

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS**

**APLICACIÓN DE SUELO-CEMENTO Y SLURRY SEAL PARA  
REHABILITACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN CAMINOS**

**Presentado por:**

**Bach. Aybar Galvan, Martin Elvis**

**Línea de investigación institucional:**

Transporte y Urbanismo.

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**HUANCAYO – PERÚ**

**2024**

---

**Mg. JAVIER REYNOSO OSCANO**  
**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a mis padres y familiares, que fueron la base de mi desarrollo profesional, así como a los profesores universitarios que sirvieron de fuente de inspiración a lo largo de mi carrera profesional.

Bach. Martin Elvis Aybar Galván.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Peruana los Andes, que me ha dotado de las tecnologías necesarias y ha dado forma a mi carrera académica.

Agradezco a los profesores que contribuyeron con sus conocimientos y experiencia a mi formación.

Bach. Martin Elvis Aybar Galván.

## CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0249 - FI -2024

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la **Tesis**; titulada:

### APLICACIÓN DE SUELO-CEMENTO Y SLURRY SEAL PARA REHABILITACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN CAMINOS

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : **Bach. AYBAR GALVAN MARTIN ELVIS**

Facultad : **INGENIERÍA**

Escuela Académica : **INGENIERÍA CIVIL**

Asesor(a) : **Mg. REYNOSO OSCANO JAVIER**

Fue analizado con fecha **05/07/2024**; con **146 págs.**; con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

**Excluye Bibliografía.**

Excluye citas.

**Excluye Cadenas hasta 20 palabras.**

Otro criterio (especificar)

X
X

El documento presenta un porcentaje de similitud de **25 %**.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°15 del Reglamento de uso de Software de Prevención de Plagio Versión 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: **Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.**

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.



Huancayo, 05 de julio del 2024.

**MTRA. LIZET DORIELA MANTARI MINCAMI**  
**JEFA**

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

## **HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS**

---

**Dr. RUBEN TAPIA SILGUERA**  
**PRESIDENTE**

---

**Mtro. ALCIDES LUIS FABIAN BRAÑEZ**  
**JURADO**

---

**Ing. CARLOS GERARDO FLORES ESPINOZA**  
**JURADO**

---

**Mtro. JESUS IDEN CARDENAS CAPCHA**  
**JURADO**

---

**Mg. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA**  
**SECRETARIO GENERAL**

## ÍNDICE

CONTRATAPA.....	II
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
INTRODUCCIÓN.....	XVI
CAPITULO I.....	18
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.1. Planteamiento del problema.....	18
1.2. Formulación y sistematización del problema.....	25
1.2.1. Problema general.....	25
1.2.2. Problemas específicos.....	25
1.3. Justificación.....	26
1.3.1. Practica.....	26
1.3.2. Teórica.....	26
1.3.3. Metodológica.....	27
1.4. Delimitaciones.....	28
1.4.1. Delimitación temporal.....	28
1.4.2. Delimitación espacial.....	28
1.4.3. Delimitación económica.....	31
1.5. Limitaciones.....	31
1.6. Objetivos.....	32

1.6.1. Objetivo general .....	32
1.6.2. Objetivos específicos.....	32
CAPITULO II .....	33
MARCO TEÓRICO .....	33
2.1. Antecedentes.....	33
2.1.1. Nacionales.....	33
2.1.2. Internacionales .....	37
2.2. Marco conceptual .....	41
2.2.1. Teorías de la Investigación.....	41
2.2.1.1 Suelo .....	41
2.2.1.2 Relaciones fundamentales .....	43
2.2.1.3 Propiedades índices del suelo.....	48
2.2.1.4 Características físicas del suelo .....	53
2.2.1.5 Cemento portland.....	56
2.2.1.6 Estabilización de suelos.....	62
2.2.1.7 Normativas peruanas para el estudio de suelo y obras de construcción de carreteras .....	75
2.3. Definición de términos .....	77
2.4. Hipótesis.....	78
2.4.1. Hipótesis general.....	78
2.4.2. Hipótesis específicos.....	78
2.5. Variables.....	78
2.5.1. Definición conceptual de la variable .....	79
2.5.2. Definición operacional de la variable .....	80
2.5.3. Operacionalización de la Variable .....	81

CAPÍTULO III .....	84
METODOLOGÍA .....	84
3.1. Método de investigación .....	84
3.2. Tipo de Investigación.....	84
3.3. Nivel de investigación .....	85
3.4. Diseño de investigación.....	85
3.5. Población y muestra .....	86
3.5.1. Población.....	86
3.5.2. Muestra .....	86
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	87
3.7. Procesamiento de la información.....	88
3.8. Técnicas y análisis de datos .....	89
CAPÍTULO IV.....	91
RESULTADOS.....	91
4.1. Presentación de resultados específicos .....	91
CAPÍTULO V.....	134
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	134
5.1. Discusión de resultados específicos.....	134
CONCLUSIONES .....	139
RECOMENDACIONES .....	141
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	142
ANEXOS .....	145

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 – Índice de calidad de infraestructura.....</i>	20
<i>Tabla 2 – Porcentaje de pavimentación. ....</i>	21
<i>Tabla 3 – Proyección de red vial nacional por kilómetros. ....</i>	21
<i>Tabla 4 – Clasificación de la red vial.....</i>	23
<i>Tabla 5 – Conservación de vías del departamento de Huancavelica.....</i>	24
<i>Tabla 6 – Clasificación del suelo según tamaño de sus.....</i>	52
<i>Tabla 7 – Composición del cemento Portland.....</i>	60
<i>Tabla 8 – Principales fases del cemento.....</i>	61
<i>Tabla 9 – Principales componentes del cemento Portland. ....</i>	62
<i>Tabla 10 – Parámetros y restricciones.....</i>	71
<i>Tabla 11 – Cementos para estabilización del suelo. ....</i>	74
<i>Tabla 12 – Manuales de carreteras.....</i>	77
<i>Tabla 13 – Operacionalización de las variables.....</i>	83
<i>Tabla 14 – Resumen del ensayo de humedad de suelos. ....</i>	92
<i>Tabla 15 – Resumen del ensayo de granulometría y clasificación de suelos. .</i>	93
<i>Tabla 16 – Resumen del ensayo de límites de atterberg.....</i>	95
<i>Tabla 17 – Resumen del ensayo de CBR.....</i>	98
<i>Tabla 18 – Resumen del ensayo de proctor modificado. ....</i>	99
<i>Tabla 19 – Resumen del ensayo de CBR con adición de cemento portland. 100</i>	
<i>Tabla 20 – Detalle del agregado. ....</i>	102
<i>Tabla 21 – Análisis granulométrico del agregado. ....</i>	103
<i>Tabla 22 – Pérdidas totales del agregado.....</i>	105
<i>Tabla 23 – Resultado del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio.....</i>	105
<i>Tabla 24 – Resultado del ensayo de desgaste del agregado. ....</i>	106
<i>Tabla 25 – Resultado del ensayo de abrasión los ángeles. ....</i>	107
<i>Tabla 26 – Resultado del ensayo de equivalente de arena del agregado.....</i>	107
<i>Tabla 27 – Resultado del ensayo de equivalente de arena del agregado.....</i>	108
<i>Tabla 28 – Resultado del ensayo de azul de metileno.....</i>	109
<i>Tabla 29 – Resultado del ensayo de azul de adherencia Riedel Weber.....</i>	110
<i>Tabla 30 – Resultado de las características de la Emulsión asfáltica. ....</i>	111
<i>Tabla 31 – Resultado del análisis del agua.....</i>	112

<i>Tabla 32 – Granulometría del agregado.</i> .....	113
<i>Tabla 33 – Porcentaje de agregado retenido respecto al tamiz.</i> .....	114
<i>Tabla 34 – Contenido teórico de emulsión asfáltica.</i> .....	115
<i>Tabla 35 – Mezclas preliminares de slurry seal tipo III de apertura rápida.</i> ...	116
<i>Tabla 36 – Contenido óptimo de agua.</i> .....	117
<i>Tabla 37 – Contenido de polímero.</i> .....	118
<i>Tabla 38 – Resultado del ensayo de tiempo de mezcla.</i> .....	119
<i>Tabla 39 – Resultado del ensayo de desprendimiento en húmedo.</i> .....	119
<i>Tabla 40 – Diseños preliminares de Slurry Seal tipo III de apertura rápida.</i> ..	120
<i>Tabla 41 – Peso de probetas de los diseños preliminares.</i> .....	120
<i>Tabla 42 – Factor de corrección según la ISSA.</i> .....	121
<i>Tabla 43 – Resultados de la abrasión en húmedo WTAT.</i> .....	122
<i>Tabla 44 – Valores máximos de arena adherida.</i> .....	124
<i>Tabla 45 – Diseños preliminares de slurry seal tipo III de apertura rápida.</i> ....	124
<i>Tabla 46 – Peso de las probetas de los diseños preliminares.</i> .....	125
<i>Tabla 47 – Factor de corrección según la ISSA.</i> .....	125
<i>Tabla 48 – Resultados de la rueda cargada LWT.</i> .....	126
<i>Tabla 49 – Resultados LWT - LWT.</i> .....	128
<i>Tabla 50 – Diseño de slurry seal tipo III de apertura rápida.</i> .....	129
<i>Tabla 51 – Ensayo de cohesión en húmedo.</i> .....	132
<i>Tabla 52 – Ensayo de CBR muestras de suelo natural vs muestras de suelo con adición de cemento portland.</i> .....	135

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Ubicación departamental de la zona de investigación.</i> .....	29
<i>Figura 2 - Ubicación provincial de la zona de investigación.</i> .....	30
<i>Figura 3 - Ubicación distrital de la zona de investigación.</i> .....	30
<i>Figura 4 - Localización del lugar de investigación.</i> .....	31
<i>Figura 5 – Fases del suelo.</i> .....	42
<i>Figura 6 – Relaciones fundamentales del suelo.</i> .....	43
<i>Figura 7 – Límites de atterberg.</i> .....	53
<i>Figura 8 – Textura del suelo.</i> .....	55
<i>Figura 9 – Estructura del suelo.</i> .....	56
<i>Figura 10 – Proceso de estabilización del suelo.</i> .....	70
<i>Figura 11 – Curva granulométrica del agregado.</i> .....	103
<i>Figura 12 – Contenido teórico de asfalto residual.</i> .....	115
<i>Figura 13 – Tendencia de la abrasión en húmedo WTAT.</i> .....	123
<i>Figura 14 – Tendencia de la arena adherida LWT.</i> .....	127
<i>Figura 15 – Contenido óptimo de emulsión asfáltica.</i> .....	129
<i>Figura 16 – Contenido óptimo de emulsión asfáltica.</i> .....	131
<i>Figura 17 – Curva de cohesión en húmedo.</i> .....	132

## RESUMEN

La investigación se desarrolló teniendo como problema general: ¿De qué manera se aplica el suelo – cemento y el Slurry Seal para la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados?, el objetivo general fue: Aplicar el suelo – cemento y el Slurry Seal para la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados, y la hipótesis general fue: Mediante la aplicación de suelo – cemento y el Slurry Seal es posible rehabilitar la infraestructura vial en caminos afirmados.

El método de investigación fue el científico, el tipo de investigación fue aplicado, el nivel de investigación fue descriptivo - explicativo y el diseño de investigación fue no experimental. Se consideró como población (60) ensayos de laboratorio, y como muestra se consideró el mismo número de población.

La conclusión general es que el uso de Slurry Seal produce resultados positivos. Esto se debe a que el diseño garantiza tanto una fuerte resistencia a los efectos abrasivos del tráfico como una cohesión adecuada, evitando la exudación bajo cargas de tráfico pesadas. Además, la carretera puede abrirse al tráfico sólo 90 minutos después de la aplicación de Slurry Seal. Por otra parte, la estabilización del suelo con cemento portland produce resultados satisfactorios al mejorar las propiedades del suelo, como el límite líquido, el límite plástico, el índice de plasticidad y el CBR.

**Palabras claves:** Estabilización, Slurry seal y Cemento Portland.

## **ABSTRACT**

The research was developed having as a general problem: How is the soil - cement and the Slurry Seal applied for the rehabilitation of road infrastructure on paved roads? The general objective was: Apply the soil - cement and the Slurry Seal for the rehabilitation of road infrastructure on paved roads, and the general hypothesis was: Through the application of soil - cement and the Slurry Seal it is possible to rehabilitate road infrastructure on paved roads.

The research method was scientific, the type of research was applied, the research level was descriptive-explanatory and the research design was non-experimental. The population was considered to be (60) laboratory tests, and the sample was considered to be the same number of population.

The overall conclusion is that the use of Slurry Seal produces positive outcomes. This is because the design ensures both strong resistance to the abrasive effects of traffic and proper cohesion, preventing exudation under heavy traffic loads. Additionally, the road can be opened to traffic just 90 minutes after the application of Slurry Seal. On the other hand, soil stabilization with portland cement yields satisfactory results by enhancing soil properties such as liquid limit, plastic limit, plasticity index, and CBR.

**Keywords:** Stabilization, Slurry seal and Portland Cement.

## INTRODUCCIÓN

En épocas anteriores, las rutas terrestres se denominaban senderos, que utilizaban las personas para sus desplazamientos diarios, sobre todo para el transporte de animales, alimentos y otras mercancías. Antes de que se establecieran los senderos, se construyeron caminos de herradura, que siguen utilizándose hoy en día en zonas donde la construcción de carreteras no ha sido factible.

Con el tiempo, varias regiones del planeta construyeron calzadas para mejorar la accesibilidad entre distintas localidades.

Sin embargo, hay algunos elementos que tienen un impacto significativo en el estado de la infraestructura viaria, a saber, la aparición de averías o deterioros en el interior de una carretera sin pavimentar.

Estos elementos repercuten tanto en la vida útil del pavimento como en la calidad del servicio que presta al público. Por lo tanto, es crucial llevar a cabo una evaluación que revele que el proceso de degradación comienza justo después de la construcción. Las fuentes del problema son los factores externos de estrés generados por el tráfico y los factores climáticos.

La conservación de la calidad de las carreteras se consigue ahora mediante un enfoque novedoso que tiene en cuenta los avances de la tecnología. Esto incluye el uso de diversos productos químicos como el cloruro sódico, el cloruro magnésico (Bischofite) y el cloruro cálcico para la estabilización del suelo, así como soluciones asfálticas como la imprimación reforzada, los tratamientos superficiales simples o dobles, la lechada asfáltica, el sellado de lechada y el riego de grava.

Para facilitar la comprensión del tema de estudio, la tesis se estructura en capítulos, cada uno de los cuales ofrece una explicación clara y concisa relativa al tema de investigación.

El primer capítulo presenta el tema, los objetivos, la justificación y el significado, así como las delimitaciones y limitaciones.

El segundo capítulo presenta el marco teórico, que incluye la revisión de los antecedentes, las características fundamentales del tema de estudio, los fundamentos teóricos para su desarrollo, la definición de la terminología, el enunciado de la hipótesis y la identificación de las variables de investigación.

En el tercer capítulo se expone la metodología empleada en el estudio, incluida una descripción detallada del método, el tipo, el nivel, el diseño, la población y la muestra, los procedimientos e instrumentos de recogida de datos, así como las técnicas de tratamiento de la información y de análisis de datos.

El cuarto capítulo de esta investigación presenta las conclusiones recogidas a lo largo de su desarrollo.

El quinto capítulo se centra en el análisis de las conclusiones e incluye conversaciones en las que se comparan los resultados adquiridos con los de investigaciones anteriores.

Por último, se presentan las conclusiones, las sugerencias, la lista de referencias y los anexos.

Bach. Martin Elvis Aybar Galván.

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

En Europa, específicamente en los países de Alemania y España han logrado destacar el uso del cemento en la mejora de los pavimentos, pues este elemento elevó las propiedades de compactación y de soporte en las obras, esto ha resultado en el desarrollo de tecnología y medición para el óptimo uso de cemento en los suelos. Así también se señala que, en los continentes de Sudáfrica y Australia es uno de los elementos más usados y estudiados para su uso óptimo en la reparación y/o construcción de vías. Asimismo, se resalta que la técnica Suelo – Cemento se basa en la adición de un porcentaje de cemento al suelo, el resultado de la adición de este elemento tiene como finalidad el de aportar propiedades físicas y mecánicas al suelo, pues este fortalecerá la una resistencia de capa, asimismo este debe pasar por un proceso de compactación para hacerla más estable a diversos campos de acción, procesos meteorológicos y condiciones climáticas al que se verá expuesto al uso. (Asociación de Productores de Cemento, 2018)

En su estudio resaltaron que sus beneficios también abarcan la mejora de capacidad y soporte, resistencia al agua, durabilidad, reducción de costos y tiempo de ejecución.

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones estableció que el un proyecto de mejoramiento son aquellas intervenciones que tienen por fin elevar la calidad de la vía intervenida según sus modificaciones, ya sea, geometría, señalizaciones túneles y otros.

Así también en el artículo publicado por la Universidad de Piura enfatizada que, la rehabilitación de vías impulsa la reactivación económicas y producidas en su localidad, por lo que hacen referencias a los daños constantes y frecuentes en las zonas. Por lo que recomienda que se debería considerar bases estabilizadas para reducir los daños, en caso no se cumpliera con lo anterior hacer uso de bloques de concretos en zonas de tráfico ligero para la continuidad de vías a favor de la sociedad. (Ruiz, 2017)

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2020) brinda los siguientes datos respecto al índice de competitividad global según la calidad de infraestructura. De este se resalta que el Perú tuvo un incremento de 2.6 a 3 puntos en la mejora de carreteras, este índice incluye también las carreteras pavimentadas y la percepción de la población ante los cambios, así también demuestra que la brecha de pavimentación y mejoras es amplia. Véase la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Índice de calidad de infraestructura.*

	2008-2009		2009-2010		2010-2011		2011-2012		2012-2013		2013-2014		2014-2015	
	RANKING	PUNTOS												
<b>PERÚ</b>	83	3.95	78	4.01	73	4.11	67	4.21	61	4.28	61	4.25	69	4.20
Nº de países	134		133		139		142		144		148		144	
Calidad global														
de	113	2.4	97	2.9	92	3.6	105	3.5	111	3.4	101	3.6	112	3.2
infraestructura														
Carreteras	99	2.6	93	2.9	92	3.3	98	3.2	100	3.1	98	3.3	111	3.0
Ferrocarriles	90	1.7	87	1.8	91	1.9	93	1.9	97	1.9	102	3.6	112	3.2
Puertos	127	2.3	126	2.7	113	3.5	103	3.5	111	3.5	93	3.7	86	3.6
Aeropuertos	94	3.9	87	4.1	78	4.4	70	4.6	74	4.5	85	4.2	82	4.1
Asientos														
avión														
disponible km	48	(HD)			47	(HD)	44		42	(HD)	40	(HD)	42	(HD)
/ sem, mil														
Calidad del														
suministro	69	4.7			68	4.8	68	4.9	74	4.8	73	4.9	85	3.9
eléctrico														
Líneas														
teléfónicas	96	(HD)			94	(HD)	89	(HD)	87	(HD)	87	(HD)		
fijas														
Suscripciones														
telefonía					82	(HD)	72	(HD)	58	(HD)	93	(HD)		
móvil														

Nota. De Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2020).

Así también en Sistema Nacional de Carreteras – SINAC brinda los siguientes porcentajes que motiva el desarrollo de la investigación, pues el 86.3% del total de redes viales no se encuentra pavimentado. Véase tabla 2.

**Tabla 2***Porcentaje de pavimentación.*

RED VIAL	PAVIMENTADO	%	NO		RED VIAL	
			PAVIMENTADO	%	EXISTENTE	%
RV NACIONAL	18420	69.7	8016	30.3	26436	15.9
RV DEPARTAMENTAL	2430	9.7	22582	90.3	25012	15.1
RV VECINAL	1925	1.7	112741	98.3	114665	69
<b>TOTAL (KM)</b>	<b>22775</b>	<b>13.7</b>	<b>143339</b>	<b>86.3</b>	<b>166114</b>	<b>100</b>

Nota. De Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2020).

Por último, señalar que el Ministerio de Transporte y comunicaciones proyectó hasta diciembre del 2021 soluciones de asfaltado y soluciones básicas. Nótese en la siguiente tabla 3.

**Tabla 3***Proyección de red vial nacional por kilómetros.*

SUPERFICIE DE RODADURA	A		SITUACIÓN A			PROYECTADO A				
	JULIO 2011(A)	JUL 2011	DIC 2015	JUL 2016	DIC 2016	DIC 2017	DIC 2018	DIC 2019	DIC 2020	DIC 2021
<b>Pavimentado</b>	12358	12515%	18420	19991	20820	22292	23378	23995	24068	24.109
Asfaltado	11951	12109	14089	14332	14515	14785	14916	15154	15227	15268
Solución básica	407	407	4331	5659	3.06	7507	8462	8841	8841	8841
<b>No Pavimentado</b>	10714	10557	8016	6251	5616	4144	3092	2476	2403	2362
<b>RVN Existente</b>	23072	23072	26436	26242	26436	26436	26471	26471	26471	26471
RVN Total	25530	25530	28073	28073	28073	28073	28073	28073	28073	28073
<b>RVN Pavimentado</b>	53.6%	54.2%	79.8%	86.6	90.2%	96.6%	101.3%	104%	104.3%	104.5%
<b>META RVN Pavimentada</b>	53.6%	54.2%	76.2%	76.2%	78.8%	84.3%	88.3%	90.6%	90.9%	91.1%
<b>CORRIENTE</b>										

Nota. De Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2020).

De acuerdo al Gobierno Regional de Huancavelica, evaluó que la conservación de las carreteras en el estado es de vital importancia pues estas aportan a la economía del país, así también a la comunicación entre regiones. Destaca que más del 70% de la red vial total de su región se encuentran en mal estado y el 50% de la red vial nacional se encontrarían en el mismo escenario. El estado peruano al no contar con un plan preventivo de las carreteras resulta en costos de inversión más altos a comparación de una inversión oportuna. Así también el Gobierno Regional de Huancavelica detalla que el 58% de la red vial nacional de la región se encuentra pavimentada a un nivel de Asfalto y/o Solución Básica, la región Huancavelica cuenta con mantenimientos periódicos y mantenimiento rutinarios que no logran abarcar la conservación de carreteras no pavimentadas. (Gobierno Regional de Huancavelica, 2011)

El sistema vial existente en la región Huancavelica es claro ejemplo del retraso y falta de compromiso en la mejora de la región, pues limitan el progreso y desarrollo, las carreteras de la región se ven deteriorados por trochas, falta de orden de red vial vecinal, abandono y falta de programas de mantenimientos. La mayoría de vías fueron ejecutadas sin un plan de obra, ni estudio de suelos por los que lo hacen peligrosas en las rutas interprovinciales como lo son la ruta de Huancavelica – Huancayo y Huancavelica – Ayacucho. (Gobierno Regional de Huancavelica, 2011)

La siguiente tabla 4 realizada por el equipo técnico de IVG demuestran los siguientes datos:

**Tabla 4***Clasificación de la red vial.*

Ámbito / Red Vial	N° de rutas	Longitudes por tipo de superficie de rodadura											
		Asfaltado		Afirmado		Sin Afirmar		Trocha		Construcción		Total	
		Km	%	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%
Huancavelica	249	189.80	3.65%	2519.15	48.50%	1602.21	30.85%	875.43	16.85%	7.75	0.15%	5194.34	100%
Ruta Nacional	11	189.80	16.58%	896.32	78.32%	58.30	5.09%	0	0%	0	0%	1144.42	22.03%
Ruta Departamental	22	0	0%	667.134	43.23%	723.809	46.90%	144.51	9.36%	7.75	0.50%	1543.20	29.71%
Ruta Vecinal	2016	0	0%	955.7	38.13%	820.1	32.72%	730.92	29.16%	0	0%	2506.72	48.26%

Nota. De Gobierno Regional de Huancavelica (2011).

Las redes viales de la nación que involucran la región Huancavelica son los siguientes:

- ✓ Longitudinal de la costa o Eje N° PE-1 / PE-1SC (ramal) interconecta Ica con Huancavelica.
- ✓ Longitudinal de la sierra o Eje N° PE-3 / PE-3S o longitudinal de la sierra sur / PE-3SC / PE-3SD
- ✓ Eje transversal longitudinal de la sierra sur / Ruta N° PE-26 /
- ✓ Ruta N° PE-26 A / Ruta N° PE-26 B / Ruta N° PE-28 A / Ruta N° PE-28 D ramal / Ruta N° PE-28 E ramal

Así también tenemos indicadores del estado de conservación de las vías departamentales por provincias de la región Huancavelica.

**Tabla 5***Conservación de vías del departamento de Huancavelica.*

Provincias	N° de rutas	Longitudes por Estado de la Superficie de Rodadura								Total
		Bueno		Regular		Malo		Muy malo		
Huancavelica	6	49.52	18.37%	164.60	61.05%	48.91	18.14%	6.58	2.44%	269.60
Acobamba	4	36.72	18.66%	107.19	54.46%	52.91	26.88%	0	0%	196.83
Angaraes	4	20.60	11.13%	136.03	73.46%	28.54	15.41%	0	0%	185.17
Churcampa	3	45.14	44.10%	26.87	26.25%	24.87	24.30%	5.47	5.35%	102.36
Castrovirreyna	3	13.36	14.63%	53.36	58.45%	24.58	26.92%	0	0%	91.30
Huaytará	6	66.24	19.71%	188.62	56.11%	48.39	14.40%	32.88	9.78%	336.13
Tayacaja	5	8.72	2.41%	118.94	32.87%	122.83	33.95%	111.32	30.77%	361.81
Total	31	240.32	15.57%	795.60	51.56%	351.028	22.75%	156.25	10.12%	1543.20
Porcentaje		15.57%		51.56%		22.75%		10.12%		100%

Nota. De Gobierno Regional de Huancavelica (2011).

Finalmente, según la Ayuda Memorial del 2016 estableció únicamente 5 proyectos de conservación de carreteras.

Teniendo los indicadores del Gobierno Regional de Huancavelica y al debilitado estudio de suelos y ejecución de mantenimiento de carreteras se realizará la presente investigación.

El Slurry Seal es un tratamiento del pavimento que crea una capa altamente impermeable con una textura superficial lisa. Esta capa proporciona un excelente confort para el tráfico y es resistente al desgaste causado por el tráfico y las condiciones meteorológicas.

El cemento para suelos sirve como capa de cimentación duradera para otros materiales hechos de cemento. Esencialmente, se utiliza sobre todo para estabilizar suelos y bases en autopistas, carreteras o caminos. El método suelo-cemento consiste en aumentar el suelo con una determinada

proporción de cemento para mejorar sus características físicas y mecánicas. Una vez finalizada la mezcla, el material se somete a un proceso de compactación. El resultado es una capa compacta de sustancia, en la que el cemento mejorará la formación de la durabilidad de la capa, haciéndola más segura frente a la erosión causada por las circunstancias ambientales imperantes que soportaría el pavimento.

Son por estos motivos, los pocos datos y antecedentes de la aplicación de suelo – cemento y slurry seal, nos llevó a hacer uso del suelo – cemento y slurry seal, para la rehabilitación de infraestructura vial (mantenimientos viales), y lograr determinar el porcentaje de adición de cemento portland en peso y establecer la dosificación de slurry seal.

## **1.2. Formulación y sistematización del problema**

Ante esta disposición se plantea la siguiente interrogante como problema general:

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera se aplica el suelo – cemento y el Slurry Seal para la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados?

### **1.2.2. Problemas específicos**

a) ¿Cuál es el porcentaje de adición de Cemento Portland en peso para la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados?

b) ¿Qué dosificación de Slurry Seal se requiere para la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados?

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Práctica**

Tafur (1995) afirma que la justificación práctica de la investigación implica identificar su uso aplicativo. La investigación se realiza para abordar los problemas que surgen en diversas organizaciones.

Bernal (2016) sostiene que la investigación tiene validez práctica cuando su desarrollo ayuda a la solución de problemas o proporciona técnicas que, al ser implementadas, contribuirían a su resolución.

En este punto, la presente investigación busca mejorar la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados del distrito de Izcuchaca con la adición de Cemento Portland y Slurry Seal para obtener suelos con mejor compactación y resistencia, por cuanto, es de suma importancia conocer el comportamiento del cemento y slurry seal. Esta tecnología ofrece amplios beneficios al garantizar y restaurar la seguridad, comodidad y belleza de la carretera de forma rápida, evitando así cierres de tráfico prolongados y dificultades.

#### **1.3.2. Teórica**

Bernal (2016) sostiene que un estudio de investigación tiene validez teórica cuando su objetivo es entablar una amplia reflexión y un discurso académico sobre el conocimiento existente,

cuestionar una teoría, comparar resultados o explorar la epistemología del conocimiento existente.

Palella y Martins (2012) afirman que la fundamentación teórica sirve para enfatizar la intención del investigador de profundizar en un tema, ya sea para mejorar el conocimiento existente o para descubrir nuevas explicaciones que puedan alterar la comprensión original. En este escenario, la pregunta que podría servir de guía es: ¿los hallazgos del estudio se alinean con los supuestos teóricos sobre los que se construye?.

La presente tesis busca contribuir con información respecto al uso del cemento portland y slurry seal para la estabilización de suelos, por cuanto, ambas son técnicas usadas para la preservación de pavimentos y que permite alargar la vida útil de un pavimento a bajo costo.

### **1.3.3. Metodológica**

Espinoza (2014) define la justificación metodológica como la propuesta de un nuevo enfoque o metodología en la aplicación de la investigación, presentándola como una innovación.

Palella y Martins (2012) definen la justificación metodológica como la utilización o sugerencia de determinados enfoques y procedimientos que pueden ser beneficiosos para otros investigadores que estudien desafíos comparables.

La presente investigación ayudará a optimizar la metodología a partir de las pruebas de laboratorio y procedimientos para la

adición correcta de cemento portland y el uso de Slurry Seal en las infraestructuras viales en caminos afirmados del distrito de Izcuchaca siguiendo las normativas legales dispuestas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

## **1.4. Delimitaciones**

### **1.4.1. Delimitación temporal**

El UAP (2009) hace hincapié en la necesidad de especificar claramente las fechas de inicio y finalización de un proyecto, así como de identificar las características clave de su ejecución para cada mes y año.

Carrasco (2006) afirma que la delimitación temporal se refiere al período de tiempo específico considerado al examinar hechos, acontecimientos y temas de la realidad. Este periodo debe abarcar uno, dos o más años.

El trabajo de investigación se llevó a cabo en once (11) meses, comprendidos desde el mes de noviembre del 2021 a setiembre del 2022.

### **1.4.2. Delimitación espacial**

Bernal (2016) define la delimitación espacial como el proceso de demarcación del espacio geográfico en el que se llevará a cabo una investigación. La investigación puede limitarse a un ámbito geográfico determinado, como un barrio, una ciudad, una región, una nación, un continente, etcétera.

Carrasco (2006) destaca que la delimitación espacial implica especificar explícitamente el lugar donde se realizará el estudio, lo que requiere dar el nombre de la localidad, centro poblado, distrito, provincia, departamento, etc.

La investigación se llevó a cabo en el distrito de Izcuchaca, provincia de Huancavelica, de la región Huancavelica.

### Figura 1

*Ubicación departamental de la zona de investigación.*



Nota. De <https://www.deperu.com/calendario>.

**Figura 2**

*Ubicación provincial de la zona de investigación.*



Nota. De <https://www.deperu.com/calendario>.

**Figura 3**

*Ubicación distrital de la zona de investigación.*



Nota. De <https://www.deperu.com/calendario>.

## Figura 4

*Localización del lugar de investigación.*



Nota. De google earth.

### **1.4.3. Delimitación económica**

Bernal (2016) define la delimitación económica como la disponibilidad de los recursos financieros necesarios para llevar a cabo una investigación.

Según los criterios de delimitación económica, se dice que no hubo dificultades financieras para cubrir los gastos asociados a la realización de este esfuerzo de estudio. El investigador de esta tesis corrió con todos los gastos del desarrollo de la investigación.

### **1.5. Limitaciones**

Arias (1999) define las limitaciones como impedimentos que pueden surgir a lo largo del progreso del estudio. El incumplimiento por parte de los encuestados en el suministro de información es un ejemplo de una restricción o impedimento que enfrenta el investigador.

La UAP (2009) establece que las limitaciones de la investigación se refieren al tiempo disponible del investigador, los recursos humanos y los recursos financieros para realizar el estudio.

Principalmente la limitación de la investigación se centró en la escasa información acerca del tema investigado.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Aplicar el suelo – cemento y el Slurry Seal para la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar el porcentaje de adición de Cemento Portland en peso para la rehabilitación de infraestructura.
  
- b) Establecer la dosificación de Slurry Seal que se requiere para la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Nacionales**

Quispe (2020), para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Privada del Norte, elaboró la tesis titulada: "Análisis Comparativo de Propiedades Mecánicas de Cemento Natural y Estabilizado Reciclado a 2%, 4%, y 6% para Base, Olivas - 2020" aborda la cuestión general de mejorar la relación de rodadura de California (CBR), la densidad máxima de sequía, el contenido óptimo de humedad y el grado de compactación de un suelo natural en Los Olivos 2020. El objetivo principal es determinar el análisis comparativo de CBR, la densidad máxima de sequía, el contenido óptimo de humedad y el grado de compactación entre un suelo natural y un suelo estabilizado con cemento reciclado en concentraciones de 2%, 4% y 6%. "Los Olivos 2020" ha surgido como una hipótesis general: "Al comparar la CBR, la densidad máxima de sequía, el contenido óptimo de humedad, y el grado de compactación de un suelo natural y un suelo estabilizado con cemento reciclado en 2%, 4% y 6%, el estudio identificó la alternativa más eficaz". La investigación realizada puede clasificarse como aplicada, ya que introdujo una nueva técnica para desarrollar y producir suelo estabilizado con porcentajes específicos de cemento reciclado.

Se concluyó que; “el porcentaje de valores CBR según el suelo natural y el uso de cemento reciclado mejora según el porcentaje de adición de cemento reciclado, pues la adición del 2% en un suelo natural de 85.3% mejoró a un 90.7%, con 4% el CBR fue de 92% y al 6% la mejora fue al 95.2%. Por otro lado, el resultado obtenido del cemento reciclado respecto a la densidad máxima de un suelo natural de 2.303 g/cm<sup>3</sup> con adición de 2% de cemento reciclado mejoró en un 0.072 g/cm<sup>3</sup>, a la adición del 4% mejoró en un 0.142 g/cm<sup>3</sup> y por último al 6% tuvo una mejora al 0.125g/cm<sup>3</sup>; a lo que concluyó el uso óptimo del cemento reciclado es del 4% ya que mejora en 6.17% la densidad seca máxima respecto al natural. Asimismo, concluyó que la adición al 4% de cemento reciclado optimiza mejor el grado de compactación del suelo en un 95.93%. Se deduce que, en un ambiente controlado y al hacer uso de cemento reciclado en los porcentajes óptimos como 4% mejora el CBR, densidad máxima y compactación del suelo para su posterior uso en veredas y pavimentos”.

Velarde (2015) realizó una tesis en la Universidad Nacional de Altiplano titulada “IFFLEXION OF CEMENT PORTLAND TYPE I IN THE STABILIZATION OF THE ARCHITECTURAL SOIL OF THE SUBRASSANTE OF THE DANAMARCA AVENIDA, SECTOR LA MOLINA”. El objetivo general de la tesis fue diagnosticar la máxima resistencia a la compresión de los suelos de barro estabilizados con calor y cemento, utilizando la metodología de respuesta superficial.

La hipótesis principal del trabajo de investigación fue que la aplicación de la metodología de respuesta de superficie puede diagnosticar la máxima resistencia de compresión posible de suelos de barro estabilizados con cemento. La técnica de estudio utilizó un enfoque cuantitativo y correlativo, recogiendo datos e indicadores para apoyar su premisa. El estudio concluyó que el uso de la metodología de superficie de respuesta (MSR) en la estabilización de suelos de barro con cal y cemento aumenta significativamente su resistencia en comparación con los suelos no estabilizados en un 75%. Además, la metodología ayudó a determinar los porcentajes óptimos de cal y cemento. En los proyectos evaluados, la diferencia entre el porcentaje óptimo determinado teóricamente y el del laboratorio fue del 1,24% y del 2,36%. Como resultado, los valores de resistencia a la compresión obtenidos fueron significativamente más altos que los de los suelos inestables, con aumentos del 187% y 129% en los proyectos HUAJE y SALCEDO, respectivamente.

Velásquez (2018) realizó una tesis titulada "INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DED LA AVENIDA DINAMARCA, SECTOR LA MOLINA", planteó como pregunta principal: "¿Cuál es el impacto del cemento de Portland tipo I en la estabilización del suelo de barro de la subrasante de la avenida danesa, el sector La Molina?" El objetivo general de la investigación

fue evaluar el efecto del cemento de Portland Tipo I en la estabilización del suelo de barro de la subrasante de la avenida de Dinamarca en la zona de Molina. El estudio también propuso la siguiente hipótesis: "Al añadir hasta un 5% de cemento de tipo I de Portland como estabilizador de plástico, el índice submarino aumentaría un 10% y el Índice de puente del sector de Dinamarca disminuiría un 10%". La metodología de investigación utilizada en este estudio fue aplicada y explicativa, específicamente correlativa. Su objetivo era establecer una relación entre los índices de plasticidad, contracción y CBR (California Bearing Ratio) y la proporción de cemento de Portland Tipo I.

Se obtuvo los siguientes resultados; "la influencia de la adición del cemento Portland Tipo I al 5% en un suelo arcilloso con plasticidad de 44% - crítico, reduce el índice de plasticidad a 15% representando un suelos arcilloso de plasticidad media, si se requiere un suelo de baja plasticidad según lo aplicado se debe adicionar un 7% de cemento, asimismo obtuvo que la incorporación de 8% a más de cemento da como resultado un suelo plástico; por otra parte la influencia de la adición de cemento Portland Tipo I en un 5% se obtiene un incremento del 29% en relación a la contracción del volumen haciéndola uno de los parámetros más representativas del estudio, por último obtuvo que la adición de un 5% de cemento incrementa el índice de CBR al 13.75% al 95% DSM significando una subrasante buena según el siguiente

indicador  $10\% \leq \text{CBR} < 20\%$ ". Se concluye que: "la influencia de cemento Portland Tipo I en la estabilización de suelos arcilloso refleja la reducción significativa del índice de plasticidad e índice de contracción y el incremento de su índice CBR".

### **2.1.2. Internacionales**

Matute (2016), para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, desarrolló la investigación "Comparación de Aspectos Técnicos y Económicos del Uso de Bases Granulares y Bases Estabilizadas de Cemento para Diferentes Condiciones de Tráfico, con y sin capa de cobertura, para Varias Medidas" aborda el problema general de determinar el tipo más adecuado de capa de soporte para la construcción de carreteras. El objetivo general es comparar los aspectos técnicos y los costos de la utilización de una base granular frente a una base estabilizada con cemento para estructuras de carreteras, teniendo en cuenta los parámetros de diseño y los gastos de mantenimiento a largo plazo. El objetivo es establecer un procedimiento económico y técnicamente sólido para la selección de la capa de rodamiento más rentable y duradera para los proyectos de construcción de carreteras. Asimismo, planteó como hipótesis general: "Un base estabilizado con cemento para una estructura de pavimento es mucho más rentable y duradero a comparación de una base granular". Metodológicamente la investigación es de tipo descriptivo – correlacional ya que se busca

determinar la mejor opción en costo y durabilidad. La investigación concluyó que, “un base estabilizado con cemento es casi impermeable, lo que la hace resistente a los cambios climáticos, se incluye también que debido a la hidratación del cemento al pasar de los años continúa ganado resistencia; lo mencionado no representa la total ventaja de una estabilización con cemento, pues mejora la capacidad portante de la estructura en un pavimento considerablemente. Económicamente representa en promedio con los siguientes estándares aplicados un ahorro promedio de \$110m<sup>3</sup>/Km en un suelo de baja calidad CBR=2%, ahorro promedio de \$128m<sup>3</sup>/Km en un suelo de media calidad CBR= 4% y por último un ahorro medio de \$145m<sup>3</sup>/Km en un suelo de buena calidad CBR=8%. Por lo que, la adición de cemento en la estabilización de suelo es más óptimo en durabilidad y mantenido respecto a una granulada”.

Gavilanes (2015), en su tesis titulada "Estabilización y embellecimiento de cal y cemento mediante sub-Rassante para una carretera en el sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur", se propuso determinar las propiedades físicas y mecánicas de la modificación y estabilización del suelo en la zona. El problema general abordado fue el resultado del análisis y evaluación de la modificación y estabilización del suelo en esta zona específica. El objetivo general era examinar y evaluar la física y la mecánica de la estabilización y modificación del suelo en la zona de Santos

Pamba utilizando aditivos de calcio y cemento en diferentes porcentajes para determinar la estabilidad plástica del material subterráneo. La hipótesis propuesta era que la aplicación general de las condiciones naturales, en particular en términos de resistencia calórica y estabilidad a las colonias, tendría un impacto. El enfoque de investigación utilizado es Applied – Correlational. El estudio encontró que el uso de cemento para estabilizar el suelo tiene ventajas. Al dimensionar adecuadamente la estructura de carga, es posible reducir el espesor de la estructura, ya sea de hormigón rígido o de asfalto, en comparación con su forma natural. Este enfoque tiene el beneficio de reducir los costos de construcción. Además, la estabilización del suelo con cemento aumenta su capacidad para soportar cargas más altas de lo especificado por las regulaciones MOP para mejorar el subrasante. Esto se logra reduciendo significativamente el índice de plasticidad al mismo tiempo que aumenta el porcentaje de cemento, lo que lo hace ideal para fines de construcción.

Finalmente, la importancia de realizar un estudio hidrológico e hidráulico en el proyecto repercute en la ubicación de los drenajes como son las alcantarillas, cunetas y otros, para mitigar los riesgos del contacto con la humedad de suelos estabilizados con cementos”. Por lo que se deduce que los porcentajes óptimos de la adición de cementos en los suelos naturales permite una mejor

capacidad en estructura, costos y compactación del suelo estabilizado.

Hidalgo (2016), para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Técnica de Ambato, elaboró la tesis titulada: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELO-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE”, planteó como problema general: definir los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo – cemento en los suelos arcillosos de sub-rasante, seguidamente definió el objetivo general con la siguiente: “Definir los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcilloso de sub-rasante”, la metodología de investigación usada fue Aplicada – Experimental, pues requerirá manipular sus variables respecto a los conocimientos previos requerido para la investigación. La investigación concluyó que; “al evaluar, identificar y clasificar las muestras de suelo seleccionadas de la ciudad del Puyo pertenecen al tipo de Arcilla de Alta Plasticidad correspondiente al SUCS – Identificación y Clasificación del Suelo, asimismo las muestras demostraron que sus propiedades son altamente plásticas y que se encuentran saturadas de agua, convirtiéndolas en suelos muy poco resistente para soportar obras estructurales y de pavimentación. Para la optimización del suelo mencionado, el investigador adicionó

cemento a las muestras de suelos modificándose su contenido de humedad haciéndolas óptimas según el porcentaje añadido a la combinación del suelo y cemento, pues una de las propiedades del cemento es la absorción del agua; para realizar este procedimiento en campo es necesario tomar en cuenta los resultados obtenidos de CBR para optar la mejor opción y porcentaje respecto al tipo de suelo que represente, además demuestra que la aplicación de cemento respecto a las enzimas orgánicas es más factible en costo ya que representa un ahorro total del 11.52%, durabilidad y stock en el mercado haciendo posible la ejecución temprana”. Por ello, se deduce que la adición de cemento en suelos arcillosos – plásticos es efectiva según el porcentaje añadido de cemento y que es de vital importancia un estudio del CBR y ensayos antes de la ejecución en campo.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Teorías de la Investigación**

Es crucial para cualquier estudio desarrollar fuentes de conocimiento que proporcionen una base para comprender el problema y las posibles soluciones. Esto implica identificar los principios fundamentales del proyecto en cuestión, a fin de obtener una comprensión completa del tema que se examina.

#### **2.2.1.1 Suelo**

El término suelo se ha definido de diversas formas en todos los campos, es decir, el suelo fue definido por

profesionales como los geólogos, ingenieros civiles, agrónomos y entre otros; a continuación, se detallará la definición del suelo desde el paradigma de la ingeniería civil.

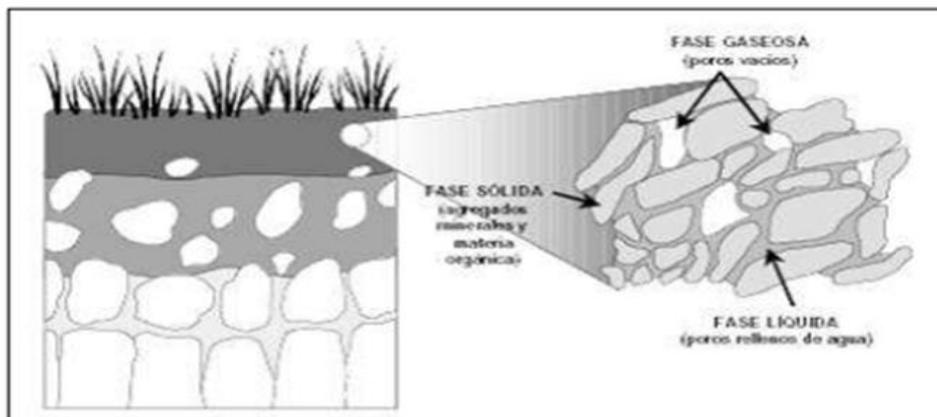
Según A. Rico y H. del Castillo (1992) lo definen como un conjunto de partículas minerales, a consecuencia de la desintegración mecánica o de la descomposición químicas de rocas pre existentes.

En resumen, el suelo es una capa delgada que se convertirá en el sustento de un proyecto de construcción, formada por partículas minerales.

**Fases del suelo:** A continuación, se dará detalles de los elementos trifásicos del suelo, véase la figura 5:

**Figura 5**

*Fases del suelo.*



Nota. Tomado de Fases del Suelo – Introducción a la Edafología (2020).

**1.- Fase sólida:** Se encuentra dividida por orgánica e inorgánica; la inorgánica se establece por parte de rocas

y minerales como son las gravas, limos y arcillas, este último es importante para la producción y fertilidad del suelo; la orgánica es compuesta por restos y/o desechos de seres vivos. (Mela, 2020; Toirac, 2008)

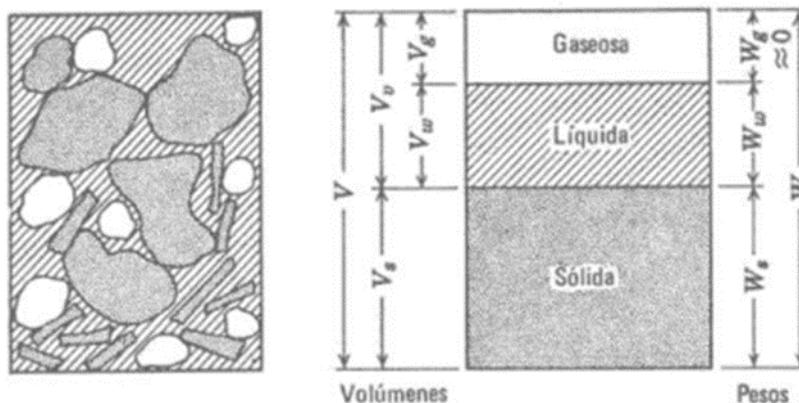
**2.- Fase líquida:** Representa el agua que transporta minerales, arcillas y otros, humedad y capilaridad del suelo, es decir, los poros existentes para absorción. (Mela, 2020; Toirac, 2008)

**3.- Fase gaseosa:** Se encuentran los poros de mayor tamaño, en donde el agua es limitada, de ella se desprende mayor CO<sub>2</sub> debido a la materia orgánica en descomposición. (Mela, 2020; Toirac, 2008)

### 2.2.1.2 Relaciones fundamentales

**Figura 6**

*Relaciones fundamentales del suelo.*



Nota. Tomado de Crespo Villalaz (2004)

**1.- Contenido de humedad:** Es la propiedad física que representa el porcentaje de agua contenido en la masa de sólidos del suelo. Es de vital importancia determinar el contenido de humedad, pues depende de este indicador las acciones a realizar, este comprende en los otros indicadores dispuestos para una construcción, es decir, la resistencia y compactación. (Crespo Villalaz, 2004; Duque Escobar & Escobar, 2016; Riha, César; Linares, 2011)

A continuación, se describirá la ecuación que determinará el contenido de humedad:

$$\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} * 100$$

En donde las variables indican lo siguiente,

$\omega$  = Contenido de humedad

$W_{\omega}$  = Peso del Agua

$W_s$  = Peso de Sólidos

**2.- Relación de vacíos “e”:** Es el grado de acomodado logrado por partículas del suelo que deja rastros de vacíos entre ellas; a mayor grado de acomodado y menor capacidad de deformación resulta un suelo compacto, a un menor grado de acomodado y mayor capacidad de

deformación es resultante de un suelo poco compactado. Los valores de volúmenes de las partículas sólidas pueden ser menor a 1 o de valores muy alto. (Crespo Villalaz, 2004; Duque Escobar & Escobar, 2016; Linares, 2011)

A continuación, se demostrará la ecuación de relación de vacíos:

$$e = \frac{V_v}{V_s} * 100$$

Las variables de ecuación son las siguientes:

$e$  = Relación de vacíos

$V_v$  = Volumen de vacíos

$V_s$  = Volumen de Sólidos

**3.- Porosidad:** El porcentaje de porosidad es relación expresada del volumen de espacios vacíos de un suelo y el volumen total de la muestra, es decir, es el porcentaje de hallar vacíos en el volumen total. Este porcentaje varía de entre cero a cien. Es importante determinar la porosidad del suelo ya que a un mayor porcentaje de porosidad es resultado de un suelo con grandes vacíos y un suelo poco consolidado, sin embargo, a un menor porcentaje de porosidad del suelo es igual a un suelo consolidado. (Crespo Villalaz, 2004; Duque Escobar &

Escobar, 2016; Reyna, Teresa; Reyna, Santiago; Lábaque, María; Fulginiti, Fabián; Riha, César; Linares, 2011)

La porosidad se halla de la siguiente manera:

$$n = \frac{V_v}{V_t} * 100\%$$

En donde,

$n$  = Porosidad

$V_v$  = Volumen de vacíos

$V_t$  = Volumen total de la masa del suelo

**4.- Grado de saturación de agua:** Es el grado de espacios vacíos del suelo que contienen fluidos, es decir, agua o petróleo. Lo mencionado se refiere a la saturación la cual puede variar entre 0% - suelo seco y 100% - suelo totalmente saturado. (Crespo Villalaz, 2004; Duque Escobar & Escobar, 2016; Reyna, Teresa; Reyna, Santiago; Lábaque, María; Fulginiti, Fabián; Riha, César; Linares, 2011)

El grado de saturación de agua se halla con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{V_w}{V_v} * 100\%$$

En donde,

$S$  = Grado de saturación de agua

$VW$  = Volumen de agua

$VV$  = Volumen de vacíos

**5.- Grado de saturación de aire:** Este indicador representa la proporción de aire presente del total del volumen vacío. Este porcentaje varía de entre 0% a 100%; mientras mayor sea su valor se deduce una baja consolidación, todo lo contrario, al tener un menor porcentaje que indicaría la alta consolidación. (Crespo Villalaz, 2004; Duque Escobar & Escobar, 2016; Reyna, Teresa; Reyna, Santiago; Lábaque, María; Fulginiti, Fabián; Riha, César; Linares, 2011)

El grado de saturación de aire se determinar de la siguiente manera:

$$A = \frac{V_A}{V_V} * 100\%$$

En donde,

$A$  = Grado de saturación de aire

$V_A$  = Volumen de aire

$V_V$  = Volumen de vacíos

### 2.2.1.3 Propiedades índices del suelo

1.- **Humedad:** Según Warren (, 1975), la humedad del suelo se expresa de forma gravimétrica, es decir, a razón de la masa, o volumétricamente a razón del volumen. A continuación, se expresará la ecuación para determinar la humedad del suelo en su forma gravimétrica:

$$\% \text{ humedad gravimetrica} = \frac{m - m_1}{m_1} * 100$$

Donde,

$m$  = masa de solidos del suelo

$m_1$  = masa del suelo secado al horno

De la ecuación al referirnos a la variable masa del suelo secado al horno, es la masa de suelo puesto al horno a temperaturas de 100 a 110°C por al menos 24 horas, de esta manera el suelo pierde toda el agua contenida a lo que se llama suelo seco. Para determinar la humedad gravimétrica a razón del volumen es con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad gravimetrica} = \frac{m_{ag}}{m_s} * 100$$

Como se ve en la expresión, para determinar la humedad gravimétrica es en relación de la masa de agua

contenido por unidad de masa de sólidos del suelo. La cual se debe representar en porcentaje.

**2.- Densidad:** Se define a la densidad como la diferencia entre la masa del suelo respecto a su volumen, esto se debe a que el suelo es un cuerpo poroso. (Crespo Villalaz, 2004; Forsythe, 1975)

La densidad del suelo se puede clasificar de la siguiente forma:

**Densidad absoluta:** Se determina por la masa del cuerpo contenida en la unidad de volumen, esta no incluye sus vacíos. Se expresa de la siguiente manera:

$$D_a = \frac{P_s}{V_s}$$

De las cuales,

$D_a$  = Densidad Absoluta

$P_s$  = Peso de la partícula sólida en gramos

$V_s$  = Volumen de sólidos en  $cm^3$

**Densidad aparente:** Se determina por la masa del cuerpo contenida en la unidad de volumen, a diferencia de la densidad absoluta esta incluye vacíos. Se determina de la siguiente manera:

$$D'_a = \frac{P_s}{V_t}$$

Donde,

$D_a'$  = Densidad aparente

$P_s$  = Peso de la partícula sólida en gramos

$V_t$  = Volumen de sólidos más volumen de huecos, en  $cm^3$

**Densidad relativa:** Es la relación de la densidad del cuerpo con la densidad absoluta del agua destilada a temperatura de 4°C. Se puede terminar a razón de la densidad absoluta o relativa, véase a continuación las expresiones:

$$D_r = \frac{D_a}{D_w} \text{ o } D_r = \frac{D'_a}{D_w}$$

Sean las variables,

$D_r$  = Densidad Relativa

$D_a$  = Densidad Absoluta

$D_a'$  = Densidad Aparente

$D_w$  = Densidad absoluta del agua destilada a temperatura de 4°C; tiene valor de  $1g/cm^3$ .

**Gravedad específica:** La gravedad específica se determina a razón del peso del cuerpo descrita a la densidad del agua en entornos controlados, es decir, laboratorio; versus el peso unitario. El resultado de lo

anterior es la densidad de un fluido respecto a la densidad del agua, resaltar también que es adimensional, pues los cocientes de las unidades son de igual magnitud. (Duque Escobar y Escobar, 2016)

La gravedad específica se ha clasificado en los tipos de suelos, pues estos dependen de los minerales que la constituyen. (duque escobar y escobar, 2016)

Véase los estándares a continuación:

- ✓ 2.65 < GRAVAS > 2.68
- ✓ 2.65 < ARENAS > 2.68
- ✓ 2.66 < LIMOS > 2.70
- ✓ 2.68 < ARCILLAS > 2.80

En resumen, los suelos pueden presentar valores entre 2.5 y 3.1 adimensionales.

**Granulometría:** Según el MTC y Crespo (, 2004; 2013), el fin del análisis granulométrico del suelo es determinar la proporción de sus diferentes elementos, éstos se clasifican en función del tamaño de sus partículas. Véase la tabla 6 de clasificación del suelo según el tamaño de sus componentes.

**Tabla 6**

*Clasificación del suelo según tamaño de sus componentes.*

TIPO DE MATERIAL		TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena	Arena gruesa	4.75 mm – 2.00 mm
	Arena media	2.00 mm – 0.425 mm
	Arena fina	0.425 mm – 0.075 mm
Material fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005mm

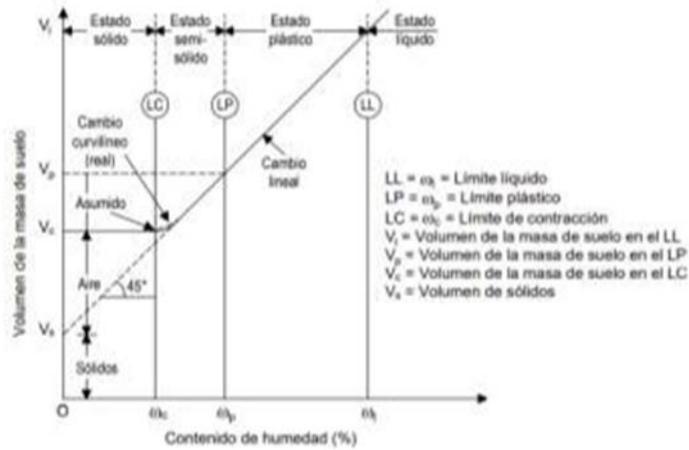
Nota. Tomado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

Los procedimientos pueden ser de tipo tamizado, sedimentación o método de la pipeta.

**Límites atterberg:** Los límites Atterberg o límites de consistencia fueron establecidos en 1911 por el agrónomo Albert Mauritz Atterberg, su importancia radica en clasificación de suelo pues permite conocer el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad puntos relevantes para comprender otras propiedades del suelo respecto a la plasticidad que pueden ser compresibilidad, permeabilidad, compactación, resistencia al corte y potencial de expansión. En resumen, los límites Atterberg define la información del suelo saturado. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

**Figura 7**

*Límites de atterberg.*



Nota. Tomado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

### 2.2.1.4 Características físicas del suelo

Las características y procesos existentes permiten la diferencia de suelos, se las puede identificar por color, textura, estructura y porosidad. A continuación, se detallará las mencionadas anteriormente:

**1.- Color del suelo:** Según los autores Rucks et al. & Suarez de Castro (2004; 1979) el color del suelo es una de las características de mayor visibilidad, la diferencia entre sus colores se da por la profundidad y ubicación de los horizontes. El color del suelo puede ser índice de la materia orgánica existente en la zona. Los colores se pueden clasificar en:

**Color rojo o pardo rojizo:** Es el resultado de la existencia de óxido de hierro no hidratado que forma en

suelo ventilados y con drenaje, la existencia de humedad lo vuelve inestable.

**Color amarillo:** En mayoría es el resultado de la existencia de óxido de hierro hidratado con un mal drenaje.

**Color gris o blancuzcos:** La obtención del color es por prioridad de un mal drenaje, es decir, suelos con drenaje imperfecto.

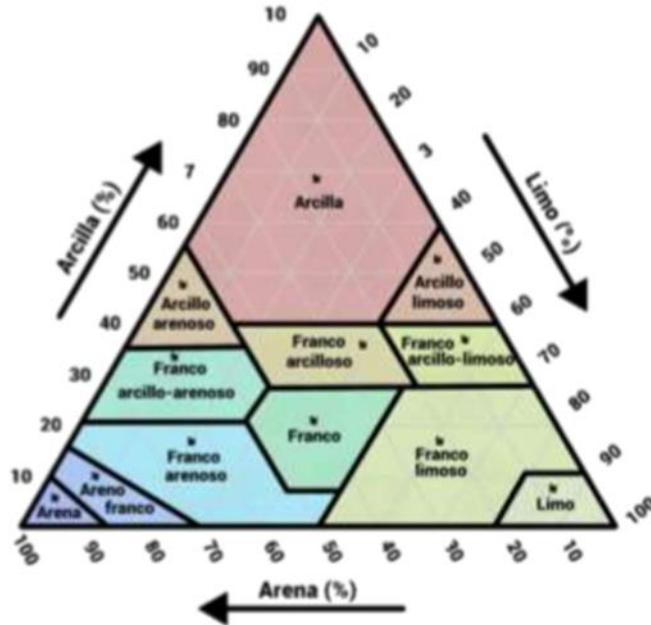
**Color púrpura:** Es el resultado del alto contenido de manganeso, así también en menor proporción por acumulación de cal.

En color del suelo también difiere del contenido de humedad, por ello al realizarse estas pruebas se debe tomar en cuenta una humedad en condiciones normales.

**2.- Textura:** Es la relación de las cantidades aproximadas de los elementos del suelo, es decir, los diversos minerales contenidos en el suelo, estas difieren del tamaño de grano que son clasificados en arenas, limos y arcillas; la textura da a conocer si el suelo es capaz de soportar un proyecto o si requerirá alguna estabilización. Véase la siguiente figura 8:

**Figura 8**

*Textura del suelo.*



Nota. Tomado de Mela (2020)

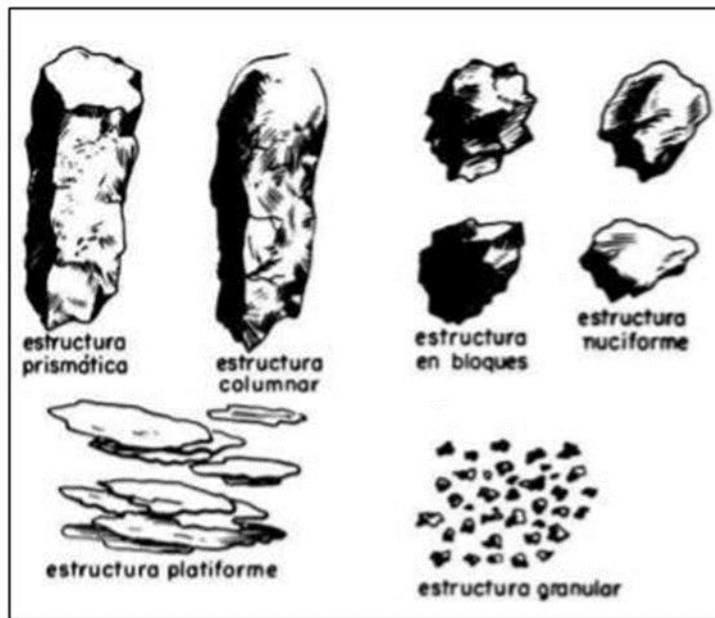
La figura 8, proporciona información de los tipos de textura según el compuesto, es decir, si el suelo está confirmado por arena, la textura será de tipo arenoso, si se encuentra conformado por arcilla será un suelo de textura arcillosa, si el suelo está compuesto por limo este será una textura limosa, por último, si el suelo se encuentra conformado por los tres elementos de forma equilibrada será un suelo de textura franco, uno de los suelos más óptimos. (Velasco Melo, 2008)

**3.- Estructura del suelo:** La estructura del suelo es la parte más importante, pues se definen las formas en cómo se unen y ordenan los compuestos del suelo, es

decir, la arena, arcilla y limo; la estructura precisa si el suelo permitirá un trabajo liviano o si requerirá más preparación. Véase la siguiente figura 9:

**Figura 9**

*Estructura del suelo.*



Nota. Tomado de Mela (2020)

### 2.2.1.5 Cemento portland

1.- **Definición:** Neville y Brooks (, 2010), definen al cemento Portland como un cemento obtenido de la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos, así como también con sílice, alúmina y óxido de hierro, quemando cada uno de ellos a una temperatura de clinkerización y finalmente moliendo el clínker resultante.

Por otro aspecto Pasquel (1998), lo conceptualiza como un aglomerante hidrófilo, hasta obtener un polvo

muy fino, la cual, al ser combinada con agua se endurece y llega a presentar propiedades de resistencia y adhesión.

Para reforzar, el MTC (2013) señala que el cemento hidráulico se produce por la pulverización del clinker Portland y como agregado, el yeso natural; el clinker Portland se forma tras calcinar caliza y arcilla a temperaturas que varían entre 1350 y 1450 °C.

Conocido en EUA por ser su principal cemento artificial, el cemento portland se fabrica mediante 2 materias, se pulverizan finamente y así se puede asegurar una mezcla homogénea antes de ser calcinado, presenta proporciones de sílice, alúmina, óxido de hierro y cal, cada uno de estos compuestos no deben superar los límites de tolerancia por más mínima que sea. (BLAS MIRANDA, 2003)

Es el resultante de la pulverización más fina de Clínker, y la calcinación de una buena mezcla, por un lado, de material calcáreo y por otro, de material arcilloso. Cabe mencionar que al Clínker no se agrega nada más que agua o yeso (calcinado o no), puesto que el Clínker es una escoria; sin embargo, dicho término no se utiliza ya que tendrá un papel muy importante, este producto se manifiesta como pequeñas esferas de hasta 20 mm de

diámetro y de un color gris característico. (Blas Miranda, 2003)

Para Gatani (, 2000), la aplicación del cemento dependerá de diversos factores en la mezcla, en primer lugar, si solo consideramos el tipo de cemento, se tendrá que tener en cuenta el tipo de suelo o las propiedades que se busca tener en la mezcla, cabe mencionar que el cemento Portland se puede utilizar en cualquier circunstancia, por otro lado, si tratamos solamente de cantidad, habrá que advertir si se busca modificar o tal vez estabilizar el suelo.

La afirmación anterior se afianza con la opinión de Serigos, (2009), quien menciona que la gran mayoría de suelos son aptos para ser estabilizados con cemento Portland, si se tratase de la estabilización del suelo local supone ciertos beneficios en el aspecto económico, esto se debe al ahorro por evitar el costo excesivo del transporte de materiales.

La cantidad de aglutinante a utilizar varía en función a la cantidad de suelo empleado; es decir, presenta una dependencia directa, además dicha mezcla dependerá del tipo de sistema de compactación en cuestión, así tenemos lo siguiente:

- ✓ Menor compactación supone el uso de mayor cemento.

- ✓ Mayor compactación supone el uso de menor cemento.

**2.- Composición:** Los componentes fundamentales del cemento Portland son los siguientes óxidos: de aluminio, de calcio, silicio y hierro, estos óxidos conforman los denominados silicatos, que, al estar en contacto con agua se hidratan y se convierten en el fraguado del cemento.

Los componentes complementarios se encuentran en concentraciones menores y están conformados por los óxidos de: calcio ionizado o libre, sodio, azufre, magnesio y potasio, estos óxidos contribuyen en los procesos de formación de los silicatos y del fraguado del cemento.

**Tabla 7***Composición del cemento Portland.*

COMPONENTE	RANGO DE COMPOSICIÓN % PESO
Principales	
CaO	60 a 68
SiO <sub>2</sub>	18 a 25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5 a 7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2 a 5
Secundarios	
CaO libre	0,3 a 2,0
MgO	0,5 a 3,5
Na <sub>2</sub> O	0,04 a 0,4
K <sub>2</sub> O	0,30 a 1,9
SO <sub>3</sub>	0,01 a 1,5
Cl	0,00 a 0,06
F	0,05 a 0,10
TiO <sub>2</sub>	0,17 a 0,30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04 a 0,26
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0 a 0,4
BaO	0,01 a 0,06
SrO	0,01 a 0,18
Cr ppm	6 a 70

Nota. Tomado de Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (2004).

**Fases:** Las fases cristalinas y amorfas del cemento se forman por la reacción de los óxidos y elementos que son suministrados por las materias primas con calor. Esta reacción resulta en la formación de silicatos, aluminatos y ferritos de calcio.

**Tabla 8**

*Principales fases del cemento.*

<b>NOMBRE</b>	<b>FÓRMULA</b>
Silicato tricálcico	$\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$
Silicato dicálcico	$\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$
Aluminio ferrito tetracálcico	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{CaO}$
Aluminato tricálcico	$\text{O}$
Ferrito dicálcico	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO}$

Nota. Tomado de Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (2004).

**Fabricación:** Con el fin de obtener un producto uniforme y de gran calidad, se debe alcanzar una velocidad alta de reacción en el horno de calcinación, para ello la materia prima a escoger deben ser los siguientes: Materias primas molidas y dosificadas, y el Clinker debe ser producido de las materias primas.

**3.- Composición química:** Existen cuatro compuestos principales que constituyen el cemento, el óxido de calcio (CaO), óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Las mismas que al estar en contacto con agua (H<sub>2</sub>O) nos resulta un cemento hidratado.

**Tabla 9**

*Principales componentes del cemento Portland.*

Nombre del compuesto	Composición del óxido	Abreviación	Nombre común (en su estado impuro)
Silicato tricálcico	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C3S	Alita
Silicato dicálcico	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C2S	Belita
Aluminato tricálcico	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C3A	Celita
Aluminoferrito tetracálcico	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C4AF	Felita

Nota. Adaptado de Neville y Brooks 2010:10.

Neville y Brooks (2010) enfatizan la importancia de los silicatos, a saber, C3S y C2S, en la determinación de la resistencia de la pasta de cemento hidratado. Es crucial señalar que los silicatos no son compuestos puros ya que incluyen óxidos en solución sólida.

#### **2.2.1.6 Estabilización de suelos**

Según el autor Rico y del Castillo (, 1992) hacen detalle que con frecuencia se encuentran suelos no adecuados para la ejecución de proyectos de obras u otros, por lo que existe tres probabilidades en función a ello; las posibilidades son las siguientes:

- ✓ Aceptar el suelo en sus condiciones normales y realizar la obra teniendo en cuenta la calidad de obra

que se está planteando, así también las formas de manejarlo sin modificar su composición del suelo.

- ✓ Sustituir el suelo inadecuado que no cumpla las condiciones necesarias y específicas del proyecto, por otro suelo de mejores características que aporte a las condiciones del suelo para la ejecución del proyecto de obra.
- ✓ Modificar las propiedades del suelo para que pueda cumplir con los requerimientos específicos mínimos en la construcción del proyecto de obra.

Esta última es la que da la posibilidad de una mejor estabilización con diversos métodos, pues lo que se busca es la mejorar su capacidad de soporte y su reducción a la sensibilidad frente al agua y otras situaciones prevista para la obra.

Así también Villareal Guijarro, afirma que la estabilización de suelos es la intervención de elementos para lograr una mezcla homogénea con el suelo pulverizado, este se puede determinar según los cambios de las propiedades físicas por la estabilización así otros cambios como son; compactibilidad, durabilidad e impermeabilización.

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013) afirma que la estabilización de suelo es el proceso

de mejorar las propiedades físicas del suelo a través de los procedimientos de estabilización e incorporación de químicos, orgánicos o sintéticos.

Por último, el IECA (, 2004) menciona que, en condiciones normales y en razón del cuidado ambiental y optimización de recurso financiero en obras de infraestructura se prioriza usar la mayor cantidad de suelo posible propia del lugar de obra, sin embargo, no todos los suelos son adecuados para las por lo que se debe de proceder al tratamiento del suelo para facilitar la puesta en marcha de la obra enfatizando la resistencia, compactación y resistencia al agua.

**1.- Tipos de tratamiento y campos de aplicación:** En la estabilización de suelos busca mejorar el aumento de su capacidad de soporte, incremento de su resistencia mecánica, disminuir la sensibilidad al agua y otras condiciones climáticas de la zona del proyecto de obra.

**2.- Ventajas de los suelos estabilizados:** Las ventajas las podemos clasificar en técnicas y económicas–ambientales. Nótese a continuación:

**Ventajas técnicas:**

- ✓ Permite el uso de los suelos de la traza, optimando sus características según lo requerido para el proyecto de obra.

- ✓ La capacidad de soporte se ve incrementada afectando positivamente a la vida de servicio del firme.
- ✓ La estabilización asegura la estabilidad de la explanada, es decir, el suelo tiene menor sensibilidad al agua y a la helada, lo mencionado tiene por consecuencia la estabilidad a posibles cambios del suelo en el aspecto del volumen y resistencia a la erosión; el suelo no se hinchará ni retraerá cambio climático extremos en climas tropicales o heladas.
- ✓ Aporta a la vida útil y a la reducción de mantenimientos constantes.

**Ventajas económicas y ambientales:**

- ✓ El mayor uso de suelos cercanos a la zona de ejecución de obra.
- ✓ Impacta positivamente en el ahorro del transporte de materiales por efectos de la no estabilización de suelo.
- ✓ Los plazos de ejecución se acortan pues se conocen los detalles del suelo y los componentes específicos para mejorar el rendimiento necesario para su mezcla.
- ✓ Permite una base de capas firmes siendo indicador de capacidad de soporte, por ende, no requiere de mayores cimientos en la ejecución de la obra.

**3.- Características:** Según Montejo (, 2002), en la estabilización de suelos mediante el cemento, el tipo de

suelo tiene una relevancia significativa, debido a la granulometría y su composición química. La estabilización eficiente con cemento, en el aspecto vial, se logra solo cuando el suelo no presenta partículas mayores a 75 mm, equivalente a la tercera parte del espesor de la capa tratada, de la misma, menos de la mitad pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$ , el límite líquido debe ser menor a 40; y, el índice de plasticidad, a 18.

El MTC (, 2013) recomienda, sea cual sea el material a utilizar, debe cumplir estos requisitos:

- ✓ Granulometría: corresponde a los tipos de suelo A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7, los cuales no deben exceder las 2" o un tercio del espesor de la capa compactada.
- ✓ Plasticidad: Montejo (2002), precisa que la fracción inferior al tamiz es de 0.425 mm., la cual deberá presentar un límite líquido no mayor a 40 y un índice de plasticidad no mayor a 18.
- ✓ Composición química: La proporción de sulfatos del suelo ( $\text{SO}_4=$ ) no tendrá un peso mayor de 0.2%.
- ✓ Abrasión: Si los materiales a estabilizar conformarán capas estructurales, el agregado grueso tendrá un desgaste a la abrasión menor a 50%.

- ✓ Solidez: si se da el mismo caso que en punto anterior; y, además, el material se está a una altitud mayor o igual a 3000 m.s.n.m., los agregados gruesos no presentarán pérdidas en sulfato de magnesio mayores a 18%; y, en materiales finos, a 15%.

Montejo (2002) menciona que algunas arcillas plásticas que se encuentran fuera de los límites previstos, fueron tratadas con éxito, mediante el cemento, previamente con 2 o 3% del mismo cemento, se logra dar al suelo mayor trabajabilidad y bajar su plasticidad, el tiempo total que implica este tratamiento previo es de 2 a 3 días.

**4.- Tipos:** Son los siguientes:

**Suelo-cemento:** Es un material compuesto formado por la combinación de suelos finos o granulares, cemento y agua. Esta combinación compacta y solidifica para crear un material mucho más fuerte con mejores cualidades mecánicas. Por lo general, sirve como capa de fundación (subbase) para otros materiales que también son tratados con cemento, o como capa resiliente debajo de capas bituminosas. (Quintanilla Rodríguez, 2007)

Asimismo, el suelo-cemento es frecuentemente utilizado como base de pavimentos de bajo costo en vías públicas dentro o fuera de la ciudad hasta instalaciones

de almacenamiento industrial. (Portland Cement Association, 2017)

**b.- Suelo modificado con cemento:** Es el material del suelo que ha sido modificado con una pequeña cantidad de cemento de Portland, que es insuficiente para crear cemento sólido. El objetivo es alterar las características desfavorables de los suelos de menor calidad con el fin de que sean adecuados para fines de construcción. (Portland Cement Association, 2017)

De acuerdo a PCA (, 1995), existen 2 tipos de suelos modificados con cemento, en función del tamaño de grano predominante.

- ✓ Suelos granulados modificados con cemento: contienen material que excede el umbral de 75  $\mu\text{m}$ , así como menos del 35% de limo y barro. Está diseñado para mejorar la calidad de materiales de menor calidad y satisfacer las especificaciones de una capa de base o subbase en un sistema de piso.
- ✓ Suelos limo-arcillario modificado con cemento: contienen un mínimo de 35% de limón y barro. Está diseñado para mejorar la idoneidad de los suelos para su uso en capas sub-rasantes o sub-básicas, así como para minimizar las características de plasticidad y cambio de volumen, aumentar la resistencia del

soporte o proporcionar una plataforma de trabajo estable sobre la cual se pueden construir capas de suelo.

**c.- materiales del cemento compactado:** Se debe tener en cuenta que una mezcla de suelo - cemento contiene 3 materiales, el suelo, cemento y agua.

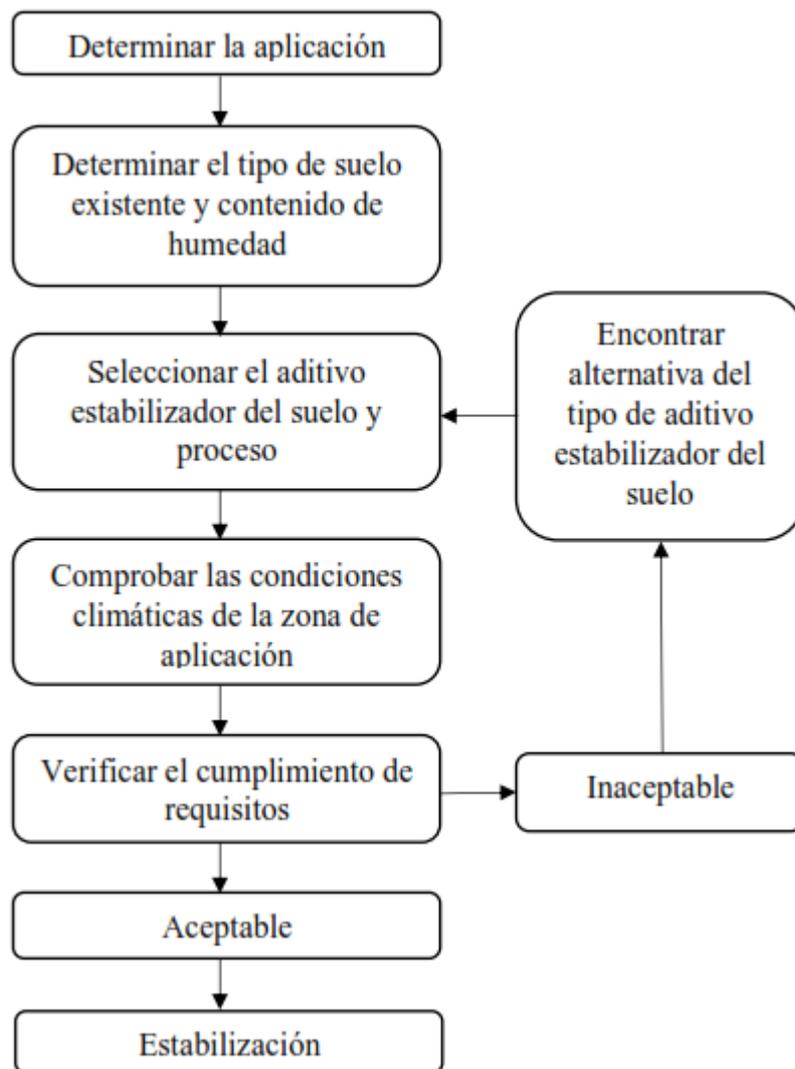
Para calcular la cantidad que se usará, de cada uno de ellos, por cada metro cúbico de suelo-cemento, se necesitarán los siguientes datos como contenido de humedad natural, densidad seca y porcentaje de cemento del peso seco del suelo.

**5.- Criterios para la estabilización del suelo:** Según el MTC (2013), los suelos que se deben de estabilizar son aquellos que presenten un CBR mayor al 6% o aquellos en donde suelos tenga aspectos de demasiada humedad y de poca compactación, en su mayoría estos suelos se ven representador por los suelos arcillosos y limosos. Así también para seleccionar el método de estabilización se debe de conocer el tipo de suelo al que se va estabilizar, el uso al que se le dará el suelo, es decir, que proyecto de obra se busca ejecutar, el estabilizador a usar pues este compromete la efectividad de la estabilización, así también se debe considerar al personal que realizará ña estabilización y si cuentan con los equipamientos y

equipos necesarios para la puesta en marcha. Véase a continuación la figura 10 del proceso de selección del método de estabilización más óptimo.

**Figura 10**

*Proceso de estabilización del suelo.*



Nota. Tomado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013)

Así también en la siguiente tabla 5 se denota los parámetros y restricciones para la elección del aditivo estabilizador según el tipo de suelo encontrado.

**Tabla 10**

*Parámetros y restricciones.*

ÁREA	CLASE DE SUELO	TIPO DE ADITIVO ESTABILIZADOR RECOMENDADO	RESTRICCIÓN EN EL LL E IP DEL SUELO	RESTRICCIÓN EN EL PORCENTAJE QUE PASA EL TAMUZ N°200	OBSERVACIONES
		Bituminoso			
1A	SW o SP	Cemento Portland			
		Cal – Cemento – Cenizas volantes	IP no debe exceder 25		
		Bituminoso	IP no debe exceder 10		
1B	SW – SM o SP – SM o SW – SC o SP - SC	Cemento Portland	IP no exceder 30		
		Cal	IP no menor que 12		
		Cal – Cemento – Cenizas volantes	IP no debe exceder 25		
		Bituminoso	IP no debe exceder 10	No debe exceder 30% en peso	
1C	SM o SC o SM - SC	Cemento Portland	<i>b</i>		
		Cal	IP no menor que 12		
		Cal – Cemento – Cenizas volantes	IP no debe exceder 25		
		Bituminoso			Solo material bien gradado.
2A	GW o GP	Cemento Portland			El material debe contener al menos el 45% en peso del material que pasa el Tamiz n°4
		Cal – Cemento – Cenizas volantes	IP no debe exceder 25		
		Bituminoso	IP no debe exceder 10		Solo material bien gradado.
2B	GW – GM o GP – GM o GW – GC o GP - GC	Cemento Portland	IP no exceder 30		El material debe contener al menos el 45% en peso del material que pasa el Tamiz n°4
		Cal	IP no menor que 12		
		Cal – Cemento – Cenizas volantes	IP no debe exceder 25		
		Bituminoso	IP no debe exceder 10	No debe exceder 30% en peso	Solo material bien gradado.
2C	GM o GC o GM - GC	Cemento Portland	<i>b</i>		El material debe contener al menos el 45% en peso del material que pasa el Tamiz n°4
		Cal	IP no menor que 12		
		Cal – Cemento – Cenizas volantes	IP no debe exceder 25		
3	CH o CL o MH o ML u OH u OL o ML o CL	Cemento Portland	LL menor que 40 e IP menor que 20		Los suelos orgánicos y fuertemente ácidos que caen dentro de esta área no son susceptibles a la estabilización por medios ordinarios.
		Cal	IP no menor que 12		

Nota. Tomado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013)

**6.- Tipos de estabilización:** Los tipos de estabilización son los procesos a emplear según el reconocimiento del suelo y entorno de obra en que se va a trabajar, por ello se depende de está para establecer las técnicas a usarse.

Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones y el IECA (, 2004; 2013) establecen las siguientes técnicas de estabilización de suelos:

**Estabilización mecánica:** La estabilización mecánica refiere a la mejora del suelo existente sin modificar su estructura y composición básica, para lograr esta estabilización se utiliza el método de la compactación, pues este reduce el volumen de vacíos existentes en el suelo y mejora la resistencia del mismo.

Los procedimientos de estabilización mecánica se han clasificado en los siguiente:

- ✓ Amasado: Este procedimiento está previsto para suelos fino o cohesivos, pues el equipo a usarse, los rodillos, realizan una compactación de abajo hacia pues este procedimiento busca la mayor presión en el lecho inferior.
- ✓ Impactos de carga: Este procedimiento está destinado para suelos fino y áreas confinadas, en este se usa pisones que tienen como funcionamiento la vibración

y mezclado, la combinación de estas da como resultado un suelo compactado.

- ✓ Presión estática: En este procedimiento se hace uso de rodillos lisos y neumáticos que realizan en amado a través del peso estático.
- ✓ Vibración: Se hace uso de rodillos vibratorios, este procedimiento aporta a la compactación y reacomodo de las partículas del suelo.
- ✓ Métodos mixtos: Es la combinación de los mencionados anteriormente.

#### **7.- Estabilización de suelos con cemento:**

**Cementos adecuados para la estabilización:** Para la selección de cementos adecuados para la estabilización depende del tipo de conglomerante, cantidad del conglomerante y la densidad alcanzada durante la compactación. Por ellos, se detallará a continuación las propiedades a tener en cuenta durante la estabilización para mejorarla en obra y seleccionar el adecuado según las necesidades específicas.

- ✓ Para optimizar el cemento se debe de considerar un inicio y final de fraguado de periodos largos, esto permite un mayor tiempo de manipulación y trabajo.
- ✓ Para mitigar los efectos de fisura por retracción se debe de tener en cuenta el calor de hidratación, pues

a mayores cantidades los efectos de fisura serán mayor tanto en ancho y distancia entre ellas.

**Tabla 11**  
*Cementos para estabilización del suelo.*

		Composición porcentual							
Tipo de cemento	Designación	Componentes principales						Componentes minoritarios	
		Clinker K	Escoria de horno alto S	Humo de sílice D	Puzolana	Ceniza volantes	Caliza		
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95 - 100	****	****	****	****	****	0-5
	Cemento Portland con escoria	CEM II/A-S	80-94	****	****	****	****	****	0-5
		CEM II/B-S	65-79	****	****	****	****	****	0-5
	Cemento Portland con humo de sílice	CEM II/A-D	90-94	****	6-10	****	****	****	0-5
	Cemento Portland con puzolana	CEM II/A-P	80-94	****	****	6.-20	****	****	0-5
		CEM II/B-P	65-79	****	****	21-35	****	****	0-5
CEM II	Cemento Portland con ceniza volante	CEM II/A-V	80-94	****	****	****	6-20	****	0-5
	CEM II/B-V	65-79	****	****	****	21-35	****	0-5	
	Cemento Portland con caliza	CEM II/A-L	80-94	****	****	****	****	6-20	0-5
		CEM II/B-L	65-79	****	****	****	****	21-35	0-5
	Cemento Portland mixto	CEM II/A-M	80-94			6-20			0-5
	CEM II/B-M	65-79				21-35			0-5
CEM III	Cemento de horno alto	CEM III/A	35-64	36-65	****	****	****	****	0-5
	CEM III/B	20-34	66-80	****	****	****	****	0-5	
	CEM III/C	5-19	81-95	****	****	****	****	0-5	
CEM IV	Cemento puzolanico	CEM IV/A	65-89	****		11-35		****	0-5
	CEM IV/B	45-64	****		36-55		****	0-5	
CEM V	Cemento compuesto	CEM V/A	40-64	18-30	****	18-30	****	0-5	
					****	31-50	****	0-5	
ESP VI	Cemento para usos especiales	ESP VI-1	25-55			45-75		0-5	

Nota. Tomado de Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (2004)

Los cementos que se encuentran la tabla 11 son de aquellas cualidades optimas, de ellas debe tener en cuentas los cementos de clase resistente media baja, dejando por último a las de clase superior según la envergadura y requerimiento de la obra, por ejemplo, las obras en tiempo de helada.

**Aditivos:** El estabilizador más relevante son los retardadores de fraguado, este retrase el tiempo de compactación y aumenta el plazo de trabajabilidad del cemento por lo que se recomienda es uso de estas en cualquier tipo de campo. Esta debe de cumplir la norma UNE-EN 934. (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones/IECA, 2004)

#### **2.2.1.7 Normativas peruanas para el estudio de suelo y obras de construcción de carreteras**

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones ha establecido normativas y especificaciones técnicas para el estudio del suelo previos a la obra, pues los trabajos preliminares, movimiento de tierras y el afirmado son la base de una obra precisa según las necesidades que cumplirá al concluir la obra. Estas se encuentran detalladas en las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) la cual fue aprobada por RD N°22-2013-MTC/14 y Suelos, Geología, Geotécnica

y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos aprobada con RD N°10-2014- MTC/14, es decir, son los primeros pasos para que el contratista cumpla lo mínimo requerido en la obra; así también MTC estableció un Manual de Carreteras respecto al Diseño Geométrico, esto se debe a lo diverso de la geografía del país y la demanda de uso de la carretera, para ello el manual establece que se debe de Clasificar las carreteras por demanda y por orografía, a su vez determinar el criterio y controles para el diseño geométrico, esto debe incluir también las facilidades para los peatones; de esta manera se puede configurar el diseño geométrico haciendo uso de los datos capturados con anterioridad. Este manual fue aprobado por RD N°03-2018-MTC/14.

Cabe señalar que el MTC a fin de afianzar la seguridad vial y construcción de obras estableció los manuales de Túneles, Muros y obras complementarias aprobadas mediante RD N°36-2016-MTC/14 y RD N°19-2018-MTC/14. Véase la tabla 12: Manuales de Carreteras.

**Tabla 12***Manuales de carreteras.*

CÓDIGO	MANUAL	DE	APROBADO POR
	<b>CARRETERAS</b>		
MC-01-13	Especificaciones Generales para Construcción (EG-2013)	Técnicas	RD N° 22-2013-MTC/14 07-08-2013
MC-02-18	Diseño Geométrico (DG-2018)	(DG-	RD N°03-2018-MTC/14 30-01-2018
MC-03-16	Túneles, Muros y Obras Complementarias	Obras	RD N°36-2016-MTC/14 27-10-2016
MC-04-16	Manual de Puentes		RD N° 19-2018-MTC/14 27-12-2018
MC-05-14	Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos: Sección suelos y pavimentos		RD N° 10-2014-MTC/14 09-04-2014
MC-06-16	Ensayo de Materiales		RD N°18-2016-MTC/14 03-06-2016
MC-07-11	Hidrología, Drenaje	Hidráulica y	RD N°20-2011-MTC/14 12-09-2011
MC-08-14	Mantenimiento Conservación Vial Parte IV	o	RD N° 08-2014-MTC/14 27-03-2014 RD N°05-2016-MTC/14 25-02-2016
MC-09-16	Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras		RD N° 16-2016-MTC/14 31-05-2016
MC-10-17	Manual de Seguridad Vial		RD N° 05-2017-MTC/14 01-08-2017
MC-11-14	Manual de Inventarios Viales Parte IV		RD N° 09-2014-MTC/14 03-04-2014 RD N° 22-2015-MTC/14 28-12-2015

Nota. Tomado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013)

### 2.3. Definición de términos

- 1. Estabilización de suelos:** La estabilización de suelos en el método con el que se consigue que los suelos naturales de características inestables o de baja calidad sean optimizados según lo requerido.

2. **Cemento Portland:** Es un material inorgánico, específicamente un conglomerante hidráulico que tiene las características de fortalecer la compactación, resistencia y estabilidad del suelo según las proporciones usadas.
3. **Slurry Seal:** También llamado mortero asfáltico, pues su función en acabados de pavimentación son las de antideslizantes y protección, pues este también se considera un método preventivo ante el deterioro.

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

Mediante la aplicación de suelo – cemento y el Slurry Seal es posible rehabilitar la infraestructura vial en caminos afirmados.

### 2.4.2. Hipótesis específicos

- a) El adecuado porcentaje de adición de Cemento Portland en peso permite una correcta rehabilitación de la infraestructura vial en caminos afirmados.
- b) La correcta dosificación de Slurry Seal permite una adecuada rehabilitación de la infraestructura vial en caminos afirmados.

## 2.5. Variables

Carrasco (2006) define las variables como elementos de preguntas de estudio que representan una colección de atributos, cualidades y características notables de las unidades de análisis, tales como personas,

agrupaciones sociales, hechos, procesos y acontecimientos sociales o naturales.

Arias (1999) define una variable como una característica que es capaz de ser alterada. Un sistema variable consiste en un conjunto de características que deben examinarse y describirse de manera operativa, es decir, que se basan en sus indicadores o unidades de medida.

### **2.5.1. Definición conceptual de la variable**

Carrasco (2006) define una variable conceptualmente como el acto de explicar y conceptualizar la variación usando otras palabras, esencialmente respondiendo a la pregunta "¿qué es?". Palella y Martins (2012) definen la definición conceptual de una variable como la explicación de su significado usando un lenguaje familiar. Este término se refiere a un elemento o fenómeno utilizando una declaración genérica basada en una norma lingüística. Es sólo una cuestión de etiquetar algo de una determinada manera.

**Variable independiente:** Según Carrasco (2006), se refiere a los factores que tienen la capacidad de afectar, crear un efecto, o determinar otras variables dependientes, por lo tanto, proporcionando una explicación para ellos.

Arias (2012) define variables independientes como los factores que producen y explican modificaciones en la variable dependiente.

Para la investigación desarrollado se consideró como variable independiente 01 al: suelo – cemento y como variable independiente 02 al: Slurry seal.

**Variable dependiente:** Según Carrasco (2006), las variables dependientes son aquellas que son influenciadas, afectadas o causadas por otras variables o acontecimientos factuales. En otras palabras, son las variables que se explican en reacción a otras.

Arias (2012) define variables dependientes como aquellas que son alteradas por la influencia de la variable independiente. Son los resultados mensurables o repercusiones que contribuyen a los hallazgos del estudio.

En el estudio se utilizó la infraestructura vial como variable dependiente.

### **2.5.2. Definición operacional de la variable**

Carrasco (2006) define la definición operativa de una variable como el medio por el cual podemos observar y medir sus manifestaciones empíricas. En otras palabras, es la definición la que rompe o descompone las variables en sus referencias empíricas. Esto se hace a través de un proceso deductivo, empezando por el más general y avanzando hacia el más específico.

El estudio ha explorado las siguientes definiciones operacionales de variables:

**Suelo - cemento:** La estabilización del suelo con la adición de cemento implica la combinación de suelos o suelos con ciertas

propiedades granulométricas, cemento de Portland y, si es necesario, aditivos. Una cierta cantidad de agua se introduce en la mezcla y luego se somete a la compresión.

**Slurry seal:** El mortero de asfalto o Slurry Seal aplica una capa duradera de asfaltado que es altamente resistente a la abrasión o el desgaste. Forma una estructura impermeable negra que impide el paso de agua. Además, crea una superficie antideslizante, garantizando la seguridad del conductor y eliminando el problema de la grúa libre que puede conducir a accidentes.

La infraestructura vial se refiere a los componentes físicos que componen una carretera, incluida la propia carretera y todas sus estructuras de apoyo.

**Infraestructura vial:** El término "infraestructura vial" se refiere a los componentes físicos, como la propia carretera y sus estructuras de apoyo, que constituyen la estructura general de las carreteras y autopistas.

### **2.5.3. Operacionalización de la Variable**

Arias (2012) define la operacionalización como el proceso de transformar una noción abstracta en términos tangibles, observables y cuantificables, a través del uso de dimensiones e indicadores en la investigación científica.

Según Moreno (1999), operar una variable implica manipular intencionalmente cada variable definiendo los indicadores e índices que se utilizarán para expresar la variable específica, basándose

en los conceptos y elementos relacionados con el problema de investigación.

**Tabla 13**

*Operacionalización de las variables.*

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones (Factores)	Indicadores	Unidad
Suelo - cemento	La estabilización del suelo con la adición de cemento implica la combinación de suelos secos o suelos con ciertas características de tamaño de partículas, cemento de portland y, si es necesario, aditivos. Una cierta cantidad de agua se introduce en la mezcla y luego se somete a la compresión.	Porcentaje de adición de cemento portland en peso.	3%	Porcentaje
			4%	
			5%	
			6%	
Slurry seal	El mortero asfáltico es un tratamiento de superficie altamente duradero para las capas de asfaltado. Forma una estructura impermeable de color negro que impide la penetración del agua. Además, crea una superficie antideslizante, garantizando la seguridad de los conductores, y elimina las barras soltas que pueden causar accidentes.	Dosificación	7%	Metro cubico (m3).
			Agregado mineral.	Porcentaje (%).
			Emulsión asfáltica.	Porcentaje (%).
			Agua	Porcentaje (%).
Infraestructura vial	El término "infraestructura vial" se refiere a los componentes físicos, incluida la carretera misma y sus estructuras de apoyo, que constituyen el sistema vial general.	Planificación vial. Construcción vial. Mantenimiento vial.	Plan estratégico.	Unidad
			Plan operativo institucional.	
			Especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras.	
			Programa de mantenimiento vial.	
			Sistema de gestión de mantenimiento.	

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método de investigación**

Según Quezada (2015), el método científico se distingue por su naturaleza reflexiva, sistemática y metódica. Su propósito es adquirir información significativa y fiable con el fin de comprender, validar, rectificar o utilizar el conocimiento.

El método científico se emplea en la investigación para establecer relaciones causales entre variables. Inicialmente, se formulan hipótesis, que más tarde evolucionan en leyes y teorías. La validez de la investigación científica depende únicamente de la rigurosa aplicación de los métodos y procedimientos que conforman el procedimiento científico. Esta estructura básica sirve como la única garantía del conocimiento científico. Pimienta y De la Orden (2012)

#### **3.2. Tipo de Investigación**

Según Carrasco (2006), la investigación aplicada se caracteriza por tener objetivos prácticos claros e inmediatos. Se lleva a cabo con la intención de hacer ajustes, modificaciones o mejoras reales en un área específica de la realidad.

Considerando la definición conceptual del tipo de investigación, se observa que en el desarrollo de la investigación se tomó en cuenta el tipo aplicado de investigación. Este tipo de investigación se centra en la aplicación del conocimiento teórico a una situación específica y las

consecuencias prácticas resultantes. La investigación aplicada se centra en la aplicación práctica, la acción, la construcción y la modificación, abordando específicamente la aplicación inmediata en un contexto específico en lugar de la producción de información universalmente aplicable.

### **3.3. Nivel de investigación**

Carrasco (2006) define la investigación descriptiva como el tipo de investigación que busca responder a preguntas sobre las características, la ubicación, la cantidad y la identidad de hechos y fenómenos en la realidad. Se centra en proporcionar información sobre las cualidades internas y externas, propiedades y características esenciales de estos hechos y fenómenos en un momento histórico específico. Carrasco (2006) define la investigación explicativa como el tipo de investigación que busca responder a la pregunta de por qué un hecho o fenómeno en la realidad tiene ciertos rasgos, atributos, propiedades, etc. En otras palabras, pretende comprender las razones detrás de las variables observadas en un estudio.

Considerando las definiciones conceptuales de los niveles de investigación, se observa que el nivel descriptivo-explicativo se utilizó en la creación de este estudio. Esta elección se hizo para evaluar eficazmente y reunir información sobre el estado existente de la zona estudiada.

### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño de investigación fue cuasi-experimental. En los diseños cuasi-experimentales, los sujetos ya se encuentran conformados antes de los

experimentos, es decir no se asignan al azar. (Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, 2014). Por lo tanto, se realizaron ensayos de laboratorio midiendo el porcentaje de adición de Cemento Portland y dosificación de Slurry Seal.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población, según la definición de Fracica (1988), es toda la colección de factores a los que se refiere un estudio de investigación. Alternativamente, se puede describir como la colección de todas las unidades que se están mostrando. Según Jany (1994), la población se refiere a todo el conjunto de objetos o personas que comparten ciertas características y son el foco de la investigación o el estudio. Según Silvia (2012), la población se refiere a toda la colección de unidades de análisis, incluyendo como seres humanos, eventos y objetos, entre otros. Es el grupo de entidades que los investigadores quieren estudiar basándose en características compartidas dentro de un cierto tiempo y área.

La población estuvo constituida por 60 ensayos de laboratorio a fin de determinar el % de adición suelo – cemento y la dosificación adecuada de Slurry Seal para rehabilitación.

#### **3.5.2. Muestra**

Bernal (2016) define las muestras como un subconjunto de la población que se elige para recopilar información con fines de investigación y para realizar mediciones y observaciones sobre las

variables investigadas. Según Silvia (2012), la muestra es un grupo de individuos que representa exactamente la población más grande. Los criterios de selección utilizados en el proceso de investigación garantizan que las unidades elegidas para el estudio sean representativas.

El número de muestras fue el mismo número de población, es decir, 60 ensayos de laboratorio para determinar el % de adición suelo – cemento y la dosificación adecuada de Slurry Seal para rehabilitación.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Arias (2020) sostiene que las técnicas juegan un papel crucial en el avance científico y metodológico de la investigación. Ellos no son el objetivo final, sino más bien los medios para alcanzar el propósito del estudio. Al igual que un músico utiliza una guitarra o un piano como instrumento y su técnica como medio de expresión, un pintor utiliza pinceles y pinturas como herramientas, con técnicas como las pinceladas y las medidas que guían su proceso artístico. Los instrumentos se utilizan en la población o en la muestra de la investigación. Cada estudio debe incluir al menos un método y un instrumento, pero puede tener más dependiendo del alcance y la duración de la investigación. Sólo las encuestas y las pruebas deben someterse a validación antes de que puedan administrarse.

Las estrategias e instrumentos utilizados para la recopilación de datos en esta investigación fueron seleccionados sobre la base de sus definiciones establecidas y su adecuación a los objetivos del estudio.

### **Técnicas de recolección de datos:**

- ✓ Observación
- ✓ Análisis documentario
- ✓ Pruebas estandarizadas

### **Instrumentos de recolección de datos:**

- ✓ Ficha de observación
- ✓ Revisión bibliográfica de libros
- ✓ Ensayo de humedad de suelos.
- ✓ Ensayo de granulometría y clasificación de suelos
- ✓ Ensayo de límites de atterberg
- ✓ Ensayo de CBR
- ✓ Ensayo de proctor modificado.
- ✓ Ensayo de análisis granulométrico del agregado
- ✓ Ensayo de pérdidas totales del agregado
- ✓ Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio
- ✓ Ensayo de desgaste del agregado
- ✓ Ensayo de abrasión los ángeles
- ✓ Ensayo de equivalente de arena del agregado
- ✓ Ensayo de azul de metileno
- ✓ Ensayo de azul de adherencia Riedel Weber
- ✓ Ensayo de las características de la emulsión asfáltica

### **3.7. Procesamiento de la información**

Munch y Ángeles (2009) argumentan que el procesamiento de la información implica el examen de los datos para identificar errores o

omisiones, así como la organización de esos datos de manera clara y coherente. Además, los datos se estandarizan, se eliminan las respuestas inconsistentes o incorrectas, y se ordenan los datos para simplificar su tabulación. El procesamiento de información se refiere a la organización y estructuración sistemática de hechos individuales con el fin de proporcionar respuestas adecuadas a determinados estímulos o situaciones.

- ✓ Problema de Investigación
- ✓ Objetivos
- ✓ Hipótesis del estudio

El análisis y el procesamiento de datos incluirá el uso de modelos de tabla, numéricos y gráficos, así como programas de software de ingeniería.

**Microsoft Excel:** Se exportó datos obtenidos de las distintas fases de la actividad de investigación, estadísticos de los resultados, y tablas exportadas.

**Microsoft Word:** La parte descriptiva de esta investigación fue compuesta por esta.

### **3.8. Técnicas y análisis de datos**

Arias (1999) define las metodologías y análisis de datos como los muchos procedimientos que se utilizarán para los datos recogidos, incluyendo la categorización, el registro, la tabulación y la codificación si es necesario.

En su estudio, Munch y Ángeles (2009) hacen hincapié en la necesidad de analizar la información recogida y tabulada a fin de transmitir

los hallazgos. El alcance del análisis de los datos dependería de la complejidad de la hipótesis y de la meticulosidad con la que se haya establecido el plan de investigación. Si el plan fue bien construido, los hallazgos de la investigación facilitarían el análisis con poco esfuerzo.

Para este estudio, utilizamos estadísticas descriptivas e inferenciales como metodologías para el análisis de datos. Se emplearon modelos tabulares gráficos y numéricos.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Presentación de resultados específicos**

##### **4.1.1. Resultados del porcentaje de adición de cemento portland en peso**

**1.- Descripción de los trabajos de campo:** El trabajo sobre el terreno incluyó la recogida de muestras de suelo y datos utilizando calicatas al aire libre. El objetivo era evaluar y determinar las propiedades físico-mecánicas mediante la designación de las capas.

**2.- Trabajos de laboratorio:** “Los ensayos de laboratorio para el detallado de los materiales se tomaron en base al manual de ensayo de materiales para carreteras MTC, ASTM, AASHTO y NTP.

Con las muestras obtenidas en el campo, se les ha ejecutado los ensayos estándar para la clasificación, así mismo se realizó los

ensayos especiales para verificar las características mecánicas de los suelos.

**2.1.- Contenido de humedad:** El contenido de humedad de una muestra es una medida del agua que contiene, expresada como un porcentaje del peso del agua en comparación con el peso del material seco. Este número es relativo ya que depende de las fluctuaciones de las condiciones atmosféricas.

Es aconsejable realizar con prontitud esta prueba y utilizar prontamente el resultado obtenido para evitar cualquier inexactitud a lo largo de los cálculos.

**Tabla 14**

*Resumen del ensayo de humedad de suelos.*

<b>Muestra</b>	<b>Porcentaje de Humedad (%)</b>
01	13.80
02	14.60
03	25.10
04	17.50
05	16.30
06	13.30
07	23.40
08	13.90
09	17.30
10	24.50
11	41.80

12	33.80
13	9.30
14	22.00
15	14.10

Nota: La tabla muestra los valores de contenido de húmedas de 15 muestras.

**2.2.- Análisis granulométrico por tamizado:** La granulometría se refiere a la disposición de las partículas en el suelo en función de su tamaño. Esto se consigue midiendo la capacidad del suelo de pasar a través de varios ejes de diámetro, hasta un eje con un diámetro de 0,074 mm (referido como eje n°200). El material que pasa a través de esta malla se incluye para el análisis general. Para determinar la distribución granulométrica por debajo de un cierto umbral, se realiza una prueba de sedimentación.

El análisis granulométrico resulta en una curva granulométrica, que representa la relación entre el diámetro de la seda y la proporción de material que pasa o es retenido por ella, dependiendo del uso previsto del material.

**Tabla 15**

*Resumen del ensayo de granulometría y clasificación de suelos.*

<b>Muestra</b>	<b>Grava (%)</b>	<b>Arena (%)</b>	<b>Finos (%)</b>	<b>SUCS</b>	<b>AASTHO</b>
01	26.6	18.5	54.9	CL	A-6(6)
02	0.0	6.5	93.5	CL	A-6(11)
03	0.0	5.7	94.3	CL	A-7-6(18)

04	0.0	50.2	49.8	SC	A-6(3)
05	0.0	8.2	91.8	CL	A-6(17)
06	0.0	26.9	73.1	CL	A-4(3)
07	0.0	7.5	92.5	CL	A-7-6(25)
08	0.0	4.1	95.9	CL	A-6(14)
09	0.0	22.4	77.6	CL	A-6(10)
10	0.0	14.8	85.2	CL	A-6(14)
11	8.0	21.7	70.3	CL	A-6(11)
12	0.0	10.5	89.5	CL	A-7-6(19)
13	45.1	20.2	34.7	GC	A-2-4(0)
14	0.0	8.6	91.4	CL	A-6(9)
15	0.0	18.8	81.2	ML	A-7-6(13)

Nota: La tabla muestra la clasificación granulométrica y de suelos.

### **2.3.- Límites de atterberg (límite líquido, límite plástico e índice**

**de plasticidad):** El término "plasticidad" se refiere a la capacidad de un suelo de ser moldeado. La presencia de barro en el material que pasa a través de la malla no. 200 determina su capacidad de servir como un enlace.

Una sustancia pasa por tres etapas distintas, a saber, líquido, plástico y seco, dependiendo de su contenido de humedad. Cuando el agregado tiene una cierta cantidad de humedad, lo que resulta en la presencia de una sustancia semilíquida. A medida que se extrae el agua, el suelo llega a un punto en el que, aunque todavía húmedo, desarrolla una textura que le permite ser moldeado o manipulado, en ese punto se le llama estar en un estado plástico.

Al extraer continuamente agua, hay un punto en que la sustancia pierde su capacidad de funcionar eficazmente y se vuelve resistente a la formación, en el que se le llama estar en un estado semi-seco. El punto en que el agregado pasa de un estado semi-líquido a un estado plástico se denomina límite de líquido (ASTM D-423), mientras que el contenido de humedad en el que cambia de plástico a semi-seco se conoce como límite plástico (ASTM D-424).

**Tabla 16**

*Resumen del ensayo de límites de atterberg.*

<b>Muestra</b>	<b>LL (%)</b>	<b>LP (%)</b>	<b>IP (%)</b>
01	23.9	12.0	11.9
02	30.8	18.7	12.1
03	40.2	22.5	17.7
04	34.3	21.6	12.7
05	38.6	20.6	18.0
06	25.9	18.7	7.2
07	46.8	21.4	25.4
08	32.2	16.6	15.6
09	36.4	22.4	14.0
10	37.4	20.2	17.2
11	38.8	20.7	18.1
12	41.1	20.1	21.0
13	22.9	15.5	7.4
14	27.7	15.7	12.0

15	44.2	29.3	14.9
----	------	------	------

Nota: La tabla muestra los valores límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad.

**2.4.- California bearing ratio (CBR):** El objetivo de esta prueba es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados triturados en laboratorio en condiciones de humedad ideales y diferentes grados de compresión. La División de Carreteras de California (Estados Unidos – 1929) estableció un sistema para evaluar la calidad relativa del suelo para subgrados en pisos y carreteras. La prueba cuantifica la capacidad del suelo de resistir el corte bajo ciertas condiciones de humedad y densidad, lo que resulta en una proporción de apoyo expresada en porcentaje. El texto del usuario está vacío.

El California Bearing Ratio (CBR) es una evaluación cuantitativa de la resistencia necesaria para que un pistón estandarizado penetre a una cierta profundidad. El porcentaje se calcula comparando la fuerza necesaria para que el pistón pierda una muestra de prueba estandarizada con un patrón de material canalizado a una cierta profundidad y velocidad.

La expresión que define al CBR, es la siguiente:

$$\text{CBR} = (\text{carga unitaria del ensayo} / \text{carga unitaria patrón}) * 100 (\%)$$

El cálculo revela que el valor CBR representa una proporción del patrón de carga de la unidad, expresado en porcentaje.

Prácticamente, el signo (%) se elimina y la conexión se representa sólo por el número entero. El número de CBR se determina típicamente por la relación de carga a una penetración de 2.5mm (0.1"). Sin embargo, si el valor CBR a una penetración de 5mm (0.2") es mayor, la prueba debe realizarse de nuevo. Si un segundo ensayo da un valor de CBR superior a 5 mm de penetración, este número se considerará el resultado aprobado del ensayo. Las pruebas de CBR se realizan utilizando materiales comprimidos con un contenido de humedad ideal, derivado de la prueba de compresión del proctor.

Antes de evaluar la resistencia a la penetración, las sondas suelen someterse a un proceso de limpieza de 96 horas para replicar las circunstancias operacionales más desfavorables y determinar su potencial de crecimiento.

Por lo general, se producen un mínimo de 3 probetas, cada una con diferentes niveles de energía de compactación (lo usual es 56, 25, and 10 golpes).

El suelo sometido a prueba debe contener una pequeña cantidad de partículas que puedan fluir a través de una barrera de 50 mm y mantenerse en un umbral de 20mm. Se aconseja asegurarse de que esta proporción no supere el 20%.

**Tabla 17***Resumen del ensayo de CBR.*

<b>Muestra</b>	<b>Al 100% de MDS</b>	<b>Al 95% de MDS</b>
01	6.2	4.5
02	5.7	4.0
03	5.0	3.5
04	10.6	8.5
05	5.4	3.7
06	6.1	4.2
07	5.8	4.0
08	5.1	3.5
09	8.6	5.8
10	6.6	4.5
11	7.5	5.1
12	6.2	4.2
13	27.1	16.8
14	5.5	3.7
15	5.8	3.9

Nota: La tabla muestra los valores de máxima densidad seca de 15 muestras.

**2.5.- Proctor modificado:** El grado de compactación del suelo se cuantifica por su peso seco específico. Cuando el agua se introduce en el suelo durante la compactación, funciona como un agente suavizador para las partículas finas, haciendo que se adhieran y se muevan en un arreglo más apertado. Una vez que el contenido de agua supera un umbral determinado, cada aumento

adicional del contenido del agua conduce a una disminución del peso específico de la sequía. Esto ocurre porque el agua ocupa el espacio que de otro modo podría llenarse con partículas sólidas.

El contenido óptimo de humedad (OCH) se refiere al contenido de agua al que se alcanza el peso específico seco máximo (MDS). Si la humedad ambiente durante la formación del material es igual o inferior a las humedades ideales, el ejecutor sugirirá compactar el suelo como de costumbre y proporcionar la cantidad necesaria de agua. Si la humedad natural excede el nivel de humedad adecuado, se puede recomendar aumentar la energía de compactación, aerar el suelo o reemplazar el material saturado, dependiendo del grado de saturación del suelo.

**Tabla 18**

*Resumen del ensayo de proctor modificado.*

<b>Muestra</b>	<b>MDS (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>OCH (%)</b>
01	1.621	18.4
02	1.493	24.2
03	1.494	25.2
04	1.623	12.5
05	1.535	24.3
06	1.554	18.7
07	1.490	23.6
08	1.514	25.4
09	1.576	19.4

10	1.608	21.6
11	1.585	19.2
12	1.552	23.3
13	2.023	8.6
14	1.520	23.9
15	1.562	16.8

Nota: La tabla muestra los valores de máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de 15 muestras.

### 3.- Ensayos de laboratorio con la adición de cemento portland:

El ensayo de laboratorio para determinar la cantidad de cemento portland se realizaron sobre la quince (15) muestras de suelos obtenidos, cuyos resultados del ensayo CBR se muestran a continuación:

**Tabla 19**

*Resumen del ensayo de CBR con adición de cemento portland.*

N° DE MUESTRA	CBR	ADICION DE CEMENTO PORTLAND			
		9%	11%	13%	15%
1	100%	19.04	20.62	23.42	24.48
	95%	15.45	17.57	18.83	20.81
2	100%	27.34	28.04	33.15	35.24
	95%	21.83	22.91	26.58	29.86
3	100%	23.83	23.25	26.34	26.92
	95%	18.61	20.05	21.28	23.34
4	100%	62.62	64.36	71.36	79.50
	95%	54.46	56.29	62.20	68.65

5	100%	21.38	31.26	36.49	39.04
	95%	17.02	25.35	29.72	31.63
6	100%	18.73	20.29	23.05	24.08
	95%	14.42	16.40	17.58	19.43
7	100%	27.82	28.53	33.73	35.86
	95%	21.83	22.91	26.58	29.86
8	100%	24.31	23.72	26.87	27.45
	95%	18.61	20.05	21.28	23.34
9	100%	50.81	52.22	57.89	64.50
	95%	37.16	38.41	42.45	46.84
10	100%	26.13	38.21	44.60	47.72
	95%	20.70	30.83	36.14	38.47
11	100%	23.03	24.94	28.33	29.61
	95%	17.51	19.92	21.34	23.59
12	100%	29.74	30.50	36.06	38.33
	95%	22.92	24.05	27.90	31.35
13	100%	129.16	126.04	142.76	145.88
	95%	89.35	96.24	102.14	112.02
14	100%	32.49	33.40	37.02	41.25
	95%	23.71	24.50	27.08	29.88
15	100%	22.97	33.58	39.19	41.93
	95%	17.94	26.72	31.32	33.34

Nota: La tabla muestra los valores de CBR con la adición de cemento portland de 15 muestras.

#### 4.1.2. Resultados de la dosificación de slurry seal

1.- **Caracterización de los componentes del slurry seal:** Véase los resultados del slurry seal tipo III.

**Agregado:** En la siguiente tabla se muestran los detalles de la muestra.

**Tabla 20**

*Detalle del agregado.*

<b>Muestra</b>	<b>Descripción</b>
Agregado	Arena chancada 3/8"

Nota: La tabla muestra el diámetro del agregado utilizado.

**Análisis granulométrico:** La prueba se llevó a cabo siguiendo las directrices del Manual de Pruebas de materiales – 2016 (E 204) “Análisis Granulométrico de Agregados de Cuarzo y finos”. Los resultados del análisis granulométrico del agregado se presentan en la tabla 21. Se puede observar que el agregado que pasa a través de la siega cumple las especificaciones establecidas por la ISSA A105 y EG2013 para un sellado Slurry tipo III.

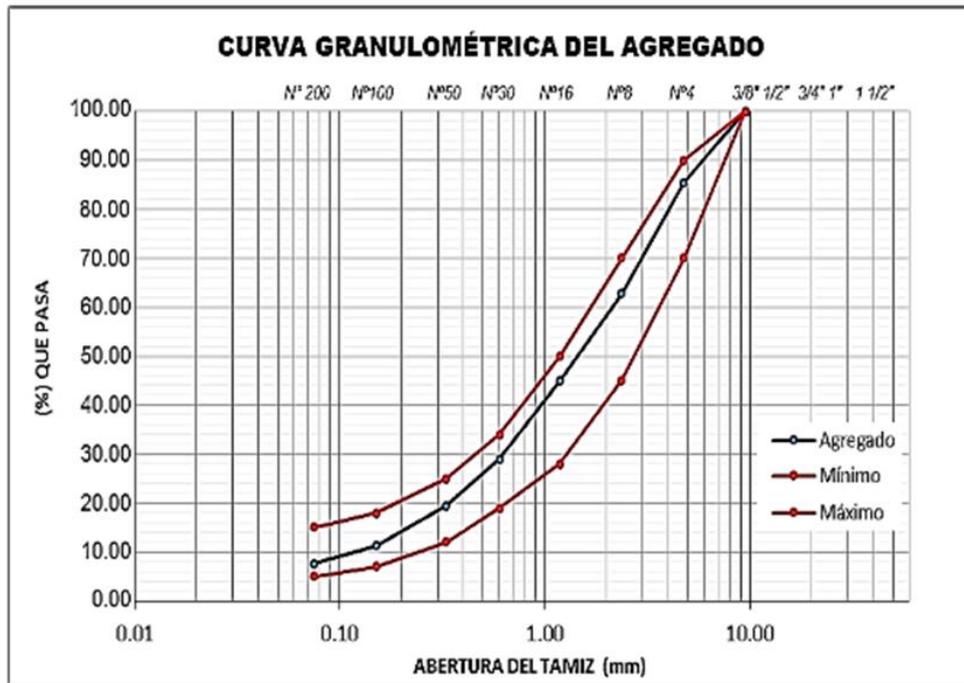
**Tabla 21***Análisis granulométrico del agregado.*

Tamiz	Abertura del tamiz	Peso retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa	ISSA A 105 - EG 2013 Especificación para <del>slurry</del> <del>seal</del> tipo III	
						Mínimo	Máximo
3/8"	9.50mm				100	100	100
N°4	4.75mm	208.3	14.48	14.48	85.52	70	90
N°8	2.36mm	328.0	22.80	37.28	62.72	45	70
N°16	1.18mm	255.9	17.79	55.07	44.93	28	50
N°30	600mm	230.0	15.99	71.06	28.94	19	34
N°50	300mm	135.8	9.44	80.50	19.5	12	25
N°100	1.50mm	118.5	8.24	88.74	11.26	7	18
N°200	75mm	52.2	3.63	92.37	7.63	5	15
<b>FONDO</b>		109.7	7.63	100.00	0		
<b>SUMA</b>		<b>1438.4</b>	<b>100</b>				

Nota: La tabla muestra los valores de clasificación granulométrica del agregado.

**Figura 11**

*Curva granulométrica del agregado.*



Nota: La figura muestra la curva granulométrica del agregado ensayado.

**Durabilidad a los sulfatos de sodio o magnesio:** El ensayo se llevó a cabo utilizando una solución de sulfato de magnesio siguiendo las directrices de E209. Se encontró que las pérdidas totales agregadas ascendían al 6.672%, como se muestra en la tabla 22. Estos resultados cumplen con los requisitos de ISSA A105 y EG 2013, como se muestra en la tabla 23. Este resultado sugiere que el agregado mostrará una fuerte resiliencia a la degradación causada por factores ambientales en el sitio durante su vida útil.

**Tabla 22***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	22.6	100	96.68	3.32	0.749
N°16	N°30	18.97	100	90.69	9.31	1.766
N°30	N°50	9.7	100	84.38	15.62	1.52
<b>TOTALES</b>		<b>100</b>				<b>6.672</b>

Nota: La tabla muestra los valores de pérdidas del agregado ensayado.

**Tabla 23***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 AASTHO T104 ASTM C88	18% máximo MTC E209

Nota: La tabla muestra los valores de agregado ensayado en la durabilidad al sulfato de magnesio.

**Ensayo de abrasión los ángeles:** De acuerdo con el Manual de pruebas de materiales - 2016 (E 207), el método de ensayo utilizado para el agregado (arena encendida 3/8") con graduación inferior a 37,5 mm (1 1/2") fue el método D. Después de la realización de la prueba, se obtuvo un agotamiento del 19,6%, que cumple con las especificaciones de la EG 2013 como se muestra en el cuadro 25.

Este hallazgo sugiere que el agregado mostrará una fuerte durabilidad cuando se utilice en la fabricación y colocación de la mezcla en la superficie. Además, mostrará una excelente resistencia a las fuerzas ejercidas por el tráfico de vehículos a lo largo de su vida útil.

**Tabla 24**

*Resultado del ensayo de desgaste del agregado.*

Fracción		Peso (gr)
Pasa N°4	Retiene N°8	
(1) Peso total (gr)		5000
(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
Numero de esperas		6.0
Numero de revoluciones		500
Tiempo de rotación (minutos)		15
Peso de esferas (gr)		2500.7
<b>Porcentaje de desgaste (%)</b>		<b>19.6</b>

Nota: La tabla muestra los valores del desgaste del agregado ensayado.

**Tabla 25***Resultado del ensayo de abrasión los ángeles.*

Ensayo	Resultado	Especificación	
		ISSA A 105	EG 2013
Abrasión los ángeles	19.6%	35% máximo AASTHO T96 ASTM C131	25% máximo MTC E207

Nota: La tabla muestra los valores del ensayo de abrasión los ángeles sobre el agregado ensayado.

**Equivalente de arena:** Este ensayo se llevó a cabo siguiendo las directrices del Manual de pruebas de materiales - 2016 (E 114), específicamente el "Método de ensayo estándar para el valor equivalente de la arena del suelo y los aditivos finos". El resultado alcanzado fue el 60,65%, que cumple con éxito los requisitos de ISSA A105 y EG 2013, como se muestra en el tabla 27.

**Tabla 26***Resultado del ensayo de equivalente de arena del agregado.*

N° de muestra	M1	M2	M3
Muestra seca pasante la malla 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
<b>Equivalente de arena promedio</b>	<b>60.62%</b>		

Nota: La tabla muestra los valores del ensayo de equivalente de arena sobre el agregado ensayado.

**Tabla 27**

*Resultado del ensayo de equivalente de arena del agregado.*

Ensayo	Resultado	Especificación	
		ISSA A 105	EG 2013
Equivalente de arena	60.62%	45% mínimo AASHTO T176 ASTM D2419	40% mínimo MTC E114

Nota: La tabla muestra los valores del ensayo de equivalente de arena sobre el agregado ensayado.

**Azul de metileno:** La prueba de metileno azul se llevó a cabo siguiendo las directrices de ISSA TB 145-AASHTO TP 57 "Metileno Azul". Se observó un anillo azul alrededor del agua a una concentración de 11 mg/g, como se especifica en la ISSA A 105. Este resultado significa que el material tiene un nivel moderado de reactividad, que se considera aceptable. Sin embargo, de acuerdo con los requisitos de EG 2013, este valor indica que los materiales son reactivos. Consulte el cuadro 28 para más detalles. La prueba de metileno azul no solo evalúa la reactividad del agregado, sino que también determina la necesidad de aditivos. Sobre la base del alto valor obtenido, el sulfato de aluminio se utilizará como aditivo para prolongar el tiempo de descomposición y cicatrización. Esto es necesario porque la mezcla contiene una gran cantidad de sustancias finas, lo que causaría una ruptura prematura si se utiliza

una emulsión de asfalto de rápida ramificación. Por lo tanto, las emulsiones de descomposición controladas por CQS serían las adecuadas para este propósito.

**Tabla 28**

*Resultado del ensayo de azul de metileno.*

Ensayo	Resultado	Especificación	
		ISSA A 105	EG 2013
Azul de metileno	11 mgr/gr	13% máximo	8% máximo
		ISSA TB145	AASTHO TP57

Nota: La tabla muestra los valores del ensayo de azul de metileno sobre el agregado ensayado.

**Ensayo de adherencia Riedel Weber:** La prueba se llevó a cabo siguiendo las directrices del Manual de pruebas de materiales - 2016 (E 220), específicamente la sección sobre "Adhesividad de los enlaces bituminosos a duras finas (Procedimiento Riedel Weber)". Se encontró que el resultado de la prueba de adhesión de Riedel Weber era 7, que cumplió con éxito las especificaciones descritas en EG 2013, como se indica en el tabla 29.

El resultado sugiere un fuerte vínculo entre el agregado y la emulsión de asfalto que se utilizará.

**Tabla 29**

*Resultado del ensayo de azul de adherencia Riedel Weber.*

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Especificación EG 2013</b>
adherencia Riedel Weber	7	4 mínimo MTC 220

Nota: La tabla muestra los valores del ensayo de azul de adherencia Riedel Weber sobre el agregado ensayado.

**Emulsión asfáltica:** El proveedor de la emulsión de asfalto utilizada para el diseño del sellado del tipo III fue EMULTEC TDM ASFALTOS. La emulsificación asfáltica solicitada fue CQS-1hp, donde "1" indica baja viscosidad, "h" indica una base de asfalto más dura, y "p" indica la presencia de polímeros (SBS). Estas especificaciones se eligieron debido al alto nivel de tráfico en la ruta estudiada, que requería optimizar el tiempo de apertura al tráfico. En el tabla N° 30 se muestran los resultados de las pruebas realizadas en las emulsiones asfálticas CQS-1h p, que cumplen satisfactoriamente las especificaciones establecidas por la ISSA A 105 y EG 2013.

**Tabla 30***Resultado de las características de la emulsión asfáltica.*

Pruebas	Unidades	Resultado	Especificación ISSA A105 y EG2013	
			Mínimo	Máximo
	<b>Prueba sobre emulsiones</b>			
Viscosidad saybolt furol a 25°C	ssf	30	20	100
Destilación				
% Asfalto residual	%	62.50	57.00	-
Estabilidad de almacenamiento, 24h, %	%	0.70	-	1.00
Prueba de tamiz %	%	0.00	-	0.10
Carga de partícula				
	<b>Pruebas sobre el residuo de destilación</b>			
Penetración, 25°C, 100g, 5s	dmm	55.00	40.00	90.00
Punto de ablandamiento	°C	57.20	57.00	-
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	cm	75.00	40.00	-
Solubilidad en tricloretileno, %	%	99.60	97.50	-

Nota: La tabla muestra los valores para la caracterización de la emulsión asfáltica, según las especificaciones técnicas.

**Agua:** Para el desarrollo del diseño del Slurry Seal del tipo III CQS Slurry Seal utilizó agua potable, que no requiere ningún análisis de agua según lo especificado por EG 2013 e ISSA A 105. Sin embargo, el agua utilizada fue analizada por el Laboratorio Primer Centro de Desarrollo Tecnológico (PCDT) del Perú TDM

ASFALTOS, y los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 31.

**Tabla 31**

*Resultado del análisis del agua.*

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Especificación ISSA A 105</b>
Potencial de hidrogeno PH	7.7	5.5 - 8 ASTM D1293
dureza	285 ppm	380 ppm máximo ASTM D1126

Nota: La tabla muestra los valores para la caracterización del agua, según las especificaciones técnicas.

Los componentes de Slurry Seal cumplen con éxito las especificaciones de la ISSA A 105 y EG 2013, resultando en resultados significativos para el camino estudiado. Se determinó que el componente primario del sellado de la saliva era el agregado (arena chancada 3/8), ya que sus características definían el tipo de emulsión de asfalto (asphaltemulsion CQS). También se estableció que la adición de un aditivo (sulfato de aluminio) es crucial para lograr una mezcla operable. Por último, la emulsión asfáltica adecuada para la mezcla fue la cQS-1hp, teniendo en cuenta el alto volumen de tráfico en la ruta estudiada y el clima templado seco de la zona.

**2.- Diseño del slurry seal:** Después de la caracterización de los componentes del sellado de deslizamiento, se llevó a cabo el diseño de la abertura lenta CQS 1hp.

**Cálculo del contenido teórico de emulsión asfáltica por el**

**Método Diurez:** La técnica de Diurez se utilizó para calcular el contenido teórico de la emulsión asfáltica. Este cálculo se basó en la granulometría del agregado, como se muestra en el tabla 32. La superficie específica se determinó utilizando el método Diurez.

**Tabla 32**

*Granulometría del agregado.*

Tamiz	Abertura del tamiz	Peso retenido (gr)	% retenido
3/8"	9.50mm		
N°4	4.75mm	208.3	14.48
N°8	2.36mm	328.0	22.80
N°16	1.18mm	255.9	17.79
N°30	600mm	230.0	15.99
N°50	300mm	135.8	9.44
N°100	1.50mm	118.5	8.24
N°200	75mm	52.2	3.63
FONDO		109.7	7.63

Nota: La tabla muestra los valores para la caracterización del agregado.

En la Tabla 33, se muestra el peso con sus respectivos porcentajes retenidos para cada fracción, con la finalidad de aplicar la Ecuación 6 para el cálculo de la superficie asfáltica SE.

**Tabla 33**

*Porcentaje de agregado retenido respecto al tamiz.*

Valores	gr	% retenido
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: La tabla muestra los valores para la caracterización del agregado.

Ecuación 01: Superficie específica método Diurez.

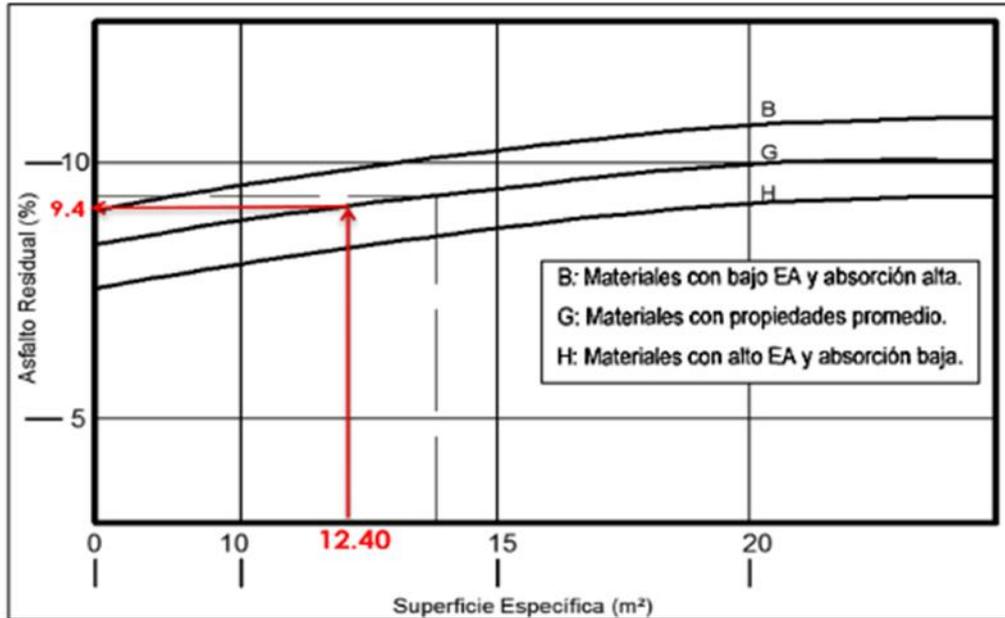
$$SE = \frac{0.372xG + 2.0943g + 16.6667xK + 117.8xF}{100}$$

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

El valor SE igual a 12.40 m<sup>2</sup> se ingresa en el gráfico de la Figura 12, se obtuvo el porcentaje de asfalto teórico residual con un valor de 9.4%.

**Figura 12**

*Contenido teórico de asfalto residual.*



Nota: La figura muestra los valores para el asfalto residual.

Mediante los datos de la Tabla 34, se aplica la Ecuación N° 02, para obtener contenido teórico de emulsión asfáltica.

**Tabla 34**

*Contenido teórico de emulsión asfáltica.*

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

Nota: La tabla muestra el valor resultante del contenido teórico de emulsión asfáltica.

. Ecuación 02: Contenido teórico de emulsión asfáltica.

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

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

Para facilitar la cuantificación, los componentes de la combinación se redondean hasta el 15% más cercano durante la fase de diseño.

$$\% \text{ teórico de emulsión asfáltica} = 15\%$$

**Ensayo de consistencia:** El ensayo de consistencia se llevó a cabo para determinar el contenido de agua ideal, con el objetivo de crear una combinación manejable y duradera. Se produjeron tres mezclas preliminares utilizando una concentración teórica de emulsión de asfalto del 15%. Las mezclas incluyeron 1.5% de llenado de cemento de portland tipo I y contenido de agua de 8%, 10% y 12% respectivamente. Como se muestra en la tabla 35.

**Tabla 35**

*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
		32	40	48

Agua	Variable %	8%	10%	12%
------	------------	----	-----	-----

Nota: La tabla muestra los valores para la dosificación del slurry seal.

Las mezclas iniciales 1, 2, y 3 tienen consistencias de 2 cm, 3 cm y 37 cm respectivamente. La consistencia media es de 2.9 cm. Necesitamos determinar cómo se alinea el contenido adecuado de agua del diseño premilitar 2 con las normas de la ISSA A 105, como se muestra en la tabla 36.

### Tabla 36

*Contenido óptimo de agua.*

Contenido de agua %	Resultado lectura (cm)	Especificación ISSA A105
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: La tabla muestra los valores para el contenido óptimo de la cantidad de agua.

### **% contenido de agua = 10%**

**Ensayo de tiempo de mezcla:** La mezcla preliminar 2, compuesta por 10% de agua, 15% de emulsión de asfalto y 1.5% de relleno, se utilizó en el experimento. Las proporciones se basaron en 200 gramos de agregado seco. Esta combinación no cumplió las especificaciones de ISSA 105 y EG 2013.

La combinación fue mejorada añadiendo tres diferentes porcentajes de polímero (SBR) para aumentar sus características.

Además, se utilizó un aditivo (sulfato de aluminio) a una concentración del 1% en relación con el peso del agua para maximizar la funcionabilidad de la mezcla. Estos detalles se muestran en la tabla 37.

**Tabla 37**

*Contenido de polímero.*

<b>Componentes</b>		<b>Dosificación</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
Emulsión	1% polímero	15%	30 gr		
	2% polímero	15%		30 gr	
	3% polímero	15%			30 gr
Agregado		100%	200 gr	200 gr	200 gr
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
<b>Tiempo de mezcla</b>			<b>178 seg</b>	<b>186 seg</b>	<b>198 seg</b>

Nota: La tabla muestra los valores para la dosificación de polímero.

Basándose en los hallazgos del tiempo de mezcla de las muestras, se determinó que la adición del 3% de polímero proporcionaría una fuerte cohesión. Esta opción se ajusta a las normas de la ISSA A 105 y EG 2013, como se muestra en la tabla 38.

**Tabla 38***Resultado del ensayo de tiempo de mezcla.*

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Especificación ISSA A105 – EG2013</b>
Tiempo de mezcla (1% polímero)	178 seg	180 seg. mínimo
Tiempo de mezcla (1% polímero)	186 seg	180 seg. mínimo
Tiempo de mezcla (1% polímero)	198 seg	180 seg. mínimo

Nota: La tabla muestra los valores para el tiempo de mezcla.

**Ensayo de desprendimiento en húmedo:** Para satisfacer las especificaciones de la ISSA A 105 y EG 2013, como se muestra en la tabla 39, se extrajeron 10 gramos de muestra de la mezcla utilizada en la prueba anterior. La emulsión de asfalto se aplicó al agregado a una tasa del 95%, lo que indica que las emulsiones asfálticas eran adecuadas.

**Tabla 39***Resultado del ensayo de desprendimiento en húmedo.*

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Especificación ISSA A105 – EG2013</b>
Desprendimiento	95%	90% mínimo

Nota: La tabla muestra los valores para el ensayo de desprendimiento en estado húmedo.

**Ensayo de abrasión en húmedo WTAT:** Esta es la primera prueba de rendimiento llevada a cabo para evaluar tres diseños tempranos de apertura rápida de la selladura del tipo III. El objetivo es determinar la cantidad mínima de emulsión de asfalto necesaria.

En la tabla 40 se muestran los tres diseños iniciales de 800 gramos de agregado seco para este ensayo en particular.

**Tabla 40**

*Diseños preliminares de Slurry Seal tipo III de apertura rápida.*

<b>Componentes</b>	<b>Dosificación</b>	<b>Diseño preliminar 01</b>	<b>Diseño preliminar 02</b>	<b>Diseño preliminar 03</b>
Emulsión asfáltica	6.90%			
	Asfalto residual modificado 11% con polímero	88 gr		
	8.20%			
	Asfalto residual modificado 13% con polímero		104 gr	
	9.40%			
	Asfalto residual modificado 15% con polímero			120 gr
Agregado	100%	800 gr	800 gr	800 gr
Filler	1.50%	12 gr	12 gr	12 gr
Agua	10%	80 gr	80 gr	80 gr
Aditivo	1%	8 gr	8 gr	8 gr

Nota: La tabla muestra los valores para el preliminar con aplicación del slurry seal.

En la tabla 41 se muestran los resultados obtenidos de cada diseño inicial, indicando los pesos antes y después de la prueba.

**Tabla 41**

*Peso de probetas de los diseños preliminares.*

<b>Componentes</b>	<b>Diseño</b>	<b>Diseño</b>	<b>Diseño</b>
	<b>preliminar 01</b>	<b>preliminar 02</b>	<b>preliminar 03</b>
Peso inicial (gr)	561.91	555.83	579.22
Peso final (gr)	544.26	543.81	572.63
<b>Diferencia</b>	<b>17.65</b>	<b>12.02</b>	<b>6.59</b>

Nota: La tabla muestra los valores para el peso de las probetas de los diseños preliminares con la aplicación del slurry seal.

En la tabla 42 se muestran los resultados de abrasión ajustados por un factor de 32,9 m<sup>2</sup>, tal y como se especifica en la ISSA A 105.

**Tabla 42**

*Factor de corrección según la ISSA.*

<b>Factor de corrección</b>	<b>Diseño</b>	<b>Diseño</b>	<b>Diseño</b>
	<b>preliminar 01</b>	<b>preliminar 02</b>	<b>preliminar 03</b>
32.9m <sup>2</sup>	580.7 gr/m <sup>2</sup>	395.3 gr/m <sup>2</sup>	216.9 gr/m <sup>2</sup>

Nota: La tabla muestra los valores para el factor de corrección de acuerdo a lo indicado por la ISSA.

Los resultados de abrasión húmeda de los tres diseños de mezclas se presentan en el cuadro 43, que demuestra que cumplen las especificaciones de la ISSA A 105 y EG 2013.

**Tabla 43***Resultados de la abrasión en húmedo WTAT.*

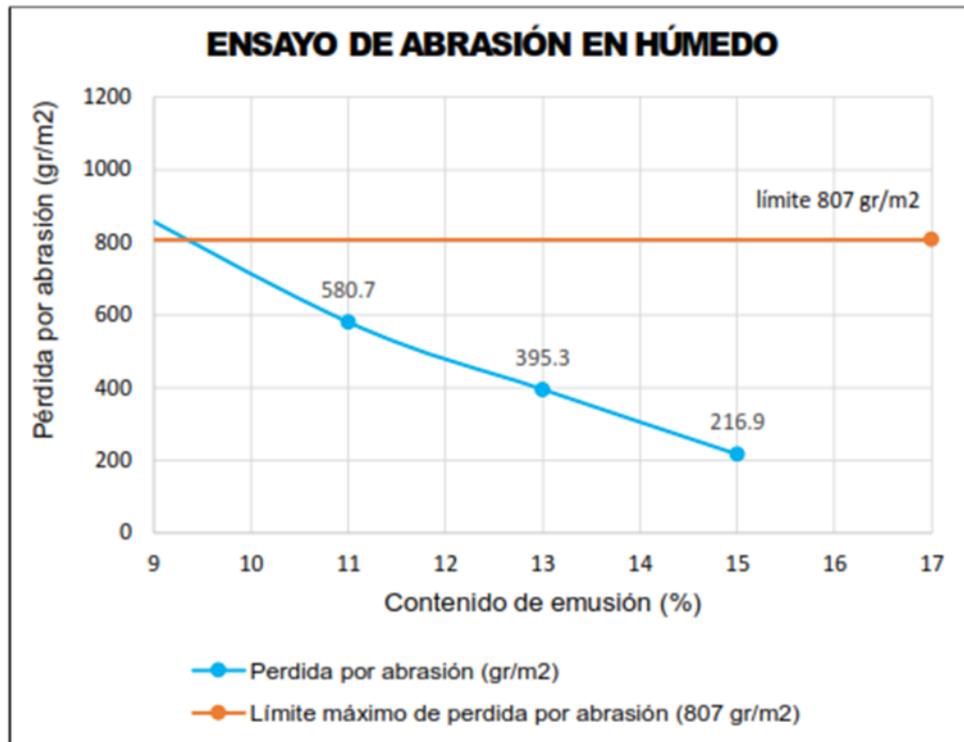
<b>Diseño preliminar</b>	<b>Cemento asfáltico modificado con polímero (%)</b>	<b>Emulsión (%)</b>	<b>WTAT (gr/cm2)</b>	<b>Especificación ISSA A105 – EG2013</b>
1	6.9	11	580.7	807 g/m2 máximo
2	8.2	13	395.3	807 g/m2 máximo
3	9.4	15	216.9	807 g/m2 máximo

Nota: La tabla muestra los valores para la abrasión en estado húmedo.

La figura 13 ilustra la tendencia de los valores de pérdida de abrasión para los primeros diseños. Estos valores son inferiores a los límites máximos de abrasión especificados por la ISSA A 105 y EG 2013. Esto indica que no habrá problemas con la abrasión si se usara cualquier contenido de emulsión de asfalto, siempre que sea al menos 11%.

**Figura 13**

*Tendencia de la abrasión en húmedo WTAT.*



Nota. La Figura muestra la tendencia de los valores de pérdida por abrasión de los diseños preliminares.

**Ensayo de rueda cargada LWT:** Esta es el segundo ensayo de rendimiento, en la que se emplearon los tres diseños iniciales de apertura rápida de Slurry Seal Tipo III del ensayo anterior, con el objetivo de determinar el mayor contenido posible de emulsión de asfalto.

En la tabla 44 se proporciona información sobre el porcentaje máximo de arena adherente encontrado mediante el ensayo de ruedas cargadas especificado por la ISSA A 105. El límite máximo para esta prueba se establece en 538 gramos por metro cuadrado.

**Tabla 44***Valores máximos de arena adherida.*

<b>Intensidad de trafico</b>	<b>IMDA</b>	<b>% Arena adherida (gr/m2)</b>
Ligero	0 – 300	750
Medio	300 – 1500	640
Pesado	1500 - 3000	590
Muy pesado	> 3000	538

Nota: La tabla muestra los valores en porcentaje de arena adherida.

En la Tabla N° 45, se muestran los tres diseños preliminares.

**Tabla 45***Diseños preliminares de slurry seal tipo III de apertura rápida.*

<b>Componentes</b>	<b>Dosificación</b>	<b>Diseño Preliminar</b>	<b>Diseño Preliminar</b>	<b>Diseño Preliminar</b>
		<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>
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: La tabla muestra los valores preliminares del diseño con la aplicación del slurry seal.

Los pesos antes y después de la prueba se muestran en la tabla 46, que muestra los resultados de cada diseño preliminar.

**Tabla 46**

*Peso de las probetas de los diseños preliminares.*

<b>Componentes</b>	<b>Diseño preliminar 01</b>	<b>Diseño preliminar 02</b>	<b>Diseño preliminar 03</b>
Peso inicial (gr)	371.88	372.01	372.89
Peso final (gr)	376.51	377.06	378.77
<b>Diferencia</b>	<b>4.63</b>	<b>5.05</b>	<b>5.88</b>

Nota: La tabla muestra los valores del peso de las probetas en el diseño preliminar con la aplicación del slurry seal.

El sedimento adherido por la prueba de la rueda cargada se corrige por un factor de 1 en la superficie de ensayo, que es de 0.01354836 m<sup>2</sup>, como se muestra en la tabla 47.

**Tabla 47**

*Factor de corrección según la ISSA.*

<b>Factor de corrección</b>	<b>Diseño preliminar 01</b>	<b>Diseño preliminar 02</b>	<b>Diseño preliminar 03</b>
1/0.01354836	341.6 gr/m <sup>2</sup>	372.6 gr/m <sup>2</sup>	434.1 gr/m <sup>2</sup>

Nota: La tabla muestra los valores para el factor de corrección de acuerdo a lo indicado por la ISSA.

En la Tabla 48 se muestran los resultados corregidos de la prueba de adherencia a la arena realizada en la rueda cargada, lo que demuestra que los tres esquemas de mezcla cumplen las normas de la ISSA A 105 y EG 2013.

**Tabla 48***Resultados de la rueda cargada LWT.*

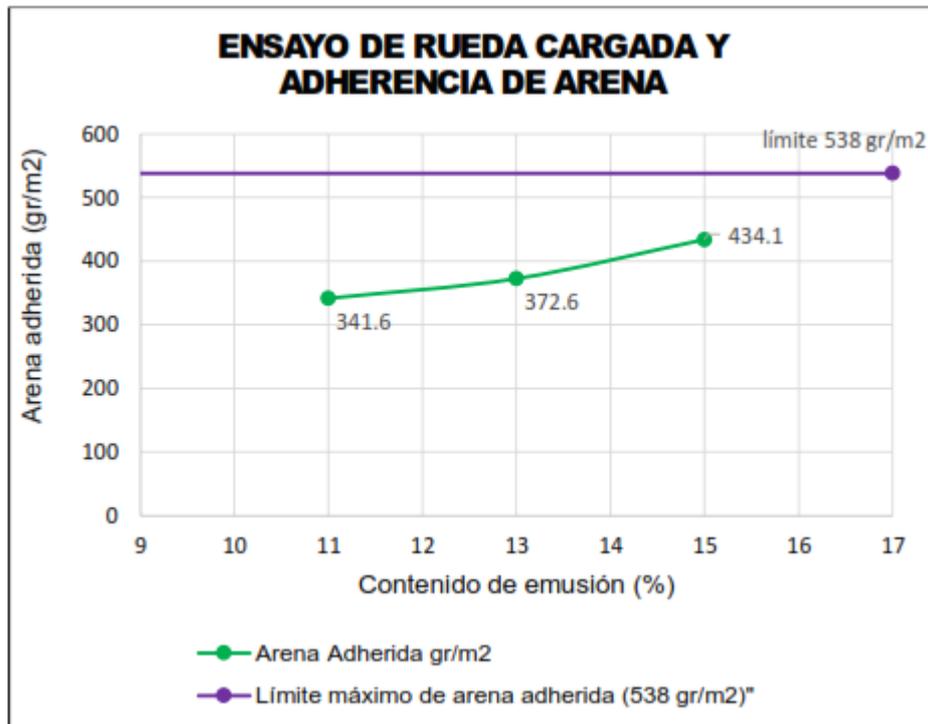
<b>Diseño preliminar</b>	<b>Cemento asfáltico modificado con polímero (%)</b>	<b>Emulsión (%)</b>	<b>WTAT (gr/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Especificación ISSA A105 – EG2013</b>
1	6.9	11	341.6	538 g/m <sup>2</sup> máximo
2	8.2	13	372.6	538 g/m <sup>2</sup> máximo
3	9.4	15	434.1	538 g/m <sup>2</sup> máximo

Nota: La tabla muestra los valores para la rueda cargada de acuerdo a lo indicado por la ISSA.

La figura 14 muestra los valores de pérdida de desgaste que se encuentran dentro de los límites especificados tanto de la ISSA A 105 como de la EG 2013. Estos hallazgos indican que ninguno de los diseños propuestos, que tienen un porcentaje máximo de emulsión asfáltica del 15%, tendrá problemas relacionados con el agotamiento del asfalto.

**Figura 14**

*Tendencia de la arena adherida LWT.*



Nota: La figura muestra los valores de la tendencia de la arena adherida.

**Diseño final del slurry seal tipo III de apertura rápida:** En cuanto a los resultados del ensayo de abrasión de ruedas mojadas y cargadas, la cantidad ideal de emulsión de asfalto se obtuvo utilizando la ecuación 3, como se muestra en la tabla 49.

**Tabla 49***Resultados LWT - LWT.*

Diseño preliminar	Emulsión (%)	Abrasión en húmedo WTAT (gr/m2)	Rueda cargada LWT (gr/cm2)	Especificación ISSA A105 – EG2013	
				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: La tabla muestra los valores para la rueda cargada de acuerdo a lo indicado por la ISSA.

Ecuación N° 3: Contenido óptimo de emulsión asfáltica ISSA A 105.

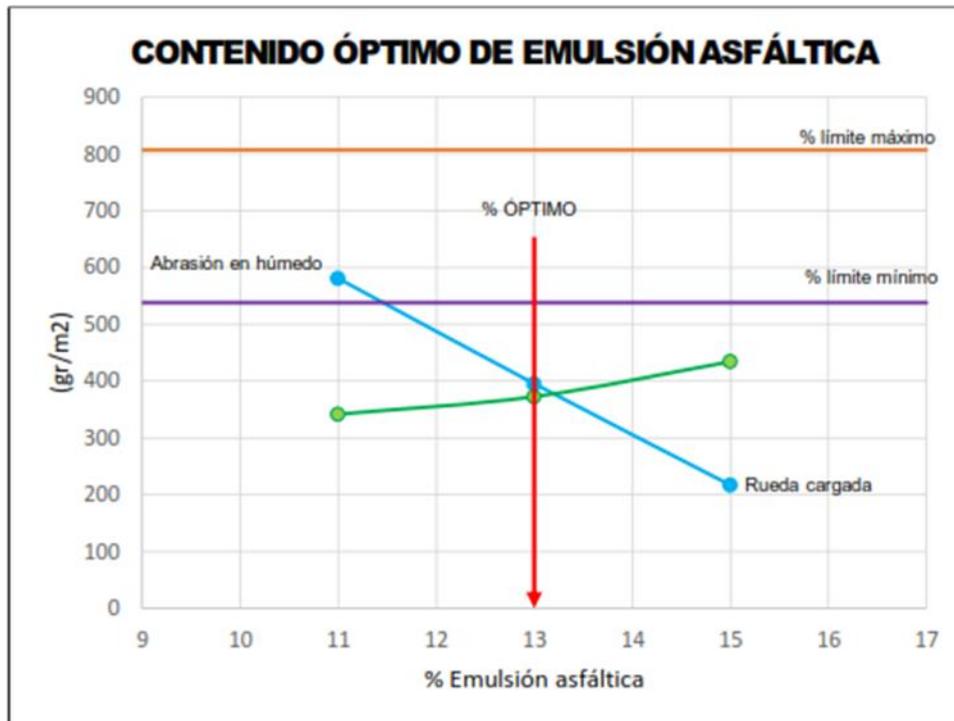
$$\% \text{ óptimo emulsión asfáltica} = \frac{\% \text{ emulsión máx.} - \% \text{ emulsión mín.}}{2} + \% \text{ emulsión mín.}$$

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

Según la figura 15, la concentración de asfalto varía de un mínimo del 13% a un máximo del 15%. Se encontró que el mejor porcentaje de emulsión asfáltica era del 13%.

**Figura 15**

*Contenido óptimo de emulsión asfáltica.*



Nota: La figura muestra los valores óptimos de contenido de emulsión asfáltica.

En la tabla 50 se muestra la dosis recomendada de Slurry Seal tipo III con la composición ideal para mantener eficazmente la superficie de asfalto de la ruta estudiada.

**Tabla 50**

*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: La tabla muestra los valores para el diseño con la aplicación del slurry seal.

La utilización del Slurry Seal de tipo III con apertura rápida ha demostrado ser altamente eficaz en la rehabilitación de la infraestructura de la carretera. Este tipo de Slurry Seal está compuesto por 13% de emulsión de asfalto CQS-1hp, 1.5% de cemento de relleno (portland tipo I), 10% de agua y 1% de aditivo (aluminium sulfate). El diseño de este sellado de lodo cumple con éxito las especificaciones de ISSA A 105 y EG 2013. La inclusión de polímeros y aditivos en las emulsiones de asfalto utilizadas en este diseño ha mejorado significativamente las propiedades de la mezcla, garantizando una mejor resistencia al desprendimiento y a los rasgos de fatiga.

#### **4.1.3. Resultado general**

##### **1.- Aplicación del suelo cemento y el slurry seal para la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados:**

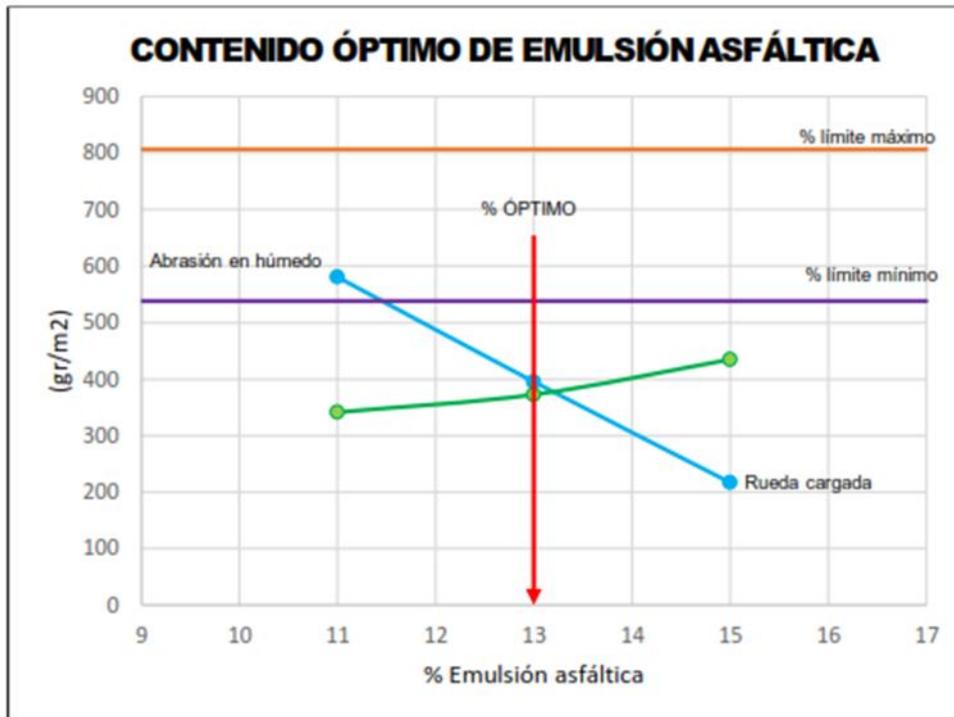
**Determinación del comportamiento por los ensayos de desempeño:** El ensayo de abrasión WTAT húmedo indicó que la aplicación del Slurry Seal del tipo III con apertura rápida proporcionaría resultados sustanciales debido a su excelente resistencia al desgaste abrasivo. Esta prueba simula el efecto del tránsito del vehículo sobre una superficie asfáltica saturada con agua.

La prueba de ruedas cargadas de LWT concluyó que la apertura rápida de Slurry Seal tipo II mostraría una excelente resistencia a la exudación de ataque, ya que imita con precisión las condiciones

de una superficie de asfalto durante el tránsito de vehículos pesados.

**Figura 16**

*Contenido óptimo de emulsión asfáltica.*



Nota: La figura muestra los valores óptimos de contenido de emulsión asfáltica.

**Ensayo de cohesión en húmedo:** La prueba final se llevó a cabo para establecer el tiempo de apertura al tráfico. En el ensayo se utilizaron cuatro probetas, utilizando el mejor diseño de la apertura rápida de Slurry Seal tipo III. Los resultados de la prueba se muestran en la tabla 51.

**Tabla 51**

*Ensayo de cohesión en húmedo.*

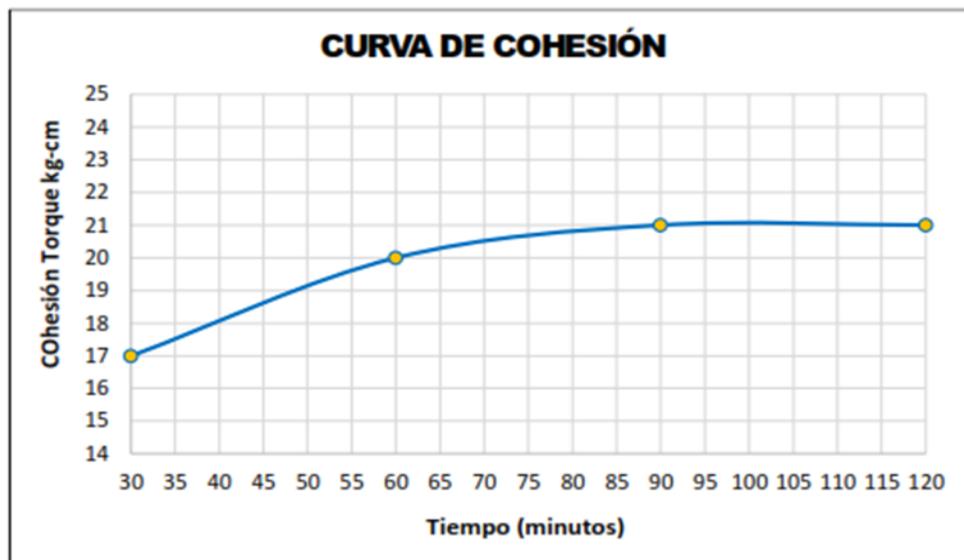
Temperatura de laboratorio	Especificaciones EG 2013	Resultados de cohesión (kg-cm)			
		30 min.	60 min.	90 min.	120 min.
27°C	30 minutos, 12 kg/cm min. 60 minutos, 20 kg/cm min.	16	18	20	21

Nota: La tabla muestra los valores obtenidos durante el ensayo de cohesión en medio húmedo.

La figura 17 muestra la curva de cohesión, lo que indica que el tráfico comenzará 90 minutos después de la aplicación del Slurry Seal del tipo III de abertura rápida en la superficie de la pista que se examina.

**Figura 17**

*Curva de cohesión en húmedo.*



Nota: La figura muestra los valores de cohesión en medio húmedo y su respectiva curva graficada.

La apertura rápida Slurry Seal tipo III está diseñada específicamente para la rehabilitación de la infraestructura de la carretera. Ha mostrado resultados significativos, realizando bien en varias pruebas. Ha demostrado buena resistencia al desgaste de abrasión, como se determina por la prueba de abrasivo húmedo. También garantiza la resistencia a la exudación del asfalto, como se determina por la prueba de la rueda cargada. Además, la prueba de cohesión ha demostrado que esta técnica de mantenimiento optimiza el tiempo necesario para abrir la carretera al tráfico. Específicamente, puede ser abierto al tráfico dentro de 90 minutos de ser colocado en la superficie de asfalto, como se determina por la prueba de coherencia.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. Discusión de resultados específicos**

**Del porcentaje de adición de cemento portland en peso:** A todas las muestras de suelos, se optó por estabilizarlos con adición de Cemento Portland, obteniendo resultados significativos, considerados como subrasantes muy buenas, que ayudarán en el mejoramiento de carreteras vecinales.

En la siguiente tabla se muestran los comparativos de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos (resultados suelo natural vs adición de cemento portland tipo I).

**Tabla 52**

*Ensayo de CBR muestras de suelo natural vs muestras de suelo con adición de cemento portland.*

N° DE MUESTRA	CBR	MUESTRA PATRON	ADICION DE CEMENTO PORTLAND			
			9%	11%	13%	15%
1	100%	6.2	19.04	20.62	23.42	24.48
	95%	4.5	15.45	17.57	18.83	20.81
2	100%	5.7	27.34	28.04	33.15	35.24
	95%	4.0	21.83	22.91	26.58	29.86
3	100%	5.0	23.83	23.25	26.34	26.92
	95%	3.5	18.61	20.05	21.28	23.34
4	100%	10.6	62.62	64.36	71.36	79.50
	95%	8.5	54.46	56.29	62.20	68.65
5	100%	5.4	21.38	31.26	36.49	39.04
	95%	3.7	17.02	25.35	29.72	31.63
6	100%	6.1	18.73	20.29	23.05	24.08
	95%	4.2	14.42	16.40	17.58	19.43
7	100%	5.8	27.82	28.53	33.73	35.86
	95%	4.0	21.83	22.91	26.58	29.86
8	100%	5.1	24.31	23.72	26.87	27.45
	95%	3.5	18.61	20.05	21.28	23.34
9	100%	8.6	50.81	52.22	57.89	64.50
	95%	5.8	37.16	38.41	42.45	46.84
10	100%	6.6	26.13	38.21	44.60	47.72
	95%	4.5	20.70	30.83	36.14	38.47
11	100%	7.5	23.03	24.94	28.33	29.61

	95%	5.1	17.51	19.92	21.34	23.59
12	100%	6.2	29.74	30.50	36.06	38.33
	95%	4.2	22.92	24.05	27.90	31.35
13	100%	27.1	129.16	126.04	142.76	145.88
	95%	16.8	89.35	96.24	102.14	112.02
14	100%	5.5	32.49	33.40	37.02	41.25
	95%	3.7	23.71	24.50	27.08	29.88
15	100%	5.8	22.97	33.58	39.19	41.93
	95%	3.9	17.94	26.72	31.32	33.34

Nota: La tabla muestra los valores de CBR para las 15 muestras con y sin la aplicación del cemento portland.

**De la dosificación del slurry seal:** Los componentes de Slurry Seal cumplen las especificaciones de la ISSA A 105 y EG 2013, asegurando resultados significativos en el camino estudiado. El agregado (3/8 pulgadas de arena cancelada) fue identificado como el componente clave, determinando el tipo de emulsión de asfalto (asphaltemulsion CQS). Para lograr una mezcla viable, se consideró importante la adición de sulfato de aluminio como aditivo. Por último, las emulsiones asfálticas adecuadas para la mezcla se eligieron en función del alto volumen de tráfico en la ruta y las condiciones climáticas de la zona (templado seco). El principal argumento presentado en la tesis de (Toscana, 2014) es (2). La aplicación del diseño de micro pavimento como tratamiento de superficie en el pavimento flexible de la ruta Pifo - Cusubamba, como parte del mantenimiento preventivo, implicó la utilización de diversos elementos en la mezcla. Estos elementos incluían agregado, emulsión, relleno y agua. El

agregado desempeñó un papel crucial en la determinación del tipo de micro-pavimento y la presencia de partículas excesivamente delgadas o gruesas en la muestra. La emulsión fue modificada con polímeros y no contenía aditivos adicionales. El cemento de Portland tipo I se utilizó como relleno para mejorar la consistencia y la cohesión. El agua utilizada en la mezcla era agua potable proveniente de la red del distrito metropolitano de Quito. El diseño Slurry Seal, específicamente el Tipo III, utiliza compuestos de polifileno con una carterá de aluminio del 13%. Este diseño está destinado a una mezcla que contiene agua con un 10% de Cplandation. Las especificaciones de la ISSA, que incluyen el 10% de Cplandatio y el 1% de fatiga, son bien cumplidas por este diseño. Además, la especificación IQA del 13% de aluminio también está satisfecha. La tesis de Toscana (2014) titulada " Diseño del Slurry Seal empleando emulsión asfáltica modificada con polímeros y su evaluación variando el contenido de filler " concluye que las emulsiones asfálticas modificadas con polímeros contienen agentes que aumentan la adhesión. Estos agentes permiten un vínculo químico entre el asfalto y las superficies agregadas, lo que resulta en un revestimiento adhesivo resistente al agua. Este revestimiento adhesivo presenta una mayor resistencia al desprendimiento durante la aplicación del sellado de moho.

**Del cumplimiento del objetivo general:** El diseño de Slurry Seal ha mostrado resultados prometedores en varias pruebas de rendimiento. Se ha demostrado tener buena resistencia al desgaste de abrasión, como se determina por la prueba de abrasivo húmedo. Además, presenta una

excelente resistencia a la exudación del asfalto, como se establece por la prueba de ruedas cargadas. Además, la prueba de cohesión ha demostrado que esta técnica de mantenimiento optimiza el tiempo de apertura al tráfico, permitiendo el flujo de tráfico sólo 90 minutos después de la aplicación en la superficie de asfalto. El estudio realizado por Orellana, Peña, y Pérez (2015) investigó el proceso de diseño y construcción de elaboración de asfalto en el mantenimiento de carreteras en El Salvador. Los investigadores concluyeron que la prueba de ruedas cargadas (LWT) era eficaz para determinar y observar que el mayor contenido de emulsión asfáltica resultó en una mayor adhesión de arena. Esta prueba representa la exudación o el exceso de asfalto. La ausencia de asfalto en la mezcla se puede detectar mediante la prueba de rastreo y abrasión de ruedas húmedas (WTAT).

## CONCLUSIONES

1. Basándose en el objetivo declarado de aplicar el suelo – cemento y el Slurry Seal para la rehabilitación de la infraestructura vial, se concluye que el uso de silicios produce resultados favorables. El diseño garantiza la resistencia a la abrasión del tráfico y la cohesión adecuada, previniendo la exudación bajo cargas pesadas. Además, la carretera se puede abrir al tráfico 90 minutos después de que se aplique el sello de escoria. Por otra parte, estabilizar el suelo con cemento de Portland da resultados satisfactorios, mejorando propiedades como límite de líquido, límite del plástico, índice de plasticidad y CBR.
2. Según el primer objetivo específico, el objetivo era determinar el porcentaje de cemento de Portland que debía añadirse por peso para la rehabilitación de la infraestructura. El estudio encontró que la adición de 9%, 11%, 13%, o 15% de Cemento Portland resultó en resultados satisfactorios. De hecho, el valor CBR de todas las quince muestras superó los valores iniciales de CBR.
3. De conformidad con el segundo objetivo, se determinará la dosificación del sello de escoria necesaria para la rehabilitación de carreteras en las carreteras existentes. Se llega a la conclusión de que el diseño de sellado de barro será de tipo III, compuesto por 13% de emulsión de asfalto CQS-1hp, 1.5% de relleno (cemento de puerto tipo I), 10% de agua y 1% de aditivo (aluminium sulfate). Esta elección se basa en el hecho de que las emulsiones asfálticas contienen polímeros y aditivos, que mejoran las

propiedades de la mezcla y aseguran una mejor resistencia al desprendimiento y a los rascados causados por la fatiga.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el el Slurry Seal para el mantenimiento de las superficies de asfalto. Esto se debe a que tiene un buen rendimiento, reduce el tiempo necesario para abrir la carretera al tráfico, es respetuoso con el medio ambiente debido a su componente de emulsión de asfalto, y es rentable. Por lo tanto, sugerimos utilizar esta técnica de mantenimiento para la gestión de carreteras urbanas con superficies de asfalto.
2. Es aconsejable realizar estudios de mecánica del suelo a fin de determinar las propiedades físicas y mecánicas del terreno con fines de estabilización y estimar con precisión la cantidad adecuada de cemento de Portland tipo I que se utilizará.
3. La eficacia del Slurry Seal no depende sólo de sus componentes y diseño, sino también de la preparación de la superficie en la que se aplicará. Es crucial realizar las reparaciones necesarias con antelación, ya que el propósito primordial del Slurry Seal es proteger la superficie existente y resistir la acción abrasiva del tráfico y los elementos externos. Además, la estructura flexible del suelo debe ser capaz de manejar adecuadamente las cargas que va a encontrar.
4. Se puede complementar esta investigación al realizar un comparativo de costos con la aplicación de ambas tecnologías (slurry seal y cemento) para la rehabilitación de infraestructuras viales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Orellana, M., Peña, E., & Pérez, B. (2015). *Propuesta de diseño y proceso constructivo de lechada asfáltica en el mantenimiento de obras viales en el Salvador*. [Tesis]. San Salvador: Universidad de El Salvador.
2. Toscano, L. (2014). *Diseño de micropavimento 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*. [Tesis]. 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*. [Tesis]. 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*. [Tesis]. 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*. [Tesis]. 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*. [Tesis]. 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. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*, D.S. N° 034-2008-MTC
9. Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014). *Manual de mantenimiento o conservación vial*, D.S. N° 034-2008-MTC
10. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Manual de Inventarios Viales*, R. D. N° 09-2014-MTC
11. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). *Manual de ensayos de materiales*, D.S. N° 034-2008-MTC (
12. Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014). *Manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos*, D. S. N° 034-2008-MTC
13. Vásquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras. Marizales*. [Tesis]. Universidad Nacional de Colombia.
14. Ramírez, 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*. [Tesis]. Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.
15. Talavera, 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 01 – Matriz de Consistencia.

### Anexo 01: Matriz de consistencia

PROBLEMA	II. OBJETIVO	III. HIPÓTESIS	IV: VARIABLES	V. METODOLOGÍA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿De qué manera se aplica el suelo – cemento y el Slurry Seal para la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <p>¿Cuál es el porcentaje de adición de Cemento Portland en peso para la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados?</p> <p>¿Qué dosificación de Slurry Seal se requiere para la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Aplicar el suelo – cemento y el Slurry Seal para la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICO</b></p> <p>Determinar el porcentaje de adición de Cemento Portland en peso para la rehabilitación de infraestructura.</p> <p>Establecer la dosificación de Slurry Seal que se requiere para la rehabilitación de infraestructura vial en caminos afirmados.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>Mediante la aplicación de suelo – cemento y el Slurry Seal es posible rehabilitar la infraestructura vial en caminos afirmados.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>El adecuado porcentaje de adición de Cemento Portland en peso permite una correcta rehabilitación de la infraestructura vial en caminos afirmados.</p> <p>La correcta dosificación de Slurry Seal permite una adecuada rehabilitación de la infraestructura vial en caminos afirmados.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>X1 = Suelo – Cemento.</p> <p>X2 = Slurry Seal.</p> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>Y = Infraestructura Vial.</p>	<p><b>METODO GENERAL:</b> Científico.</p> <p><b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Aplicada.</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACION:</b> Descriptivo - explicativo.</p> <p><b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:</b> No experimental.</p>