeta de rodadura, se encuentra vulnerable ante su exposición a la intemperie; en especial al lavado del material fino a causa de las precipitaciones. Es por ello que la condición de la vía sin carpeta de rodadura influye de manera negativa para la optimización de costos de mantenimiento.
4. Con el estudio de los componentes y tipos de slurry seal, se logra identificar la correcta composición del mortero y el adecuado espesor del mismo, asegurando una adecuada aplicación del Slurry Seal; generando una fase de deterioro prolongado y controlable; que influye en el costo de mantenimiento para vías no pavimentadas.



## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el empleo del uso del Slurry seal como solución básica para vías de bajo volumen de tránsito, ya que es más rentable económicamente que una carpeta asfáltica (vía pavimentada), cumpliendo con brindar la suficiente serviciabilidad al tránsito.
2. Se recomienda la aplicación de Slurry Seal en Vías no Pavimentadas y trochas carrozables porque aumenta la Vida Útil, evitando el costo de restauración de las bases.
3. Se recomienda la aplicación de Slurry Seal para el mantenimiento de Vías Pavimentadas, para la conservación de todas las Superficies de Rodadura, evitando que llegue a un nivel de desgaste crítico que reduzca su Vida Útil. (Se recomienda la conservación de la superficie de rodadura tras el tratamiento de fisuras de un pavimento existente, cuando ya existe deterioro).
4. Se recomienda la aplicación de Slurry Seal en Vías no Pavimentadas para proyectos nuevos, ya que la Optimización de Costos genera un ahorro significativo a lo largo del tiempo.
5. Colocar slurry seal como superficie de rodadura en un camino no pavimentado de tipo afirmado para evitar la pérdida de agregados e impermeabilizar el paquete estructural de manera que prolongue su vida útil y la inversión de la infraestructura vial no se pierda

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Mancha de la Cruz, R. (2016). “*Análisis comparativo del costo por niveles de serviciabilidad entre el tratamiento superficial slurry seal y el tratamiento granular convencional*” (Tesis), Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.
- Gómez Huanca, Christian (2017). “*Uso y aplicaciones de las emulsiones asfálticas*” (Tesis de pregrado). Universidad de José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú.
- Humpiri Pineda, K. (2015). “*Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región puno*” (Tesis), Universidad Nacional Andina Néstor Cáceres Vázquez, Juliaca, Perú.
- Ochoa Maldonado, D. (2017). “*Optimizaciones de recursos económicos en conservación de pavimentos rurales de tercera clase utilizando un sistema de gestión de pavimentos en el método estocástico – probabilístico*” (Tesis), Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú.
- Pequeño Otoya, D. (2015). “*Comparación de costo y tecnología de mantenimiento utilizando slurry seal y mantenimiento convencional en un pavimento flexible*” (Tesis), Universidad Peruana del Norte, Lima, Perú.
- Saldaña Yauri, B. (2018). “*Rehabilitación y mantenimiento en vías de bajo volumen de tránsito nivel de tratamiento superficial seal Canayre - puerto palmeras*” (Tesis), Universidad San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Criollo Ortiz, C. (2020). “*Análisis técnico -económico entre el tratamiento superficial slurry y bicapa para la corona de la presa pohechos (desde km 3+600 hasta km 7+500) distrito lancones*”. (tesis), Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.
- Quintana López, J. (2018). “*Mortero asfáltico o slurry seal como tratamiento superficial para pavimentos de afirmado*” (Tesis), Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

- Torres Córdova, M. (2018). “*Tratamiento superficial de slurry seal para el mejoramiento de la carretera santa rosa a san francisco del rio mayo*” (Tesis), Universidad Cesar Vallejo, Tarapoto, Perú.
- Ortega Campana, N. (2020). “*Comparación de costo y tecnología de mantenimiento utilizando slurry seal y método convencional en un pavimento flexible*” (Tesis), Universidad San Antonio de Abad de Cusco, Cusco, Perú.
- Amaya León, L. (2015). “*Estudio de tratamiento superficial de slurry seal para conservación de pavimentos flexibles, incorporando gravas finas para mejorar características de textura superficial*” (Tesis), Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Gutiérrez Soto, M. (2017). “*Planificación y gestión de infraestructuras*” (Tesis), Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Faura Castiblanco, J. (2015). “*Potencialidades turísticas del municipio de Tipacope; estrategia para su desarrollo local*” (Tesis), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Orellana Jiménez, M. (2015). “*Propuesta de diseño y proceso constructivo de lechada asfáltica en el mantenimiento de obras viales en el salvador*” (Tesis), Universidad De El Salvador, El Salvador.
- Del Rosario Brito, A. (2016). “*Diseño de un plan de mantenimiento para infraestructura viales en la republica dominicana. aplicación a la carretera el seibo - hato mayor*” (Tesis), Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Gonzales Morgado, D. (2018). “*Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo transito*” (Tesis), Universidad Andrés Bello, Santiago de Chile, Chile.
- Alvarado Ortiz, J. (2015). “*Propuesta de un programa de mantenimiento de la vía Izamba Pillaro, provincia de Tungurahua*” (Tesis), Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Quito, Ecuador.

- Villavicencio Figueroa, C. (2015). *“Impacto de la aplicación de nuevas tecnologías de sellado con capa de protección asfáltica, en los plazos, costos y calidad de construcción de caminos secundarios en Chile”* (Tesis), Universidad De Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Molano Cardoso, J. (2016). *“Material de sellado asfáltico para el mantenimiento rutinario de la red vial”* (Tesis), Universidad Piloto de Colombia, Colombia.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. Lima. 2013.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Carreteras Conservación Vial. Lima. 2013.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Carreteras – Sección Suelos y Pavimentos. Lima. 2014.
- ASFALTOS, T. (2014). Mejoramiento de base granular con emulsiones asfálticas y colocación de Slurry Seal - MEMORIAS DE DISEÑO. Lima, Perú.

## ANEXOS

### ANEXO 1: Matriz de consistencia

TÍTULO	Aplicación de Slurry Seal para la optimización de costos en mantenimiento para vías no pavimentadas.							
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	INSTRUMENTO	HERRAMIENTAS
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente		QUÉ MIDE	EN QUÉ SE MIDE	FORMA DE MEDICIÓN	DE DONDE SE SACA LA INFORMACIÓN
¿De qué manera la aplicación de Slurry Seal influencia en la optimización de costos en mantenimiento para vías no pavimentadas?	Determinar que la aplicación de Slurry Seal influye para la optimización de costos en mantenimiento para vías no pavimentadas.	La aplicación de Slurry Seal influye significativamente para la optimización de costos en mantenimiento para vías no pavimentadas.	Aplicación de Slurry Seal	Estructura del pavimento	Diseño de carpeta asfáltica	Centímetros (cm)	Tabla del Manual de Carreteras - Sección Suelos y Pavimentos	Manual de diseño
					Capacidad portante	Porcentaje (%)	Ensayos de Laboratorio	Ensayo CBR
					Compactación de suelo	Porcentaje de Humedad (%)	Ensayos de Laboratorio	Ensayo Proctor Modificado
				Vías no pavimentadas o sin carpeta de rodadura	Bases mejoradas	Propiedades Físicas	Ensayos de Laboratorio	Manual de diseño
					Morteros asfálticos	Propiedades Físicas	Ensayos de Laboratorio	Granulometría
					Emulsiones asfálticas	Dosificación y Consistencia	Ensayos de Laboratorio	Granulometría
				Slurry Seal	Componentes de Slurry Seal	Dosificación y Consistencia	Adimensional	Tablas de Diseño
					Tipos de Slurry Seal	Milímetros (mm)	Medición In situ (regla)	Cuadro de Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular

Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable Dependiente						
1. ¿De que manera la Estructura del pavimento influye para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas?	1. Determinar que la estructura del pavimento influye para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas	1. La estructura del pavimento influye significativamente para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas	costos de mantenimiento	Deterioro en la vida útil de una vía	Fases de deterioro	Años	Tablas de Diseño	Norma de Diseño de Vías de Bajo Volumen de Transito	
					Frecuencia de Mantenimiento	Meses	Curva de Deterioro	Norma de Diseño de Vías de Bajo Volumen de Transito	
2. ¿De que manera la condición de vías no pavimentadas o sin capa de rodadura influyen para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas?	2. Determinar que la condición de vías no pavimentadas o sin capa de rodadura influyen para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas	2. La condición de vías no pavimentadas o sin capa de rodadura influyen significativamente para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas		Conservación de vías		Tipos de tratamiento	Porcentaje de Perdida (%)	Inspección Visual	Inspección de Campo
						Tipos de fallas	Metros Cuadrados (m2)	Metrado en Campo	Inspección de Campo
3. ¿De que manera la adecuada aplicación de Slurry Seal influye para la optimización de costos de mantenimiento en vías no pavimentadas?	3. Determinar que la adecuada aplicación de Slurry Seal influye para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas	3. La adecuada aplicación de Slurry Seal influye significativamente para la optimización de costos de mantenimiento para vías no pavimentadas		Costos de mantenimiento		Costos de mantenimiento a vías no pavimentadas	Soles (S/.)	Analisis de Costo Unitario	Tablas Referenciales de CAPECO
						Costos de Mantenimiento de vías con Slurry Seal	Soles (S/.)	Analisis de Costo Unitario	Tablas Referenciales de CAPECO

## ANEXO 2: Matriz de Operacionalización

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	INSTRUMENTO	HERRAMIENTAS
Variable Independiente		QUÉ MIDE	EN QUÉ SE MIDE	FORMA DE MEDICION	DE DONDE SE SACA LA INFORMACIÓN
Aplicación de Slurry Seal	Estructura del pavimento	Diseño de carpeta asfáltica	Centímetros (cm)	Tabla del Manual de Carreteras - Sección Suelos y Pavimentos	Manual de diseño
		Capacidad portante	Porcentaje (%)	Ensayos de Laboratorio	Ensayo CBR
		Compactación de suelo	Porcentaje de Humedad (%)	Ensayos de Laboratorio	Ensayo Proctor Modificado
	Vías no pavimentadas o sin carpeta de rodadura	Bases mejoradas	Propiedades Físicas	Ensayos de Laboratorio	Manual de diseño
		Morteros asfálticos	Propiedades Físicas	Ensayos de Laboratorio	Granulometría
		Emulsiones asfálticas	Dosificación y Consistencia	Ensayos de Laboratorio	Granulometría
	Slurry Seal	Componentes de Slurry Seal	Dosificación y Consistencia	Adimensional	Tablas de Diseño
		Tipos de Slurry Seal	Milímetros (mm)	Medición In situ (regla)	Cuadro de Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular

Variable Dependiente					
costos de mantenimiento	Deterioro en la vida útil de una vía	Fases de deterioro	Años	Tablas de Diseño	Norma de Diseño de Vías de Bajo Volumen de Transito
		Frecuencia de Mantenimiento	Meses	Curva de Deterioro	Norma de Diseño de Vías de Bajo Volumen de Transito
	Conservación de vías	Tipos de tratamiento	Porcentaje de Perdida (%)	Inspección Visual	Inspección de Campo
		Tipos de fallas	Metros Cuadrados (m <sup>2</sup> )	Metrado en Campo	Inspección de Campo
	Costos de mantenimiento	Costos de mantenimiento a vías no pavimentadas	Soles (S/.)	Analisis de Costo Unitario	Tablas Referenciales de CAPECO
		Costos de Mantenimiento de vías con Slurry Seal	Soles (S/.)	Analisis de Costo Unitario	Tablas Referenciales de CAPECO