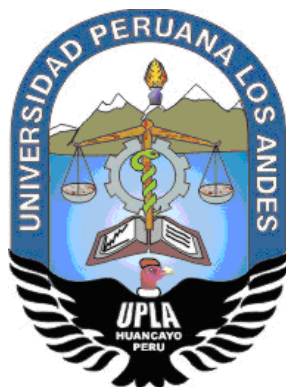


UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**COMPORTAMIENTO DEL SLURRY SEAL PARA EL
MANTENIMIENTO DE LA SUPERFICIE ASFÁLTICA,
EL TAMBO**

Línea de investigación de la Universidad:

TRANSPORTE Y URBANISMO

Línea de investigación de la escuela Profesional de Ingeniería Civil:

TRANSPORTE

PRESENTADO POR:

Bach. TORRES CCOYLLAR, YVONNE HELEN

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

HUANCAYO – PERÚ

2019

Asesor Metodológico
M Sc. Tiber Joel Cano Camayo

Asesor Temático
Ing. Carlos Flores Espinoza

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este momento.

A mis queridos padres Irene y Nicanor, por su gran confianza, esfuerzo y apoyo incondicional, a mis hermanos Juscel, Nyckol y Jhuanirk, por su motivación constante.

Yvonne Helen Torres Ccoyllar

AGRADECIMIENTO

A mis asesores Ing. Tiber J. Cano Camayo e Ing. Carlos Flores Espinoza, por su apoyo y orientación, así mismo agradecer al Ing. Julio B. Nakandakare Santana por brindarme su apoyo incondicional para el desarrollo y culminación de la presente tesis.

Yvonne Helen Torres Ccoyllar

HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS

Dr. Casio Aurelio Torres López
PRESIDENTE

Ing. JULIO FREDY PORRAS MAYTA
JURADO

Ing. JUAN JOSÉ BULLÓN ROSAS
JURADO

Ing. MARIA LUISA MUERAS GUTIERREZ
JURADO

Mg. Miguel Ángel Carlos Canales
SECRETARIO GENERAL

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xiii
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCION	xvii
CAPITULO I	19
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	19
1.1. Planteamiento del problema	19
1.2. Formulación y sistematización del problema.....	20
1.2.1. Problema general	20
1.2.2. Problemas específicos	20
1.3. Justificación	21
1.3.1. Práctica o social	21
1.3.2. Metodológica	21
1.4. Delimitaciones	21
1.4.1. Espacial.....	21
1.4.2. Temporal	21
1.4.3. Económica	22
1.5. Limitaciones.....	22
1.6. Objetivos.....	22

1.6.1. Objetivo general	22
1.6.2. Objetivos específicos.....	23
CAPITULO II	24
MARCO TEORICO	24
2.1. Antecedentes	25
2.2. Marco conceptual.....	29
2.2.1. Normatividad	29
2.2.2. Mantenimiento de la superficie asfáltica	30
2.2.3. Fallas en pavimentos flexibles	33
2.2.4. Tratamientos superficiales	34
2.2.5. Comportamiento del slurry seal	34
2.2.6. Tipos y aplicaciones de Slurry Seal	35
2.2.7. Componentes del slurry seal	36
2.2.8. Método de diseño del Slurry Seal según la ISSA	45
2.2.9. Proceso constructivo del slurry seal.....	47
2.3. Definición de términos	49
2.4. Hipótesis	51
2.4.1. Hipótesis general.....	51
2.4.2. Hipótesis específicas	51
2.5. Variables.....	51
2.5.1. Definición conceptual de la variable.....	51
2.5.2. Definición operacional de la variable	52
2.5.3. Operacionalización de las variables.....	53
CAPITULO III	54
METODOLOGIA.....	54
3.1. Método de investigación	54
3.2. Tipo de investigación	54

3.3. Nivel de investigación	55
3.4. Diseño de investigación	55
3.5. Población y muestra	56
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	56
3.7. Procesamiento de la información	57
3.8. Técnicas y análisis de datos	86
CAPITULO IV	87
RESULTADOS	87
CAPITULO V	111
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	111
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
ANEXOS.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rangos de Calificación del PCI	31
Tabla 2 Granulometría de los agregados	37
Tabla 3 Requerimientos para los agregados.....	37
Tabla 4 Límites de los componentes del Slurry Seal.....	44
Tabla 5 Especificaciones para el diseño del slurry seal	45
Tabla 6 Tratamiento superficial con slurry seal	47
Tabla 7 Operacionalización de las variables	53
Tabla 8 Ensayos para los agregados	60
Tabla 9 Ensayos para la emulsión asfáltica	67
Tabla 10 Ensayos para el diseño de Slurry Seal	68
Tabla 11 Rangos de Clasificación del PCI	80
Tabla 12 Factor de corrección promedio para vehículos.....	81
Tabla 13 Especificaciones para granulometría de los agregados.....	82
Tabla 14 Especificaciones de los ensayos para el agregado	82
Tabla 15 Especificaciones de las características de la emulsión asfáltica.....	83
Tabla 16 Especificaciones de los ensayos para el diseño de slurry seal.....	85
Tabla 17 Absorción máxima admisible de arena.....	85
Tabla 18 Costo de mano de obra de la municipalidad distrital de El tambo.....	85
Tabla 19 Costo de materiales para el slurry seal	85
Tabla 20 Costo de equipos para colocación del slurry seal.....	86
Tabla 21 Características principales de la vía en estudio para la evaluación ...	88
Tabla 22 Áreas de las unidades de muestreo	88
Tabla 23 Resumen de la evaluación de las unidades de muestreo.....	89
Tabla 24 Condición actual de la vía en estudio	90
Tabla 25 Rangos de Clasificación del PCI	90
Tabla 26 Detalles de la muestra.....	91
Tabla 27 Análisis granulométrico del agregado.....	92
Tabla 28 Pérdidas totales del agregado.....	93
Tabla 29 Resultado del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio	93
Tabla 30 Desgaste del agregado	94
Tabla 31 Resultados de ensayo de abrasión los Ángeles	94
Tabla 32 Equivalente de arena del agregado.....	94
Tabla 33 Resultado del ensayo de equivalente de arena	95
Tabla 34 Resultados del ensayo de azul de metileno	95
Tabla 35 Resultado del ensayo de adherencia Riedel Weber	96
Tabla 36 Resultados de las características de la Emulsión asfáltica	96
Tabla 37 Resultados de Análisis de agua	97
Tabla 38 Granulometría del agregado	98
Tabla 39 Porcentaje de agregado retenido respecto al tamiz.....	98
Tabla 40 Contenido teórico de emulsión asfáltica	99

Tabla 41 Mezclas preliminares de Slurry Seal tipo III de Apertura Rápida	100
Tabla 42 Contenido óptimo de agua	100
Tabla 43 Contenido de polímero	101
Tabla 44 Resultado del ensayo de tiempo de mezcla	101
Tabla 45 Resultado del ensayo de desprendimiento en húmedo	102
Tabla 46 Diseños preliminares de Slurry Seal tipo III de apertura rápida	102
Tabla 47 Peso de probetas de los diseños preliminares	102
Tabla 48 Factor de corrección según la ISSA	103
Tabla 49 Resultados de la abrasión en húmedo WTAT	103
Tabla 50 Valores máximos de arena adherida	104
Tabla 51 Diseños preliminares de Slurry Seal tipo III de apertura rápida	105
Tabla 52 Peso de probetas de los diseños preliminares	105
Tabla 53 Factor de corrección según la ISSA	105
Tabla 54 Resultados de la rueda cargada LWT	106
Tabla 55 Resultados WTAT - LWT	107
Tabla 56 Diseño de Slurry Seal tipo III de apertura rápida	108
Tabla 57 Ensayo de cohesión en húmedo	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición estructural básica de un pavimento flexible	31
Figura 2. Tipo de conservación según calificación de condición	32
Figura 3. Clasificación de tratamientos superficiales	34
Figura 4. Diagrama esquemático de una emulsión	38
Figura 5. Representación de una emulsión aniónica y catiónica	40
Figura 6. Proceso de ruptura y curado de la emulsión asfáltica	42
Figura 7. Diagrama típico de mezcladora para Slurry Sea	47
Figura 8. Esquema de aplicación de Slurry Seal	47
Figura 9. Aplicación de Slurry Seal	48
Figura 10. Corrección de imperfecciones en juntas	48
Figura 11. Junta de un Slurry Seal previa y post ruptura	48
<i>Figura 12. Formato de exploración de condición para superficies asfálticas según la metodología del PCI</i>	<i>58</i>
Figura 13. Formato de conteo y clasificación vehicular según el Manual de Inventarios Viales	59
Figura 14. Formato de cálculo del PCI para vías con superficie asfáltica del método del PCI	79
Figura 15. Contenido teórico de asfalto residua	84
<i>Figura 16. Ubicación de la vía en estudio</i>	<i>87</i>
Figura 17. Porcentaje de condición actual de la vía en estudio	90
Figura 18. Tipo de conservación según calificación de condición	90
Figura 19. Curva granulométrica del agregado	92
Figura 20. <i>Contenido teórico de asfalto residual</i>	<i>99</i>
Figura 21. Tendencia de la abrasión en húmedo WTAT	104
Figura 22. Tendencia de la arena adherida LWT	106
Figura 23. <i>Contenido óptimo de emulsión asfáltica</i>	<i>107</i>
Figura 24. <i>Contenido óptimo de emulsión asfáltica</i>	<i>109</i>
Figura 25. Curva de cohesión en húmedo	110

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación N° 1: Unidades de muestreo.....</i>	<i>79</i>
<i>Ecuación N° 2: Cálculo del IMDA</i>	<i>80</i>
<i>Ecuación N° 3: Cálculo del IMDA.....</i>	<i>81</i>
<i>Ecuación N° 4: Superficie específica</i>	<i>83</i>
<i>Ecuación N° 5: Contenido teórico de emulsión asfáltica</i>	<i>84</i>
<i>Ecuación N° 6: Superficie específica método Diurez.....</i>	<i>98</i>
<i>Ecuación N° 7: Contenido teórico de emulsión asfáltica</i>	<i>99</i>
<i>Ecuación N° 8: Contenido óptimo de emulsión asfáltica ISSA A 105</i>	<i>107</i>

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1: Visita a la vía en estudio	58
Fotografía 2: Condición actual de la vía en estudio.....	59
Fotografía 3: Conteo vehicular en el punto de estación	60
Fotografía 4: Ensayo de análisis granulométrico.....	61
Fotografía 5: Ensayo de Durabilidad a los Sulfatos.....	62
Fotografía 6: Ensayo de Abrasión los Ángeles.....	63
Fotografía 7: Ensayo de Equivalente de Arena	64
Fotografía 8: Ensayo de Azul de Metileno.....	65
Fotografía 9: Ensayo de Adherencia Riedel Weber.....	66
Fotografía 10: Cono y escala de flujo.....	69
Fotografía 11: Flujo de mezcla.....	69
Fotografía 12: Ensayo de Tiempo de mezcla.....	69
Fotografía 13: Escurrimiento del agua	70
Fotografía 14: Muestra cubierta	70
Fotografía 15: Colocación de la mezcla	71
Fotografía 16: Enrasado de la mezcla.....	71
Fotografía 17: Colocación de muestras en el horno	72
Fotografía 18: Colocación de muestra	72
Fotografía 19: Muestra sumergida	72
Fotografía 20: Abrasión en húmedo.....	73
Fotografía 21: Ensayo de Abrasión.....	73
Fotografía 22: Mezcla en el molde.....	74
Fotografía 23: Muestra en el horno	74
Fotografía 24: Acción de la rueda cargada durante 1000 ciclos.....	75
Fotografía 25: Muestra después del ensayo de 1000 ciclos.....	75
Fotografía 26: Muestra en el horno	75
Fotografía 26: Arena Ottawa en el horno	75
Fotografía 28: Colocación de la arena Ottawa sobre la muestra.....	76
Fotografía 29: Acción de la rueda cargada durante 100 ciclos.....	76
Fotografía 30: Elaboración de probetas	77
Fotografía 31: Probetas para el ensayo	77
Fotografía 32: Maquina de compresión.....	77
Fotografía 33: Aplicación de torque con una presión de 200 kPa.....	78
Fotografía 34: Probetas ensayadas	78

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

PCI	Índice de condición del pavimento
ISSA	International Slurry Surfacing Association
EG	Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MDT	Municipalidad Distrital de El Tambo
DRTC	Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones
POI	Plan Operativo Institucional
PDU	Plan de Desarrollo Urbano
AV.	Avenida
%	Porcentaje
ssf	Segundos sayfol furol
m	Metros
cm	Centímetro
dmm	Multímetro digital
°C	Grados Celsius
min.	Mínimo
máx.	Máximo
Veh. / día	Vehículo por día
NP	No presenta
gr	gramo
gr/cm ²	Gramo por centímetro cuadrado
s/. /m ²	Soles por metro cuadrado
PH	Potencial de hidrógeno
ppm	Dureza del agua
SE	Superficie específica
IMDs	Índice Medio Diario Semanal
VL	Volumen de tráfico del día lunes
VM	Volumen de tráfico del día martes
VM	Volumen de tráfico del día miércoles
VJ	Volumen de tráfico del día jueves
VV	Volumen de tráfico del día viernes
VS	Volumen de tráfico del día sábado
VD	Volumen de tráfico del día domingo
IMDA	Índice Medio Diario Anual
FCE	Factor de Corrección Estacional

RESUMEN

La presente investigación tuvo como problema general: “¿Cuáles son los resultados de la aplicación del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento del distrito de El Tambo, Huancayo?, el objetivo general fue:” Determinar los resultados de la aplicación del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento del distrito de El Tambo, Huancayo”, la hipótesis general que se verificó fue: “La aplicación del Slurry Seal genera resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento del distrito de El Tambo, Huancayo”.

El método de investigación fue el científico, el tipo de investigación fue aplicada-cuantitativa-cualitativa, el nivel de investigación fue explicativo, la población fue la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento y el tipo de muestreo fue el no probabilístico, la muestra fue la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento tramo: desde la Av. Mariscal Castilla hasta la Av. Huancavelica.

Se concluyó que la aplicación del Slurry Seal genera resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento tramo: desde la Av. Mariscal Castilla hasta la AV. Huancavelica, el cual está compuesto con 13% de emulsión asfáltica CQS-1hp, 1.5% de filler (cemento portland tipo I), 10 % de agua y 1% de aditivo (sulfato de aluminio), el cual garantizará una buena resistencia ante la acción abrasiva del tráfico y una correcta cohesión que evitará la exudación bajo las cargas del tráfico pesado, y la apertura al tráfico se dará a los 90 minutos de haber sido colocada.

Palabras claves: Superficies asfáltica, Slurry Seal, Av. Evitamiento.

ABSTRACT

The present investigation had like general problem: “ Which ones are the results of the application of the Slurry Seal for the maintenance of the asphaltic surface of the Av. Evitamiento of the district of The Bin, Huancayo?, The general objective was:” Determining the results of the application of the Slurry Seal for the maintenance of the asphaltic surface of the Av. Evitamiento of the district of The Bin, Huancayo ”, the general hypothesis than himself I verify it was: “The Slurry Seal's application generates significant results for the maintenance of the asphaltic surface of the Av. Evitamiento of the district of The Bin, Huancayo ”.

The fact-finding method was the scientist, the type of investigation was applied quantitative qualitative, the fact-finding level was explanatory, the population was the Av's asphaltic surface. Evitamiento and the type of sampling was the probabilistic no, the sample was the Av's asphaltic surface. Evitamiento stretch: From the Av. Marshal Castile to the AV. Huancavelica.

It was concluded that the Slurry Seal's application generates significant results for the maintenance of the asphaltic surface of the Av. Evitamiento stretch: From the Av. Marshal Castile to the AV. Huancavelica, which CQS is compound with 13 % of asphaltic emulsion 1hp, 1,5 % of filler (Portland cement guy I), 10 % of water and 1 % of additive (aluminum sulfates), which will guarantee a good resistance before the sarcastic action of traffic and a correct cohesion that will avoid the exudation under the loads of the sluggish traffic, and the opening to traffic will devote itself to 90 minutes of having been placed.

Passwords: Surfaces asphaltic, Slurry Seal, Av. Evitamiento.

INTRODUCCION

La tesis titulada “Comportamiento del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica, El Tambo” tiene como objetivo “Determinar los resultados de la aplicación del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento del distrito de El Tambo, Huancayo”, tomando como muestra a la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento tramo: desde la Av. Mariscal Castilla hasta la Av. Huancavelica, el cual fue evaluada por método PCI para conocer su condición superficial actual, mediante dicho resultado se determinó el tipo de Slurry Seal adecuado para su mantenimiento, para hacer el diseño adecuado se realizaron ensayos a los componentes del Slurry Seal con la finalidad de verificar que cumplan con las especificaciones técnicas de la EG 2013 y la ISSA A 105; haciendo uso de la metodología de la ISSA A105 se hace el diseño del Slurry Seal de acuerdo a las condiciones de la vía y condiciones climáticas, la mezcla de Slurry Seal la fue sometida a diferentes pruebas para verificar y garantizar su buen funcionamiento para su aplicación. Para comprender el proceso de la investigación se desarrollaron los siguientes capítulos:

El capítulo I corresponde al problema de investigación, donde se desarrolló el problema, formulación y sistematización del problema, justificación, delimitaciones, limitaciones y objetivos.

El capítulo II corresponde al marco teórico, donde se desarrolló los antecedentes, marco conceptual, definición de términos, hipótesis y variables.

El capítulo III corresponde a la metodología, donde se identificó el método de investigación, tipo de investigación, nivel de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, procesamiento de la información, técnicas y análisis de datos.

En el capítulo IV se detallan y presentan los resultados obtenidos de la investigación.

En el capítulo V se realizó las discusiones de resultados de la investigación bajo el respaldo de otras investigaciones mencionadas en los antecedentes de la presente investigación.

Y finalmente se da a conocer las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos de la presente investigación.

Bach. Yvonne Helen Torres Ccoyllar

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La ingeniería civil es la ciencia que se encarga de diseñar, construir y mantener las infraestructuras, y está estrechamente vinculada con el desarrollo de las ciudades, el área de infraestructura vial, tiene mucha incidencia en la economía, debido al alto costo que se generan por la construcción, mantenimiento o rehabilitación de las vías. La importancia del mantenimiento de la superficie asfáltica de una vía se da porque ésta, es el principal foco de desarrollo de la sociedad, ya que a través de él se dan las interrelaciones sociales y económicas, por lo cual es importante realizar los mantenimientos en el momento oportuno, con la técnica adecuada, con la mínima inversión e interrupción de tráfico.

En el Perú anualmente se invierte sumas millonarias en el mantenimiento, rehabilitación y construcción de pavimentos, debido a los deterioros causados por el elevado incremento de la carga del parque automotor, diseños deficientes, mal proceso constructivo, factores climáticos, mantenimiento inadecuado, el mal drenaje. En el distrito de El Tambo, la mayoría de las vías pavimentadas se encuentran deterioradas, y esto viene trayendo incomodidad tanto a transeúntes como conductores, generando inseguridad, ya que es una de las principales causas de los accidentes de tránsito y muertes. Se toma a la Av. Evitamiento tramo: desde la Av. Mariscal Castilla hasta la Av. Huancavelica como vía en estudio, ya que forma parte sistema vial expreso según el PDU Huancayo, y de acuerdo a la POI (2012-2018) de la MDT no ha recibido ningún tipo de mantenimiento

en estos últimos 7 años, por lo que actualmente presenta una superficie deteriorada, con un desgaste superficial total, baches, daños sobre daños, generando una mala imagen para la ciudad y una próxima inversión de alto costo para su recuperación.

En consecuencia se propone la aplicación del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la vía en estudio, con la finalidad de proteger a la estructura del pavimento de los agentes externos, prolongar su tiempo de vida útil, y garantizar su buen funcionamiento, además que el Slurry Seal se adecua a diversas condiciones, además optimiza el tiempo de apertura al tráfico, contribuye con el medio ambiente y es de bajo costo, el diseño estará desarrollado con los recursos de nuestra región bajo las condiciones de la vía en estudio.

1.2. Formulación y sistematización del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son los resultados de la aplicación del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento del distrito de El Tambo, Huancayo?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Qué tipo de Slurry Seal es adecuado para la condición actual de la superficie asfáltica?
- b) ¿Cuáles son los resultados de la caracterización de los componentes del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica?
- c) ¿Cuáles son los resultados del diseño del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica?

1.3. Justificación

1.3.1. Práctica o social

La importancia de conocer el comportamiento del Slurry Seal bajo las condiciones que presenta la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento, y haciendo uso de los recursos de nuestra región, tales como el agregado, es para demostrar que esta técnica es apta para ser usado en cualquier mantenimiento de vías dentro y fuera del casco urbano de nuestra provincia. Esta técnica beneficiara a toda la población, ya que garantiza y devuelve la seguridad, confort y estética de la vía de forma ágil, evitando molestias por el cierre de tráfico por largos periodos de tiempo, además es de bajo costo.

1.3.2. Metodológica

Los resultados del diseño de Slurry Seal para su aplicación en el mantenimiento de superficies asfálticas, servirán como antecedente y podrán ser utilizados en otros trabajos de investigación similares.

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Espacial

La investigación está limitada en la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento tramo: desde la Av. Mariscal Castilla hasta la Av. Huancavelica del distrito de El Tambo, de la provincia de Huancayo, de la región Junín.

1.4.2. Temporal

La presente investigación se llevó a cabo en un periodo de cuatro meses y medio, donde se desarrollaron las fases de pre campo, campo y gabinete, desde el mes de junio hasta el mes de octubre del año 2018.

1.4.3. Económica

Los gastos que se generaron durante las fases de pre campo, campo y gabinete, con la finalidad de lograr los objetivos de la investigación fueron cubiertos con recursos propios.

1.5. Limitaciones

Tecnológica

- El diseño del Slurry Seal se realizó de acuerdo a la ISSA, ya que a nivel nacional e internacional usan dicho método juntamente con sus boletines técnicos, eso se debe a que la ISSA presenta una metodología ordenada.
- No se realizó ensayos destructivos debido a que la MDT no da ese tipo de permisos, por tanto, no se realizó el estudio tráfico completo, ya que para la investigación solo se necesita saber el IMDA de la vía en estudio.
- Se tomó el agregado que produce la DRTC Junín, debido a que tanto la EG 2013 y la ISSA A105 exigen que el agregado sea producto de la trituración de roca (arena chancada), además de ser la cantera más cercana a la vía en estudio.

Económica

- Debido a que los costos de caracterización del agregado de acuerdo a la EG 2013 para el diseño de Slurry Seal, son altos, se tomó el agregado de una sola cantera.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar los resultados de la aplicación del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento del distrito de El Tambo, Huancayo.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el tipo de Slurry Seal adecuado para la condición actual de la superficie asfáltica.

- b) Determinar los resultados de la caracterización de los componentes del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica.

- c) Determinar los resultados del diseño del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

Reseña histórica del Slurry Seal

Nace en Alemania a principios de los años 30, con la denominación de “Schlame”, que era la mezcla de áridos muy finos y agua envueltas por un betún asfáltico blando 80/100; en España, a principios del años 70 se introduce como una técnica, con la denominación americana de “Slurry Seal”, la cual estaba compuesta con áridos muy finos y con emulsiones aniónicas de rotura lenta, donde la rotura se producía por la evaporación del agua, por tanto, estaba muy ligada a la temperatura del ambiente; a mitad de los años 70 se empezaron a utilizar emulsiones catiónicas, en 1980 después de una convención organizada por la Internacional Slurry Surfacing Association (ISSA) fundada en 1963 se introduce esta técnica los Estados Unidos, a partir de ello los el Slurry Seal o Mortero Asfáltico han ido avanzando en su desarrollo tecnológico, con la aparición simultanea de las emulsiones de asfalto modificado con elastómeros, y el desarrollo de nuevas máquinas con mezcladores más potentes y rápidos, el cual garantiza la homogeneidad de la mezcla. El Slurry Seal modificado con polímeros, es una parte de la tecnología de las mezclas en frío que se desarrolla en todo el mundo, y que en los últimos años ha tenido gran auge en Latinoamérica, por ser versátil, económico y ecológico. En el Perú, se ha elaborado numerosos trabajos para distintas zonas, tanto en costa, sierra y selva. (Huanca, 2013)

2.1. Antecedentes

Internacionales

Orellana; Peña; Pérez, (2015), realizaron la investigación: “Propuesta de diseño y proceso constructivo de lechada asfáltica en el mantenimiento de obras viales en el Salvador”, en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, la investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. El uso del Slurry Seal como técnica de mantenimiento vial contribuye al mejoramiento de las superficies de rodadura asfáltica, donde el tipo de Slurry Seal se determinó respecto a la condición actual del pavimento y la gradación del agregado, se debe tener en cuenta que para mejorar la superficie, el Slurry Seal debe ser preparada adecuadamente antes de su aplicación, y se debe tener los cuidados necesarios durante el proceso constructivo, ya que una mala ejecución o descuidos derivaran daños a corto plazo. (Orellana, Peña, & Perez, 2015) (1)
2. El agregado cumplió con los requerimientos de la ISSA, por lo que se debe mantener la uniformidad de su gradación para evitar cambios en el diseño. Se demostró la compatibilidad del agregado con la emulsión mediante los ensayos de consistencia con el Cono de Kansas y de Mezcla Manual, haciendo innecesario realizar el ensayo de azul de metileno. (Orellana, Peña, & Perez, 2015) (1)
3. Mediante el ensayo de rueda cargada LWT se determinó y observó que a mayor contenido de emulsión asfáltica mayor adherencia de arena, ya que este ensayo representa la exudación o exceso de asfalto. Mediante el ensayo de abrasión en húmedo WTAT se puede observar la falta de asfalto en la mezcla. (Orellana, Peña, & Perez, 2015) (1)

Toscano, (2014), realizó la investigación: “Diseño de Micro-pavimento aplicado como tratamiento superficial para el control de la Variación Térmica en el pavimento flexible de la vía Pifo – Cusubamba, como parte del mantenimiento preventivo”, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Internacional del Ecuador, la investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. Los elementos de la mezcla fueron el agregado, emulsión, filler y agua, donde el elemento fundamental del diseño es el agregado, ya que este definió el tipo de micropavimento y determina el exceso de las partículas finas o gruesas en la muestra; la emulsión fue modificada con polímeros y sin aditivo en su emulsificante; el filler usado fue el cemento portland tipo I, se usó con la finalidad de mejorar la consistencia y cohesión; el agua que se utilizó fue potable de la red del Distrito Metropolitano de Quito. (Toscano, 2014) (2)
2. Para lograr y definir la fórmula ideal de diseño, se realizaron varias mezclas con diferentes porcentajes de sus componentes, donde se observó el comportamiento de sus propiedades físicas y mecánicas, llegando a obtener que el secado de la mezcla es más rápido cuando el día está soleado. (Toscano, 2014) (2)
3. Durante el proceso constructivo es importante tener en cuenta los periodos de tiempo frío, húmedo, o lluvioso, ya que eso podría provocar problemas de ruptura y curado, ocasionando que el agregado no se adhiera adecuadamente. (Toscano, 2014) (2)

Barrionuevo, (2012), realizó la investigación: “Diseño del micropavimento utilizando emulsión asfáltica modificada con polímero, con agregado procedente de la cantera Calagua de la ciudad de San Miguel, Provincia de Bolívar”, en la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Central del Ecuador, la investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. El agregado cumple satisfactoriamente para un tipo III de acuerdo a la ISSA, el cual presenta un 20% de desgaste a la abrasión, el cual es un valor muy aceptable por la ISSA que es de máximo 30%; un azul de metileno de 2mgr/gr, lo cual quiere decir que no contiene material dañino como arcillar, material orgánico; el ensayo de equivalente de arena obtuvo un valor de 82.26%, siendo el mínimo según la ISSA de 65%. (Barrionuevo, Luis, 2012) (3)
2. Se obtuvo la siguiente fórmula: 100% de agregado, 2% de cemento portland, 20% de agua, 11% de emulsión CSS – 1H, con dichos porcentajes se garantiza trabajabilidad y resistencia de la mezcla, se debe tener en cuenta que el porcentaje de agua variara según las

condiciones climáticas al momento de la colocación. (Barrionuevo, Luis, 2012) (3)

3. El tiempo de mezcla fue de 120 segundos, con el cual se consigue una mezcla uniforme y se podrá tener tiempo suficiente para la colocación en obra, el tiempo de apertura al tránsito de acuerdo al ensayo de cohesión será de 1 hora con 24 minutos de haber colocado el material.(Barrionuevo, Luis, 2012) (3)

Nacionales

Pequeño, (2015), realizó la investigación: “Comparación de costos y tecnología de mantenimiento utilizando Slurry Seal y mantenimiento convencional en un pavimento flexible”, en la Carrera de ingeniería Civil de la Universidad Privada del Norte, la investigación llego a las siguientes conclusiones:

1. Después de la comparación de los costos y tecnología se concluyó que el mantenimiento con Slurry Seal resultó tener mayores ventajas que un mantenimiento convencional sobre un pavimento flexible; así mismo un mantenimiento con Slurry Seal, es un tratamiento no estructural que protege al pavimento de agentes externos, con un espesor de 1 centímetro se garantiza una vida útil de 4 años. (Pequeño, 2015) (4)
2. El proceso constructivo del Slurry Seal resulta ser cuatro veces más rápida que de un mantenimiento convencional Bicapa, ya para colocar el Slurry Seal sobre el pavimento se necesita una pasada del camión Slurry Seal, mientras que para el mantenimiento convencional bicapa se necesita dos esparcidas de ligante y dos de gravilla. (Pequeño, 2015) (4)
3. Los procedimientos para ambas técnicas de mantenimiento dependen de varios factores que tiene que ver con la responsabilidad con que se va a desarrollar y llevar el trabajo, debiendo cumplir con las normas, especificaciones y estándares técnicos requeridos para realizarlos, con el objeto de salvaguardar costos y garantizar una mejora en el estilo de vida de la sociedad. (Pequeño, 2015) (4)

Ortiz, (2014), realizó la investigación: “Evaluación en laboratorio del desempeño de morteros asfálticos y micropavimento con agregados naturales del proyecto: mantenimiento de carretera Interoceánica Norte”, en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de ingeniería, la investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. La diferencia entre un mortero asfáltico y micropavimento está en la emulsión asfáltica, ya que en el micropavimento se emplean emulsiones de rotura rápida modificada con polímeros y un mortero asfáltico tiene una emulsión de rotura lenta que no necesariamente puede estar modificada con polímeros. (Ortiz, 2014) (5)
2. Que los materiales sean de buena calidad no es suficiente, ya que para asegurar un buen diseño, es necesario evaluar la compatibilidad entre los componentes y las propiedades mecánicas de las mezclas, al emplear aditivos, se hace más difícil evaluar la compatibilidad de los mencionados, ya que se requiere hallar una dosificación que garantice un adecuado tiempo de trabajabilidad, teniendo en cuenta que el aditivo mejore las características de la mezcla y no afecte su consistencia. (Ortiz, 2014) (5)
3. Los morteros asfálticos y micropavimentos proporcionan un pavimento con una superficies segura a los deslizamientos, debido al árido de procedencia del triturado, el cual genera una textura microrugosa y una macroestructura adecuada, la buena calidad del agregado define la calidad de la mezcla. (Ortiz, 2014) (5)

Huanca, (2013), realizó la investigación: “Diseño del Slurry Seal empleando emulsión asfáltica modificada con polímeros y su evaluación variando el contenido de filler”, en la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, la investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. Después de la caracterización del agregado de Arunta, se obtuvieron resultados favorables respecto a los ensayos realizados, cumpliendo de esta manera con las especificaciones establecidas por la ISSA, con el cual se determinó que el material se podía usar para el diseño de un Slurry Seal. (Huanca, 2013) (6)

2. A medida que se agregó filler, es decir cemento portland tipo I en el diseño de mezcla del Slurry Seal, los valores de pérdida por abrasión en húmedo y los valores de arena adherida tendieron a reducir, lo cual permitió adoptar un criterio con respecto a la cantidad de cemento adecuado para el diseño, así mismo con su incremento los valores de cohesión incrementaron. (Huanca, 2013) (6)
3. Las emulsiones asfálticas modificadas con polímeros poseen agentes mejoradores de adherencia, lo cual permite un enlace químico entre el asfalto y la superficies del agregado, logrando un cubrimiento del agregado con adhesión resistente al agua, es decir con mayor resistencia al desprendimiento durante la puesta de servicio del Slurry Seal. (Huanca, 2013) (6)

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Normatividad

- **ISSA (International Slurry Surfacing Association), ISSA A105, 2010**

La ISSA (International Slurry Surfacing Association) es una asociación internacional formada por fabricantes de equipos, contratistas, funcionarios públicos, investigadores, ingenieros consultores y otros profesionales de la industria, que trabajan en conjunto para promover métodos de conservación de pavimento como el Slurry Seal. (ISSA, 2010) (7)

- **Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción, EG 2013, D.S. N° 034-2008-MTC**

Forma parte del Manual de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, es de carácter general y responde a la necesidad de promover la uniformidad y consistencia de las partidas y materiales que son habituales en proyectos y obras viales. (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8)

- **Manual de Carreteras, Mantenimiento o Conservación vial, 2014, D.S. N° 034-2008-MTC**

Forma parte del Manual de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, es un documento técnico que permite a los responsables, programar, presupuestar, ejecutar y controlar las actividades de conservación vial. (Manual de mantenimiento o conservación vial, 2014) (9)

- **Manual de Inventarios Viales, 2014, D.S. N° 034-2008-MTC**

Forma parte del Manual de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, es una herramienta de gestión, que tiene por finalidad brindar los procedimientos y metodologías en forma cronológica y ordenada, para la ejecución y/o actualización de los inventarios viales de carácter básico y calificado. (Manual de Inventarios Viales, 2014) (10)

- **Manual de Ensayos de Materiales, 2016, D.S. N° 034-2008-MTC**

Forma parte del Manual de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, es una herramienta de gestión, que tiene por finalidad estandarizar el método y procedimientos para la ejecución de ensayos de laboratorio y de campo, con el objeto de garantizar que su buen comportamiento correspondan a los estándares de calidad propuestos en los estudios para las obras y mantenimiento vial, está en referencia a la AASHTO, ASTM, NTP, entre otras. (Manual de ensayos de materiales, 2016) (11)

2.2.2. Mantenimiento de la superficie asfáltica

Pavimento flexible

Es una estructura que está compuesta por capas granulares como sub base y base y una capa superficial de rodadura constituida con materiales bituminosos (aglomerados, agregados y algunos casos aditivo. (Manual de suelos, geología, geotécnica y pavimentos, 2014) (12)

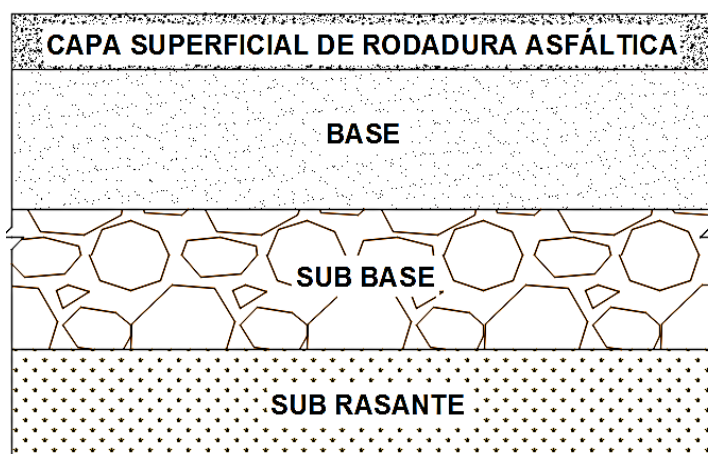


Figura 1. Composición estructural básica de un pavimento flexible. Fuente: elaboración propia.

Método PCI (Pavement Condition Index) para pavimentos flexibles

El método de Índice de Condición del Pavimento (PCI) es considerada como la metodología más completa para una evaluación y calificación objetiva de un pavimento ya sea flexible o rígido dentro de los modelos de gestión vial hasta la actualidad, en esta metodología la falla o daño está en función a la clase, severidad y densidad del mismo, y para indicar el grado de afectación que incluyan las tres funciones mencionadas, se introducen los valores deducidos como un arquetipo de factor de ponderación. El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. (Vásquez, Luis, 2002) (12)

Tabla 1
Rangos de Calificación del PCI

Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy malo
10-0	Fallado

Nota: Rango de calificación de la condición actual de la superficie asfáltica (Vásquez, Luis, 2002) (12)

Calculo del PCI

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados del inventario visual de la condición de la superficie asfáltica ínsita, mediante formatos que establece el método PCI, donde contiene la clase, severidad y cantidad de cada tipo de daño presente, con la finalidad de obtener un índice de la integridad y de la condición operacional de la superficie, la información de los daños obtenida como parte del inventario, ofrece una percepción clara de las causas de los daños, y finalmente de la condición en que se encuentra esa superficie asfáltica evaluada. (Vásquez, Luis, 2002) (12)

Mantenimiento de superficies asfálticas

Es la reparación del pavimento mediante un mantenimiento que puede ser rutinario o periódico, con la finalidad de mantener impermeable la superficies de la calzada, evitando el paso del agua a través de ella o algún borde del pavimento, lo cual debilita las capas inferiores, así mismo mantener y renovar la calidad de la superficie de la calzada, garantizando buenas condiciones de rodadura y seguridad. (Ramirez, 2017) (14)

El tipo de mantenimiento se determina de acuerdo a la calificación de condición del pavimento:



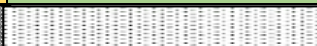
CONDICIÓN MALA	CONDICIÓN REGULAR	CONDICIÓN BUENA
RECONSTRUCCIÓN O REHABILITACIÓN	MANTENIMIENTO PERIODICO	MANTENIMIENTO RUTINARIO
		

Figura 2. Tipo de conservación según calificación de condición. Fuente: (Manual de suelos, geología, geotécnia y pavimentos, 2014) (12)

a) Mantenimiento rutinario

El mantenimiento rutinario es el conjunto de actividades que se realizan con la finalidad de preservar todos los elementos del pavimento flexible, conservando las condiciones que tenía después de su construcción, y de esta manera garantizar la seguridad de la vía y prevenir el desarrollo de deterioros, para los pavimentos es importante eliminar los baches, deterioro o pérdidas de guardavías y señales. (Manual de mantenimiento o conservación vial, 2014) (9)

b) Mantenimiento periódico

El mantenimiento periódico es una actividad que se desarrolla en periodos de más de un año, el cual se centra más en la recuperación de la calzada y la bermas, mediante la colocación alternativa de un mortero asfáltico (Slurry Seal) o de un micropavimento, también se podría optar por la colocación de refuerzos que alarguen la vida útil del pavimento por otros cinco años más, esta actividad para ser considerada presupuestalmente como conservación o mantenimiento vial, debe ejecutarse manteniendo el mismo trazado del pavimento actual, adicionando la programación de actividades rutinarias. (Manual de mantenimiento o conservación vial, 2014) (9)

2.2.3. Fallas en pavimentos flexibles

Las fallas en los pavimentos flexibles son puntos críticos que alteran la transitabilidad de las carreteras, que se dan por razones de fallas constructivas, geotécnica, geológica, problemas hidrológicos o por la geografía de la zona. (Manual de Inventarios Viales, 2014) (10)

Fallas superficiales

Son las fallas que se suscitan en la capa superficial de rodadura asfáltica y no guardan relación con la estructura de la calzada, las acciones de reparación se dirigen al restablecimiento de la rugosidad o comodidad, o a la corrección de la fricción (seguridad), lo cual se logra mediante la colocación de capas asfálticas de bajo espesor que no contribuyen estructuralmente. (Manual de Inventarios Viales, 2014) (10)

Fallas estructurales

Son fallas que se presentan en una o más capas que conforman la estructura del pavimento flexible, la corrección de estas fallas necesariamente requieren de un refuerzo sobre el pavimento existente, con la finalidad de que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito, por tanto es importante realizar un diseño de una estructura nueva. (Manual de Inventarios Viales, 2014) (10)

2.2.4. Tratamientos superficiales

El tratamiento superficial es un tratamiento que afecta a la superficie de una carretera, proporcionando una capa de rodadura muy segura, pero no proporciona capacidad portante a la carretera, pero si contribuye con la protección de las capas inferiores, evitando que los agentes externos las deterioren. (Orellana, Mauricio; Peña, Edgar; Perez, Blanca, 2015) (1)

Clasificación de tratamientos superficiales

Se clasifica según el tipo de base en la cual va a ser colocada, tal como se observa en la siguiente figura:

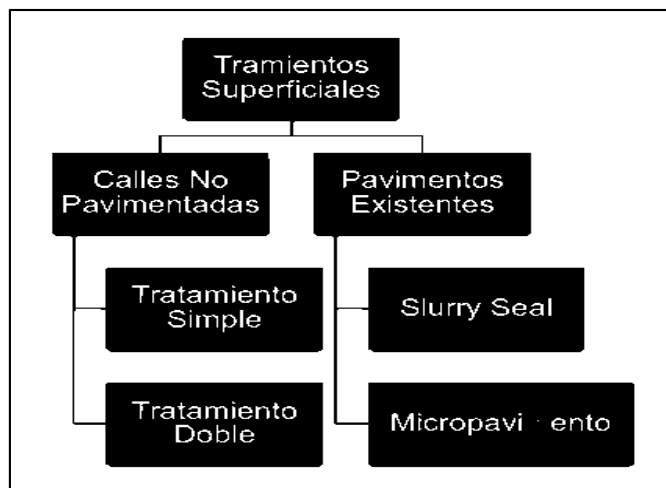


Figura 3. Clasificación de tratamientos superficiales. Fuente: (Orellana, Peña, & Perez, 2015) (1)

2.2.5. Slurry seal

Definición

El Slurry Seal consiste en la mezcla de emulsión asfáltica, agregado, filler mineral, agua y aditivos de ser necesario, el cual debe dejar una carpeta homogénea para adherirse firmemente a la superficie preparada, y tener una textura superficial resistente al deslizamiento a lo largo de su vida de servicio. (Ortiz, 2014) (5)

Es Slurry Seal tiene un espesor de 3 mm a 10 mm para el caso una sola capa, y cuando se trate de espesores mayores se colocan por capas sucesivas después de la rotura de la capa que precede, y en caso especifiquen compactación, se deberá usar un rodillo neumático, dicho caso se suscita generalmente a zonas de estacionamiento o donde no haya tránsito vehicular constante. (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8)

2.2.6. Tipos y aplicaciones de Slurry Seal

Para determinar el tipo de Slurry Seal que se va a diseñar para garantizar un mantenimiento de superficie asfáltica de calidad, es importante considerar los siguientes factores: La condición actual de la superficie asfáltica donde será aplicada el Slurry Seal, el Índice Medio Diario de la vía (IMDA).

Tipo I

El slurry seal tipo I se aplica generalmente en zonas con bajo volumen de tránsito, el objetivo principal de este tipo slurry seal es el óptimo sellado de la superficie (sellado de grietas, relleno de huecos, reparar la erosión de la superficie), también se usa cuando la resistencia al deslizamiento sea la característica más importante a conseguir. (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8)

Tipo II

El Slurry Seal tipo II se aplica con la finalidad de proteger la superficie subyacente del envejecimiento y daño por efecto del agua, así mismo mejora la fricción superficial, este tipo de slurry seal se usa para realizar relleno de huecos, la corrección de daños en la superficie producidos por la erosión o que tengan numerosas grietas, también es usado sellador de capa base estabilizada. (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8)

Tipo III

El Slurry Seal tipo III se aplica para corregir condiciones de daños severos de la superficie, así mismo para la renovación superficial de la vía, garantizando una máxima resistencia al deslizamiento y una superficie de desgaste mejorada, este tipo de Slurry Seal se usa también en pavimentos asfálticos que están expuestos a cambios de temperatura y cuando tienen un tráfico pesado. (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8)

2.2.7. Componentes del slurry seal

a) Agregado

El agregado deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales en su totalidad, y según el propósito del proyecto esta deberá cumplir con la gradación de acuerdo al tipo de Slurry Seal que se pretende desarrollar, ya que sus propiedades influyen en la durabilidad y resistencia de la mezcla, además constituyen entre el 82% y el 90% del peso total. (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8)

Las propiedades del agregado influirán en el producto final de la mezcla de Slurry Seal, por tal razón se debe considerar características fundamentales que garanticen el buen comportamiento del Slurry Seal, las cuales son: naturaleza; para conocer el grado de alteración de los componentes minerales, porosidad y propiedades químicas; propiedades geométricas; referente a la forma y angulosidad de las partículas; propiedades mecánicas; incluye los parámetros referentes a la resistencia hacia el desgaste y pulimiento; ausencia de impurezas; lo cual es fundamental para evitar una degradación rápida, para mejorar ello se pueden usar aditivos; adhesividad; integra la afinidad del agregado con la emulsión asfáltica, también se pueden usar aditivos para incrementar la resistencia. (Huanca, 2013) (6)

Tabla 2
Granulometría de los agregados

Especificaciones de la EG 2013 e ISSA A 105				
Tamaño de tamiz	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tolerancia
3/8 (9.5 mm)	100	100	100	± 5%
#4 (4.75 mm)	100	90-100	70-90	± 5%
#8 (2.36 mm)	90-100	65-90	45-70	± 5%
#16 (1.18 mm)	65-90	45-70	28-50	± 5%
#30 (600 μ m)	40-65	30-50	19-34	± 5%
#50 (330 μ m)	25-42	18-30	12-25	± 4%
#100 (150 μ m)	15-30	10-21	7-18	± 3%
#200 (75 μ m)	10-20	5-15	5-15	± 2%

Nota: Gradación por tipo de Slurry Seal (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8) (ISSA, 2010) (7)

Para que un agregado resulte adecuado para el diseño de un Slurry Seal, debe de cumplir los siguientes requerimientos de las siguientes especificaciones:

Tabla 3
Requerimientos para los agregados

Ensayos	Especificaciones EG 2013	Especificaciones ISSA A 105
	Norma	Norma
Pérdida en sulfatos de Na o Mg	MTC E 209	AASHTO T 104, ASTM C 88
Desgaste los Ángeles	MTC E 207	AASHTO T 96, ASTM C 131
Índice de plasticidad	MTC E 111	-
Equivalente de Arena	MTC E 114	AASHTO 176, ASTM D 2419
Azul de metileno	AAHTO TP 57	ISSA TB 145
Adherencia (Riedel Weber)	MTC E 220	-

Nota: Especificaciones según la EG 2013 e ISSA A 105 (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8) (ISSA, 2010) (7)

b) Relleno mineral (filler)

El relleno mineral tiene la función de mejorar la consistencia de la mezcla para generar mayor estabilidad y resistencia, también ajusta las propiedades de rotura y curado de la mezcla. Como filler se debe usar cemento, cal hidratada, polvo de roca, cenizas volantes u otro material de relleno aprobado que cumpla con los requisitos de ASTM D 242. La ISSA recomienda el uso de filler hasta un 3% máximo del peso del agregado seco. (ISSA, 2010) (7)

c) Emulsión asfáltica

La emulsión asfáltica es la dispersión de glóbulos microscópicos de asfalto, que están en una fase dispersa o discreta dentro de una solución de agua jabonosa, y en una fase continua o dispersante, lo cual no son miscibles entre sí. (Talvera, 2001) (15)

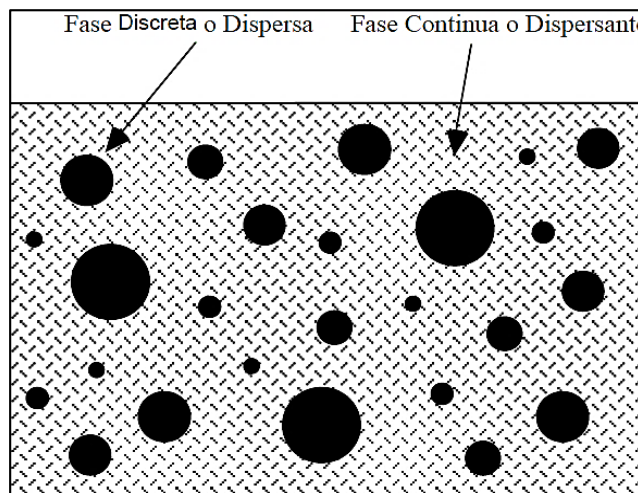


Figura 4. Diagrama esquemático de una emulsión. Fuente: (Talvera, 2001) (15)

El asfalto es hidrófobo por naturaleza, es decir repulsivo al agua, lo cual obliga a usar productos denominados emulsificantes durante el proceso de fabricación de la emulsión, formando de tal manera una solución jabonosa con agua y otros aditivos como el cloruro de calcio y/o ácido clorhídrico. (Talvera, 2001) (15)

Componentes de la emulsión asfáltica

La emulsión asfáltica está compuesta por cemento asfáltico, agua, emulsificante y otros aditivos que mejoran ciertas características de ella.

- **Cemento asfáltico**

Es el elemento principal de la emulsión asfáltica que constituye desde un 50 a un 70% de la composición de la emulsión asfáltica. (Huanca, 2013) (6)

Este elemento está compuesto de moléculas de hidrocarburos, donde su composición química es muy variada, una de las propiedades más importantes de la emulsión asfáltica es la estabilidad, por lo que para producir emulsiones estables se debe hacer una compatibilidad química entre emulsificante y cemento asfáltico. (Huanca, 2013) (6)

- **Agua**

Es importante que el agua sea pura, ya que si contiene minerales u otros elementos afectaran la producción de emulsiones asfálticas estables, la presencia de iones de calcio y magnesio, favorecen a la formación de una emulsión catiónica estable, pero puede ser perjudicial para una emulsión aniónica. (Huanca, 2013) (6)

- **Emulsificante**

Conocido también como emulgentes, el cual tiene la función de estabilizar a la emulsión, y de esta manera se evita la formación de varias fases, está compuesta por componentes hidrófobos e hidrófilos, los cuales cuando entran en contacto con el agua se disocian, quedando cargas negativas, positivas o no iónicas según el tipo de emulsificante. Los glóbulos cargados eléctricamente en su superficie con carga negativa o positiva, el cual tiene el mismo signo para todos los glóbulos, y esto generan repulsión electrostática y contribuye a impedir que los glóbulos se unan entre sí, y se pueda mantener estable la emulsión asfáltica. (Huanca, 2013) (6)

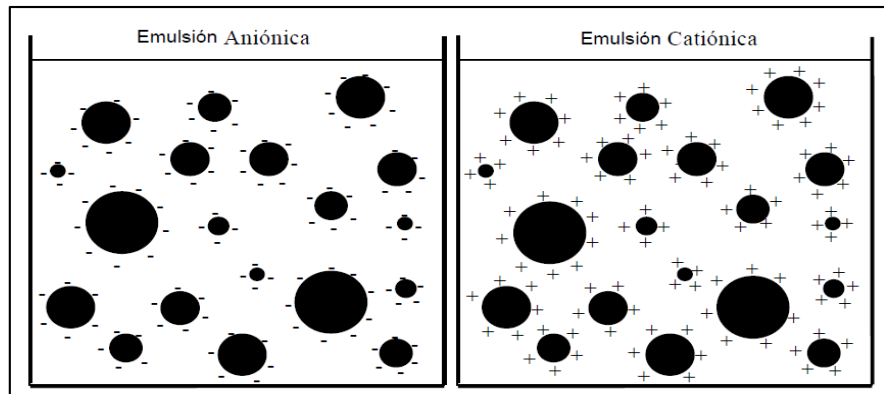


Figura 5. Representación de una emulsión aniónica y catiónica Fuente: (Talvera, 2001) (15)

Clasificación de emulsión asfáltica

- **Por su popularidad**

Aniónicas, el agente emulsificante confiere carga negativa a la partícula; catiónicas; el agente emulsificante confiere carga positiva a la partícula. (Huanca, 2013) (6)

- **Por su velocidad de ruptura**

RS: de rotura rápida y se usa generalmente para riegos de liga y carpetas por sistema de riego. (Huanca, 2013) (6)

MS: De rotura media, usada generalmente para mezclas en frío para bacheo, nivelación, etc. (Huanca, 2013) (6)

SS: de rotura lenta y es usada en mezclas en frío con fines de estabilizaciones asfálticas. (Huanca, 2013) (6)

QS: de rotura rápida o controlada y es usada para sistemas como micropavimentos o Slurry Seal modificados. (Huanca, 2013) (6)

Nomenclatura de la emulsión asfáltica

La nomenclatura usada para identificar a las emulsiones, ya sean aniónicas o catiónicas son:

- **La letra C:** Significa que la emulsión es catiónica y su ausencia indica que se trata de una emulsión aniónica.
- **Las cifras 1 y 2:** Indica la viscosidad donde 1 representa una viscosidad baja y 2 una viscosidad alta.

- **La letra h:** Indica que la base asfáltica es más consistente, es decir más dura.
- **La letra s:** Indica que la base asfáltica es más blanda
- **La letra p:** Indica que la emulsión contiene polímeros
- **La letra HF:** Esto significa una alta flotación de acuerdo a la ASTM D 139.

Proceso de rotura y curado de emulsiones asfálticas

- **Rotura de la emulsión**

La rotura de emulsión es un proceso muy necesario, ya que se necesita que el agregado sea cubierto completamente por el asfalto. Para que esto ocurra se debe desestabilizar a la emulsión, dicho proceso se da debido a la carga que tiene el agregado, el cual neutraliza la carga del asfalto en la emulsión, en tal forma esta pequeña carga que posee la emulsión se irá moviendo hacia el agregado que tiene carga opuesta y se comenzara a formar partículas de gran tamaño, el mismo que comenzara a recubrir el agregado. (Huanca, 2013) (6)

- **Curado de la emulsión**

El curado de la emulsión es el proceso donde se desarrollan las propiedades mecánicas de asfalto, dando como resultado una película cohesiva continua capaz de mantener a los agregados adheridos, dicho proceso se alcanza cuando el agua llega a evaporarse completamente de la superficie, considerando que si las condiciones climáticas son favorables, la evaporación del agua se realizara de manera rápida, sin embargo la excesiva humedad, bajas temperaturas o lluvias inmediatamente después de la colocación pueden retardar dicho proceso. En la siguiente figura se puede ver como la emulsión reacciona con el agregado y se inicia la rotura, por consiguiente, continua la rotura e inicia el curado, por último, se muestra como el asfalto recubre el agregado, terminado de esta manera el proceso de curado.

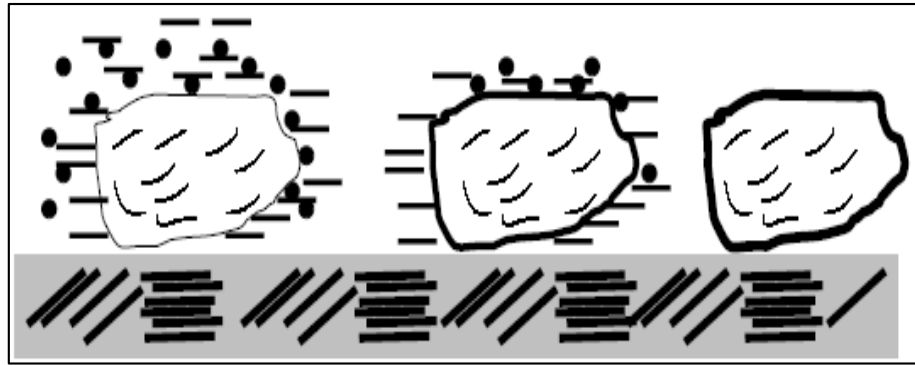


Figura 6. Proceso de ruptura y curado de la emulsión asfáltica
 Nota: Tomado de (Talvera, 2001) (15)

Emulsiones asfálticas modificadas con polímeros

Las exigencias para los pavimentos son cada vez es más críticas, debido al incremento continuo del tráfico, las cargas más pesadas y condiciones climáticas agresivas, lo cual trae como consecuencia la presencia de daños sobre en la superficie asfáltica que ocasionan condiciones desfavorables. Estos inconvenientes hoy en día se reducen considerablemente, mediante el empleo de emulsiones asfálticas modificadas con polímeros. (Huanca, 2013) (6) El polímero se define como un compuesto de alto peso molecular formado por la unión de moléculas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples como: estireno, butadieno, etileno, vinil, acetato, etc.), los cuales al unirse forman moléculas más grandes en distintos arreglos. La modificación de las emulsiones asfálticas con polímeros busca mejorar sus propiedades viscoelásticas con la finalidad de cumplir con los requerimientos de un proyecto; de manera muy concisa se puede decir que mediante la modificación se desea mejorar la elasticidad y la flexibilidad, la consistencia y la durabilidad con el fin de extender la vida útil de las mezclas asfáltica. (Huanca, 2013) (6)

Actualmente se utiliza una gran variedad de polímeros comerciales con composición química y propiedades diferentes, tales como los elastómeros **SBS** (Stireno- Butadieno- Stireno) y **SBR** (Stireno- Butadieno- Rubber), y los plastómeros **EVA** (Etileno- Vinil -Acetato).

- **Polímero SBS**

Este es un polímero en estado sólido compuesto por monómeros de estireno, butadieno y estireno, el cual mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto en bajas como en altas temperaturas, el cual es usado en tratamientos superficiales y en carpetas estructurales de pavimentos con elevados índice de tránsito y de vehículos pesados, asimismo en climas fríos y cálidos. (Huanca, 2013) (6)

- **Polímero SBR**

Este es un polímero en estado líquido compuesto por monómeros de estireno y butadieno, añadiendo ácido acrílico para mejorar la adhesividad, el cual mejora el comportamiento de las mezclas asfálticas a bajas temperaturas, y es usado en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales. (Huanca, 2013) (6)

- **EVA**

Es un polímero en estado sólido compuesto por monómeros de etileno, vinil y acetato, el cual mejora la resistencia al ahuellamiento y disminuye la susceptibilidad de las mezclas asfálticas a altas temperaturas, y es usado en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales. (Huanca, 2013) (6)

La emulsión asfáltica deberá cumplir con los requerimientos que exponen tanto la ISSA A 105 como la EG 2013.

d) Agua

El agua es el componente que controla la consistencia de la mezcla, donde el contenido varía desde un 4 a un 12% de agua respecto al peso seco del agregado, además funciona como lubricante ante la emulsión, reduciendo la tensión superficial de las partículas del agregado para facilitar el recubrimiento de la emulsión asfáltica. El agua para el diseño de una Slurry Seal debe ser potable, libre de sales y otros contaminantes nocivos. Si se cuestiona la calidad del agua, debe enviarse al laboratorio con las otras materias primas para el diseño de la mezcla, donde el PH del agua será 6.5 mínimo y 8 máximo. (ISSA, 2010) (7)

e) Aditivo

Se pueden usar aditivos para acelerar o retardar el rompimiento / fraguado del Slurry Seal. Los aditivos apropiados y su rango de uso aplicable deben ser aprobados por el laboratorio como parte del diseño de la mezcla, el cual varía de 0 a 2%. (ISSA, 2010) (7)

Los componentes del Slurry Seal deberán estar dentro de los límites que plantea la ISSA A 105, el cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4
Límites de los componentes del Slurry Seal

Componentes	Límites
Residuo asfáltico	Tipo I: 10-16% Tipo II: 7.5-13.5% Tipo III: 6.5-12% (respecto al peso de agregado seco)
Relleno mineral (Filler)	0.0-3% (respecto al peso de agregado seco)
Aditivos	Según lo necesario
Agua	Según se requiera para producir una consistencia de mezcla apropiada

Nota: Límites para los componentes. Fuente: (ISSA, 2010) (7)

2.2.8. Método de diseño del Slurry Seal según la ISSA

La ISSA elaboro una serie de procedimientos y ensayos para el diseño, producción y colocación del Slurry Seal, tal como se muestra en la tabla 11, todo se generaliza en la ISSA A 105.

Tabla 5

Especificaciones para el diseño del slurry seal

Ensayos	ISSA
Diseño, prueba y construcción de slurry seal	A 105
Pérdida por abrasión "Pista húmeda"	TB 100
Guía para muestre	TB101
Consistencia	TB 106
Exceso de asfalto por Load Wheel Tester (Adhesión de Arena)	TB 109
Guía para el diseño de mezcla	TB 111
Estimación de tasas de esparcimiento y medición de la macro textura	TB 112
Mezclas de prueba para tiempo de rotura, curado y apariencia	TB 113
Desnudamiento por humedad	TB 114
Cohesión en húmedo 30 minutos mínimo – Rotura de cohesión en húmedo 60 minutos mínimo.	TB 139
Desprendimiento en húmedo	TB 114
Determinación de compatibilidad	TB 115
Cohesión	TB 139

Nota: Ensayos para el diseño de slurry seal. Fuente: (ISSA, 2010) (7)

Guía para el diseño de mezcla slurry seal ISSA TB 111

El objetivo de esta guía es proveer una adecuada cantidad de asfalto residual o de emulsión asfáltica que establezca el material granular económicamente, con el fin de obtener un slurry seal resistente a la abrasión en húmedo y a la exudación del asfalto, lo cual se puede conocer mediante los ensayos de desempeño, los cuales a su vez determinaran su comportamiento. (Huanca, 2013) (6)

a) Consideraciones preliminares para el diseño del slurry seal

Este es un paso previo que permite seguir una secuencia ordenada en cómo contraponer los problemas superficiales de los pavimentos y poder dar una solución oportuna, para lo cual se debe considerar lo siguiente:

- Evaluar el pavimento que se va a tratar: determinar la condición actual del pavimento, condiciones climáticas de la zona, índice medio diario de la vía. (Huanca, 2013) (6)
- Definir el objetivo del tratamiento: elegir y desarrollar el Slurry Seal apropiado, basado en las deficiencias existentes en el pavimento, lo cual se obtiene después de una evaluación. (Huanca, 2013) (6)
- Evaluar y seleccionar los materiales: seleccionar las canteras de agregado existentes cerca al proyecto, los proveedores de la emulsión asfáltica, el filler y el agua. De que se reduzcan los costos de producción. (Huanca, 2013) (6)

b) Procedimiento de diseño del Slurry Seal

A continuación, se muestra el procedimiento a seguir para un correcto diseño de Slurry Seal recomendados por la ISSA:

- Caracterización de los componentes. (Huanca, 2013) (6)
- Contenido teórico de asfalto residual por el método Diurez. (Huanca, 2013) (6)
- Contenido óptimo de agua por el ensayo de consistencia. (Huanca, 2013) (6)
- Compatibilidad de los componentes de la mezcla por el ensayo tiempo de mezcla y el ensayo de desnudamiento por humedad. (Huanca, 2013) (6)
- Pruebas de desempeño que determinan el comportamiento por el ensayo de abrasión en húmedo, que a su vez determina el contenido mínimo de residuo asfáltico, por el ensayo de rueda cargada, que a su vez determina el máximo contenido de residuo asfáltico. (Huanca, 2013) (6)
- Contenido óptimo de asfalto residual, mediante la gráfica del contenido óptimo de asfalto de acuerdo a los límites de residuo asfáltico obtenidos por los ensayos de abrasión en húmedo y rueda cargada. (Huanca, 2013) (6)
- Determinación del tiempo de apertura al tráfico mediante el ensayo de cohesión. (Huanca, 2013) (6)

2.2.9. Proceso constructivo del Slurry Seal

En la siguiente tabla se muestra los pasos para la aplicación del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica.

Tabla 6

Tratamiento superficial con Slurry Seal

Pasos
1. Seguridad y control de tráfico
2. Limpieza de vía
3. Riego de agua
4. Colocación de Slurry Seal
5. Apertura de tráfico

Nota: Items a considerar. Fuente: (Huanca, 2013) (6)

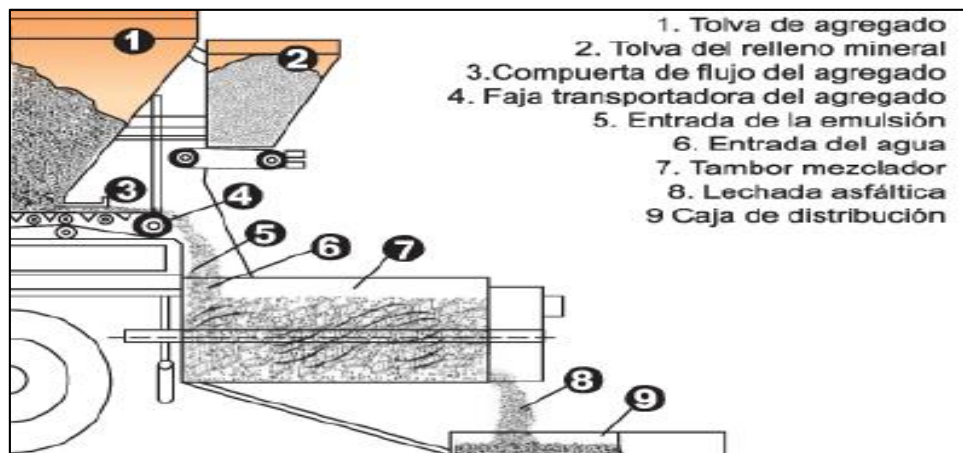


Figura 7. Diagrama típico de mezcladora para Slurry Seal. Fuente: (Orellana, Mauricio; Peña, Edgar; Perez, Blanca, 2015) (1)

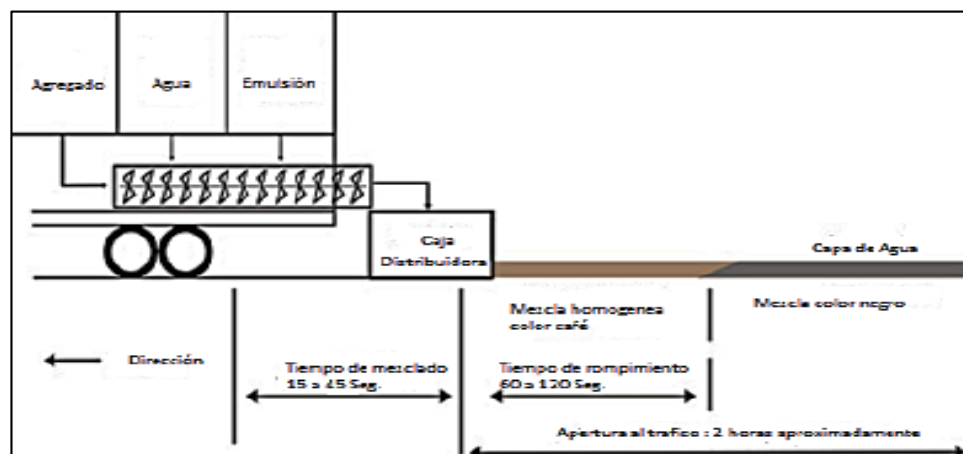


Figura 8. Esquema de aplicación de Slurry Seal. Fuente: (Orellana, Mauricio; Peña, Edgar; Perez, Blanca, 2015) (1)



Figura 9. Aplicación de Slurry Seal. Fuente: (Orellana, Mauricio; Peña, Edgar; Perez, Blanca, 2015) (1)



Figura 10. Corrección de imperfecciones en juntas. Fuente: (Orellana, Mauricio; Peña, Edgar; Perez, Blanca, 2015) (1)



Figura 11. Junta de un Slurry Seal previa y post ruptura. Fuente: (Orellana, Mauricio; Peña, Edgar; Perez, Blanca, 2015) (1)

2.3. Definición de términos

Superficie asfáltica

La superficie asfáltica o capa superficial de rodadura asfáltica es la que se apoya sobre las capas granulares que pueden ser: mortero asfáltico, tratamientos superficiales, micropavimentos, mezclas asfálticas en frío, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en caliente. (Manual de suelos, geología, geotécnica y pavimentos, 2014) (12)

Mantenimiento de superficies asfálticas

Es la reparación del pavimento mediante un mantenimiento que puede ser rutinario o periódico, con la finalidad de mantener impermeable la superficie de la calzada, evitando el paso del agua a través de ella o algún borde del pavimento, lo cual debilita las capas inferiores, así mismo mantener y renovar la calidad de la superficie de la calzada, garantizando buenas condiciones de rodadura y seguridad. (Ramirez, 2017) (14)

Fallas en pavimentos flexibles

Las fallas en los pavimentos flexibles son puntos críticos que alteran la transitabilidad de las carreteras, que se dan por razones de fallas constructivas, geotécnica, geológica, problemas hidrológicos o por la geografía de la zona. (Manual de Inventarios Viales, 2014) (10)

Grietas longitudinales y transversales

Son grietas longitudinales son grietas paralelas al eje del pavimento flexibles, causados por la contracción de la superficie asfáltica, por una junta de carril pobremente construida. Las grietas transversales son grietas que se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo, esta grieta no está asociada con carga. (Vásquez, Luis, 2002) (12)

Parqueo

El parqueo o parche es la reparación de un área del pavimento flexible mediante el reemplazo con material nuevo, dicho parche se considera como un defecto, debido a que usualmente el área reparada no se comporta muy bien con la sección original del pavimento. (Vásquez, Luis, 2002) (12)

Huecos

Los huecos son depresiones en forma de tazón en la superficie del pavimento, con bordes aguzados y lados verticales cerca de la zona superior, este crece por la acumulación del agua dentro del mismo y cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie. (Vásquez, Luis, 2002) (12)

Meteorización / desprendimiento de agregados

La meteorización es la pérdida de la superficie del pavimento flexible, que se da por la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado, o también cuando la mezcla es pobre o de mala calidad, puede ser causado también por ciertos tipos de vehículos, tales como los vehículos oruga. (Vásquez, Luis, 2002) (12)

Slurry Seal

El Slurry Seal es una mezcla asfáltica de alto rendimiento para el mantenimiento de superficies asfálticas, compuesta de agregados, polvo mineral (filler), agua, emulsión asfáltica (CSS-1, CSS-1h, CQS-1h, de rápida rotura), aditivos para el control de rotura y polímeros para aumentar ciertas características de la mezcla asfáltica, el cual debe dejar una mezcla homogénea para adherirse firmemente a la superficie preparada, y tener una textura superficial resistente al desgaste y deslizamiento a lo largo de su vida de servicio, de acuerdo a las condiciones de la vía donde se aplicara el slurry seal se determina el tipo adecuado.. (Ortiz, 2014) (5)

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La aplicación del Slurry Seal genera resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento del distrito de El Tambo, Huancayo.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) El tipo de Slurry Seal adecuado genera resultados significativos para la condición actual de la superficie asfáltica.
- b) La caracterización de los componentes del Slurry Seal genera resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica.
- c) El diseño del Slurry Seal genera resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de la variable

Variable independiente (X): Mantenimiento de la superficie asfáltica

El mantenimiento de la superficie asfáltica es una actividad de conservación, recuperación y/o mejoramiento de la condición original de la vía, dicho mantenimiento debe realizarse con el mínimo gasto e interrupción de tráfico, debe realizarse oportunamente, mediante técnicas que garanticen su buen funcionamiento y alarguen su tiempo de vida útil, el tipo de mantenimiento se definirá de acuerdo a la condición actual de la superficie. (Ortiz, 2014)(5)

Variable dependiente (Y): Slurry Seal

El Slurry Seal es una mezcla asfáltica en frío que se aplica como alternativa de tratamiento superficial en capas de 3 a 10 mm, según sea el tipo de slurry seal y el objetivo a conseguir, generalmente es aplicado para impermeabilizar la carpeta de rodadura y restaurar la superficie desgastada garantizando una mejor resistencia al deslizamiento, así mismo corrige los problemas de alisamiento por exudación y desintegración, todo eso dependerán de las caracterización de los componentes del slurry seal, así mismo del método de diseño. (Huanca, 2013) (6)

2.5.2. Definición operacional de la variable

Variable independiente (X): Slurry Seal

- Tipo I
- Tipo II
- Tipo III
- Caracterización del agregado
- Caracterización del agua
- Caracterización de la emulsión asfáltica
- Contenido teórico de emulsión asfáltica
- Ensayo de Consistencia de la mezcla
- Ensayo de tiempo de mezcla
- Ensayo de Desprendimiento en húmedo
- Ensayo de Abrasión en húmedo de la mezcla
- Ensayo de Rueda cargada
- Ensayo de Cohesión en húmedo

Variable dependiente (Y): Mantenimiento de la superficie asfáltica

- Índice de Condición del Pavimento (PCI)

2.5.3. Operacionalización de las variables

Tabla 7

Operacionalización de las variables

Hipótesis	Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de medición
La aplicación del Slurry Seal genera resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento del distrito de El Tambo, Huancayo.	Variable independiente (X): Mantenimiento de la superficie asfáltica	El mantenimiento de la superficie asfáltica es una actividad de conservación, recuperación y/o mejoramiento de la condición original de la vía, dicho mantenimiento debe realizarse con el mínimo gasto e interrupción de tráfico, debe realizarse oportunamente, mediante técnicas que garanticen su buen funcionamiento y alarguen su tiempo de vida útil, el tipo de mantenimiento se definirá de acuerdo a la condición actual de la superficies. (Ortiz, 2014) (5)	El mantenimiento de la superficie asfáltica dependerá de la condición actual de esta, mediante la evaluación haciendo uso del método PCI. (Ortiz, 2014) (5)	Condición actual	Índice de Condición del Pavimento (PCI)	Nomina
	Variable dependiente (Y):: Slurry Seal	El Slurry Seal es una mezcla asfáltica en frío que se aplica como alternativa de tratamiento superficial en capas de 3 a 10 mm, según sea el tipo de Slurry Seal y el objetivo a conseguir, generalmente es aplicado para impermeabilizar la carpeta de rodadura y restaurar la superficie desgastada garantizando una mejor resistencia al deslizamiento, así mismo corrige los problemas de alisamiento por exudación y desintegración. (Huanca, 2013) (6)	El Slurry Seal es una mezcla asfáltica que se subdivide en tres tipos, de acuerdo a ello se realiza caracterización de los componentes del Slurry Seal, y de acuerdo a dichos resultados se realiza el diseño del Slurry Seal. (Huanca, 2013) (6)	Tipos de Slurry Seal	Tipo I	Nominal
					Tipo II	Nominal
					Tipo III	Nominal
				Caracterización de los componentes del Slurry Seal	Caracterización del agregado	%
					Caracterización del agua	%
					Caracterización de la emulsión asfáltica	%
				Diseño del Slurry Seal	Contenido teórico de emulsión asfáltica	%
					Ensayo de Consistencia de la mezcla	%
					Ensayo de tiempo de mezcla	seg
					Ensayo de Desprendimiento en húmedo	%
					Ensayo de Abrasión en húmedo de la mezcla	%
				Ensayo de Rueda cargada	%	
				Ensayo de Cohesión en húmedo	min	

Nota. Operacionalización de variables. Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. Método de investigación

El método de investigación fue el científico, ya que se siguió una serie de pasos sistematizados, técnicas y procedimientos para lograr los objetivos de la investigación.

De acuerdo a Hernández (2014), la investigación científica es más rigurosa, organizada respecto a otras investigaciones, debido a que es sistemática, empírica y crítica; y se aplica tanto a estudios cuantitativos y/o cualitativos; que sea “sistemática” implica que no se dejan los hechos a la casualidad; que sea “empírica” denota que se recolectan y analizan datos; que sea “crítica” quiere decir que se evalúa y mejora de manera constante, además puede ser más o menos controlada, flexible o abierta, estructurada, pero nunca caótica y sin método. (Hernández, 2014) (16)

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación en cuanto a su finalidad fue aplicado, debido a que se empleó conocimientos adquiridos para darle solución a una realidad problemática; según el énfasis del manejo de datos, la investigación fue cuantitativa – cualitativa.

De acuerdo a Hernández (2014), la investigación aplicada resuelve problemas, una investigación cuantitativa y cualitativa o mixta ocurre cuando se conecta el análisis cualitativo de los datos y la recolección de datos cuantitativos. (Hernández, 2014) (16)

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación fue explicativa, porque se buscó la causa que originó cierto fenómeno.

De acuerdo a Hernández (2014), una investigación de nivel explicativa va más allá de la descripción de un fenómeno, ya que está dirigido a responder las causales de dichos fenómenos y explicar porque y en qué condiciones se manifiesta dicho fenómeno. (Hernández, 2014) (16)

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación según la metodología de investigación fue experimental del tipo cuasi experimental; experimental por que se realizaron ensayos en un laboratorio, donde se preparó varias muestras con mezclas de diferentes dosificaciones donde se obtuvo el diseño óptimo de Slurry Seal y se pronosticó el efecto que tendrá al ser colocada sobre la superficie asfáltica de la vía en estudio, es cuasi experimental porque los grupos no fueron escogidos al azar.

De acuerdo a Hernández (2014), La esencia del diseño experimental se refiere a la elección o realización de una acción para después observar las consecuencias o analizar sus posibles resultados, el cual se da cuando se mezcla sustancias químicas y se observa la reacción o efecto provocado, los experimentos de laboratorio se realizan en condiciones controladas, se llama cuasi experimental cuando los grupos de estudio no han sido escogidos al azar porque ya estaban formados antes de la investigación. (Hernández, 2014) (16)

3.5. Población y muestra

Población

La población para la investigación fue la superficie asfáltica de la Avenida Evitamiento ubicada en el distrito de El Tambo, de la provincia de Huancayo, región Junín.

Muestra

El tipo de muestreo fue no probabilístico, la muestra fue dirigida e intencionada de acuerdo a los propósitos de la investigación, se tomó como muestra a la superficie asfáltica de la Avenida Evitamiento tramo: desde la Avenida Mariscal Castilla hasta la Avenida Huancavelica.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a) Técnicas

Para lograr el objetivo de la investigación se usaron las siguientes técnicas:

- Evaluación de la condición actual de la vía en estudio
- Caracterización de componentes del Slurry Seal
- Diseño de Slurry Seal

b) Instrumentos

Para lograr el objetivo de la investigación se usaron las siguientes Instrumentos de recolección de datos:

- Formato de exploración de condición para superficies asfálticas del método PCI
- Manual de especificaciones técnicas para la construcción EG 2013.
- Metodología de la ISSA A 105 - Ensayos establecidos por la ISSA A 105.

3.7. Procesamiento de la información

Fase pre campo

a) Recopilación de información bibliográfica

Antes de realizar los trabajos de campo se procedió a recolectar datos relevantes de la Av. Evitamiento tramo: Av. Mariscal Castilla y Av. Huancavelica, de ahora en adelante “vía en estudio”. Se identificó que la Avenida Evitamiento forma parte del sistema vial expreso de la ciudad de Huancayo, siendo el segundo eje vial expreso. (Huancayo, 2015) (16) El distrito de El Tambo tiene un clima templado durante todo el año, con una variación entre 21° y -5° C. (Municipalidad distrital de El Tambo , 2009) (17) Por otro lado, se recopiló y analizó normas, metodologías, trabajos de investigación a nivel nacional e internacional, que brinden información sobre el proceso adecuado para realizar el diseño de Slurry Seal, así mismo que respalden su buen funcionamiento y comportamiento como técnica de mantenimiento en superficies asfálticas; también se analizó información acerca de otras técnicas de mantenimiento con la finalidad de comparar los costos de aplicación.

b) Elaboración de los instrumentos de recolección de datos

Se elaboró el instrumento para la evaluación de la condición actual de la vía en estudio, el cual es el formato de “Exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica” establecido por el método Índice de Condición del Pavimento (PCI); así mismo se elaboró el instrumento para el estudio de tráfico, el cual es el “Formato de conteo y clasificación vehicular” establecido por el Manual de Inventarios Viales 2014 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Fase campo

a) Reconocimiento de la vía en estudio

Se realizó la visita a la vía en estudio para realizar el recorrido correspondiente, con la finalidad de observar ciertas características que presenta, tales como el número de carriles y sentidos, presencia de daños en la superficie, y los tipos de vehículos que circular por la vía.



Fotografía 1: Visita a la vía en estudio

b) Evaluación de la condición actual de la vía en estudio

La evaluación de la condición actual de la superficie asfáltica de la vía en estudio se desarrolló de acuerdo el método PCI; para dar inicio con la evaluación, primero se procedió a ubicar el punto de inicio y el punto final de la vía en estudio para conocer su longitud, asimismo se midió el ancho de su calzada; con estas dimensiones se calculó la cantidad mínima de unidades de muestreo para su evaluación; haciendo uso del Manual de Daños en Vías con Superficie De Concreto Asfáltico del método PCI, se procedió a identificar los daños existentes en la vía en estudio los cuales fueron registrados en el formato que se muestra a continuación:

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO						ESQUEMA:		
ZONA		PROGRESIVA INI	UNIDAD DE MUESTREO					
CÓDIGO DE VIA		PROGRESIVA FIN	ÁREA DE MUESTREO (m2)					
INSPECCIONADA POR		FECHA						
N°	Daño	N°	Daño					
1	Piel de cocodrillo	11	Parqueo y acometidas de servicios públicos					
2	Exudación	12	Pulimiento de agregados					
3	Agrietamiento en bloque	13	Huecos					
4	Abultamientos y hundimientos	14	Cruce de vía férrea					
5	Corrugación	15	Ahuellamiento					
6	Depresión	16	Desplazamiento					
7	Grieta de borde	17	Grietas parabólicas					
8	Grieta de reflexión de junta	18	Hinchamiento					
9	Desnivel carril-berma	19	Meteorización / desprendimiento de agregados					
10	Grietas longitudinales y transversales							
Daño	Severidad	Cantidad				Total	Densidad (%)	Valor deducido

Figura 12. Formato de exploración de condición para superficies asfálticas según la metodología del PCI. Fuente (Vásquez, Luis, 2002) (12)



Fotografía 3: Conteo vehicular en el punto de estación

d) Caracterización de los componentes del Slurry Seal

Agregado

Se usó como agregado la arena chancada 3/8" que produce la Planta de Asfalto y Chancadora de la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Junín, la cual fue sometida a los ensayos establecidos por la ISSA A105 y la EG 2013, lo cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8

Ensayos para los agregados

N°	Ensayos	ISSA A 105	EG 2013
		Norma	Norma
1	Granulometría	AASHTO T 27, ASTM C 136	MTC E 204
2	Pérdida en sulfatos de Na o Mg	AASHTO T 104, ASTM C 88	MTC E 209
3	Desgaste los Ángeles	AASHTO T 96, ASTM C 131	MTC E 207
4	Índice de plasticidad	-	MTC E 111
5	Equivalente de Arena	AASHTO 176, ASTM D 2419	MTC E 114
6	Azul de metileno	-	AASHTO TP 57
7	Adherencia Riedel Weber	-	MTC E 220

Fuente: Ensayos a agregados (ISSA, 2010) (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8)

Los ensayos 1, 2, 3, 4 y 5 de la Tabla 2 se realizaron en el Laboratorio de Ensayos de Materiales Mecánica de Suelos y Asfaltos de DOSED Ingeniería y Construcción, ubicada en el Jr. Aguirre Morales N° 562 El Tambo, Huancayo, Junín. Los ensayos 1, 5, 6 y 7 de la Tabla N 2 se

realizaron en el Primer Centro de Desarrollo Tecnológico (PCDT) del Perú TDM ASFALTOS, ubicada en la Mza. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín, Lurín, Lima.

Ensayo de análisis granulométrico

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma MTC E 204 “Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos” del Manual de Ensayos de Materiales 2014 y la ASTM C 136, con la finalidad de determinar la gradación de la muestra y determinar si esta cumple con las especificaciones de la ISSA A 105 y/o la EG 2013, de acuerdo al tipo de Slurry Seal a desarrollar. El ensayo consistió en el tamizado de la muestra final del cuarteo por los tamices normalizados y ordenados de mayor a menor abertura, luego se procedió a pesar las muestras retenidas en cada uno de ellos, para determinar el porcentaje acumulado que pasa y realizar la curva granulométrica.



Fotografía 4: Ensayo de análisis granulométrico

Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio o magnesio

Este ensayo se realiza de acuerdo a la norma MTC E 209 “Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio” del Manual de Ensayos de Materiales 2014 y la ASTM C 88, con la finalidad de medir la desintegración del agregado al ser saturado por la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, y determinar su resistencia al deterioro por la acción de los agentes climáticos durante su tiempo de vida útil.

El ensayo consistió en la de la inmersión de una solución de sodio o magnesio sobre la muestra durante no menos de 16 horas ni mayor a 18 horas, para después ser secado en el horno a una temperatura de 105 a 110° C durante 25g por hora, una inmersión y un secado cuenta como un ciclo de durabilidad, lo cual se debe desarrollar durante los ciclos necesarios hasta obtener un peso constante en los dos últimos ciclos.



Fotografía 5: Ensayo de Durabilidad a los Sulfatos

Ensayo de abrasión los ángeles

Antes de realizar el ensayo se determinó el tamaño máximo del agregado, que es el tamiz con menor abertura por el cual pasa el 100% del material y tamaño máximo nominal que es el tamiz de mayor abertura que retiene más del 10 % del material.

Este ensayo se realiza de acuerdo a la norma MTC E 207 “Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”)” del Manual de Ensayos de Materiales 2014 y la ASTM C 88, con la finalidad de determinar el porcentaje de desgaste y determinar si este cumple con las especificaciones de la ISSA A 105 y/o la EG 2013, ya que el agregado deberá resistir el proceso de producción, colocación, en algunos casos compactación y los esfuerzos ejercidos durante su tiempo de vida útil. El ensayo consistió en colocar cierta cantidad de muestra de acuerdo al método dentro de la Máquina de los Ángeles, para exponerlas a las cargas abrasivas de las esferas durante 500 revoluciones por 15 minutos; después de haber finalizado la rotación, se tomó el material para ser tamizado por la malla N° 12, se lavó y se pesó para calcular el porcentaje de desgaste.



Fotografía 6: Ensayo de Abrasión los Ángeles

Ensayo de Índice de plasticidad

Este ensayo se debe realizar de acuerdo a la norma MTC E 211 “Determinación del límite plástico (L.P) de los suelos e índice de plasticidad (IP)” del Manual de Ensayos de Materiales 2014, con la finalidad de determinar si este cumple con las especificaciones de la EG 2013, sin embargo, si el agregado es de origen de la trituración de roca este ensayo es innecesario.

Ensayo de equivalente de arena

Este ensayo se realiza de acuerdo a la norma MTC E 114 “Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino” del Manual de Ensayos de Materiales 2014 y la ASTM D 2419, con la finalidad de determinar la proporción de material arcilloso en el agregado, y calcular el porcentaje de equivalente de arena y verificar si esta cumple con las especificaciones de la ISSA A 105 y/o la EG 2013. El ensayo consistió en pesar 3 muestras de 150 gramos de material pasante la malla N° 4, las cuales fueron secadas a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta tener un peso constante; se dejaron enfriar a temperatura ambiente para ser vertidas en las probetas, después se ajustó el sifón de un botellón de 1.0 gal. (3.8 lt) conteniendo una solución stock (CaCl₂) cloruro de calcio para verterla en la probeta hasta una altura de 101.6 ± 2.54 mm indicado sobre la graduación de la probeta; después se dejó reposar el material durante 10 ± 1 minuto; transcurrido dicho tiempo se tapó la probeta, y se agitó manualmente en una posición horizontal de izquierda a derecha durante 30 segundos de 90 ciclos; y se dejó reposar en posición vertical durante 20 minutos para tomar lectura del nivel de la parte superior de la suspensión; finalmente se desciende el dispositivo “pie de contrapeso” dentro de la probeta hasta apoyarla sobre la arena para registrar la lectura aparente de arena.



Fotografía 7: Ensayo de Equivalente de Arena

Ensayo de azul de metileno

Este ensayo se realiza de acuerdo a la ISSA TB 145 y a la AASHTO TP 57, con la finalidad de determinar los valores de reactividad de los materiales pasante del tamiz N° 200 y verificar si esta cumple con las especificaciones de la ISSA A 105 y/o la EG 2013, de acuerdo al tipo de Slurry Seal a desarrollar. El ensayo consistió en pesar un gramo de material pasante de la malla N° 200, al cual se le agregó 30 gramos de agua destilada en un vaso, mediante un agitador magnético se agitó hasta que el material esté completamente mojado y disperso, luego se dejó caer 1 ml de azul de metileno y se dejó en el agitador magnético durante un minuto, después de este tiempo se succiona una gota con una varilla de vidrio y se coloca en un papel filtro, dicha actividad se realizó hasta obtener el aro azul alrededor del agua.



Fotografía 8: Ensayo de Azul de Metileno

Ensayo de Adherencia Riedel Weber

Este ensayo se realiza de acuerdo a la norma MTC E 220 “Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (procedimiento Riedel Weber)” del Manual de Ensayos de Materiales 2014, con la finalidad de determinar el grado de afinidad del par agregado fino y ligante bituminoso y verificar si esta cumple con las especificaciones de la EG 2013.

El ensayo consistió en tamizar 200 gr del agregado fino pasante en tamiz N° 30 y retenido en el tamiz N° 70, luego se lavó el material sobre el tamiz N° 70 para eliminar totalmente el polvo y se dejó secar durante 1 hora en una estufa a $145 \pm 5^{\circ}\text{C}$; luego se mezcló con la emulsión asfáltica que se aplicara en el diseño; se elaboran 10 bolitas de la mezcla con un peso de $0.50 \text{ gr} \pm 0.10 \text{ gr}$, se vierte 6 cm^3 de soluciones de Carbonato de Sodio desde el grado 1 hasta el grado 10 en los tubos de ensayos, los cuales se calientan cuidadosamente hasta la ebullición de la solución para introducir una bolita durante 1 minuto, después se tapa el tubo y se agita vigorosamente durante 10 segundos, y visualmente se verificara el desplazamiento entre ligante y agregado.



Fotografía 9: Ensayo de Adherencia Riedel Weber

Agregado mineral

Se eligió como agregado mineral o filler al cemento andino portland tipo I, ya que esta cumple con los requisitos de las ASTM 242, y se usó con la finalidad de mejorar la consistencia de la mezcla del Slurry Seal. La ISSA A 105 recomienda usar un rango de 0 a 3% de filler respecto al peso seco del agregado.

Emulsión asfáltica

Se usó la emulsión asfáltica CQS – 1hp producida por EMULTEC – TDM ASFALTOS, la cual dependió de las características del agregado, de las

condiciones climáticas del lugar, del tipo y volumen de tránsito de la vía en estudio, y otras exigencias; así mismo se exigió que dicha Emulsión asfáltica cumpla con los requerimientos que exponen tanto la ISSA A 105 como la EG 2013, las cuales están basadas en la ASTM D 2397, mediante los siguientes ensayos que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9
Ensayos para la emulsión asfáltica

N°	Ensayos	ISSA A 105 Norma	EG 2013 Norma
Ensayos sobre la emulsión			
1	Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol 25°C	ASTM D 7496	
2	Ensayo de Destilación – contenido de asfalto residual	ASTM D 6997	
3	Ensayo de Estabilidad de Almacenamiento, 24h horas, %	ASTM D 6930	
4	Ensayo de Prueba de Tamiz N° 20	ASTM D 6933	
5	Ensayo de Carga de partícula	ASTM D 7402	
Ensayos sobre el residuo de emulsión			
6	Ensayo de Penetración, 25°C, 100 g, 5s	ASTM D 5	
7	Ensayo de Punto de ablandamiento	ASTM D 36	
8	Ensayo de Ductilidad, 25°C, 5 cm/min	ASTM D 113	
9	Ensayo de Solubilidad en Tricloretileno	ASTM D 2042	

Fuente: Ensayos para emulsión asfáltica CQS-1hp (ISSA, 2010) (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8)

Caracterización del agua

Se usó agua potable para el diseño de Slurry Seal, la cual fue sometida a ensayos de dureza y PH por el técnico de laboratorio de TDM ASFÁLTOS, con la finalidad de verificar que cumpla con los parámetros de ISSA A105 y la EG 2013.

e) Diseño del Slurry Seal

El diseño de Slurry Seal se realizó de acuerdo a la ISSA A 105 el cual plantea los siguientes ensayos que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 10
Ensayos para el diseño de Slurry Seal

N°	Ensayos	ISSA A 105 Norma
1	Consistencia del Slurry Seal	ISSA TB 106
2	Cohesión en húmedo 30 minutos mínimo – Rotura de cohesión en húmedo 60 minutos mínimo.	ISSA TB 139
3	Exceso de asfalto por LWT Adhesión de Arena	ISSA TB 109
4	Desprendimiento en húmedo	ISSA TB 114
5	Pérdida de abrasión en húmedo WTAT, remojar 1 hora	ISSATB 114
6	Tiempo de mezcla	ISSA TB 113

Fuente: Ensayos para diseño de Slurry Seal (ISSA, 2010) (7)

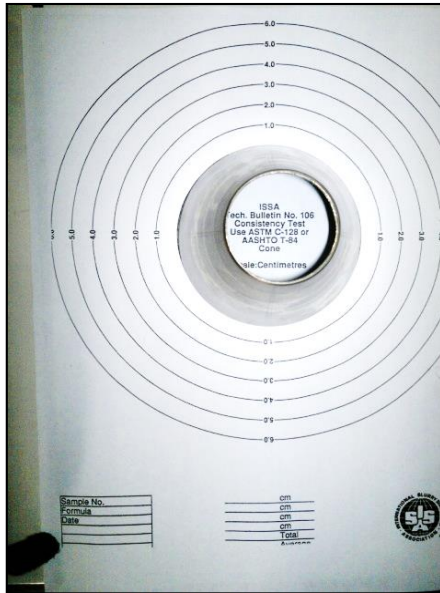
El diseño de Slurry Seal se realizó en el Primer Centro de Desarrollo Tecnológico (PCDT) del Perú TDM ASFALTOS, ubicada en la Mza. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín, Lurín, Lima.

Método Diurez

Antes de dar inicio con los ensayos correspondientes se determinó el contenido teórico de la emulsión asfáltica, mediante el método Diurez, a partir de ello recién se dio inicio con los siguientes ensayos:

Ensayo de consistencia

Este ensayo se desarrolló de acuerdo a la ISSA TB 106, con la finalidad de determinar la cantidad óptima de agua que permita tener una mezcla trabajable y estable; para este ensayo se empleó el cono de Kansas y una escala básica de flujo. Para desarrollar el ensayo se realizaron tres mezclas preliminares, donde cada una tenía 400 gramos de agregado, un contenido teórico de emulsión asfáltica calculada por el método Diurez respecto al peso del agregado, un porcentaje de filler con respecto al peso del agregado, y porcentajes de agua al 8, 10 y 12 % respectivamente. El tiempo de mezcla de cada diseño preliminar fue por 30 segundos, pasado dicho tiempo se vertió la mezcla dentro del cono de Kansas, se sacudió e inmediatamente se retiró el cono con un movimiento suave y vertical; se dio lectura del flujo radial de cada diseño preliminar, y se consideró como óptimo al promedio de los flujos, el cual no debe ser menos 2 cm ni mayor a 3 cm



Fotografía 10: Cono y escala de flujo



Fotografía 11: Flujo de mezcla

Ensayo Tiempo de mezcla

Este ensayo se desarrolló de acuerdo a la ISSA TB 113, se realizaron tres muestras con la mezcla preliminar con el contenido óptimo de agua, a los cuales se les añadió cantidades distintas de polímero y un contenido constante de aditivo, para mejorar su trabajabilidad, el ensayo termina cuando la mezcla rompe y no sea trabajable.



Fotografía 12: Ensayo de Tiempo de mezcla

Ensayo de Desnudamiento por humedad

Este ensayo se desarrolló de acuerdo a la ISSA TB 114, con la finalidad de ver la compatibilidad de la emulsión asfáltica con el agregado; para dar inicio con el ensayo primero se tomó una muestra representativa de 10 gr de la mezcla preliminar del ensayo de consistencia, el cual fue vertido en un vaso de 600 ml con un contenido de 400 ml de agua destilada, el cual se hizo hervir durante 3 minutos, después se dejó enfriar, se escurrió el agua, se retiró la muestra y se dejó caer agua sobre el hasta que salga agua clara; finalmente se puso la muestra en un papel absorbente y se estimó el área de agregado cubierto la emulsión asfáltica.



Fotografía 13: Escurrimiento del agua



Fotografía 14: Muestra cubierta

Ensayo de Abrasión En Húmedo

Es la primera prueba de desempeño con el cual se evaluará en comportamiento de las mezclas de Slurry Seal, ya que simula una superficie asfáltica saturada con agua expuesta al tránsito vehicular, este ensayo se desarrolló de acuerdo a la ISSA TB 100, con la finalidad de determinar la resistencia al desgaste por abrasión.

Mediante esta prueba se definió el valor mínimo de emulsión asfáltica, con el objetivo de obtener una mezcla con una adecuada cohesión capaz de resistir la acción abrasiva del tránsito.

Para este ensayo se desarrollaron tres diseños preliminares de mezcla, antes de dar inicio con el ensayo primero se preparó los moldes en el disco de 286 mm sobre una placa metálica, después se tomó una cantidad considerable del agregado, el cual fue cuarteado con la finalidad de obtener 3 muestras de 800 gr, los cuales fueron mezclados con el porcentaje de cemento portland tipo I durante 1 minuto, después de añade la cantidad óptima de agua calculada, y se mezcla hasta lograr que las partículas del agregado se mojen uniformemente, finalmente se añade la cantidad de emulsión asfáltica predeterminada par cada una de las muestras y se mezcla por un periodo de 1 minuto y no mayor 3 minutos, se vierte inmediatamente las mezclas en cada molde, con ayuda de una varilla metálica se enrasa la muestra a nivel del anillo, después de 1 minuto se retira el añillo y se colocan las muestra en el horno a una temperatura de 60°C durante 15 horas como mínimo.



Fotografía 15: Colocación de la mezcla



Fotografía 16: Enrasado de la mezcla

Pasado más de 15 horas se sacó la muestra y se dejó enfriar a temperatura ambiente, después de pesar cada muestra, estas se colocaron en un recipiente con agua a 25°C durante 60 minutos.



Fotografía 17: Colocación de muestras en el horno

Transcurrido los 60 minutos se sacó la muestra y se colocó en la máquina de abrasión, después se cubrió la muestra con 6 mm de agua a 25°C, se fija bien la cabeza del tubo de caucho en el eje de la máquina y se apoya sobre la superficie, terminado dicho proceso se enciende la máquina a una velocidad baja durante 5 minutos, una vez ensayada se retira la muestra y se lava para eliminar los residuos, para posteriormente ser colocada en el horno a 60°C durante 1 hora, después se retiró, se dejó enfriar y se pesó la muestra, terminando de esta manera el ensayo de Abrasión en Húmedo.



Fotografía 18: Colocación de muestra



Fotografía 19: Muestra sumergida



Fotografía 20: Abrasión en húmedo



Fotografía 21: Ensayo de Abrasión

Ensayo de Rueda Cargada

Es la segunda prueba de desempeño con el cual también se evaluará en comportamiento de las mezclas de Slurry Seal, ya que simula una superficie asfáltica expuesta a un tránsito vehicular pesado, este ensayo se desarrolló de acuerdo a la ISSA TB 109, con la finalidad de determinar la resistencia a la exudación de asfalto.

Este ensayo define el valor máximo de emulsión asfáltica con el fin de obtener una mezcla con adecuada cohesión, y evitar la exudación bajo las cargas del tráfico pesado.

Se usa la misma dosificación de los tres diseños preliminares del ensayo de abrasión en húmedo; antes de realizar el ensayo se procedió a seleccionar el espesor de la probeta igual a 1 cm, después se pesaron tres muestras con 300 gramos más un 30% más para llenar el molde, a los cuales se les añadió los demás componentes del Slurry Seal y se mezcló durante 45 segundos, después se colocó la muestra en el molde, después de 1 minuto se desmoldo la muestra y se colocó en un horno a 60°C por 12 horas.



Fotografía 22: Mezcla en el molde



Fotografía 23: Muestra en el horno

Se retiraron las muestras del horno y se dejaron enfriar a temperatura ambiente; se ajustó la probeta contra los pines de fijación con las arandelas de agarre y tuercas de mariposa, después se aplicó una carga de 125 libras por la rueda de caucho durante 1000 ciclos, durante ese proceso se aplicó pequeñas cantidades de agua para evitar la adherencia de la rueda con la muestra; después se descargó la máquina y se procedió a lavar la muestra y se secó a 60°C durante 60 minutos.

Al mismo tiempo se colocó la arena Ottawa hasta lograr una temperatura de 82°C, transcurrido los tiempos se colocaron las muestras en la máquina, las cuales fueron definidas con una cinta adhesiva el área de donde colocara el molde que será con la arena Ottawa, después se colocó una placa sobre dicha área y se cargó nuevamente la máquina para completar con 100 ciclo más, una vez terminado dicho proceso se retiró las muestra para eliminar la arena suelta, después se realizó el pesado de cada una de ellas, terminando de esta manera el ensayo de Rueda Cargada.



Fotografía 24: Acción de la rueda cargada durante 1000 ciclos



Fotografía 25: Muestra después del ensayo de 1000 ciclos



Fotografía 26: Muestra en el horno



Fotografía 27: Arena Ottawa en el horno



Fotografía 28: Colocación de la arena Ottawa sobre la muestra



Fotografía 29: Acción de la rueda cargada durante 100 ciclos

Ensayo de Cohesión en Húmedo

Este ensayo se realizó de acuerdo a la ISSA TB 139, con la finalidad de definir el tiempo de rotura y el tiempo de apertura de tráfico, este ensayo simula una superficie asfáltica expuesta a tránsito vehicular; para dar inicio con el ensayo se procedió a tamizar muestra pasante la malla N°4 lo cual se realiza para un Slurry Seal tipo II y tipo III, los anillos para los moldes son de 6 mm para un tipo II y de 10 mm para un tipo III.

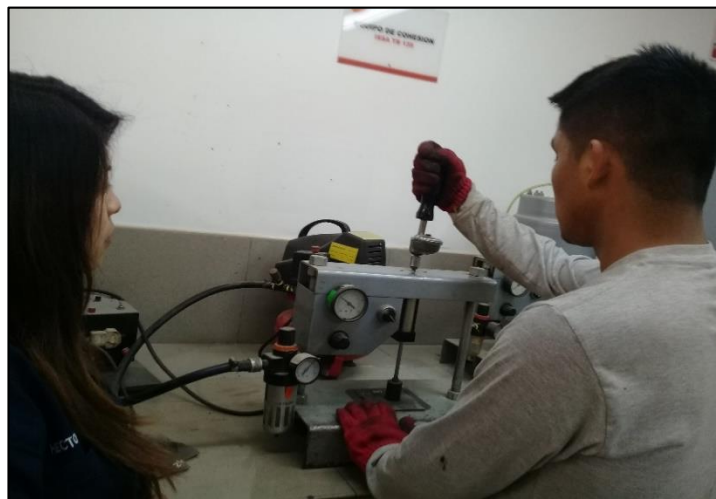
Se procedió a realizar 4 probetas las cuales fueron sometidas a una presión de aire de 200 kPa a una velocidad de 8 a 10 cm por segundo durante 30 min., 60 min., 90 min. Y 120 min. Respectivamente, se consideró como tiempo de rotura al momento donde la mezcla no pueda ser mezclada homogéneamente, y tiempo de apertura de tráfico cuando el nivel de torque llega a un nivel igual a 20 kg-cm.



Fotografía 30: Elaboración de probetas



Fotografía 31: Probetas para el ensayo



Fotografía 32: Maquina de compresión



Fotografía 33: Aplicación de torque con una presión de 200 kPa



Fotografía 34: Probetas ensayadas

Fase gabinete

a) Procesamiento de datos durante la fase de campo

En el transcurso de la fase de campo también se realizaron trabajos de gabinete, ya que cada actividad que se realizó, dependía del resultado de una actividad anterior a ella; a continuación, se muestran los trabajos de gabinete que realizaron durante la fase de campo.

Cálculo y determinación de la condición actual de la vía en estudio

Con los datos obtenidos de campo se procedió a realizar los siguientes cálculos de acuerdo al método PCI:

4. Teniendo los valores PCI de cada unidad de muestreo, se procedió a clasificar la condición que presenta cada una de ellas mediante la Tabla 11, donde se muestran los rangos de clasificación del método PCI; y finalmente para determinar la condición actual de la vía en estudio se calcula el valor del PCI ponderado, respecto a los valores y cantidad de unidades de muestreo.

Tabla 11
Rangos de Clasificación del PCI

Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy malo
10-0	Fallado

Nota: Rangos de calificación PCI. Fuente: (Vásquez, Luis, 2002) (12)

Estudio de tráfico

Los datos registrados del conteo vehicular durante los 7 días las 24 horas, fueron digitalizados en el programa Excel, posterior a ello se realizó lo siguiente:

1. Se procedió a calcular el volumen de clasificación promedio de la semana o índice medio diario semanal (IMDs), aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación N° 2: Cálculo del IMDA

$$\text{IMDs} = \frac{VL + VM + VM + VJ + VV + VS + VD}{7}$$

Donde:

IMDs = Índice medio diario semanal

VL, VM, VM, VJ, VV, VS, VD = Volúmenes de tráfico del día lunes al día domingo

2. Para calcular el índice medio diario anual (IMDA) de la vía en estudio, se ubicó la estación de peaje más cercana a la vía en estudio para obtener los factores de corrección estacional de acuerdo al mes en que se realizó el conteo vehicular, dicho valores se obtuvieron del anexo SNIP 09 “Parámetros y normas técnicas para formulación”. En la Tabla 12 se muestra los valores de factor de corrección estacional para el mes de julio. (Parámetros y normas técnicas para formulación, 2011) (18)

Tabla 12
Factor de corrección promedio para vehículos

Peaje	Vehículos pesados	Vehículos ligeros
Quiulla	0,857949	0,969740

Nota: Factor de corrección estacional para el mes de julio. Fuente: (Parámetros y normas técnicas para formulación, 2011)

3. Finalmente para obtener el índice medio diario anual (IMDA) de la vía en estudio se aplicó la Ecuación 3.

Ecuación N° 3: Cálculo del IMDA

$$\text{IMDA} = \text{IMDs} \times \text{FCE}$$

Donde:

IMDs = Volumen de clasificación promedio de la semana

FCE = Factor de corrección estacional

IMDA = índice Medio Diario Anual

Características de los componentes del Slurry Seal

Una vez realizado los diferentes ensayos a los componentes del Slurry Seal se procedieron a digitalizarlos en el programa Excel, en el cual se desarrollaron los cálculos para obtener los resultados de cada ensayo, los cuales a su vez fueron comparados con las especificaciones establecidas por la ISSA A 105 y la EG 2013.

Especificaciones para el agregado

A continuación, se muestran las especiaciones que debe cumplir el agregado de acuerdo a la ISSA A 105 y la EG 2013

Tabla 13

Especificaciones para granulometría de los agregados

Especificaciones de la EG 2013 e ISSA A 105				
Tamaño de tamiz	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tolerancia
3/8 (9.5 mm)	100	100	100	± 5%
#4 (4.75 mm)	100	90-100	70-90	± 5%
#8 (2.36 mm)	90-100	65-90	45-70	± 5%
#16 (1.18 mm)	65-90	45-70	28-50	± 5%
#30 (600 um)	40-65	30-50	19-34	± 5%
#50 (300 um)	25-42	18-30	12-25	± 4%
#100 (150 um)	15-30	10-21	7-18	± 3%
#200 (75 um)	10-20	5-15	5-15	± 2%

Nota: Especificaciones para la granulometría. Fuente: (ISSA, 2010) (7)

Tabla 14

Especificaciones de los ensayos para el agregado

Ensayo	EG 2013		ISSA A 105	
	Norma	Especificación	Norma	Especificación
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	18% máximo	AASHTO T 104 ASTM C 88	25% máximo
Abrasión los Ángeles	MTC E 207	25% máx.	AASHTO T 96 ASTM C 131	35% máx.
Equivalente de arena	MTC E 114	40% min.	AASHTO 176 ASTM D 2419	45% min.
Azul de metileno	AAHTO TP 57	8 máx.	ISSA TB 145	13 máx.
Adherencia Riedel Weber	MTC E 220	4 mínimo	-	-

Nota: ensayos según la EG 2013 e ISSA A 105. Fuente: (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8) (ISSA, 2010) (7)

Especificaciones para la emulsión asfáltica

A continuación, se muestran las especificaciones que debe cumplir la emulsión solicitada a EMULTEC TDM ASFÁLTOS, que en una emulsión asfáltica CQS-1hp

Tabla 15
Especificaciones de las características de la emulsión asfáltica

Pruebas	Unidades	Especificación EG 2013 – ISSA A105	
		Min.	Máx.
Prueba sobre emulsiones:			
Viscosidad Saybolt Furol a 25°Cs	dsf	20	100
Destilación:			
% Asfalto residual	%	57	-
Estabilidad de Almacenamiento, 24h,%	%		1
Prueba de Tamiz %	%	-	0.1
Carga de partícula			Positivo
Pruebas sobre el Residuo de destilación:			
Penetración, 25°C, 100 g, 5s	dmm	40	90
Punto de ablandamiento	°C	57	
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	Cm	40	-
Solubilidad en Tricloretileno, %	%	97.5	-

Fuente: Especificaciones para emulsión asfáltica CQS-1hp (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8) (ISSA, 2010) (7)

Diseño del Slurry Seal

Para el diseño del Slurry Seal se realizaron los siguientes trabajos de gabinete:

1. Se calculó el contenido teórico de emulsión asfáltica por el método Diurez, como primer paso se calculó el área superficial del agregado respecto a su granulometría aplicando la Ecuación N°4.

Ecuación N° 4: Superficie específica

$$SE = \frac{0.372xG + 2.0943g + 16.6667xK + 117.8xF}{100}$$

Donde:

SE= Superficie Especifica

G = % retenido entre los tamices 3/8" y N° 4

g = % retenido entre los tamices N° 4 y N° 50

K = % retenido entre los tamices N° 50 y N° 200

F = % que pasa por el tamiz N° 200

Como segundo paso se calculó en contenido teórico de asfalto residual mediante la siguiente figura.

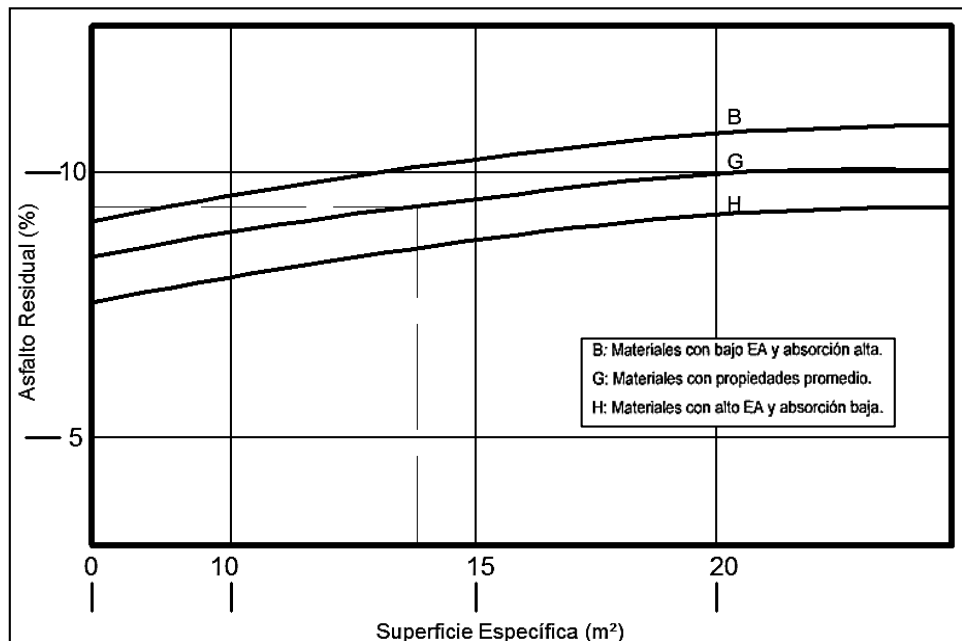


Figura 15. Contenido teórico de asfalto residual. Fuente (Huanca, 2013) (6)

Finalmente, aplicado la Ecuación N° 5, se obtuvo el contenido teórico de emulsión asfáltica.

Ecuación N° 5: Contenido teórico de emulsión asfáltica

$$\% \text{ teórico de emulsión asfáltica} = \frac{\% \text{ asfalto teórico residual} \times 100}{\% \text{ residuo por dest.}}$$

Donde:

% asfalto teórico residual = se obtiene por la curva de contenido teórico de asfalto residual.

% asfalto residual = se obtiene del ensayo por destilación

Una vez obtenido el contenido teórico de emulsión asfáltica se procedieron a realizar los ensayos ya mencionados y descritos en la fase campo, los resultados obtenidos de cada ensayo pasaron a la fase constatación, donde se verificó que estas cumplan con las especificaciones tanto de la ISSA A 105 y la EG 2013.

Tabla 16
Especificaciones de los ensayos para el diseño de Slurry Seal

Ensayo	Especificación EG 2013	Especificación ISSA A 105
Consistencia	-	2.0 -3.0 cm
Tiempo de mezcla	-	Mínimo 180 seg.
Desprendimiento en húmedo	90% min	90% min
Abrasión en Húmedo WTAT	807 g/m2 máximo	807 g/m2 máximo
Rueda cargada LWT	538 g/m2 máximo	538 g/m2 máximo
Cohesión en húmedo	30 minutos, 12 kg/cm mín. 60 minutos, 20 kg/cm mín.	30 minutos, 12 kg/cm mín. 60 minutos, 20 kg/cm mín.

Nota: especificaciones según la EG 2013 e ISSA A 105. Fuente: (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8) (ISSA, 2010) (7)

En el ensayo de rueda cargada se debe tener en cuenta lo siguiente.

Tabla 17
Absorción máxima admisible de arena

IMDA (veh/día)	Absorción admisible (gr/cm2)
Menos de 300	0.08
300 - 1500	0.07
Más de 1500	0.06

Nota: Absorción máxima admisible. Fuente: (Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) (8)

b) Costo del Slurry Seal

Se realiza el A.P.U. del suministro, preparación y colocación del Slurry Seal teniendo en cuenta lo siguiente:

Tabla 18
Costo de mano de obra de la municipalidad distrital de El tambo

Descripción	Unidad	Costo (S/.)
Operario	h/h	13.37
Oficial	h/h	10.74
Peón	h/h	9.70

Nota: costo de mano de obra. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19
Costo de materiales para el Slurry Seal

Descripción	Unidad	Costo (S/.)
Emulsión CQS-1hp	gal	8.48
Arena 3/8"	m3	33.24
Agua	m3	0.65
Cemento portland tipo i (42.5 kg)	bol	19.19
Aditivo	gal	29.90

Nota: costo de materiales. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20
Costo de equipos para colocación del Slurry Seal

Descripción	Unidad	Costo (S/.)
Compresora neumática 125-175 PCM	hm	63.81
Cargador frontal 125 hp	hm	118.00
Camión volquete de 15 m3	hm	120.00
Camión cisterna 3000 gln (agua)	hm	210.00
Camión slurry seal	hm	450.00
Camión cisterna de emulsión 4000 gln	hm	205.00

Nota: costo de mano de obra. Fuente: Elaboración propia.

3.8. Técnicas y análisis de datos

- Para el procesamiento de datos obtenidos en la evaluación de la condición actual de la vía, se utilizó el programa Microsoft Excel 2013. del diseño de Slurry Seal
- Para el procesamiento de datos obtenidos del conteo vehicular, se utilizó el programa Microsoft Excel 2013.
- Para el procesamiento de datos obtenidos de la caracterización de los componentes del Slurry Seal se utilizó el programa Microsoft Excel 2013.
- Para el procesamiento de datos obtenidos del diseño del Slurry Seal se utilizó el programa Microsoft Excel 2013.
- El A.P.U. del suministro, preparación y colocación de Slurry Seal tipo III de apertura rápida se realizó en el programa S10 Presupuestos 2005.
- Los planos de ubicación-localización y planta, unidades de muestreo de la vía en estudio se desarrollaron el programa Autocad Civil 3D 2015.

CAPITULO IV

RESULTADOS

Resultados específicos

- a) Tipo de Slurry Seal adecuado para la condición actual de la superficie asfáltica.

Evaluación de la condición actual de la superficie asfáltica

La evaluación de la condición actual de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento tramo: Av. Mariscal Castilla y Av. Huancavelica, se realizó de acuerdo al método PCI, a continuación, se muestra la ubicación de la vía en estudio:



Figura 16. Ubicación de la vía en estudio. Fuente Elaboración propia.

Tabla 21

Características principales de la vía en estudio para la evaluación

N	Características de la vía	descripción
1	Ubicación	Av. Evitamiento tramo: Desde la Av. Mariscal Castilla hasta la Av. Huancavelica
3	Punto de inicio para la evaluación	Intersección entre la Av. Evitamiento y la Av. Mariscal Castilla con una progresiva inicial de 0+000 km
4	Punto final para la evaluación	Intersección entre la Av. Evitamiento y la Av. Huancavelica con una progresiva final de 0+596 m
5	Longitud de la vía	596.00 m
6	Ancho de calzada	13.25m

Nota: Características de la vía en estudio. Fuente: Elaboración propia

Aplicando la ecuación de unidades de muestreo del método se obtuvo 34 unidades de muestreo, tal como se muestra a continuación:

$$N = \frac{L * C}{230 \text{ m}^2} \rightarrow N = \frac{596 \text{ m} * 13.25 \text{ m}}{230 \text{ m}^2} = \frac{7897 \text{ m}^2}{230 \text{ m}^2} = 34 \text{ unidades de muestreo}$$

Dónde: Ver tabla 22.

Tabla 22*Áreas de las unidades de muestreo*

Unidad de muestreo	Progresiva inicial (Km)	Progresiva Final (Km)	Ancho (m)	Longitud (m)	Área (m ²)	Área PCI (m ²)
U-1 a U-9	0 + 000	0 + 144	13.25	16	212	230±93
U-10 a U-19	0 + 144	0 + 161	13.25	17	225.25	230±93
U-20 a U-29	0 + 314	0 + 332	13.25	18	238.5	230±93
U-29 a U-34	0 + 476	0 + 496	13.25	20	265	230±93

Nota: Áreas de las unidades de muestreo respecto al área sugerido por el PCI. Fuente: Elaboración propia

Las distribuciones de las unidades de muestreo se detallan en el Anexo 5. Planos de unidades de muestreo de la vía en estudio.

Después de la evaluación de las 34 unidades de muestreo, se encontraron los siguientes daños: grietas longitudinales y transversales, parcheo y acometidas de servicio, huecos, y meteorización/desprendimiento de agregados, siendo este último, el daño más resaltante por presentarse en casi toda el área de cada unidad de muestreo, lo cual se puede ver en el Anexo 7, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 23*Resumen de la evaluación de las unidades de muestreo*

Unidad de muestreo	Progresiva inicial (Km)	Progresiva Final (Km)	Sección	Área (m2)	Valor PCI	Condición
U-1	0 + 000	0 + 016	1	212	52.90	REGULAR
U-2	0 + 016	0 + 032	2	212	50.81	REGULAR
U-3	0 + 032	0 + 048	3	212	52.76	REGULAR
U-4	0 + 048	0 + 064	4	212	52.71	REGULAR
U-5	0 + 064	0 + 080	5	212	47.64	REGULAR
U-6	0 + 080	0 + 096	6	212	54.81	REGULAR
U-7	0 + 096	0 + 112	7	212	56.75	BUENO
U-8	0 + 112	0 + 128	8	212	54.72	REGULAR
U-9	0 + 128	0 + 144	9	212	54.74	REGULAR
U-10	0 + 144	0 + 161	10	225.25	54.75	REGULAR
U-11	0 + 161	0 + 178	11	225.25	53.02	REGULAR
U-12	0 + 178	0 + 195	12	225.25	54.79	REGULAR
U-13	0 + 195	0 + 212	13	225.25	51.95	REGULAR
U-14	0 + 212	0 + 229	14	225.25	52.96	REGULAR
U-15	0 + 229	0 + 246	15	225.25	54.75	REGULAR
U-16	0 + 246	0 + 263	16	225.25	52.74	REGULAR
U-17	0 + 263	0 + 280	17	225.25	53.35	REGULAR
U-18	0 + 280	0 + 297	18	225.25	47.43	REGULAR
U-19	0 + 297	0 + 314	19	225.25	52.74	REGULAR
U-20	0 + 314	0 + 332	20	238.5	51.61	REGULAR
U-21	0 + 332	0 + 350	21	238.5	44.82	REGULAR
U-22	0 + 350	0 + 368	22	238.5	52.74	REGULAR
U-23	0 + 368	0 + 386	23	238.5	51.09	REGULAR
U-24	0 + 386	0 + 404	24	238.5	49.26	REGULAR
U-25	0 + 404	0 + 422	25	238.5	52.95	REGULAR
U-26	0 + 422	0 + 440	26	238.5	52.89	REGULAR
U-27	0 + 440	0 + 458	27	238.5	51.08	REGULAR
U-28	0 + 458	0 + 476	28	238.5	48.64	REGULAR
U-29	0 + 476	0 + 496	29	265	42.65	REGULAR
U-30	0 + 496	0 + 516	30	265	53.01	REGULAR
U-31	0 + 516	0 + 536	31	265	52.95	REGULAR
U-32	0 + 536	0 + 556	32	265	53.74	REGULAR
U-33	0 + 556	0 + 576	33	265	47.13	REGULAR
U-34	0 + 576	0 + 596	34	265	39.95	MALO

Nota: Resumen de valores PCI de las unidades de muestreo. Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra que el 94% de las 34 unidades de muestreo se encuentran en una condición regular, el 3% en una condición mala y el 2% en buena condición.

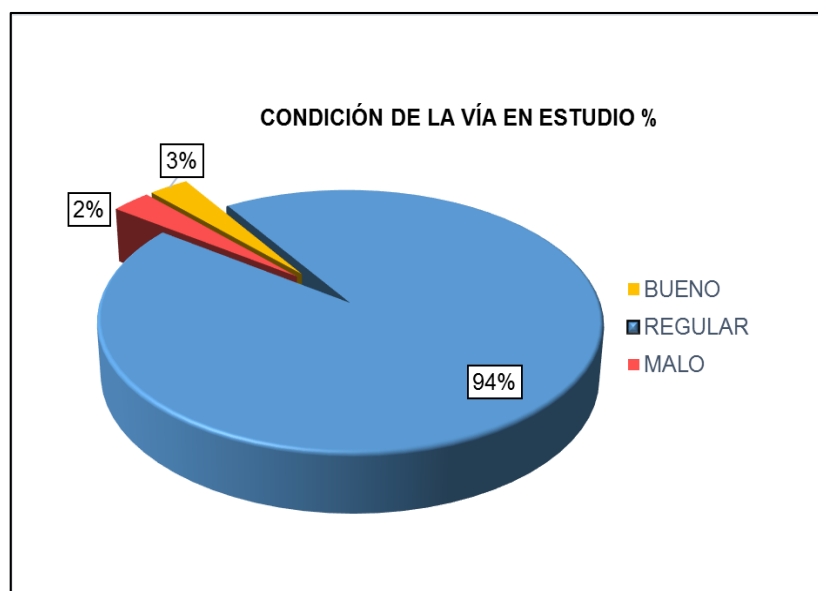


Figura 17. Porcentaje de condición actual de la vía en estudio

Con dichos valores PCI obtenidos de cada unidad de muestreo calculo el valor PCI ponderado con el cual se determinó la condición actual de la vía, respecto a los rangos de calificación PCI, con el cual se determinó que esta vía requiere de un mantenimiento periódico, tal como se muestra a continuación:

Tabla 24
Condición actual de la vía en estudio

Descripción	Resultado
Σ Valores PCI (Unidades de muestreo)	1750.84
Cantidad de unidades de muestreo	34
PCI ponderado	51.50
Condición actual	Regular

Nota: Condición de vía. Fuente: Elaboración propia

Tabla 25
Rangos de Clasificación del PCI

Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy malo
10-0	Fallado

Nota: Rangos de calificación PCI. Fuente: (Vásquez, Luis, 2002) (12)

CONDICIÓN MALA	CONDICIÓN REGULAR	CONDICIÓN BUENA
RECONSTRUCCIÓN O REHABILITACIÓN	MANTENIMIENTO PERIODICO	MANTENIMIENTO RUTINARIO

Figura 18. Tipo de conservación según calificación de condición. Fuente: (Manual de suelos, geología, geotécnia y pavimentos, 2014) (12)

Mediante la evaluación de la condición actual de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento tramo: desde la Av. Mariscal Castilla hasta la Av. Huancavelica por el método PCI, se obtuvo un valor PCI ponderado igual a 51.50, que de acuerdo a la calificación del PCI, esto indica que la vía tiene una condición **regular**, por tanto, la vía requiere de un mantenimiento periódico, donde deberán de hacerse el bacheo de los puntos críticos, el sellado de las fisuras, y se deberá hacer la renovación de toda la superficie en general, en consecuencia se deberá hacer el diseño de un Slurry Seal tipo III para lograr una superficie de desgaste mejorada.

b) Caracterización de los componentes del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica.

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos realizados a los componentes para un Slurry Seal tipo III.

Agregado

En la siguiente tabla se muestran los detalles de la muestra.

Tabla 26
Detalles de la muestra

Procedencia	Planta de Asfalto y Chancadora de la DRTC Junín
Tipo de muestra	arena chancada 3/8"

Nota: Procedencia y tipo de agregado. Fuente: Elaboración propia

- Análisis granulométrico

El procedimiento aplicado para hacer realidad el presente ensayo estuvo de acuerdo al Manual de Ensayos de Materiales – 2016 (E 204) “ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS”, del cual en la Tabla N° 27 se muestra el resultado del análisis granulométrico del agregado que produce la Planta de Asfalto y Chancadora de la DRTC Junín, donde se observa que el agregado que pasan por los tamices cumplen satisfactoriamente con las especificaciones que establece la ISSA A105 y la EG 2013 para un Slurry Seal tipo III.

Tabla 27
Análisis granulométrico del agregado

Tamiz	Abertura del tamiz	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% que pasa	ISSA A 105 - EG 2013	
						Especificación para Slurry Seal tipo III	
						Mínimo	Máximo
3/8"	9.50 mm				100.00	100	100
N° 4	4.75 mm	208.3	14.48	14.48	85.52	70	90
N° 8	2.36 mm	328.0	22.80	37.28	62.72	45	70
N° 16	1.18 mm	255.9	17.79	55.08	44.92	28	50
N° 30	600 um	230.0	15.99	71.07	28.93	19	34
N° 50	300 um	135.8	9.44	80.51	19.49	12	25
N° 100	150 um	118.5	8.24	88.74	11.26	7	18
N° 200	75 um	52.2	3.63	92.37	7.63	5	15
FONDO		109.7	7.63	100.00	0.00		
SUMA		1438.40	100				

Nota: granulometría de la arena chancada 3/8", Fuente: Elaboración propia

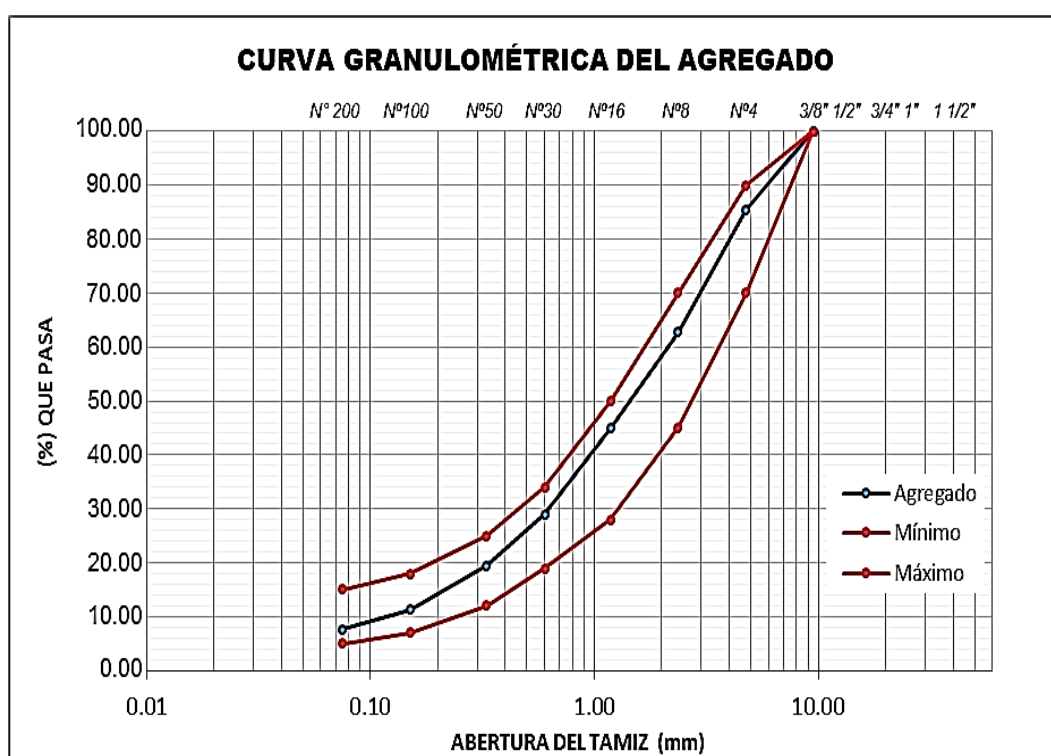


Figura 19. Curva granulométrica del agregado

- Durabilidad a los sulfatos de sodio o magnesio

El ensayo se realizó con una solución de sulfato de magnesio de acuerdo a la E 209, el resultado de las pérdidas totales del agregado fue de 6.672 % tal como se muestra en la Tabla 28, cumpliendo satisfactoriamente con las especificaciones de la de la ISSA A105 y la EG 2013, lo cual se observa en la Tabla 29.

Dicho resultado indica que el agregado tendrá buena resistencia al deterioro por acción de los agentes climáticos del lugar durante su tiempo de vida útil.

Tabla 28
Pérdidas totales del agregado

Fracción		Gradación original %	Peso de la fracción ensayada (gr)	Peso retenido después del ensayo (gr)	Pesos totales %	Pérdida corregida %
Pasa	Retiene					
3/8"	N° 4	19.63	300	273.46	8.85	1.737
N° 4	N° 8	29.12	100	96.91	3.09	0.9
N° 8	N° 16	22.55	100	96.68	3.32	0.749
N° 16	N° 30	18.97	100	90.69	9.31	1.766
N° 30	N° 50	9.73	100	84.38	15.62	1.520
TOTALES		100.00				6.672

Nota: Pérdida total de la arena chancada 3/8". Fuente: Elaboración propia

Tabla 29
Resultado del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio

Ensayo	Resultado	Especificación	
		ISSA A 105	EG 2013
Durabilidad al sulfato de magnesio	6.672 %	25% máximo AASHTO T 104 ASTM C 88	18% máximo MTC E 209

Nota: Durabilidad al sulfato de magnesio de la arena chancada 3/8". Fuente: Elaboración propia

- Ensayo de abrasión los ángeles

De acuerdo al Manual de Ensayos de Materiales – 2016 (E 207), "ABRACION LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS GREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5 mm (1 1/2")", el método de ensayo que corresponde al agregado (arena chancada 3/8") según su gradación fue el método D, después de realizar el ensayo se obtuvo un desgaste igual a 19.6 %, lo cual cumple satisfactoriamente con las especificación de la EG 2013, tal como se observa en la Tabla 31.

Dicho resultado indica que el agregado tendrá buena resistencia al desgaste en el proceso de producción y colocación de la mezcla sobre la superficie a mantener, así mismo tendrá una buena resistencia ante los esfuerzos ejercidos por el tráfico vehicular durante su tiempo de vida útil.

Tabla 30
Desgaste del agregado

	Fracción		Peso (gr)
	Pasa N° 4	Retiene N° 8	
(1) Peso total (gr)			5000.0
(2) Peso retenido en el tamiz N° 12 (gr)			4019.5
(3) Peso que pasa en el tamiz N° 12 (gr) (1-2)			980.5
Número de esperas			6.0
Numero de revoluciones			500.0
Tiempo de rotación (minutos)			15.0
Peso de esferas (gr)			2500.7
Porcentaje de desgaste (%)			19.6

Nota: Desgaste de la arena chancada 3/8". Fuente: Elaboración propia

Tabla 31
Resultados de ensayo de abrasión los Ángeles

Ensayos	Resultado	Especificación	
		ISSA A 105	EG 2013
Abrasión los Ángeles	19.6 %	35% máx. AASHTO T 96 -ASTM C 131	25% máx. MTC E 207

Nota: desgaste de la arena chancada 3/8". Fuente: Elaboración propia

- Equivalente de arena

Este ensayo se realizó de acuerdo al Manual de Ensayos de Materiales – 2016 (E 114), “METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO”, donde se obtuvo un resultado igual a 60.65 %, cumpliendo satisfactoriamente con las especificación de la ISSA A105 y EG 2013, lo cual se ve en la Tabla 33.

Tabla 32
Equivalente de arena del agregado

N° de muestra	M1	M2	M3
Muestra seca pasante la mal N° 4	150 gr	150 gr	150 gr
Lectura de arcilla	6.38	7.00	7.10
Lectura aparente de arena	14.00	14.20	14.20
Lectura de arena	4.00	4.20	4.20
Equivalente de arena	62.70	60.00	59.15
Equivalente de arena promedio		60.62%	

Nota: Equivalente de arena promedio de la arena chancada 3/8". Fuente: Elaboración propia

Tabla 33
Resultado del ensayo de equivalente de arena

Ensayos	Resultado	Especificación	
		ISSA A 105	EG 2013
Equivalente de arena	60.62%	45% min. AASHTO 176 - ASTM D 2419	40% min. MTC E 114

Nota: Equivalente de arena de la arena chancada 3/8". Fuente: Elaboración propia

- **Azul de metileno**

El ensayo de azul de metileno se realizó de acuerdo a la ISSA TB 145-AASHTO TP 57 "AZUL DE METILENO", donde se logró obtener el aro azul alrededor del agua a los 11 mgr/gr, de acuerdo a las especificaciones de la ISSA A 105 este valor indica que el material es relativamente reactivo, pero es aceptable; sin embargo para las especificaciones de la EG 2013 este valor indica que el material es reactivo, ver la Tabla 34. El ensayo de azul de metileno aparte de ver la reactividad del agregado define si la mezcla necesitara de aditivos, y de acuerdo al alto valor obtenido se usará el aditivo sulfato de aluminio para retardar los tiempos de rompimiento y curado, debido a que por el alto contenido de finos la mezcla romperá antes de lo predeterminado en caso se use una emulsión asfáltica de rotura rápida (que es lo que se busca), por ende la emulsión asfáltica adecuada será la de rotura controlada CQS.

Tabla 34
Resultados del ensayo de azul de metileno

Ensayos	Resultado	Especificación	
		ISSA A 105	EG 2013
Azul de metileno	11 mgr/gr	13 máx. ISSA TB 145	8 máx. AASHTO TP 57

Nota: Azul de metileno de la arena chancada 3/8". Fuente: Elaboración propia

- **Ensayo de adherencia Riedel Weber**

Este ensayo se realizó de acuerdo al Manual de Ensayos de Materiales – 2016 (E 220), "ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS ARIDOS FINOS (PROCEDIMIENTP RIEDEL WEBER), donde se obtuvo un resultado de Adherencia Riedel Weber igual a 7, cumpliendo satisfactoriamente con las especificaciones de la EG 2013, tal como se muestra en la Tabla 35.

El resultado obtenido indica un alto grado de afinidad entre el agregado y la emulsión asfáltica que se usará.

Tabla 35
Resultado del ensayo de adherencia Riedel Weber

Ensayo	Resultado	Especificación EG 2013
Adherencia Riedel Weber	7	4 mínimo MTC 220

Nota: Adherencia de la arena chancada 3/8" y la emulsión asfáltica. Fuente: Elaboración propia

Emulsión asfáltica

El proveedor de la emulsión asfáltica para el diseño de slurry seal tipo III proyectado fue EMULTEC TDM ASFALTOS, donde la emulsión asfáltica solicitada fue la CQS-1hp, donde el 1 representa una viscosidad baja, h indica que la base asfáltica es más dura, p indica la presencia de polímeros (SBS), todo ello debido a que la vía donde en estudio tiene un elevado nivel de tránsito, por tanto se debe optimizar el tiempo de apertura al tráfico, en la Tabla N° 36 se muestran que los resultados de la pruebas realizadas a la emulsión asfáltica CQS-1hp, donde estas cumplen satisfactoriamente con las especificaciones que establece la ISSA A 105.y la EG 2013.

Tabla 36
Resultados de las características de la Emulsión asfáltica

Pruebas	Unidades	Resultado	Especificación ISSA A105 y EG 2013	
			Min.	Máx.
Prueba sobre emulsiones				
Viscosidad Saybolt Furol a 25°Cs	ssf	30	20	100
Destilación:				
% Asfalto residual	%	62.5	57	-
Estabilidad de Almacenamiento, 24h,%	%	0.7	-	1
Prueba de Tamiz %	%	0.00	-	0.1
Carga de partícula		Positivo		Positivo
Pruebas sobre el Residuo de destilación				
Penetración, 25°C, 100 g, 5s	dmm	55	40	90
Punto de ablandamiento	°C	57.2	57	
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	cm	75	40	-
Solubilidad en Tricloretileno, %	%	99.6	97.5	-

Nota: Resultados de la emulsión asfáltica: Elaboración propia

Agua

Para el desarrollo del diseño del Slurry Seal tipo III CQS se usó agua potable, el cual no requiere ningún tipo de análisis de agua tal como indica la EG 2013 y la ISSA A 105, sin embargo en el laboratorio “Primer Centro de Desarrollo Tecnológico (PCDT) del Perú TDM ASFALTOS” realizaron el análisis del agua usado y se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la Tabla 37.

Tabla 37
Resultados de Análisis de agua

Ensayo	Resultado	Especificadores ISSA A 105
Potencial de hidrógeno PH	7.7	5.5 – 8 ASTM D 1293
Dureza	285 ppm	380 ppm máximo ASTM D 1126

Nota: características del agua. Fuente: Elaboración propia

Los componentes del Slurry Seal cumplieron satisfactoriamente con las especificaciones de la ISSA A 105 y la EG 2013 el cual generara resultados significativos en la vía en estudio, se determinó que el componente fundamental del Slurry Seal fue el agregado (arena chancada 3/8”), ya que a partir de sus características se definió el tipo de emulsión asfáltica (emulsión asfáltica CQS), y se determinó que para obtener una mezcla trabajable, será importante añadir un aditivo (sulfato de aluminio), finalmente la emulsión asfáltica adecuada para la mezcla fue la CQS-1hp debido alto tránsito de vía en estudio y el clima de la zona (templado seco).

c) Diseño del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica.

Una vez determinado la condición de la vía en estudio y haber caracterizado los componentes del Slurry Seal, se realizó el diseño de Slurry Seal CQS 1hp de apertura rápida.

Diseño del Slurry Seal tipo III de apertura rápida:

Calculo del contenido teórico de emulsión asfáltica por el Método Diurez

Mediante el método Diurez se calculó el contenido teórico de emulsión asfáltica; a partir de la granulometría del agregado, lo cual se muestra en la Tabla 38, obtenida de la caracterización del agregado, se procedió al cálculo de la superficie específica de acuerdo al método Diurez.

Tabla 38
Granulometría del agregado

Arena chancada 3/8" – Planta de Asfalto y Chancadora DRTC Junín			
Tamiz	Abertura del tamiz	Peso retenido (gr)	% Retenido
3/8"	9.50 mm		
N° 4	4.75 mm	208.3	14.48
N° 8	2.36 mm	328.0	22.80
N° 16	1.18 mm	255.9	17.79
N° 30	600 um	230.0	15.99
N° 50	300 um	135.8	9.44
N° 100	150 um	118.5	8.24
N° 200	75 um	52.2	3.63
FONDO		109.7	7.63

Nota: Granulometría del agregado. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 39, se muestra el peso con sus respectivos porcentaje retenido para cada fracción, con la finalidad de aplicar la Ecuación 6 para el cálculo del superficie asfáltica SE.

Tabla 39
Porcentaje de agregado retenido respecto al tamiz

Valores	gr.	%
G (3/8"-N°4)	208.3	14.48
g (N°4-N°50)	1158.0	66.02
K (N° 50-N°200)	306.5	11.87
F (<N°200)	109.7	7.63

Nota: Pesos para aplicar la formula se superficie específica. Fuente: Elaboración propia

Ecuación N° 6: Superficie específica método Diurez

$$SE = \frac{0.372xG + 2.0943g + 16.6667xK + 117.8xF}{100}$$

$$SE = 12.40 \text{ m}^2$$

El valor SE igual a 12.40 m² se ingresa en el gráfico de la Figura 20, se obtuvo el porcentaje de asfalto teórico residual con un valor de 9.4%.

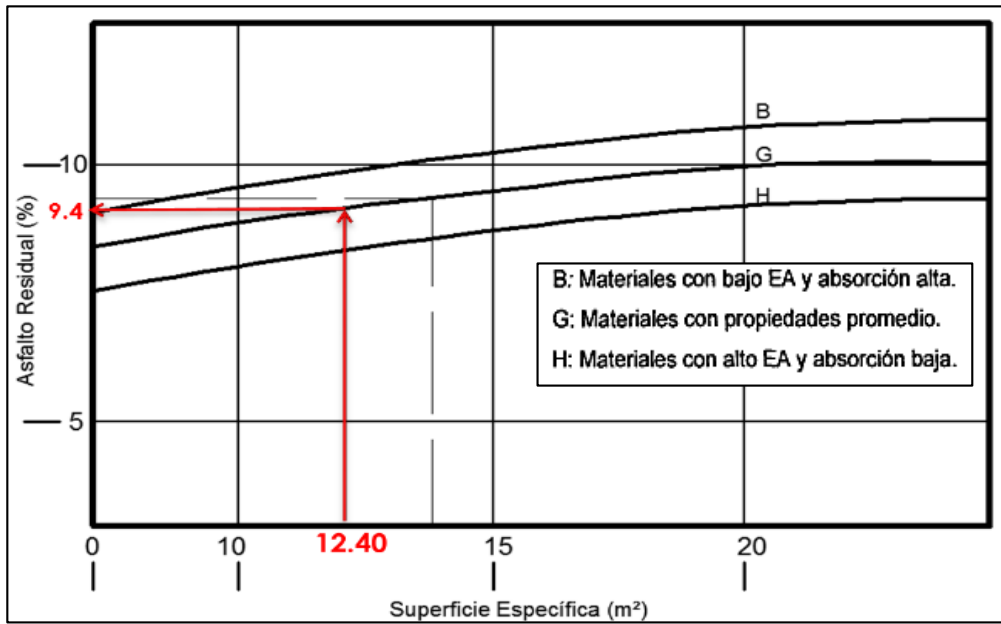


Figura 20. Contenido teórico de asfalto residual

Mediante los datos de la Tabla 40, se aplica la Ecuación N° 7, para obtener contenido teórico de emulsión asfáltica.

Tabla 40
Contenido teórico de emulsión asfáltica

Descripción	Valor
% Asfalto residual	9.4 %
Destilación - % Asfalto residual	62.5 %

Nota: Contenido teórico de emulsión asfáltica. Fuente: Elaboración propia

Ecuación N° 7: Contenido teórico de emulsión asfáltica

$$\% \text{ teórico de emulsión asfáltica} = \frac{\% \text{ asfalto teórico residual} \times 100}{\% \text{ residuo por dest.}}$$

$$\% \text{ teórico de emulsión asfáltica} = 15.04 \%$$

Con la finalidad de generar problemas en el momento de cuantificar los componentes de la mezcla en el proceso de diseño se redondea el valor a 15%.

% teórico de emulsión asfáltica = 15%

Ensayo de consistencia

El ensayo de consistencia se realizó para determinar el contenido óptimo de agua, con la finalidad de formar una mezcla trabajable y estable. Se tomó el valor del % teórico de emulsión asfáltica igual a 15% para elaborar tres mezclas preliminares, con 1.5% de filler (cemento portland tipo I), y con 8%, 10%, 12% de contenido de agua respectivamente. Tal como se muestra en la Tabla N° 41.

Tabla 41

Mezclas preliminares de Slurry Seal tipo III de Apertura Rápida

Material	Dosificación	Mezcla preliminar 1	Mezcla preliminar 2	Mezcla preliminar 3
Emulsión	15 %	60	60	60
Agregado	100 %	400	400	400
Filler	1.5 %	4	4	4
Agua	Variable %	32 8%	40 10%	48 12%

Nota: Diferentes contenidos de agua. Fuente: Elaboración propia

La consistencias de las mezclas preliminares 1,2 y3 son 2 cm, 3cm, 37 cm respectivamente, donde el promedio es igual a 2.9 cm, en tal sentido se cómo contenido óptimo de agua del diseño premilitar 2 cumple, el cual cumple satisfactoriamente con las especificaciones de la ISSA A 105,tal como se muestra en la Tabla 42.

Tabla 42

Contenido óptimo de agua

Contenido de agua (%)	Resultado Lectura (cm)	Especificación ISSA A 105
8	2.0	2.0 -3.0 cm
10	3.0	2.0 -3.0 cm
12	3.7	2.0 -3.0 cm

Nota: Contenido óptimo de agua. Fuente: Elaboración propia

% contenido de agua = 10%

Ensayo de tiempo de mezcla

Se tomó el diseño de la mezcla preliminar 2, con un 10% de agua, 15% de emulsión asfáltica y 1.5% de filler con respecto a 200 gr de agregado seco, dicho mezcla no cumplió con lo establecido por la ISSA 105 y la EG 2013.

Para lo cual se le añadió 3 porcentajes distintos de polímero (SBR), con la finalidad de mejorar las características de la mezcla, asimismo se añadió 1 % de aditivo (sulfato de aluminio) respecto al peso del agua, el cual optimizo la trabajabilidad de la mezcla, tal como se muestra en la tabla 43

Tabla 43
Contenido de polímero

Componentes		Dosificación	M-1	M-2	M-3
Emulsión	1 % polímero	15%	30 gr		
	2 % polímero	15%		30 gr	
	3 % polímero	15%			30 gr
Agregado		100%	200 gr	200gr	200gr
Filler		1.5%	3 gr	3 gr	3 gr
Agua		10%	20 gr	20 gr	20 gr
Aditivo		1%	2 gr	2 gr	2 gr
Tiempo de mezcla			178 seg.	186 seg.	198 seg.

Nota: Contenidos distintos de polímero. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados de tiempo de mezcla de las muestras, se eligió la adición de 3% de polímero, para garantizar una buena cohesión, dicho resultado cumple satisfactoriamente con las especificaciones de la ISSA A 105 y EG 2013, lo cual se muestra en la Tabla 44.

Tabla 44
Resultado del ensayo de tiempo de mezcla

Ensayo	Resultado	Especificación ISSA A 105 - EG 2013
Tiempo de mezcla (1% polímero)	178 seg.	180 seg. Mínimo
Tiempo de mezcla (2% polímero)	186 seg.	180 seg. Mínimo
Tiempo de mezcla (3% polímero)	198 seg.	180 seg. Mínimo

Nota: contenido óptimo de polímero. Fuente: Elaboración propia

Ensayo de desprendimiento en húmedo

Para este ensayo se tomó 10 gr de muestra de la mezcla que se usó para el ensayo anterior, donde se obtuvo un 95% de recubrimiento de la emulsión asfáltica al agregado, cumpliendo satisfactoriamente con las especificaciones de la ISSA A 105 y la EG 2013, tal como se muestra en la tabla 45, por lo tanto se dice que la emulsión asfáltica aplicada es adecuada.

Tabla 45*Resultado del ensayo de desprendimiento en húmedo*

Ensayo	Resultado	Especificación ISSA A 105 - EG 2013
Desprendimiento	95%	90% min

Nota: Desprendimiento de la mezcla. Fuente: Elaboración propia**Ensayo de abrasión en húmedo WTAT**

Este es el primer ensayo de desempeño, para el cual se realizaron tres diseños preliminares de Slurry Seal tipo III de apertura rápida, con la finalidad de determinar el contenido mínimo de emulsión asfáltica.

En la Tabla N° 46, se muestran los tres diseños preliminares los cuales están respecto a 800 gr de agregado seco para este ensayo.

Tabla 46*Diseños preliminares de Slurry Seal tipo III de apertura rápida*

Componentes	Dosificación	Diseño preliminar 1	Diseño preliminar 2	Diseño preliminar 3
Emulsión asfáltica	6.9 % asfalto residual modificado 11 % con polímero	88 gr		
	8.2 % asfalto residual modificado 13 % con polímero		104 gr	
	9.4 % asfalto residual modificado 15 % con polímero			120gr
Agregado	100%	800 gr	800 gr	800 gr
Filler	1.5%	12 gr	12 gr	12 gr
Agua	10%	80 gr	80 gr	80 gr
Aditivo	1%	8 gr	8 gr	8 gr

Nota: Contenidos distinto de emulsión asfáltica. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 47 se muestran los resultados obtenidos de cada diseño preliminar, donde se muestra los pesos antes y después de haber realizado el ensayo.

Tabla 47*Peso de probetas de los diseños preliminares*

Componentes	Diseño preliminar 1	Diseño preliminar 2	Diseño preliminar 3
Peso inicial (gr)	561.91	555.83	579.22
Peso final (gr)	544.26	543.81	572.63
Diferencia (gr)	17.65	12.02	6.59

Nota: Pérdida por abrasión. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 48 se muestran los resultados de abrasión corregidas por un factor de 32.9 m², lo cual lo establece la ISSA A 105.

Tabla 48
Factor de corrección según la ISSA

Factor de corrección	Diseño preliminar 1	Diseño preliminar 2	Diseño preliminar 3
32.9 m ²	580.7 gr/m ²	395.3 gr/m ²	216.9 gr/m ²

Nota: pérdida por abrasión por metro cuadrado. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 49 se muestran que resultados de abrasión en húmedo de los tres diseños de mezcla, donde cumplen satisfactoriamente con las especificaciones de la ISSA A 105 y la EG 2013.

Tabla 49
Resultados de la abrasión en húmedo WTAT

Diseño preliminar	Cemento asfáltico modificado con polímero (%)	Emulsión (%)	WTAT (gr/m ²)	Especificación ISSA A 105 –EG 2013
1	6.9	11	580.7	807 g/m ² máximo
2	8.2	13	395.3	807 g/m ² máximo
3	9.4	15	216.9	807 g/m ² máximo

Nota: Pérdida por abrasión. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 21 se muestra la tendencia de los valores de pérdida por abrasión de los diseños preliminares, los cuales están por debajo del límite máximo por abrasión establecidos tanto por la ISSA A 105 y la EG 2013, lo cual indica que no existirá problemas de abrasión si se utiliza cualquier contenido de emulsión asfáltica, hasta un 11 % como mínimo.

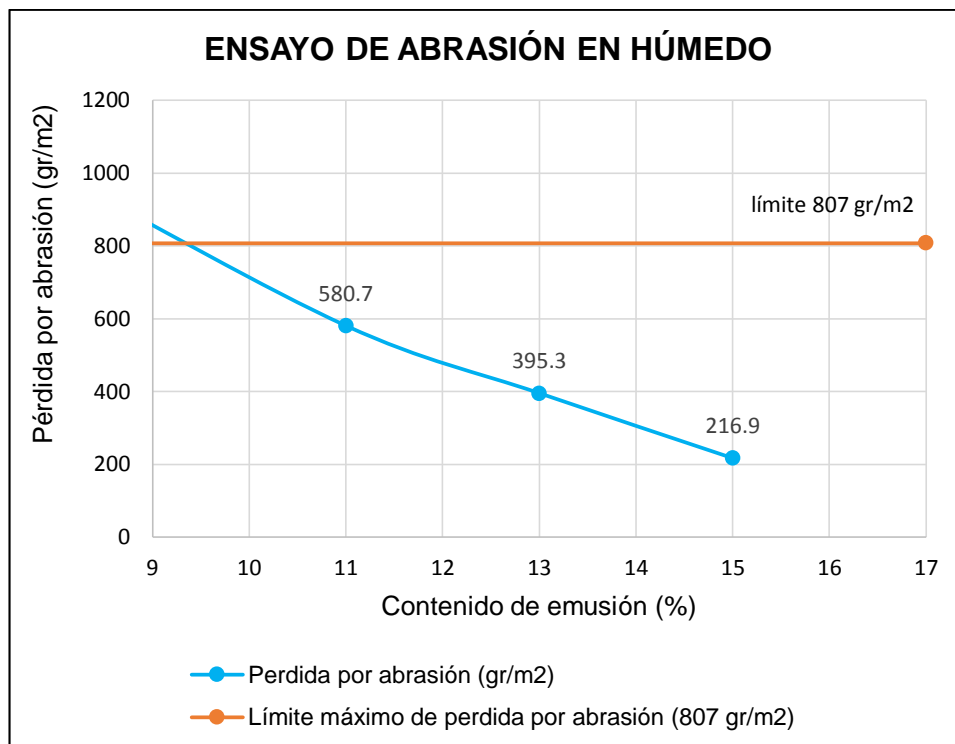


Figura 21. Tendencia de la abrasión en húmedo WTAT

Ensayo de rueda cargada LWT

Este es el segundo ensayo de desempeño, donde se usaron los tres diseños preliminares de Slurry Seal tipo III de apertura rápida del ensayo anterior, con la finalidad de definir el máximo contenido de emulsión asfáltica.

De acuerdo a la Tabla 50, se determina el máximo % de Arena Adherida para el ensayo de rueda cargada establecido por la ISSA A 105, donde el límite máximo para este ensayo será de 538 gr/m², ya que se tiene un IMDA de 15 196 veh/día para ambos sentidos, 6 882 veh/día en el carril de entrada y 8 312 veh/día en el carril de salida, lo cual se puede ver en el Anexo 8 (IMDA de la vía en estudio).

Tabla 50
Valores máximos de arena adherida

Intensidad de tráfico	IMDA	% Arena adherida (gr/m ²)
Ligero	0-300	750
Medio	300-1500	640
Pesado	1500-3000	590
Muy pesado	> 3000	538

Nota: Valores máximos de arena adherida. Fuente: (ISSA, 2010)

En la Tabla N° 51, se muestran los tres diseños preliminares.

Tabla 51

Diseños preliminares de Slurry Seal tipo III de apertura rápida

Componentes	Dosificación	Diseño preliminar 1	Diseño preliminar 2	Diseño preliminar 3
Emulsión asfáltica	11 %	44 gr		
	13 %		52 gr	
	15 %			60 gr
Agregado	100%	400 gr	400 gr	400 gr
Filler	1.5%	6 gr	6 gr	6 gr
Agua	10%	40 gr	40 gr	40 gr
Aditivo	1%	4 gr	4 gr	4 gr

Nota: Contenido de emulsión asfáltica diferentes. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 52 se muestran los resultados obtenidos de cada diseño preliminar, donde se muestra los pesos antes y después de haber realizado el ensayo.

Tabla 52

Peso de probetas de los diseños preliminares

Componentes	Diseño preliminar 1	Diseño preliminar 2	Diseño preliminar 3
Peso inicial (gr)	371.88	372.01	372.89
Peso final (gr)	376.51	377.06	378.77
Diferencia (gr)	4.63	5.05	5.88

Nota: Arena adherida. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 53 se muestran los resultados de arena adherida por el ensayo de rueda cargada corregidas por un factor de 1 entre en área de la probeta, la cual es de 0.01354836 m².

Tabla 53

Factor de corrección según la ISSA

Factor de corrección	Diseño preliminar 1	Diseño preliminar 2	Diseño preliminar 3
1/0.01354836	341.6 gr/m²	372.6 gr/m²	434.1 gr/m²

Nota: factor de corrección respecto al área del molde. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 54 se muestran que resultados de arena adherida por el ensayo de rueda cargada corregidas, donde los tres diseños de mezcla cumplen satisfactoriamente con las especificaciones de la ISSA A 105 y la EG 2013.

Tabla 54
Resultados de la rueda cargada LWT

Diseño preliminar	Cemento asfáltico modificado con polímero (%)	Emulsión (%)	LWT (gr/m ²)	Especificación ISSA A 105 –EG 2013
1	6.9	11	341.6	538 g/m ² máximo
2	8.2	13	372.6	538 g/m ² máximo
3	9.4	15	434.1	538 g/m ² máximo

Nota: Arena adherida. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 22 se muestra la tendencia de los valores de pérdida por desgaste, los cuales están por debajo del límite máximo establecidos tanto por la ISSA A 105 y la EG 2013, lo cual indica que no existirá problemas de exudación de asfalto si se utiliza cualquiera de los diseños realizados, con un máximo de 15% de emulsión asfáltica.

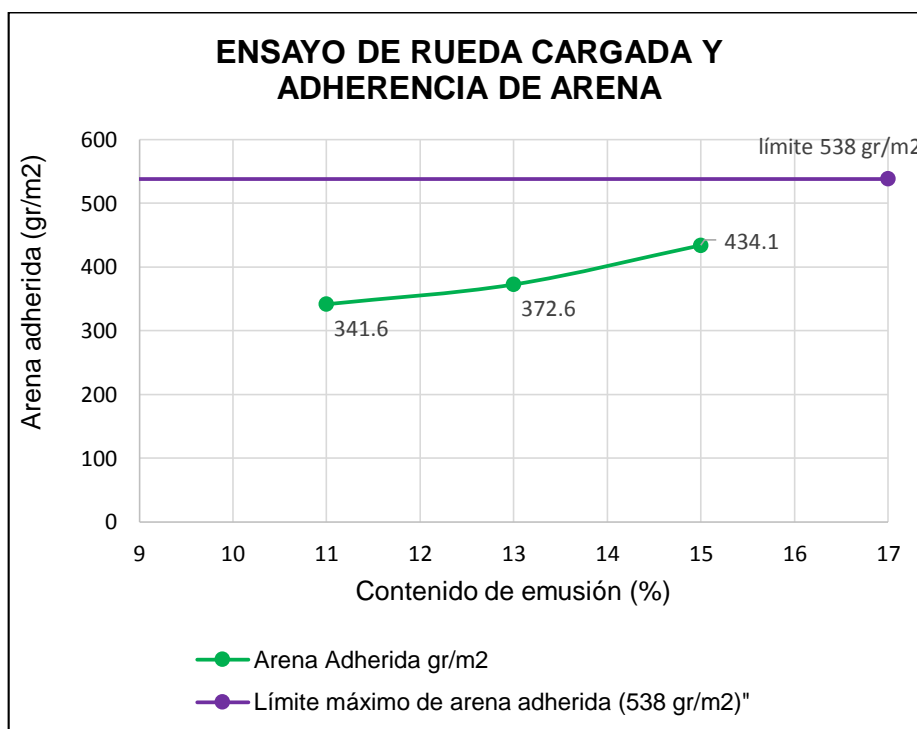


Figura 22. Tendencia de la arena adherida LWT

Diseño final del Slurry Seal tipo III de apertura rápida:

Finalmente mediante respecto a los resultados del ensayo de abrasión en húmedo y rueda cargada, lo cual se muestra en la Tabla 55, se determinó el contenido óptimo de emulsión asfáltica aplicando la Ecuación 8.

Tabla 55
Resultados WTAT - LWT

Diseño preliminar	Emulsión (%)	Abrasión en húmedo WTAT (gr/m2)	Rueda cargada LWT (gr/m2)	Especificación ISSA A 105 –EG 2013	
				Mínimo	Máximo
1	11	580.7	341.6	538 g/m2 máximo	807 g/m2 máximo
2	13	395.3	372.6	538 g/m2 máximo	807 g/m2 máximo
3	15	216.9	434.1	538 g/m2 máximo	807 g/m2 máximo

Nota: Contenido óptimo de agua. Fuente: Elaboración propia

Ecuación N° 8: Contenido óptimo de emulsión asfáltica ISSA A 105

$$\% \text{ óptimo emulsión asfáltica} = \frac{\% \text{ emulsión máx.} - \% \text{ emulsión mín.}}{2} + \% \text{ emulsión mín.}$$

$$\% \text{ óptimo emulsión asfáltica} = 13 \%$$

En la Figura 23 se observa que el contenido mínimo de asfalto es 13% y el máximo contenido de asfalto es 15%, del cual se determinó 13% como contenido óptimo de emulsión asfáltica

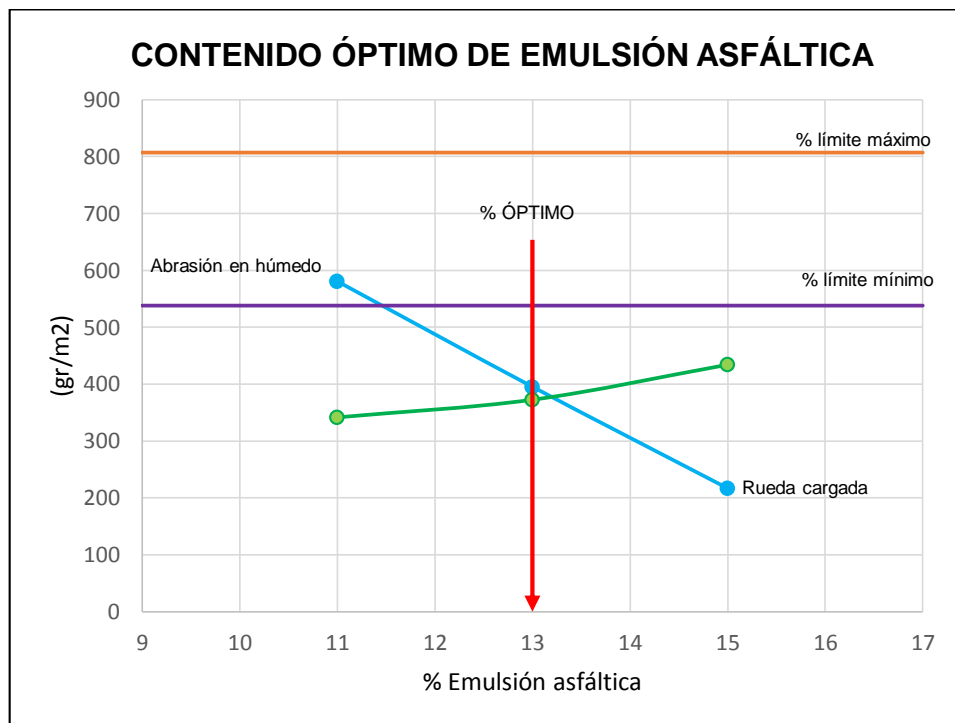


Figura 23. Contenido óptimo de emulsión asfáltica

Por lo tanto la dosificación final con el contenido óptimo del diseño de Slurry Seal tipo III de apertura rápida para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la vía en estudio se muestra en la Tabla 56.

Tabla 56
Diseño de Slurry Seal tipo III de apertura rápida

Componente	Dosificación
Emulsión asfáltica CQS – 1hp	13 %
Agua	10 %
Aditivo (Sulfato de Aluminio)	1 %
Filler (cemento portland tipo I)	1.5 %

Nota: Contenido óptimo de agua. Fuente: Elaboración propia

El diseño de Slurry Seal tipo III de apertura rápida va a generar resultados significativo para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Avenida Evitamiento tramo: Avenida Mariscal Castilla y Avenida Huancavelica, ya que está compuesto con de 13% de emulsión asfáltica CQS-1hp, 1.5% de filler (cemento portland tipo I), 10 % de agua y 1% de aditivo (sulfato de aluminio); donde el diseño desarrollado cumple satisfactoriamente con las especificaciones tanto de la ISSA A 105 y la EG 2013, debido a que la emulsión asfáltica usada para el diseño, contiene polímeros y aditivos, los cuales han mejorado las propiedades de la mezcla, garantizando una mejor resistencia al desprendimiento, al agrietamiento por fatiga.

Resultado general

Aplicación del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica en la Avenida Evitamiento, El Tambo.

Determinación del comportamiento por los ensayos de desempeño

Mediante el ensayo de abrasión en húmedo WTAT se determinó la aplicación del Slurry Seal tipo III de apertura rápida, tendrá resultados significativos, porque tendrá buena resistencia frente al desgaste por abrasión, ya que con esta prueba se simuló una superficie asfáltica saturada por agua expuesta en tránsito vehicular.

Mediante el ensayo de rueda cargada LWT se determinó que el Slurry Seal tipo II de apertura rápida se comportara significativamente, ya que tendrá buena resistencia a la exudación del asfalto, debido a que con esta prueba se simuló una superficie asfáltica expuesta al tránsito pesado vehicular.

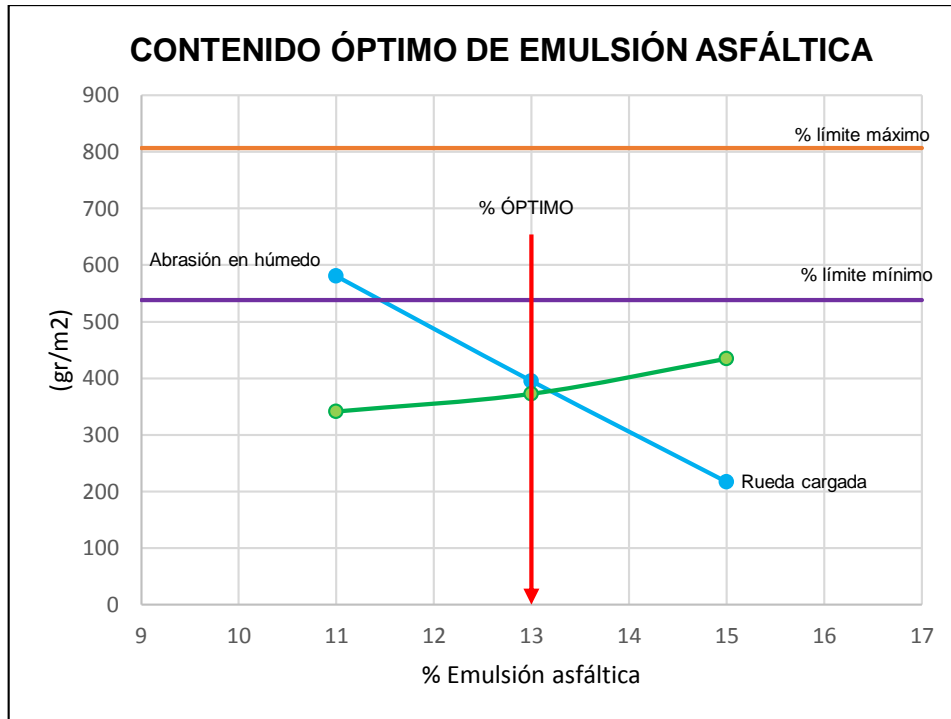


Figura 24. Contenido óptimo de emulsión asfáltica

Ensayo de cohesión en húmedo

Es el ensayo final con el cual se determinó el tiempo de apertura al tráfico, para lo cual se realizaron 4 probetas con el diseño óptimo de Slurry Seal tipo III de apertura rápida donde se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la Tabla 57.

Tabla 57

Ensayo de cohesión en húmedo

Temperatura de laboratorio	Especificación EG 2013	Resultado de cohesión (kg-cm)			
		30 min.	60 min.	90 min.	120 min.
27°C	30 minutos, 12 kg/cm mín. 60 minutos, 20 kg/cm mín.	16	18.0	20.0	21.0

Nota: Contenido óptimo de agua. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 25 se muestra la curva de cohesión, lo cual indica que la apertura de tráfico se dará a los 90 minutos de la colocación del Slurry Seal tipo III de apertura rápida sobre la superficie asfáltica de la vía en estudio.

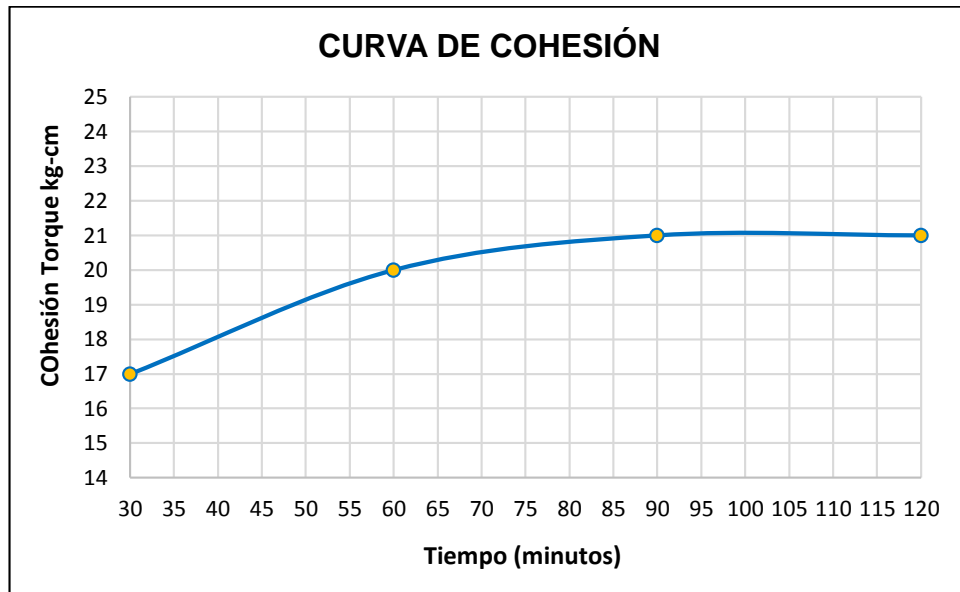


Figura 25. Curva de cohesión en húmedo

El Slurry Seal tipo III de apertura rápida diseñada para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Avenida Evitamiento tramo: Avenida Mariscal Castilla y Avenida Huancavelica va a general resultados significativos, ya que demostró un buen comportamiento ante las pruebas de desempeño, garantizando su buena resistencia frente al desgaste por abrasión el cual fue determinado por el ensayo de abrasión en húmedo, así mismo se garantiza una buena resistencia a la exudación del asfalto el cual fue determinado por el ensayo de rueda cargada; finalmente por el ensayo de cohesión se demostró que dicha técnica de mantenimiento optimiza el tiempo de apertura al tráfico, ya se dará a los 90 minutos de haber sido colocado sobre la superficie asfáltica, lo cual se determinó por el ensayo de cohesión.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Discusiones específicos

- a) Mediante la evaluación de la condición actual de la Av. Evitamiento tramo: desde la Av. Mariscal Castilla hasta la Av. Huancavelica por el método PCI, se obtuvo un valor PCI ponderado igual a 51.50, que de acuerdo a la calificación del PCI, esto indica que la vía tiene una condición regular, por tanto, la vía requiere de un mantenimiento periódico, donde deberán de hacerse el bacheo de los puntos críticos, el sellado de las fisuras, y se deberá hacer la renovación de toda la superficie en general, en consecuencia se deberá hacer el diseño de un Slurry Seal tipo III para lograr una superficie de desgaste mejorada, en tal sentido se acepta la hipótesis específica “El tipo de Slurry Seal adecuado genera resultados significativos para la condición actual de la superficie asfáltica”, lo cual se sostiene con la investigación de (Orellana, Peña, & Perez, 2015) (1) “Propuesta de diseño y proceso constructivo de lechada asfáltica en el mantenimiento de obras viales en el Salvador”, donde concluye que el uso del Slurry Seal como técnica de mantenimiento vial contribuye al mejoramiento de las superficies de rodadura asfáltica, donde el tipo de Slurry Seal se determinó respecto a la condición actual del pavimento y la gradación del agregado, se debe tener en cuenta que para mejorar la superficie, el Slurry Seal debe ser preparada adecuadamente antes de su aplicación, y se debe tener los cuidados necesarios durante el proceso constructivo, ya que una mala ejecución o descuidos derivaran daños a corto plazo.

- b) Los componentes del Slurry Seal cumplieron satisfactoriamente con las especificaciones de la ISSA A 105 y la EG 2013 el cual va a generar resultados significativos en la vía en estudio, se determinó que el componente fundamental del Slurry Seal fue el agregado (arena chancada 3/8”), ya que a partir de sus características se definió el tipo de emulsión asfáltica (emulsión asfáltica CQS), y se determinó que para obtener una mezcla trabajable, será importante añadir un aditivo (sulfato de aluminio), finalmente la emulsión asfáltica adecuada para la mezcla fue la CQS-1hp debido alto tránsito de vía en estudio y el clima de la zona (templado seco), en tal sentido se acepta la hipótesis específica “La caracterización de los componentes del Slurry Seal genera resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica”, lo cual se sostiene con la tesis de (Toscano, 2014) (2) “Diseño de Micro-pavimento aplicado como tratamiento superficial para el control de la Variación Térmica en el pavimento flexible de la vía Pifo – Cusubamba, como parte del mantenimiento preventivo”, donde concluyo que elementos de la mezcla fueron la agregado, emulsión, filler y agua, donde el elemento fundamental del diseño es el agregado, ya que este definió el tipo de micropavimento y determina el exceso de las partículas finas o gruesas en la muestra; la emulsión fue modificada con polímeros y sin aditivo en su emulsificante; el filler usado fue el cemento portland tipo I, se usó con la finalidad de mejorar la consistencia y cohesión; el agua que se utilizo fue potable de la red del Distrito Metropolitano de Quito.
- c) El diseño de Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento tramo: desde la Av. Mariscal Castilla hasta la AV. Huancavelica, será del tipo III, el cual va a generar resultados significativos, ya que está compuesto con de 13% de emulsión asfáltica CQS-1hp, 1.5% de filler (cemento portland tipo I), 10 % de agua y 1% de aditivo (sulfato de aluminio); donde el diseño desarrollado cumple satisfactoriamente con las especificaciones tanto de la ISSA A 105 y la EG 2013, debido a que la emulsión asfáltica usada para el diseño, contiene polímeros y aditivos, los cuales han mejorado las propiedades de la mezcla, garantizando una mejor

resistencia al desprendimiento, al agrietamiento por fatiga, en tal sentido se acepta la hipótesis específica “El diseño del Slurry Seal genera resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica”, lo cual se sostiene con la tesis de (Toscano, 2014) (2) “Diseño del Slurry Seal empleando emulsión asfáltica modificada con polímeros y su evaluación variando el contenido de filler”, donde concluyo que las emulsiones asfálticas modificadas con polímeros poseen agentes mejoradores de adherencia, lo cual permite un enlace químico entre el asfalto y la superficies del agregado, logrando un cubrimiento del agregado con adhesión resistente al agua, es decir con mayor resistencia al desprendimiento durante la puesta de servicio del Slurry Seal.

Discusión general

El Slurry Seal diseñado para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Avenida Evitamiento tramo: Avenida Mariscal Castilla y Avenida Huancavelica va a generar resultados significativos, ya que demostró un buen comportamiento ante las pruebas de desempeño, garantizando su buena resistencia frente al desgaste por abrasión el cual fue determinado por el ensayo de abrasión en húmedo, así mismo se garantiza una buena resistencia a la exudación del asfalto el cual fue determinado por el ensayo de rueda cargada; finalmente por el ensayo de cohesión se demostró que dicha técnica de mantenimiento optimiza el tiempo de apertura al tráfico, ya se dará a los 90 minutos de haber sido colocado sobre la superficie asfáltica, lo cual se determinó por el ensayo de cohesión, en tal sentido se acepta la hipótesis “El comportamiento del Slurry Seal genera resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento del distrito de El Tambo, Huancayo”, lo cual se sostiene con la investigación de (Orellana, Peña, & Perez, 2015) (1) “Propuesta de diseño y proceso constructivo de lechada asfáltica en el mantenimiento de obras viales en el Salvador”, donde concluye que Mediante el ensayo de rueda cargada LWT se determinó y observó que a mayor contenido de emulsión asfáltica mayor adherencia de arena, ya que este ensayo representa la exudación o exceso de asfalto. Mediante el ensayo de abrasión en húmedo WTAT se puede observar la falta de asfalto en la mezcla.

CONCLUSIONES

1. La aplicación del Slurry Seal genera resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica, ya que el diseño realizado garantizará una buena resistencia ante la acción abrasiva del tráfico y una correcta cohesión que evitará la exudación bajo las cargas del tráfico pesado, y la apertura al tráfico se dará a los 90 minutos de haber sido colocada.
2. La condición actual de superficie asfáltica de la Av. Evitamiento tramo: desde la Av. Mariscal Castilla hasta la AV. Huancavelica, el regular, debido a la presencia de daños como grietas, parches, huecos, desgaste superficial, siendo esta última la más resaltante, por tanto, la vía requiere de un mantenimiento periódico, donde deberán de hacerse las reparaciones de dichos daños y se deberá hacer la renovación de toda la superficie en general, en consecuencia el tipo de Slurry Seal adecuado es el tipo III.
3. La caracterización de los componentes del Slurry Seal tienen resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica, ya que estos cumplen satisfactoriamente con las especificaciones de establecen tanto la EG 2013 y la ISSA A 105.
4. El diseño de Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento tramo: desde la Av. Mariscal Castilla hasta la AV. Huancavelica, será del tipo III, el cual está compuesto con 13% de emulsión asfáltica CQS-1hp, 1.5% de filler (cemento portland tipo I), 10 % de agua y 1% de aditivo (sulfato de aluminio); debido a que la emulsión asfáltica contiene polímeros y aditivos, se mejoró las propiedades de la mezcla, garantizando una mejor resistencia al desprendimiento y al agrietamiento por fatiga.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda aplicar el Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento tramo: desde la Av. Mariscal Castilla hasta la AV. Huancavelica, ya que además de tener un buen comportamiento, este optimiza el tiempo de apertura al tráfico, es ecológico por tener a la emulsión asfáltica como uno de sus componentes y económico, por tanto se recomienda implementar esta técnica de mantenimiento dentro de la gestión vial urbanas con superficie asfáltica con condición regular de la MDT y posteriormente de las demás municipalidades.
2. Es importante detectar a tiempo los daños existentes sobre la superficie asfáltica, para determinar el tipo y la técnica adecuada de mantenimiento que requiere, para pasar del círculo vicioso al círculo virtuoso, evitando altas inversiones económicas en su reparación o reconstrucción.
3. Para que el Slurry Seal funcione correctamente no solo depende de sus componentes y de su diseño, sino también, es importante que la superficie donde se va a aplicar este preparada, ya que se deben realizar las reparaciones necesarias, porque el Slurry Seal está diseñada principalmente para proteger la superficie existente, resistir la acción abrasiva del tránsito y de los agentes externos; mientras que la estructura del pavimento flexible cumplirá correctamente su función que es soportar las cargas.
4. Se recomienda que el Slurry Seal contenga polímeros, ya que este mejorara las propiedades de la mezcla, para así garantizar 4 años de vida útil, el cual podrá incrementarse si se usan los materiales adecuados, un correcto proceso constructivo, lo equipos adecuados al momento de ser aplicado sobre la superficie asfáltica, así mismo es importante que el Slurry Seal de apertura rápida, porque se busca evitar los largos cierres de tráfico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Orellana, M., Peña, E., & Perez, B. (2015). *Propuesta de diseño y proceso constructivo de lechada asfáltica en el mantenimiento de obras viales en el Salvador*. San Salvador: Universidad de El Salvador.
- (2) Toscano, L. (2014). *Diseño de Micro-pavimento aplicado como tratamiento superficial para el control de la Variación Térmica en el pavimento flexible de la vía Pifo-Cusubamba, como parte del mantenimiento preventivo*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
- (3) Barrionuevo, L. (2012). *Diseño del micropavimento utilizando emulsión asfáltica modificada con polímero, con agregado procedente de la Cantera Calagua de la ciudad de San Miguel, provincia de Bolívar*. Quito: Universidad Central de Ecuador.
- (4) Pequeño, D. (2015). *Comparación de costos y tecnología de mantenimiento utilizando slurry seal y mantenimiento convencional en un pavimento flexible*. Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte.
- (5) Ortiz, L. (2014). *Evaluación en laboratorio del desempeño de Morteros Asfálticos y Micropavimento con agregados naturales del proyecto: mantenimiento de carretera Interoceánica Norte*. Lima, Perú: Universidad nacional de ingeniería.
- (6) Huanca, J. (2013). *Diseño del slurry seal empleando emulsión asfáltica modificada con polímeros y su evaluación variando el contenido de filler*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

- (7) *ISSA. (2010). Recommended Performance Guideline For Emulsified Asphalt Slurry Seal ISSA A 105. Annapolis: International Slurry Surfacing Association.*
- (8) *Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, D.S. N° 034-2008-MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones junio de 2013).*
- (9) *Manual de mantenimiento o conservación vial, D.S. N° 034-2008-MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones Marzo de 2014).*
- (10) *Manual de Inventarios Viales, R. D. N° 09-2014-MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones Abril de 2014).*
- (11) *Manual de ensayos de materiales, D.S. N° 034-2008-MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones mayo de 2016).*
- (12) *Manual de suelos, geología, geotécnica y pavimentos, D. S. N° 034-2008-MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones Abril de 2014).*
- (13) *Vásquez, L. (2002). Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras. Marizales: Universidad Nacional de Colombia.*
- (14) *Ramirez, M. (2017). Comportamiento del Slurry Seal a altitudes mayores de 3500 m.s.n.m. en mantenimiento de pavimentos flexibles de la ciudad de Puno. Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.*
- (15) *Talvera, R. (2001). Emulsiones asfálticas. Sanfandila: Instituto Mexicano del transporte.*
- (16) *Hernández, R. (2014). Metodología de la Investigación Sexta Edición. México: McGRAW-HILL / Interamericana Editores S. A. de C. V.*
- (17) *Municipalidad distrital de El Tambo . (2009). Plan de desarrollo local concertado 2009-2019 del Distrito de El tambo. Huancayo: Municipalidad distrital de El Tambo.*

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables

Anexo 3: Validación de instrumentos de investigación

Anexo 4: Plano de ubicación-localización de la vía en estudio

Anexo 5: Plano de unidades de muestreo de la vía en estudio

Anexo 6: Curvas de corrección para unidades de muestreo de la vía en estudio

Anexo 7: Condición actual de las unidades de muestreo de la vía en estudio

Anexo 8: IMDA de la vía es estudio

Anexo 9: Características de los componentes del Slurry Seal

Anexo 10: Diseño del Slurry Seal

Anexo 11: Costo del Slurry Seal

Anexo 12: Panel fotográfico

Anexo 1: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Comportamiento del slurry seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica, El Tambo

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología
General ¿Cuáles son los resultados de la aplicación del slurry seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento del distrito de El Tambo, Huancayo?	General Determinar los resultados de la aplicación del slurry seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento del distrito de El Tambo, Huancayo.	General La aplicación del slurry seal genera resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica de la Av. Evitamiento del distrito de El Tambo, Huancayo.	Variable independiente (X): Mantenimiento de la superficie asfáltica Dimensiones: 1. Condición actual Variable dependiente (Y): Slurry seal Dimensiones: 1. Tipo de slurry seal 2. Caracterización de los componentes del slurry seal 3. Diseño del slurry seal	Método Científico Tipo Aplicada Nivel Explicativa. Diseño Experimental - cuasi experimental. Población La población para la investigación fue la superficie asfáltica de la Avenida Evitamiento ubicada en el distrito de El Tambo, de la provincia de Huancayo, región Junín. Muestra El tipo de muestreo fue no probabilístico, la muestra fue dirigida e intencionada de acuerdo a los propósitos de la investigación. Se tomó como muestra a la superficie asfáltica de la Avenida Evitamiento tramo: desde la Avenida Mariscal Castilla hasta la Avenida Huancavelica.
Específicos a) ¿Qué tipo de slurry seal es adecuado para la condición actual de la superficie asfáltica?	Específicos a) Determinar el tipo de slurry seal adecuado para la condición actual de la superficie asfáltica.	Específicos a) El tipo de slurry seal adecuado genera resultados significativos para la condición actual de la superficie asfáltica.		
b) ¿Cuáles son los resultados de la caracterización de los componentes del slurry seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica?	b) Determinar los resultados de la caracterización de los componentes del slurry seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica.	b) La caracterización de los componentes del slurry seal genera resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica.		
c) ¿Cuáles son los resultados del diseño del slurry seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica?	c) Determinar los resultados del diseño del slurry seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica.	c) El diseño del slurry seal genera resultados significativos para el mantenimiento de la superficie asfáltica.		

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables

Anexo 3: Validación de instrumentos de investigación

Anexo 4: Plano de ubicación-localización de la vía en estudio

Anexo 5: Plano de unidades de muestreo de la vía en estudio

Anexo 6: Curvas de corrección para unidades de muestreo de la vía en estudio

Anexo 7: Condición actual de las unidades de muestreo de la vía en estudio

Anexo 8: IMDA de la vía es estudio

Anexo 9: Características de los componentes del Slurry Seal

Anexo 10: Diseño del Slurry Seal

Anexo 11: Costo del Slurry Seal

Anexo 12: Panel fotográfico