



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO
SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE
Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE
VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. SERGIO LEON GUZMAN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO
SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE
Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE
VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. SERGIO LEON GUZMAN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:


Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

PRIMER MIEMBRO

:


Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

SEGUNDO MIEMBRO

:


Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ASESOR DE TESIS

:


M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1321-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 20 de octubre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU - 9803 presentado por el (la) Bachiller: **SERGIO LEON GUZMAN** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **SERGIO LEON GUZMAN**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- **Presidente** : Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
- **1er Miembro** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- **2do Miembro** : Mgr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **SERGIO LEON GUZMAN**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- **FECHA** : martes 28 de octubre del 2025
- **HORA** : 15:30 horas
- **LUGAR** : Aula 306 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
OSCAR V. MAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730
Dr. Frita Wally Mariani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo
interesado (s)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 908-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 23 de agosto del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 1849 por el señor (a): **SERGIO LEON GUZMAN** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 704 - 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 084 - 2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **SERGIO LEON GUZMAN**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 084 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **SERGIO LEON GUZMAN**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), M.Sc. **JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



cc.
Archivo
interesado (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 674-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 09 de julio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 7489, presentado por el señor (a) **SERGIO LEON GUZMAN** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 500 -2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 042-2025 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **SERGIO LEON GUZMAN** ha presentado su propuesta de investigación titulada: **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 042-2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **SERGIO LEON GUZMAN**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.
Archivo 2025
Interesado (a)UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASDr. OSCAR V. VIANENTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS
DIRECTOR
Dr. Oscar V. Vianente Calla
CIP. 32730



SERGIO LEON GUZMAN

INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBR...

 TESIS DE PREGRADO

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::13016:536651609

Fecha de entrega

4 dic 2025, 21:21 GMT-5

Fecha de descarga

4 dic 2025, 21:48 GMT-5

Nombre del archivo

T036_76358907_T.docx

Tamaño del archivo

30.9 MB

140 páginas

26.976 palabras

146.819 caracteres



TESIS UANCV

14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 13%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	SERGIO LEON GUZMAN
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	76358907
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-9210-9818
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4595-7589
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02441152
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02442876
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: Huancané Distrito: Huancané Latitud: S 15° 12' 08" Longitud: O 69° 45' 41"  https://maps.app.goo.gl/WxxzEQDi869iTBci9
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2025 - Octubre 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03
- Librería	


Dr. *[Signature]* Víctor Manuel Rojas
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo SERGIO LEON GUZMAN, identificado con DNI

Nro. 76358907, en mi condición de egresado de:

☒ Escuela Profesional

☐ Programa de Segunda Especialidad,

☐ Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la ☒ Tesis o ☐ Trabajo de Investigación, ☐ Trabajo Académico denominada:

INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD

DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO

DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025

Asesorado por: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 10 de noviembre del 2025


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

A mi familia, especialmente a mis padres (German León y Nazaria Guzmán), gracias por ser mi motivación de vida, por todo el esfuerzo que pusieron para formarme y hacer de mí una persona de bien y de buenos valores, a través de sus consejos, enseñanzas y mucho amor, también por brindarme los recursos necesarios.

A mi madre y a mi persona especial que nunca se rindieron conmigo y estuvieron en los momentos más difíciles apoyándome para poder concluir mi carrera profesional con éxito.



AGRADECIMIENTO

Con infinita gratitud a Dios por ser mi guía en cada paso de este camino

Gracias a mi familia y seres queridos, quienes me acompañaron en este proceso, dándome fuerza y ánimo para continuar, todos y cada uno de ustedes han sido parte esencial para lograrlo

Gracias a mis padres quienes han sabido formarme con buenos valores y cada paso de este camino lo he dado con sus palabras de apoyo y su confianza en mí.

A mi hermano y hermanas por estar presente y darme su apoyo incondicional, su perseverancia y su esfuerzo de salir adelante, han sido el respaldo en cada proceso, los admiro y estoy muy orgulloso de ustedes.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xi

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1	Análisis de la situación problemática.....	14
1.2	Planteamiento del problema.....	15
1.2.1	Problema general	15
1.2.2	Problemas específicos.....	16
1.3	Objetivos de la investigación	16
1.3.1	Objetivo general	16
1.3.2	Objetivos específicos.....	16
1.4	Justificación de la investigación	17
1.4.1	Justificación técnica.....	17
1.4.2	Justificación económica.....	17
1.4.3	Justificación social	17
1.4.4	Justificación ambiental.....	18
1.5	Hipótesis de la investigación	18
1.5.1	Hipótesis general	18
1.5.2	Hipótesis específicas	18
1.6	Variables e indicadores	19
1.6.1	Variable independiente	19



1.6.2	Variable dependiente 1	19
1.6.3	Variable dependiente 2	19
1.7	Operacionalización de variables	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación	21
2.1.1	Antecedentes internacionales	21
2.1.2	Antecedente nacional	23
2.1.3	Antecedente de ámbito local	25
2.2	Bases teóricas	26
2.2.1	Influencia de la incorporación de polímero en subrasantes	26
2.2.2	Polímeros Reciclados en la Construcción Vial	27
2.2.2.1	Definición y Características de los Polímeros Reciclados	28
2.2.2.2	Aplicación de Polímeros Reciclados en Ingeniería Vial	29
2.2.2.3	Ventajas Técnicas y Ambientales del Uso de Polímeros Reciclados	30
2.2.2.4	Efecto de los Polímeros Reciclados en la Estabilidad del Suelo	31
2.2.3	Capacidad de Soporte de la Subrasante	33
2.2.3.1	Definición de la Subrasante y su Importancia en la Infraestructura Vial	34
2.2.3.2	Métodos para Medir la Capacidad de Soporte: El Índice CBR	35
2.2.3.3	Factores que Afectan la Capacidad de Soporte de la Subrasante	35
2.2.3.4	Mejora de la Capacidad de Soporte con Materiales Estabilizantes	37
2.2.4	Espesor de Afirmado	38
2.2.4.1	Definición y Función del Afirmado en la Infraestructura Vial	39
2.2.4.2	Determinación del Espesor Óptimo del Afirmado	41
2.2.4.3	Relación entre el Espesor de Afirmado y la Capacidad de Soporte de la Subrasante	42
2.2.4.4	Influencia de los Materiales Reciclados en el Espesor del Afirmado	43
2.2.5	Impacto del Uso de Polímeros Reciclados en las Propiedades del Afirmado	44
2.2.5.1	Mejora en la Resistencia a la Compresión del Afirmado	45
2.2.5.2	Efectos en la Durabilidad y Mantenimiento de las Vías	45



2.2.5.3 Evaluación de la Estabilidad Estructural del Afirmado con Polímero Reciclado.....	46
2.2.6 Sostenibilidad y Beneficios Ambientales del Uso de Polímeros Reciclados..	47
2.2.6.1 Reducción de Residuos Plásticos y su Impacto Ambiental	48
2.2.6.2 Beneficios de la Economía Circular en la Infraestructura Vial	49
2.2.6.3 Comparación Ambiental con Métodos Tradicionales de Construcción Vial	50
2.3 Marco conceptual.....	50

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque de la investigación	53
3.2 Tipo de la investigación.....	54
3.3 Nivel de la investigación.....	54
3.4 Diseño de la investigación.....	55
3.5 Método de la investigación.....	55
3.6 Población y muestra de la investigación.....	56
3.6.1 Población.....	56
3.6.2 Muestra	57
3.7 Técnicas e instrumentos	58
3.7.1 Técnicas	58
3.7.2 Instrumentos de recolección de datos investigación	59
3.8 Validación y confiabilidad del instrumento	62
3.8.1 Validación de los instrumentos	62
3.8.2 Confiabilidad de instrumentos.....	63
3.9 Plan de recolección y procesamiento de datos	63
3.10 Procesamiento y análisis de datos	76

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación y análisis de resultados	79
4.1.1 Capacidad de soporte (CBR) del suelo existente en la zona	82



4.1.2 Efecto en la subrasante de la adición de polímeros reciclado en 2%, 3% y 4%	85
4.1.3 Dimensión del espesor del afirmado según el diseño mejorado	91
4.2 Discusión de resultados	96
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	101
REFERENCIAS	102
ANEXOS	107



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de las variables de estudio	20
Tabla 2 Frecuencia de ensayos realizados	57
Tabla 3 Humedad presentada en las muestras recabadas	79
Tabla 4 Medición del índice de plasticidad en las muestras naturales	82
Tabla 5 Caracterización de la compactación y sus rangos (subrasante)	83
Tabla 6 Prueba CBR en la subrasante de suelo natural.....	84
Tabla 7 Suelo adicionado con 2% de polímeros reciclados (grado de compactación)	85
Tabla 8 Suelo adicionado con 3% de polímeros reciclados (grado de compactación)	86
Tabla 9 Suelo adicionado con 4% de polímeros reciclados (grado de compactación)	86
Tabla 10 Comparación entre las muestras.....	87
Tabla 11 Suelo adicionado con 2% de polímeros reciclados (CBR).....	88
Tabla 12 Suelo adicionado con 3% de polímeros reciclados (CBR).....	88
Tabla 13 Suelo adicionado con 4% de polímeros reciclados (CBR).....	89
Tabla 14 Comparación entre las muestras.....	90
Tabla 15 Comparación de espesores de afirmado.....	95



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Posicionamiento de las regiones de estudio	56
Figura 2 Pesaje del polímero reciclado	60
Figura 3 Plásticos reciclados	64
Figura 4 Determinación de la estructura granulométrica de la muestra 1	80
Figura 5 Determinación de la estructura granulométrica de la muestra 2	81
Figura 6 Determinación de la estructura granulométrica de la muestra 3	81
Figura 7 Conexión densidad/porcentaje de humedad 1	83
Figura 8 Conexión densidad/porcentaje de humedad 2	84
Figura 9 Conexión densidad/porcentaje de humedad 1.3	84
Figura 10 Comparativa de los indicadores de compactación de las muestras	90
Figura 11 Cuadro de ejes equivalentes y espesores (mtc)	93



RESUMEN

El estudio titulado "Influencia de la Incorporación de Polímero Reciclado sobre la Capacidad de Soporte de la Subrasante y su Efecto en el Espesor de Afirmado de Vías en la Provincia de Huancané 2025" tuvo como objetivo general evaluar el impacto del uso de polímeros reciclados en la mejora de la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante y su influencia en la reducción del espesor requerido para el afirmado en vías. Los objetivos específicos consistieron en determinar el CBR tanto del suelo natural como del suelo estabilizado, evaluar cómo diferentes concentraciones del polímero reciclado afectaban el desempeño del suelo y establecer el espesor óptimo del afirmado resultante. La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicada, con un nivel explicativo basado en un diseño experimental riguroso, sustentado en el método científico. Para ello, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio como compactación, resistencia (CBR) y análisis estadísticos para interpretar los resultados. Estos ensayos revelaron un incremento significativo en el valor del CBR, destacando especialmente una mejora hasta el 12.37% con una concentración de 4% de polímero reciclado. Esta notable mejora permitió disminuir el espesor original del afirmado de 250 mm a 150 mm, manteniendo intacta la resistencia estructural del pavimento. Finalmente, se concluye que la incorporación de polímeros reciclados incrementa considerablemente la capacidad portante del suelo, optimizando los recursos económicos y promoviendo una solución ambientalmente sostenible al favorecer el reciclaje de materiales plásticos en la infraestructura vial.

Palabras Clave: Subrasante, polímero reciclado, afirmado, CBR.



ABSTRACT

The study entitled "Influence of the incorporation of recycled polymer on the support capacity of the subgrade and its effect on the thickness of affirming of roads in the province of Huancané 2025" had as a general objective to evaluate the impact of the use of recycled polymers in the improvement of the support capacity (CBR) of the subgrade and its influence in the reduction of the thickness required for the thick. The specific objectives consisted of determining the CBR both of the natural soil and the stabilized soil, evaluating how different concentrations of the recycled polymer affected soil performance and establishing the optimal thickness of the resulting statement. The methodology used was of quantitative approach, applied type, with an explanatory level based on a rigorous experimental design, based on the scientific method. To do this, laboratory tests such as compaction, resistance (CBR) and statistical analysis to interpret the results were carried out. These trials revealed a significant increase in the value of the CBR, especially highlighting an improvement up to 12.37% with a 4% concentration of recycled polymer. This remarkable improvement allowed to reduce the original thickness of the affirmation of 250 mm to 150 mm, maintaining intact the structural resistance of the pavement. Finally, it is concluded that the incorporation of recycled polymers considerably increases the bearing capacity of the soil, optimizing economic resources and promoting an environmentally sustainable solution by favoring the recycling of plastic materials in road infrastructure.

Keywords: Subbase, recycled polymer, embankment, CBR.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la sostenibilidad en la construcción vial se ha convertido en un reto prioritario para diversas regiones, especialmente aquellas que buscan optimizar sus recursos y mejorar la vida útil de sus vías. La provincia de Huancané está acostumbrada a este tipo de cosas, por lo que es una buena idea usar nuevos materiales como polímeros reciclados para hacer la infraestructura más fuerte. Agregar polímeros reciclados al subrasante puede hacer que esta capa importante sea capaz de soportar más peso. Esto podría significar que la base de la carretera no necesita ser tan gruesa, lo cual sería bueno para la economía y el medio ambiente.

El objetivo principal de este estudio es analizar detenidamente cómo el polímero reciclado afecta la capacidad de carga del subrasante y cómo esto afecta el grosor de la base de la carretera en Huancané en 2025. Para lograr este objetivo general, se establecen objetivos específicos para determinar la capacidad de carga relativa mediante la evaluación del Índice de Soporte Californiano (CBR) tanto en el suelo de subrasante como en la base de la carretera actual. También quiere saber cómo la adición de diferentes cantidades de polímero reciclado afecta la resistencia relativa del subrasante. Luego, quiere determinar el mejor grosor para la base de la carretera en función de cuántos ejes equivalentes ya están en las carreteras y qué tan bien está estabilizado el suelo.

Esta investigación utiliza una metodología cuantitativa, permitiendo la obtención de resultados medibles y objetivos respecto al comportamiento de los materiales en estudio. La metodología seleccionada es experimental, involucrando la modificación deliberada de las mezclas de subbase mediante la integración de polímero reciclado, seguida de la observación y análisis de los cambios resultantes en la capacidad de carga y el grosor de la base de la carretera. El estudio es explicativo porque busca relaciones de causa y efecto entre las variables. La investigación es aplicada porque está destinada a resolver un problema específico en la provincia de Huancané. El método científico supervisará cada



paso del proceso, desde la formulación de una hipótesis hasta la interpretación de los resultados. Esto asegurará que cada hallazgo sea preciso y confiable.

Se espera que este trabajo no solo mejore el conocimiento técnico sobre cómo utilizar polímeros reciclados en la ingeniería vial, sino que también brinde consejos prácticos sobre cómo mejorar las carreteras en Huancané. Esto ayudará a la gestión de infraestructuras a generar nuevas ideas y apoyar el crecimiento a largo plazo.

Capítulo I

Este primer capítulo habla sobre el problema que llevó al estudio. Coloca la investigación en el contexto del uso de materiales reciclados en la subbase para mejorar las carreteras. Se enfatiza la importancia de la innovación tecnológica en la gestión de carreteras, dada la necesidad de soluciones sostenibles y eficientes para el desarrollo regional. Esta sección examina los problemas actuales con la resistencia del subrasante y la dificultad de encontrar el mejor grosor para la capa base, especialmente en la provincia de Huancané. Se presenta la parte principal del proyecto, incluyendo los objetivos que guían la investigación y un argumento sobre por qué el tema es importante desde los puntos de vista técnico, ambiental y socioeconómico. Esto justifica el estudio.

Capítulo II

El segundo capítulo trata sobre la construcción del marco teórico. Examina las ideas principales sobre cómo funcionan las carreteras y cómo se pueden utilizar polímeros reciclados en la ingeniería civil. Se explican en detalle los conceptos básicos de las subrasantes, las capas base y las formas de probar la capacidad de carga. Además, este artículo examina investigaciones anteriores sobre el uso de diferentes materiales en las capas de pavimento, señalando lo que se ha aprendido y lo que aún falta en la literatura. Todo esto crea una base científica sólida que respalda el análisis y la discusión de los resultados.

Capítulo III

Esta parte del libro explica en detalle el método utilizado para la investigación. El diseño experimental se elucida, y las metodologías empleadas en la selección de



muestras, la formulación de mezclas con polímero reciclado y la realización de pruebas de laboratorio se describen minuciosamente. El texto también habla sobre cómo recopilar y analizar datos para asegurarse de que los resultados sean precisos e imparciales. Se describe el área de intervención, junto con los estándares utilizados para decidir cuántas y qué tipos de muestras tomar y las herramientas utilizadas para analizar los datos.

Capítulo IV

El último capítulo deja claro cuáles fueron los resultados después de usar el método en la provincia de Huancané. Los datos de las pruebas de capacidad de carga y el análisis del mejor espesor para una capa base hecha de polímero reciclado se muestran y explican de acuerdo con las normas y normas técnicas. Además, se examinan las ramificaciones prácticas de los hallazgos, proponiendo alternativas viables para la mejora y el mantenimiento de las carreteras, y ofreciendo sugerencias para futuras intervenciones en situaciones análogas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática

Gestionar los residuos plásticos y hacer que la infraestructura vial sea más sostenible son dos de los problemas más importantes a nivel mundial. Muchos países desarrollados y en desarrollo están tratando de reducir el daño que el desecho de grandes cantidades de plástico causa al medio ambiente, mientras también intentan hacer que sus redes de transporte duren más. En este contexto, diferentes países han comenzado proyectos experimentales y a gran escala. El uso de polímeros reciclados para construir capas de pavimento ha mostrado resultados prometedores en términos de resistencia, durabilidad y menores costos de mantenimiento. Sin embargo, muchos lugares aún no están utilizando estas tecnologías porque no existen reglas uniformes, la investigación aplicada es limitada y las técnicas deben adaptarse a diferentes condiciones geográficas y climáticas (Celi, 2021).

Perú tiene muchos problemas para construir y mantener su sistema de carreteras a nivel nacional. Esto es especialmente cierto en las áreas rurales y andinas donde el suelo a menudo es difícil de trabajar. Hay una gran cantidad de residuos plásticos en el país, y la mayoría termina en vertederos o perjudica a los ecosistemas frágiles. Algunas áreas han avanzado en el uso de diferentes materiales, pero el uso de polímeros reciclados en

subbases de carreteras sigue siendo limitado y no está bien documentado. La investigación peruana destinada a mejorar el rendimiento de las carreteras se ha centrado predominantemente en métodos tradicionales, creando así oportunidades significativas para innovaciones que incorporen prácticas de reciclaje y fomenten la sostenibilidad ambiental. Este escenario refleja la necesidad de fortalecer las capacidades técnicas e impulsar políticas que favorezcan la aplicación de materiales reciclados en la construcción vial del país (Guerrero Y Valladolid, 2021).

En la provincia de Huancané, la problemática adquiere características particulares. Las vías de esta jurisdicción, fundamentales para la conectividad y el desarrollo socioeconómico local, presentan deficiencias estructurales recurrentes debido a la baja capacidad de soporte de la subrasante y el uso de técnicas constructivas tradicionales. Estas limitaciones afectan la durabilidad y el rendimiento de las vías, incrementando los costos de reparación y dificultando el tránsito seguro, especialmente en épocas de lluvias. A esto se suma la acumulación progresiva de residuos plásticos en la zona, producto del consumo diario y la ausencia de sistemas efectivos de reciclaje. Frente a este panorama, explorar la utilización de polímeros reciclados en la subrasante se plantea como una alternativa innovadora que podría mejorar las condiciones de las vías y, al mismo tiempo, contribuir a la gestión responsable de residuos en la provincia (Ñaupá, 2020).

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 *Problema general*

¿Cuál es la influencia de la incorporación de polímero reciclado sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías en la provincia de Huancané 2025?

1.2.2 Problemas específicos.

1. ¿Cuál es la capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante y el afirmado existente en vías en la provincia de Huancané?
2. ¿Cuál es la influencia de la adición de polímero reciclado en proporciones variables sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante en vías en la provincia de Huancané?
3. ¿Cuál es el espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales en vías en la provincia de Huancané?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la influencia de la incorporación de polímero reciclado sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías en la provincia de Huancané 2025.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar la capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante y el afirmado existente en vías en la provincia de Huancané.
2. Evaluar la influencia de la adición de polímero reciclado en proporciones variables sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante en vías en la provincia de Huancané.
3. Determinar el espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales en vías en la provincia de Huancané.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación técnica

Desde un punto de vista técnico, usar polímero reciclado en la subbase es una oportunidad para hacer que las carreteras en la provincia de Huancané sean más resistentes. Usar este tipo de aditivo puede hacer que el suelo sea más fuerte y estable, lo que significa que puede soportar más peso de los vehículos y necesitar menos mantenimiento. Además, probar diferentes cantidades de polímeros nos proporciona información útil sobre cómo se comporta mecánicamente la mezcla, lo que nos ayuda a desarrollar nuevas tecnologías que se pueden utilizar en lugares similares. El estudio no solo fortalece la base teórica existente, sino que también proporciona a los ingenieros de carreteras soluciones prácticas adaptadas a sus necesidades.

1.4.2 Justificación económica

En la economía, el uso de polímeros reciclados podría significar una reducción; es posible hacer la capa base más delgada, lo que permitiría un mejor uso de los materiales y recursos. Esta optimización significa que los costos de construcción de las obras y de futuras reparaciones y mantenimiento serán menores. Usar residuos plásticos que ya están en la zona también reduce el costo de obtener insumos, lo que ayuda a la economía circular y brinda nuevas oportunidades de crecimiento al sector productivo regional.

1.4.3 Justificación social

El aspecto social de este estudio es el buen efecto que pueden tener las mejores carreteras en la vida de los residentes de Huancané. Por ejemplo, carreteras más fuertes y duraderas facilitan el desplazamiento, reducen el tiempo de viaje y hacen más accesibles los servicios básicos, las escuelas y los mercados. Además, fomentar el reciclaje y el valor de los desechos plásticos aumenta la conciencia ambiental de las personas, lo que lleva a

que más personas se involucren y adopten hábitos responsables. En general, el proyecto ayuda a fortalecer el tejido social y fomenta un desarrollo que sea inclusivo y sostenible.

1.4.4 Justificación ambiental

Este estudio presenta un enfoque novedoso para abordar el tema creciente de la acumulación de basura plástica desde una perspectiva ecológica. Cuando estos materiales se usan nuevamente para mejorar la calidad de vías, no terminan en vertederos o ecosistemas naturales. Esto ayuda a mantener limpios el suelo y el agua. Poner polímeros reciclados en el subgrado ayuda a la economía circular e implica que se necesitan menos recursos naturales nuevos. Recopilar y procesar los recursos tradicionales es menos peligroso para el medio ambiente debido a esto. Así es como la investigación ayuda a salvaguardar el medio ambiente y construir infraestructura que sea buena para el medio ambiente.

1.5 Hipótesis de la investigación

1.5.1 Hipótesis general

La influencia de la incorporación de polímero reciclado sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías en la provincia de Huancané 2025, fue positiva.

1.5.2 Hipótesis específicas.

1. La capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante y el afirmado existente en vías en la provincia de Huancané, estará por debajo de las especificaciones mínimas de calidad, requiriendo estabilización.
2. La influencia de la adición de polímero reciclado en proporciones variables mejorará la capacidad relativa de soporte de la subrasante en vías en la provincia de Huancané.



3. El espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales en vías en la provincia de Huancané, estará por debajo 15 cm que es lo recomendado.

1.6 Variables e indicadores

1.6.1 *Variable independiente*

Polímero reciclado

Dimensión:

- Proporciones de adición de polímero reciclado 2%, 3% y 4%

1.6.2 *Variable dependiente 1*

Capacidad relativa de soporte del suelo de subrasante

Dimensión:

- Ensayo de Relación de Soporte

1.6.3 *Variable dependiente 2*

Espesor de afirmado

Dimensión:

- ESAL
- IMDA

1.7 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de las variables de estudio

Variable Independiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
Polímero reciclado	Material obtenido a partir de residuos plásticos procesados, con características fisicoquímicas que le permiten ser utilizado como aditivo estabilizante en capas de suelo para mejorar sus propiedades de ingeniería.	Proporción adición de polímero reciclado	PR 2% 3% 4%	PR 0.2 kg. 0.3 kg. 0.4 kg.	Ficha de control de calidad del laboratorio	Nominal
Variable Dependiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
Capacidad relativa de soporte del suelo de subrasante	Corresponde al potencial del suelo de subrasante para soportar las solicitaciones impuestas por el tránsito vehicular sin mostrar deformaciones estructurales significativas.	Resistencia al soporte de cargas	CBR	10 < 0 < 20	ASHTHO	Continua
Espesor de afirmado	Corresponde al potencial del suelo de subrasante para soportar las solicitaciones impuestas por el tránsito vehicular sin mostrar deformaciones estructurales significativas.	Dimensión del espesor del afirmado	ESAL IMDA	900.000 400 veh/diario	ASHTHO	Continua

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Seguidamente, Luan *et al.* (2023) En este trabajo se investiga "Investigación sobre el modelo de predicción del módulo resiliente y análisis de equivalencia para suelos de subrasante reforzados con polímeros en ciclo seco-húmedo" Las capas de subrasante en pavimentos asfálticos suelen mostrar alta sensibilidad ante fluctuaciones de humedad, motivo por el cual diversas obras viales optan por reforzarlas con aditivos poliméricos para mantener su integridad estructural. Esta investigación introduce como novedad la inclusión del efecto de los ciclos de secado y humectación en el modelo de predicción del módulo resiliente de suelos estabilizados con polímeros. El polímero empleado consiste en un agente de estabilización desarrollado con una mezcla de dodecilsulfato de sodio y óxido de polivinilo, diseñado específicamente para mejorar el desempeño de la subrasante. Se actualizó el modelo predictivo tradicional del módulo resiliente, integrando de forma explícita la influencia de los ciclos seco-húmedo, y se complementó el análisis con simulaciones mediante el método de elementos finitos para evaluar el comportamiento real de la estructura del pavimento bajo distintas condiciones de carga y humedad. Se estudió, además, cómo las variaciones climáticas estacionales y la acción de los vehículos afectan



el deterioro progresivo del módulo resiliente. Los resultados evidencian que existe una correlación inversa entre la tensión desviadora y el módulo resiliente, mientras que la tensión volumétrica exhibe una relación positiva. El descenso en el módulo es más pronunciado en los primeros ciclos seco-húmedo y se observa que las zonas medias de la subrasante tienen inicialmente mayor módulo resiliente, pero pierden capacidad conforme avanzan los ciclos. El comportamiento del módulo resiliente depende fuertemente de los cambios en el contenido hídrico, y el uso de un módulo resiliente equivalente, ajustado por ubicación y condiciones de carga, resulta una herramienta más adecuada para optimizar el diseño estructural del pavimento.

Seguidamente, Luan *et al.* (2023) Este trabajo constituye un compendio crítico casi una cartografía de indagaciones sobre la modificación intencional de la subrasante mediante la adición de fibras naturales y sintéticas, de la Universidad de La Salle titulada "Análisis de los cambios en las propiedades mecánicas de los materiales subyacentes por la adición de materiales poliméricos reciclados". El problema de investigación se delimita en escrutar cómo los insumos poliméricos particularmente el polietileno en configuración de malla Raschel alteran la arquitectura mecánica del suelo-cemento, modulando parámetros como la rigidez efectiva, la tenacidad frente a fisuración incipiente y la resiliencia ante solicitaciones cíclicas. Con un objetivo declaradamente sincrético, se procuró levantar un armazón teórico que no solo inventarie hallazgos, sino que también habilite un uso criterioso y propositivo de estas adiciones cuando su efecto neto resulte benéfico. La metodología adoptada fue deliberadamente ecléctica: rastreo y curaduría de literatura pertinente; evaluación de la deriva de propiedades mecánicas tras la incorporación de polímeros (densificación, adherencia interfacial, redistribución de esfuerzos); síntesis de resultados con vocación comparativa; y una discusión orientada a detectar patrones transversales más que singularidades anecdóticas. El corpus revisado se distribuye de manera asimétrica: cerca del 65 % de los trabajos privilegia la resistencia a compresión frecuentemente reportando incrementos estadísticamente significativos

condicionados por granulometría, dosificación y grado de confinamiento—; en torno al 30 % se enfoca en los esfuerzos de tracción cuando las fibras son poliméricas, explorando su capacidad para puentear microgrietas y retrasar la inestabilidad; y el 5 % restante ausculta propiedades menos canónicas, como la resistencia a fatiga o la respuesta bajo esfuerzo axial sostenido. En conjunto, la evidencia converge en una conclusión nítida: la adición polimérica puede potenciar de manera sustantiva la resistencia a compresión del sistema suelo–cemento, siempre que se armonicen el tipo de polímero, su morfología (malla, fibra, partícula), la dosificación y la interacción intergranular, variables que actúan como palancas de desempeño y determinan si el refuerzo opera como simple relleno o como verdadero coadyuvante estructural.

2.1.2 Antecedente nacional

Para, Guzmán (2023) en su investigación titulada “Estabilización de suelos arcillosos adicionando polímeros reciclados para mejoramiento de subrasante en el distrito de Mórrope, 2021” La presente investigación se enfoca en la aplicación de polímeros reciclados como estrategia para el mejoramiento de la subrasante en vías urbanas del distrito de Mórrope. Este enfoque se seleccionó tras analizar las alternativas reconocidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, eligiéndose el estabilizante más adecuado según la naturaleza de los suelos a tratar. El procedimiento consistió en comparar la subrasante mejorada mediante el polímero seleccionado frente a los resultados obtenidos al incorporar residuos plásticos reciclados, principalmente provenientes de botellas PET desechadas. El estudio incluyó la caracterización de dos segmentos distintos de subrasante, diferenciados por sus propiedades físicas, y los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos y materiales de la Escuela de Ingeniería Civil. Se emplearon técnicas rigurosas de recolección y análisis de datos, así como equipamiento experimental y electrónico especializado. En el proceso de evaluación, se utilizó una escala técnica que califica el estado del pavimento desde óptimo hasta

inaceptable. Los resultados muestran que las zonas con alto contenido de arcilla inicialmente presentan baja resistencia y problemas de estabilidad. No obstante, la inclusión de polímeros reciclados demostró una mejora sustancial en las propiedades físicas y mecánicas del suelo empleado como subrasante, lo que respalda el potencial de esta tecnología como alternativa efectiva y sostenible para la rehabilitación de caminos urbanos.

Para, Roncal y Rodriguez (2022), en su investigación titulada “Aplicación del estabilizador Z con polímeros a nivel de subrasante en el sector de Yurac Yacu – Cruz Colorada 2022” El distrito de Pías enfrenta diariamente complicaciones viales debido al elevado tránsito de vehículos sobre una carretera deteriorada, caracterizada por baches, tramos erosionados y frecuentes deslizamientos ocasionados por la carencia de drenaje adecuado y la intensidad de las lluvias estacionales. Esta situación prolonga los tiempos de viaje y genera múltiples contratiempos para los transportistas, quienes experimentan daños recurrentes en sus unidades y, en consecuencia, afrontan pérdidas económicas y dificultades para cumplir sus rutas. Ante este escenario, el presente estudio propone una alternativa basada en la estabilización de suelos, proceso mediante el cual se modifican las propiedades del terreno con el fin de optimizar su desempeño estructural. La investigación se centra en la evaluación de un estabilizante comercial denominado “Z”, compuesto a base de polímeros, cuya aplicación promete incrementar la capacidad portante y mejorar la estabilidad de la carretera. El objetivo principal es analizar la efectividad de este aditivo para rehabilitar tramos críticos y ofrecer una solución sostenible que reduzca los problemas recurrentes de mantenimiento y mejore la transitabilidad en la vía principal de Pías.

2.1.3 Antecedente de ámbito local

Para, Zapana (2022), su investigación titulada “Estabilización de suelos arcillosos con polímeros reciclados a nivel de la subrasante de la carretera que une el C.P. de Santa María con la av. Circunvalación del distrito de San Miguel - San Román - Puno” Cuando un suelo no reúne las condiciones mínimas exigidas para su uso en infraestructura, la estabilización se convierte en una estrategia esencial, pudiendo aplicarse mediante procedimientos mecánicos o con aditivos químicos. El estudio contempló distintas proporciones de polímero (1% y 3%) aplicadas en tres calicatas, separadas entre sí por 500 metros. Para cada ubicación, se compararon los resultados de los ensayos de laboratorio con los valores obtenidos del suelo natural, prestando especial atención al comportamiento del CBR en cada variante. Los resultados demostraron que la adición del 3% de polímero reciclado elevó los valores de CBR por encima del umbral requerido por la normativa nacional (6%), alcanzando 8.56%, 8.26% y 8.60% al 100% de la máxima densidad seca, y 6.70%, 6.10%, 6.50% al 95% de la densidad seca máxima en las tres calicatas respectivamente. Se concluye que emplear polímeros reciclados en la proporción adecuada permite fortalecer significativamente la capacidad portante y las características mecánicas de suelos arcillosos para aplicaciones en subrasante vial.

Para, Maquera (2023) su investigación titulada “Evaluación de las propiedades de la subrasante de la carretera Accaso – Huayllata, aplicando polímero adhesivo natural, Puno 2022” Con orientación explicativa y enfoque cuantitativo. Para la caracterización del material se realizaron ensayos de granulometría, límites de consistencia, Proctor Modificado y CBR. El suelo sin tratamiento presentó un contenido de humedad del 17.30%, una densidad seca máxima de 1.75 g/cm³ y un CBR al 95% de 7.00%. La incorporación de PAN en las diversas dosificaciones provocó un aumento proporcional en el contenido de humedad y una reducción progresiva en la máxima densidad seca. Respecto al CBR, la adición del 1% de PAN permitió elevar ligeramente este valor hasta 7.10% al 95% de la

densidad seca máxima; sin embargo, dosis superiores resultaron en una disminución progresiva del CBR, evidenciando un efecto adverso a medida que se incrementa la cantidad de polímero adhesivo natural. En conclusión, el uso de PAN en proporciones elevadas no aporta beneficios en términos de densidad o capacidad portante, aunque una dosificación baja (1%) mostró una mejora puntual en la resistencia, lo cual sugiere que su empleo debe evaluarse cuidadosamente según las necesidades del proyecto vial.

Para, Flores y Mayta (2022), su investigación titulada "Mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas incorporando PET y cal en la subrasante de la carretera Unocolla, Puno - 2022" tuvo como meta principal evaluar el efecto de añadir fragmentos de PET reciclado y un 5% de cal en la subrasante de un tramo específico de la vía Unocolla. El enfoque metodológico adoptado fue hipotético-deductivo, de naturaleza aplicada y con diseño experimental, empleando para los ensayos el protocolo del MTC. Las pruebas se realizaron sobre el material natural de la subrasante y en mezclas modificadas con diversos porcentajes de PET (2%, 4%, 6%) combinados con cal al 5%, analizando parámetros como triturado y cal, en las condiciones evaluadas, no produjo mejoras estadísticamente relevantes en las características físicas y mecánicas del suelo de la subrasante. Sin embargo, se identificó que la adición de PET resulta más efectiva en suelos arcillosos cuando se utiliza en proporciones comprendidas entre el 3% y el 4%, observación corroborada tanto en los ensayos realizados como en la comparación con experiencias previas reportadas en la literatura.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 *Influencia de la incorporación de polímero en subrasantes*

La subrasante es la capa de suelo que sirve como base estructural para las capas superiores de pavimento, y su capacidad de soporte es crucial para la durabilidad de la infraestructura vial. El rendimiento de la subrasante está directamente relacionado con las

propiedades del suelo que la componen, como su resistencia a la compresión, cohesión, y estabilidad bajo cargas dinámicas, que a su vez afectan el comportamiento del pavimento a lo largo del tiempo. Pero no todos los suelos tienen suficiente capacidad de carga, lo que puede debilitar las carreteras (Cusihuaman, 2022).

Agregar polímeros reciclados al subrasante es un nuevo método que tiene como objetivo hacer el suelo más fuerte y estable. Agregar polímeros reciclados hace que el suelo sea más estable al hacer que las partículas se adhieran mejor entre sí. Esto hace que el suelo sea más resistente al esfuerzo de compresión y a la deformación plástica cuando los vehículos pasan sobre él. Esta mejora no solo hace que la subbase sea más resistente, sino que también reduce la probabilidad de que se dañe por la humedad, los cambios de temperatura y el desgaste del tráfico pesado (Cusihuaman, 2022).

Además, el uso de polímeros reciclados es una buena opción para el medio ambiente porque ayuda a reducir los residuos plásticos y hace que los suelos sean más resistentes sin tener que usar más materiales naturales. Estabilizar el subrasante hace que la respuesta del terreno a las cargas sea más uniforme, lo que afecta directamente la durabilidad y el mantenimiento de la infraestructura vial. Esto reduce los costos a largo plazo de reparación o rehabilitación de carreteras.

2.2.2 Polímeros Reciclados en la Construcción Vial

Los polímeros reciclados están hechos de residuos plásticos que han sido reciclados. Este desecho a menudo se arroja a vertederos o se deja en el medio ambiente, donde puede causar problemas de contaminación. Estos polímeros pueden ser reutilizados en muchas industrias diferentes, pero son especialmente útiles en la construcción de carreteras, donde se están empezando a ver como una buena manera de mejorar las propiedades de los materiales utilizados en la infraestructura vial (Cusihuaman, 2022).

En la construcción de carreteras, los polímeros reciclados se mezclan con tierra, asfalto o cemento para hacer que las capas de pavimento sean más fuertes, duraderas y capaces de soportar mejor el estrés. Agregar estos polímeros a los suelos, por ejemplo,

hace que las partículas del suelo se adhieran mejor entre sí y que sean más capaces de soportar peso, lo que hace que la subbase sea más capaz de soportar peso. Los polímeros reciclados también se pueden usar como estabilizadores para hacer que el pavimento sea más resistente al agua y elástico, lo que hace que las carreteras sean menos propensas a erosionarse, agrietarse o cambiar de forma cuando están bajo cargas dinámicas.

La principal ventaja de utilizar polímeros reciclados en la construcción vial radica en su capacidad para proporcionar una solución ambientalmente sostenible. Al reciclar plásticos que de otro modo terminarían en vertederos, se reduce la huella ambiental de la construcción de infraestructuras viales. Además, los polímeros reciclados pueden contribuir a la disminución de la demanda de materiales naturales, como la arena, la grava o los agregados, promoviendo una economía circular dentro del sector de la construcción (Cusihuaman, 2022).

En términos técnicos, el uso de polímeros reciclados en la construcción de pavimentos puede mejorar la resistencia a los cambios de temperatura la rehabilitación de las vías a lo largo del tiempo (Cusihuaman, 2022).

2.2.2.1 Definición y Características de los Polímeros Reciclados

Los polímeros reciclados son materiales derivados de residuos plásticos que, luego de ser recolectados y procesados, pueden ser reutilizados en diversas aplicaciones industriales, incluidas las de construcción. Estos polímeros provienen de plásticos que han sido descartados en su mayoría tras su uso inicial, y su reciclaje se realiza a través de diferentes procesos como la trituración, el derretimiento y la reformulación para darles una nueva vida útil. Los polímeros reciclados representan una solución sostenible al problema creciente de la contaminación plástica, ya que contribuyen a reducir la acumulación de desechos en vertederos y océanos, promoviendo la economía circular (Cusihuaman, 2022).

El tipo de polímero reciclado y los procesos por los que ha pasado determinan sus propiedades. El polietileno (PE), el polipropileno (PP), el tereftalato de polietileno (PET) y

el poliestireno (PS) son los tipos de plástico más comunes que se reciclan. Después de ser reciclados, estos materiales conservan una serie de propiedades físicas y mecánicas que los hacen adecuados para nuevos usos. Es importante señalar, sin embargo, que la degradación térmica y química que ocurre durante el reciclaje puede cambiar las propiedades del polímero reciclado (Mousavi et al. 2021).

Los polímeros reciclados suelen ser menos duraderos que los plásticos nuevos, pero cuando se mezclan con otros materiales o aditivos, como en la construcción de carreteras, pueden mejorar mucho el suelo o el pavimento. Por ejemplo, su capacidad para hacer que las partículas del suelo se adhieran mejor o su resistencia a ser comprimidas cuando se mezclan con otros materiales puede ser muy importante, especialmente cuando se quiere hacer algo más duradero y capaz de soportar cargas (Sauñe, 2025).

Los polímeros reciclados también son valorados por su impermeabilidad y resistencia a la humedad, lo que los hace ideales para su uso en lugares con alta humedad o para evitar que el agua penetre en las capas estructurales de las carreteras. Esto los hace muy útiles para hacer que los pavimentos y subbases sean más duraderos y de mayor duración (Sauñe, 2025).

2.2.2.2 Aplicación de Polímeros Reciclados en Ingeniería Vial

El uso de polímeros reciclados en la ingeniería vial se ha convertido en una nueva forma de mejorar los materiales utilizados para construir y mantener las carreteras. La idea principal detrás del uso de polímeros reciclados es aprovechar sus propiedades únicas, como su resistencia a la humedad, su flexibilidad y su larga duración, para mejorar el funcionamiento de las sub-bases, bases y pavimentos. Estos materiales reciclados no solo ayudan con el problema de la acumulación de plástico, sino que también proporcionan soluciones técnicas útiles para mejorar las carreteras (Sauñe, 2025).

Los polímeros reciclados se han utilizado en la estabilización del suelo, lo que hace que el suelo subyacente sea más fuerte y capaz de soportar más peso. Agregar polímeros reciclados a la mezcla de suelo de subbase hace que las partículas del suelo se adhieran

mejor, lo que hace que funcione mucho mejor cuando hay cargas dinámicas. Este proceso no solo hace que la carretera sea más resistente, sino que también puede reducir la necesidad de muchos materiales tradicionales como arena o grava. Esto es bueno para el medio ambiente porque hace que los proyectos de carreteras sean más sostenibles (Wang et al. 2024).

Los polímeros reciclados también son muy útiles para hacer mezclas de asfalto. Añadirlos al asfalto hace que los pavimentos sean menos propensos a agrietarse, doblarse con el calor o desgastarse por el tráfico pesado. En algunos casos, los polímeros reciclados también pueden ayudar a que las partículas de agregado se adhieran mejor a la matriz bituminosa, lo que hace que el material dure más y reduce el costo de mantenimiento a lo largo del tiempo. Este cambio en las propiedades mecánicas y químicas del asfalto hace que las carreteras sean más resistentes y necesiten menos reparaciones y mantenimiento (Sauñe, 2025).

El uso de polímeros reciclados para mejorar el diseño y el rendimiento de las capas base es otra área donde pueden ser utilizados. Estos materiales ayudan a distribuir las cargas de los vehículos de manera más uniforme, lo que significa que la capa base no tiene que ser tan gruesa sin perder su integridad estructural (Marmanillo y Villegas, 2020).

2.2.2.3 Ventajas Técnicas y Ambientales del Uso de Polímeros Reciclados

Usar polímeros reciclados para construir carreteras tiene muchos beneficios, tanto para el medio ambiente como para la tecnología utilizada. Esto lo convierte en una buena opción para la ingeniería civil moderna. Estos beneficios no solo hacen que la infraestructura vial funcione mejor, sino que también ayudan al medio ambiente, lo cual es cada vez más importante en los proyectos de infraestructura en todo el mundo (Marmanillo y Villegas, 2020).

Desde un punto de vista técnico, los polímeros reciclados hacen que los suelos sean más resistentes, especialmente en las capas de subrasante y pavimento. Agregar estos materiales a la mezcla de suelo hace que las partículas se adhieran mejor, lo que

permite que la subbase soporte más peso. Esto significa que no necesitarás tantos materiales adicionales para estabilizar el suelo, y funciona bien en lugares donde el suelo es inestable o de mala calidad. Los polímeros reciclados también hacen que las capas de pavimento sean más elásticas y flexibles, lo que las hace menos propensas a agrietarse o cambiar de forma cuando están bajo cargas dinámicas. Esto significa que las carreteras durarán más y necesitarán menos mantenimiento con el tiempo (Lau et al. 2022).

Otro gran beneficio técnico es que los materiales utilizados para hacer pavimento ahora son más resistentes a la humedad y al agua. Los polímeros reciclados son muy resistentes al agua, lo que impide que el agua penetre y degrade las capas inferiores. Esto es especialmente importante en lugares con climas húmedos o donde la lluvia puede hacer que el pavimento sea menos estable, lo que hará que las carreteras duren más (Sauñe, 2025).

Una de las mejores cosas de usar polímeros reciclados para el medio ambiente es que reduce significativamente los desechos plásticos. A nivel global, los desechos plásticos son un gran problema para la gestión de residuos y la protección del medio ambiente. Reciclar plásticos para su uso en infraestructuras viales ayuda a reducir (Marmanillo y Villegas, 2020).

Además, el uso de polímeros reciclados en la construcción de carreteras significa que se necesitan menos materiales naturales como arena, grava y cemento. Esto significa que se extraen menos recursos no renovables del suelo. Esto es bueno para proteger los ecosistemas y reducir la huella de carbono en la fabricación de materiales de construcción tradicionales. Los polímeros reciclados no solo mejoran el funcionamiento de las carreteras, sino que también fomentan prácticas de construcción respetuosas con el medio ambiente.

2.2.2.4 Efecto de los Polímeros Reciclados en la Estabilidad del Suelo

Un subrasante estable es una parte importante de la construcción de la infraestructura vial porque proporciona la base para una carretera que durará y será

segura. Pero en muchos lugares, los suelos naturales tienen propiedades que los hacen menos capaces de soportar cargas pesadas y resistir el desgaste, lo que pone en riesgo la integridad de las carreteras. Los polímeros reciclados (Zhang et al. 2023) encajan en este panorama.

Cuando se mezclan en el suelo, los polímeros reciclados cambian las propiedades físicas y mecánicas del suelo y ayudan a mantenerlo estable. La principal función de los polímeros es hacer que las partículas del suelo se adhieran mejor entre sí, lo que hace que el suelo sea más fuerte y menos propenso a cambiar de forma cuando está bajo estrés. Esto es especialmente útil en suelos arcillosos o limosos, que son más propensos a volverse inestables y expandirse o contraerse cuando cambia el nivel de humedad. Los polímeros reciclados hacen que el suelo sea más fuerte al hacer que las partículas se adhieran mejor entre sí, lo que a su vez hace que la subbase sea más estable (Marmanillo y Villegas, 2020).

Los polímeros reciclados también pueden hacer que el suelo sea menos plástico, lo que detiene la deformación plástica y la formación de grietas que pueden dañar la superficie de la carretera. Esta cualidad es especialmente útil en suelos que son muy plásticos, lo que significa que cambian mucho de forma cuando el nivel de humedad cambia, lo que podría hacer que las carreteras sean menos estables. Agregar polímeros no solo hace que el pavimento sea más fuerte, sino que también lo hace durar más, lo que significa que se necesita menos mantenimiento y la estructura funciona mejor con el tiempo (Sauñe, 2025).

Otra cosa importante es que mejora en mantener la humedad fuera. Los polímeros reciclados evitan que el agua penetre en el suelo, lo que detiene la erosión y la degradación del terreno. Esto es especialmente importante en lugares con climas húmedos o donde las lluvias intensas pueden hacer que el subrasante sea menos estable. Los polímeros reciclados ayudan a mantener el suelo estable cuando el nivel de humedad cambia, haciendo que sea menos probable que el agua se infiltre. Esto hace que la infraestructura vial sea más confiable y duradera.

2.2.3 Capacidad de Soporte de la Subrasante

Es una de las cosas más importantes que saber sobre la ingeniería de carreteras porque te indica qué tan bien el suelo puede soportar el peso de los coches sin deformarse demasiado. Esta propiedad determina cuán estables son las capas superiores del pavimento, lo que a su vez decide cuánto tiempo durarán las carreteras. La subrasante es la capa más profunda del sistema de pavimento. Distribuye las cargas superficiales al suelo, y qué tan bien lo hace depende de sus propiedades mecánicas y geotécnicas (Marmanillo y Villegas, 2020).

El valor que obtuvimos muestra qué tan bien el suelo puede soportar cargas sin cambiar demasiado de forma, lo que nos ayuda a determinar el grosor necesario de las capas de pavimento. Un valor de CBR más alto significa que el subrasante es más fuerte y puede soportar más peso. Un valor más bajo significa que el suelo es menos resistente y puede necesitar cambios o más estabilización para ser adecuado para la construcción de carreteras (Saberian et al. 2024).

La capacidad del subrasante para soportar peso depende del tipo de suelo (arcilla, arena, grava, etc.), de cuán compactado esté, de la cantidad de humedad que tenga y de su resistencia interna. Los suelos que tienen mucha arcilla no soportan tan bien porque son muy plásticos, lo que significa que pueden expandirse y contraerse cuando cambia el nivel de humedad. Los suelos arenosos o granulares, por otro lado, suelen tener una mayor capacidad de carga porque son más estables estructuralmente. No obstante, los suelos que presentan características no óptimas pueden mejorarse mediante métodos de estabilización, como la integración de polímeros reciclados, que aumentan la cohesión de las partículas y mejoran la resistencia a la compresión (Marmanillo y Villegas, 2020).

La gestión del agua en el suelo también afecta la capacidad del subrasante para soportar peso. La infiltración de agua puede debilitar mucho el suelo, lo que puede hacer que pierda estabilidad. Esto es especialmente cierto en lugares con mucha lluvia o en suelos que retienen mucha agua. El uso de métodos de drenaje y materiales estabilizadores como polímeros reciclados puede ayudar al suelo a resistir mejor la

humedad y las cargas, lo que mantendrá la infraestructura vial en buen estado a lo largo del tiempo (Cardoza, 2021).

2.2.3.1 Definición de la Subrasante y su Importancia en la Infraestructura Vial

Es importante para la estabilidad estructural de las carreteras, al igual que la base y la subbase. Aunque el usuario no pueda verlo, es una parte importante de la ingeniería vial porque es la base que distribuye las cargas del tráfico al suelo subyacente. La subrasante soporta el peso de los vehículos, lo que tiene un impacto directo en la duración de las capas de pavimento y en su comportamiento (Cabalar et al. 2023).

Las propiedades geotécnicas del suelo de subrasante son muy importantes para el rendimiento de la infraestructura vial. Puede estar compuesto por diferentes materiales naturales, como arcillas, limos, arenas o gravas. Por ejemplo, los suelos arenosos y granulares tienden a formar una base más fuerte y duradera porque drenan mejor y son más estables. Los suelos arcillosos o los suelos con mucha humedad, por otro lado, pueden tener problemas de expansión y contracción. Esto puede hacer que la subbase sea menos estable, lo que a su vez puede hacer que el pavimento sobre ella sea menos estable. Es una señal clave de cuán bien funciona cuando cambian la carga y el clima (Cardoza, 2021).

La subrasante es una parte importante de la infraestructura vial porque mantiene estable el pavimento superior a lo largo del tiempo. Un buen suelo de subrasante evita que el pavimento se doble, agriete o asiente, lo que hace que la carretera sea más segura y reduce los costos de mantenimiento. Por otro lado, un subrasante débil o insuficiente puede hacer que el pavimento falle demasiado pronto, lo cual puede ser costoso de reparar. Por lo tanto, es muy importante evaluar adecuadamente el subrasante y, en algunos casos, mejorarlo al diseñar y construir infraestructura vial duradera (Sauñe, 2025).

Un suelo bien estabilizado con una alta capacidad de carga asegura que las cargas de tráfico se distribuyan de manera uniforme, lo que evita la formación de puntos de estrés que podrían dañar el pavimento. Además, una buena gestión de la subrasante puede hacer

que el pavimento dure más, lo que significa que no será necesario realizar reparaciones con tanta frecuencia y la infraestructura vial será más sostenible.

2.2.3.2 Métodos para Medir la Capacidad de Soporte: El Índice CBR

Para la prueba CBR, se coloca una muestra de suelo compactado en un contenedor y se empuja un pistón de 50 mm de diámetro a través de él a una velocidad constante. La carga aplicada se registra a medida que el pistón se adentra más en el suelo. El valor CBR se encuentra comparando la relación entre la carga aplicada y la penetración de la muestra con los valores encontrados para una muestra de material de referencia estándar. Este número se muestra como un porcentaje, y muestra cuán resistente es el suelo a la penetración (Cardoza, 2021).

Los suelos con un valor de CBR superior al 20% son buenos para construir subbases y bases de pavimento. Los suelos con un valor de CBR inferior al 20% necesitan ser mejorados, como añadiendo estabilizadores o compactándolos más (Sauñe, 2025).

El índice CBR es útil porque proporciona a los ingenieros una forma rápida y precisa de medir la capacidad de carga del suelo, lo que les ayuda a diseñar pavimentos de manera más precisa y rápida. Esta prueba puede ayudarnos a conocer más sobre las propiedades del suelo y si necesitamos hacer más trabajo, como añadir polímeros reciclados, cal o cemento para fortalecer suelos débiles (Cardoza, 2021).

El valor CBR no solo afecta cómo se construyen las capas del pavimento, sino que también nos ayuda a prever cómo se comportará la infraestructura con el tiempo. Un suelo con suficiente capacidad portante asegura que el pavimento pueda soportar el tráfico y el clima.

2.2.3.3 Factores que Afectan la Capacidad de Soporte de la Subrasante

El tipo de suelo es una de las cosas más importantes. Los suelos que tienen mucha arcilla o limo generalmente tienen una menor capacidad de carga porque son muy plásticos y pueden expandirse y contraerse cuando cambia el nivel de humedad. Cuando estos

suelos se mojan demasiado, tienden a debilitarse, lo que puede hacer que cambien de forma o no puedan soportar el peso del terreno. Por otro lado, los suelos arenosos o granulares suelen tener una mayor capacidad de carga porque tienen una estructura más estable y pueden drenar el agua más rápidamente, lo que reduce el riesgo de debilitamiento (Cabalar et al. 2023).

La compactación del suelo también es muy importante para la capacidad de carga. Cuando el suelo está bien compactado, hay menos espacio entre las partículas, lo que lo hace más resistente a las cargas. La compactación hace que el suelo sea más estable, lo que ayuda a que la subbase distribuya las cargas de manera más uniforme. Pruebas como la prueba de Proctor se utilizan a menudo para determinar cuán densa es la tierra compactada. Esta prueba determina el mejor contenido de humedad y la cantidad adecuada de compactación necesaria para obtener la mayor resistencia (Cardoza, 2021).

La cantidad de humedad es otro factor importante. Los suelos que tienen mucha humedad pueden ser más propensos a cambiar de forma y perder resistencia. El agua puede actuar como un lubricante entre las partículas en los suelos arcillosos, lo que los hace menos capaces de soportar peso porque reduce la fricción. Por otro lado, los suelos secos suelen ser más sólidos, pero si no tienen suficiente humedad, puede ser difícil compactarlos adecuadamente. Entonces, una buena gestión del agua y un buen drenaje son importantes para mantener el subrasante estable a lo largo del tiempo (Cardoza, 2021).

La capacidad de carga del suelo también se ve afectada por los cambios de temperatura y las estaciones. Los cambios de temperatura pueden hacer que el suelo se expanda y contraiga, lo cual es especialmente cierto para los suelos arcillosos. Esto puede cambiar la resistencia del suelo y hacer que se deforme. Los suelos también pueden cambiar su contenido de agua en climas con mucha lluvia o períodos de sequía, lo que altera su comportamiento y la cantidad de peso que pueden soportar. Para disminuir estos efectos, es importante tener un buen drenaje y usar materiales estabilizantes (Cruz y De la Cruz, 2024).

Finalmente, las tensiones que los coches ejercen sobre la carretera son otro factor importante. El tráfico crea cargas dinámicas que afectan el subrasante, especialmente en las carreteras con mucho tráfico. La capacidad del subrasante para soportar peso depende de la frecuencia y el peso de los vehículos en la carretera. En lugares con mucho tráfico, el subrasante necesita ser capaz de soportar cargas más pesadas. Esto podría significar estabilizar más el suelo o usar polímeros reciclados para que funcione mejor.

2.2.3.4 Mejora de la Capacidad de Soporte con Materiales Estabilizantes

Una de las cosas más importantes a hacer al construir autopistas es fortalecer la subbase. Esto es muy importante cuando el terreno debajo no es lo suficientemente fuerte para soportar el tráfico y el clima. En estos casos, añadir materiales estabilizadores al suelo es una buena manera de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Esto hará que la infraestructura vial sea más fuerte y dure más tiempo. Cuando se mezclan, estos materiales estabilizantes cambian la estructura, cohesión y resistencia del suelo. Esto hace que el suelo sea más fuerte y capaz de soportar más peso sin necesidad de materiales costosos o difíciles de encontrar (Cruz y De la Cruz, 2024).

La cal y los agregados de cemento son dos de las cosas más comunes utilizadas para estabilizar el suelo. Cuando estos materiales se comprimen, hacen que el suelo sea más fuerte y lo mantengan unido mejor. Por ejemplo, la cal reacciona con la arcilla en el suelo para hacerlo químicamente estable. Esto hace que se adhiera mejor y sea menos plástico. Esto hace que el suelo sea más estable, lo que significa que puede manejar cambios en la humedad sin cambiar demasiado su volumen. Cuando mezclas cemento con tierra, se forma una pasta que se endurece y hace que la tierra sea más fuerte. Esto significa que puede soportar más peso sin cambiar de forma (Yue et al., 2024).

La cal y el cemento no son las únicas cosas que se utilizan como estabilizadores. Los polímeros reciclados también están ganando popularidad debido a sus propiedades únicas. Los polímeros reciclados se utilizan como aglutinantes para hacer que el suelo se

adhiera mejor, lo hagan menos plástico y lo fortalezcan. Sostenible al utilizar materiales reciclados que de otro modo habrían sido desechados (Martínez, 2020).

Los aditivos orgánicos son a menudo utilizados por personas que quieren ser más respetuosas con el medio ambiente para mantener la estabilidad del suelo. Algunos ejemplos de estos aditivos son el asfalto y algunos compuestos hechos de biomasa. Hacen que el suelo sea más fuerte y mantienen el agua fuera. Agregar estas cosas hace que el suelo sea menos permeable y menos propenso a la erosión, lo que también lo hace más fuerte (Martínez, 2020).

Hay otras cosas además de los estabilizadores químicos que pueden ayudar a aumentar la capacidad de carga. También es importante utilizar los métodos adecuados para la compactación. El suelo que ha sido bien compactado tiene menos espacios entre sus partículas, lo que lo hace más denso y capaz de soportar más peso. Usar tanto métodos de compactación como materiales estabilizadores puede crear una subbase muy fuerte que pueda soportar mal tiempo y tráfico pesado (Martínez, 2020).

2.2.4 Espesor de Afirmando

El grosor correcto de la capa base es muy importante para asegurarse de que el pavimento pueda soportar las tensiones que el tráfico, el clima y el desgaste natural le imponen con el tiempo (Cruz y De la Cruz, 2024).

El grosor de la capa base depende de varios factores, como el tipo de material utilizado, el tipo de tráfico esperado, el clima de la zona y las características del suelo de soporte. Los suelos que no son muy fuertes o tienen una baja capacidad portante generalmente necesitan una capa base más gruesa para compensar su debilidad. Por otro lado, si el subrasante es estable y el tráfico es ligero, la capa de base puede hacerse más delgada sin afectar la estabilidad del pavimento (Martínez, 2020).

El grosor de la capa base también depende del tipo de material que se utilice para fabricarla. Grava, arena y materiales que han sido estabilizados con cal o cemento son algunos de los más comunes. Los materiales que son más fuertes y duraderos pueden

hacer que la capa de subbase sea más delgada, lo que puede ahorrar mucho dinero y recursos en la construcción. Pero usar materiales de baja calidad puede significar que el grosor necesite ser mayor para asegurarse de que la carga se distribuya de manera uniforme y para evitar deformaciones o daños demasiado pronto (Martínez, 2020).

El grosor de la capa base también se ve afectado por el diseño estructural del pavimento, que se basa en un análisis de las propiedades del suelo y las cargas que se le aplicarán. Este diseño generalmente se realiza utilizando la teoría de capas elásticas, que ayuda a determinar el grosor adecuado para el pavimento de manera que pueda soportar el tráfico y las condiciones climáticas sin deteriorarse. El grosor debe ser adecuado para que el pavimento distribuya eficazmente las tensiones y evite el desarrollo de grietas, surcos u otros fallos estructurales (Cruz y De la Cruz, 2024).

El grosor de la capa base también afecta la duración y el costo de su mantenimiento. Es posible encontrar un equilibrio entre la durabilidad del pavimento y el uso eficiente de los materiales eligiendo el grosor adecuado que no sea ni demasiado grueso ni demasiado delgado. Una capa que sea demasiado gruesa puede ser innecesaria y costosa, mientras que una capa que sea demasiado delgada puede fallar demasiado pronto, lo que costará más a largo plazo en reparaciones y mantenimiento (León y Marín, 2021).

2.2.4.1 Definición y Función del Afirmado en la Infraestructura Vial

La capa base es una capa fundamental en la construcción del pavimento de carretera. Se encuentra entre la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa, que generalmente está compuesta por materiales granulares como grava, arena o mezclas que han sido estabilizadas con cal o cemento, cumple una serie de propósitos importantes que ayudan a mantener la carretera estable y duradera. El propósito principal del término "afirmado" es proporcionar una base que permita que las cargas vehiculares se distribuyan uniformemente a las capas inferiores del pavimento (Cruz y De la Cruz, 2024). En algunos casos, puede referirse a capas de material no estabilizado.

La principal función de la capa base es soportar el pavimento superior y ayudar a distribuir el peso de los coches y camiones. Al hacer esto, protege el subrasante de las tensiones directas que el tráfico puede causar, lo que evita que el suelo debajo cambie de forma y se desgaste demasiado pronto. En este sentido, la capa base actúa como una barrera que amortigua las cargas, asegurando que la subrasante no esté sujeta a tensiones que puedan comprometer la estabilidad de la infraestructura (Martínez, 2020).

La subbase también es importante para drenar el agua superficial, además de su capacidad para distribuir el peso. El agua puede atravesar materiales con estructura granular, lo que evita que la humedad se acumule en las capas inferiores del pavimento. Esto reduce el riesgo de erosión o daños por agua. Una buena subbase debería permitir el paso del agua para que el agua de lluvia pueda drenarse y la carretera se mantenga estable incluso cuando el suelo se expande y contrae debido a la humedad (León y Marín, 2021).

La subbase también hace que el pavimento sea más fuerte y duradero. Esta capa hace que el pavimento sea más resistente al desgaste y a las cargas de impacto cuando se utiliza el material adecuado y se aplica correctamente. Esto hace que el pavimento dure más tiempo. Agregar cal o polímeros reciclados a la capa base la hace más estable y menos propensa a agrietarse o deformarse cuando cambia el clima. Esto hace que el pavimento sea más resistente.

La capa base también sirve como una buena superficie de transición entre el subrasante y la capa de rodadura. Esta capa intermedia ayuda a asegurar que el pavimento superior tenga una base sólida sobre la cual construir. Esto facilita la colocación de materiales más fuertes como el asfalto o el concreto, que necesitan un buen soporte para funcionar correctamente (Martínez, 2020).

En general, la subbase es importante para asegurar que el pavimento sea estable y estructuralmente sólido. También tiene un impacto en la sostenibilidad y la rentabilidad de la construcción de carreteras porque permite el uso de materiales locales y reduce la necesidad de mantenimiento frecuente.

2.2.4.2 Determinación del Espesor Óptimo del Afirmado

Encontrar el grosor adecuado para la capa base es una parte importante del diseño de pavimentos porque afecta la capacidad de la infraestructura para soportar el tráfico, el clima y el tiempo sin deteriorarse demasiado pronto. La capa base debe ser lo suficientemente gruesa como para distribuir uniformemente el peso de los vehículos a las capas inferiores del pavimento, pero no demasiado gruesa, ya que eso significaría usar más materiales y aumentar los costos de construcción (Martínez, 2020).

Para encontrar el mejor grosor para la capa base, es necesario considerar una serie de factores, como el tipo de tráfico que utilizará la carretera, las propiedades del material de la capa base, el tipo de suelo en la zona y el clima de la región. El primer paso para determinar el grosor es realizar una prueba geotécnica del subrasante. Esto se puede hacer con el índice de Relación de Carga de California (CBR), que mide cuánto peso puede soportar el suelo. Si el subrasante es débil, la capa base necesita ser más gruesa para compensar la baja capacidad de carga del suelo y asegurarse de que las tensiones se distribuyan de manera uniforme (Cruz y De la Cruz, 2024).

El tipo de tráfico que se espera es otro factor que importa. Se necesita una capa base más gruesa para las carreteras con mucho tráfico, como las autopistas de transporte de mercancías, porque los vehículos ejercen mucha presión y tensión sobre ellas. Por otro lado, la capa base puede ser más delgada en áreas con tráfico ligero porque la carretera soportará menos peso. Además, la cantidad de tráfico y el número de ejes de un vehículo son factores importantes para decidir el grosor porque los vehículos con más ejes ejercen más estrés sobre el pavimento (Martínez, 2020).

El material de la capa base también es muy importante porque sus propiedades afectan la resistencia y durabilidad de la capa. Puedes hacer la capa base más delgada si utilizas materiales de alta resistencia como gravas estabilizadas con cal o polímeros reciclados. Estos materiales pueden soportar más peso y durar más tiempo. Por otro lado, los materiales de baja calidad pueden necesitar ser más gruesos para mantener la estabilidad del pavimento (León y Marín, 2021).

Para encontrar el mejor grosor para la capa base, utilizamos la metodología de diseño estructural, que se basa en la teoría de capas elásticas. Este método examina las propiedades mecánicas del suelo y del material de la capa base, así como las cargas del tráfico, para encontrar un grosor que distribuya las tensiones de manera uniforme. Los cálculos también deben tener en cuenta factores como los cambios de temperatura y la humedad del suelo, que pueden alterar las cargas que el pavimento debe soportar (Cruz y De la Cruz, 2024).

Por último, pero no menos importante, la durabilidad y el mantenimiento son factores importantes a considerar al elegir el mejor grosor. El grosor de una carretera no solo debe hacerla lo suficientemente fuerte como para soportar el corto plazo, sino que también debe hacer que la carretera dure más y cueste menos de reparar y mantener con el tiempo. Demasiada grosor puede ser innecesario y costoso, mientras que muy poca grosor puede causar fallos demasiado pronto y requerir reparaciones frecuentes (Martínez, 2020).

2.2.4.3 Relación entre el Espesor de Afirmado y la Capacidad de Soporte de la Subrasante

El grosor de la capa base y la resistencia del subrasante son dos cosas importantes que afectan la construcción de las carreteras. La subrasante, que es la capa de suelo que soporta el tráfico, necesita ser lo suficientemente fuerte como para evitar que la carretera se desmorone. La subbase no necesitaba ser tan gruesa si la capa base era más gruesa. Si el subrasante es débil, sin embargo, se necesitará una capa base más gruesa para distribuir las cargas de manera uniforme (Martínez, 2020).

El grosor de la capa base ayuda a soportar la carga, facilitando su distribución sobre el subrasante. Si la subbase no puede soportar el peso de la capa base, la capa base necesita ser más gruesa para evitar que se hunda o cambie de forma. Cuando las dos partes trabajan juntas, aseguran que la infraestructura vial sea lo suficientemente fuerte para soportar el tráfico sin perder su resistencia y estabilidad (Cruz y De la Cruz, 2024).

Las personas utilizan pruebas técnicas como la Prueba de Penetración Estándar o pruebas de carga estática para ver cuánto peso puede soportar el subrasante sin doblarse. Con esta información, puedes encontrar el grosor adecuado para la capa de base para asegurarte de que las cargas se distribuyan uniformemente y de que los edificios no se caigan. Estas dos cosas deben estar en el equilibrio adecuado para que las carreteras no sean demasiado grandes ni demasiado pequeñas (León y Marín, 2021).

Esta relación puede cambiar si añades nuevos materiales, como polímeros reciclados, a la capa base o subbase. Los polímeros hacen que las cosas se adhieran mejor y sean más fuertes. Esto podría significar que no necesitas una capa gruesa para soportar peso. Este método no solo ahorra dinero en la construcción, sino que también ayuda al medio ambiente al utilizar materiales que ya se han usado. Esto lo convierte en una buena opción para la planificación de carreteras (Cruz y De la Cruz, 2024).

2.2.4.4 Influencia de los Materiales Reciclados en el Espesor del Afirmado

El uso de materiales reciclados en el diseño de la capa base tiene un efecto directo en la cantidad de material necesario para alcanzar el grosor adecuado. El uso de materiales reciclados como plásticos, neumáticos o polímeros hace que la capa base sea más fuerte, lo que significa que puede ser más delgada sin perder su capacidad para soportar peso. Esto es especialmente útil en lugares donde los recursos naturales son escasos o caros, ya que los materiales reciclados suelen ser más baratos y fáciles de encontrar (Martínez, 2020).

Los materiales reciclados son muy útiles porque hacen que la mezcla de subbase sea más fuerte y cohesiva. Agregar estos materiales puede hacer que la capa superficial sea más estable, lo que significa que no necesita ser tan gruesa. Además, el uso de estos materiales puede hacer que el pavimento dure más tiempo porque, por ejemplo, los polímeros reciclados son más resistentes a la humedad y a los cambios de temperatura, que son dos cosas que generalmente debilitan las capas de base tradicionales (León y Marín, 2021).

El hecho de que los materiales reciclados puedan mejorar la subbase también se traduce en menores costos tanto para la compra de materiales como para la construcción. Al reducir el grosor requerido, los recursos se utilizan de manera más eficiente, y se puede construir una carretera funcional y duradera sin usar muchos materiales tradicionales. Usar materiales reciclados no solo es más barato, sino que también es un paso hacia la construcción de carreteras más ecológicas (Sauñe, 2025).

Usar materiales reciclados para cambiar el grosor de la subbase puede ser un gran avance en el diseño de la infraestructura vial. La interacción entre los nuevos materiales y las propiedades del suelo subyacente permite encontrar nuevas soluciones que no solo hacen que la construcción sea más eficiente, sino que también ayudan con los problemas ambientales actuales al reducir el impacto del proyecto en el medio ambiente (Martínez, 2020).

2.2.5 Impacto del Uso de Polímeros Reciclados en las Propiedades del Afirmado

Usar polímeros reciclados para hacer la subbase tiene un gran efecto en las propiedades físicas y mecánicas de la capa de subbase. Estos materiales hacen que la capa superficial se adhiera mejor y resista la deformación cuando se añaden a la mezcla. Esto hace que dure más y se mantenga estable cuando los coches pasan por encima. Los polímeros reciclados, como los fabricados a partir de neumáticos y plásticos, son más capaces de manejar los cambios de temperatura y humedad, que son dos cosas que generalmente perjudican a los materiales tradicionales utilizados para el pavimentado de carreteras (Cruz y De la Cruz, 2024).

Los polímeros reciclados también tienen más elasticidad, lo que significa que la capa de subbase puede cambiar de forma de manera controlada cuando está bajo carga sin perder su integridad estructural. Esta característica es especialmente útil en las carreteras que reciben mucho tráfico pesado todo el tiempo (Martínez, 2020).

El uso de estos materiales reciclados también ayuda a que la capa de subbase sea menos permeable. La capa es menos probable que se erosione o se descomponga

demasiado pronto porque es más resistente al agua y la humedad. Esto significa que la infraestructura en la carretera necesitará menos mantenimiento con el tiempo y durará más, lo que ahorrará mucho dinero a largo plazo (Cruz y De la Cruz, 2024).

2.2.5.1 Mejora en la Resistencia a la Compresión del Afirmado

Agregar materiales reciclados, como polímeros, a esta propiedad la mejora al hacer que la mezcla se adhiera mejor y la haga más resistente contra las fuerzas que la presionan hacia abajo. Los polímeros reciclados son materiales resistentes y flexibles que fortalecen la estructura interna de la subrasante, lo que le permite soportar más peso (Martínez, 2020).

Agregar polímeros reciclados a la subbase hace que la mezcla sea más uniforme y duradera. Esto permite que el material distribuya mejor las cargas que recibe, lo que reduce la posibilidad de que se formen grietas o fisuras cuando se comprime. Esta mayor resistencia a la compresión significa que las carreteras funcionarán mejor y durarán más, lo cual es importante para el tráfico pesado y el mal tiempo (Cruz y De la Cruz, 2024).

Agregar polímeros reciclados también puede hacer que la subbase sea más rígida sin hacerla menos flexible. Esto se debe a que los polímeros son fuertes y flexibles al mismo tiempo. Debido a que puede manejar mejor las cargas y temperaturas cambiantes, el subrasante se vuelve más estable con el tiempo (León y Marín, 2021).

2.2.5.2 Efectos en la Durabilidad y Mantenimiento de las Vías

El uso de materiales reciclados como los polímeros en la base de las carreteras afecta directamente la duración de las mismas y la cantidad de mantenimiento que requieren. Estos materiales hacen que la subbase sea más fuerte, más elástica y menos permeable, lo que ayuda a que las carreteras duren más. Las carreteras que utilizan materiales reciclados tienden a desgastarse menos rápidamente porque son más resistentes a cosas como la humedad, los cambios de temperatura y el tráfico constante.

Esto significa que las reparaciones y reconstrucciones ocurren con menos frecuencia (Martínez, 2020).

Además, los polímeros reciclados son menos propensos a doblarse o descomponerse con el tiempo, lo que hace que las carreteras sean más capaces de soportar cargas dinámicas sin agrietarse ni romperse. Debido a que la estructura es más estable, se necesitan menos reparaciones con el tiempo. Esto reduce los costos de mantenimiento y hace que las carreteras duren más. Una mejor impermeabilidad, por otro lado, ayuda a evitar la erosión de la capa base, lo que protege la subbase y reduce la necesidad de reparaciones causadas por la entrada de agua (León y Marín, 2021).

El uso de materiales reciclados no solo hace que las cosas duren más, sino que también facilita y abarata el mantenimiento. Los materiales reciclados hacen que las cosas sean más resistentes y menos propensas a descomponerse, por lo que las intervenciones son menos comunes y menos extensas. Esto significa que las autoridades de carreteras pueden ahorrar mucho dinero porque no necesitan tantos recursos para el mantenimiento y las reparaciones a lo largo del tiempo.

2.2.5.3 Evaluación de la Estabilidad Estructural del Afirmado con Polímero

Reciclado

La estabilidad estructural del subrasante es esencial para mantener la integridad de las carreteras a lo largo del tiempo, particularmente al incorporar materiales reciclados como polímeros. La evaluación de esta estabilidad se centra en examinar el impacto de los polímeros reciclados en la capacidad de la capa base para soportar las cargas aplicadas sin experimentar deformación permanente o falla. Los polímeros reciclados hacen que el material se adhiera mejor y sea más flexible, lo que hace que la subbase sea más resistente a las cargas dinámicas y estáticas que afectan la infraestructura vial (Cruz y De la Cruz, 2024).

El uso de polímeros reciclados ayuda al subrasante a deformarse de manera controlada, lo que significa que el material puede manejar mejor los cambios de carga sin

perder su resistencia estructural. Este es un comportamiento importante porque las superficies de las carreteras necesitan ser capaces de manejar el tráfico constante y los cambios de temperatura sin agrietarse ni hundirse. La capacidad de los polímeros para estirarse ayuda a distribuir las cargas de manera más uniforme, lo que hace que la capa base sea más estable en diferentes situaciones (Martínez, 2020).

La resistencia a la fatiga y la erosión también se utilizan para juzgar la estabilidad de una estructura. Los polímeros reciclados hacen que el material sea más fuerte, lo que reduce la posibilidad de que se formen grietas cuando se carga o se expone repetidamente a condiciones climáticas adversas. Los polímeros reciclados también ayudan a proteger la subbase de la entrada de agua porque son más impermeables. La entrada de agua puede debilitar la cohesión del material y causar su erosión, lo que puede hacer que la estructura sea menos estable (León y Marín, 2021).

2.2.6 Sostenibilidad y Beneficios Ambientales del Uso de Polímeros Reciclados

El uso de polímeros reciclados en la construcción de afirmados no solo representa una solución innovadora para mejorar las propiedades de las infraestructuras viales, sino que también ofrece importantes beneficios ambientales. La incorporación de estos materiales reciclados contribuye a la reducción del impacto ambiental de las obras viales al disminuir la demanda de recursos naturales no renovables, los polímeros reciclados, al provenir de productos desechados como plásticos ayudan a reducirlo (León y Marín, 2021).

Al reemplazar materiales tradicionales como los agregados vírgenes con polímeros reciclados, se reduce la energía necesaria para la extracción, el transporte y el procesamiento de materiales nuevos (León y Marín, 2021).

La mayor durabilidad y resistencia de los afirmados con polímeros reciclados también tiene un efecto positivo en el medio ambiente, ya que reduce la frecuencia de reparaciones y el mantenimiento de las vías. Esto se traduce en un menor uso de recursos a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura vial, lo que reduce la generación de residuos y la necesidad de nuevas extracciones de materiales. De este modo, las vías con polímeros

reciclados no solo son más sostenibles en su construcción, sino que también lo son en su mantenimiento a largo plazo (Cruz y De la Cruz, 2024).

La integración de estos materiales reciclados también promueve la economía circular, donde los residuos se convierten en recursos útiles para nuevas aplicaciones. La utilización de polímeros reciclados en el afirmado, por tanto, ofrece una alternativa más sostenible y eficiente para el sector de la construcción vial.

2.2.6.1 Reducción de Residuos Plásticos y su Impacto Ambiental

Usar polímeros reciclados para construir bases de carreteras es un gran paso hacia la reducción de los desechos plásticos, que es un problema creciente para el medio ambiente en todo el mundo. Los plásticos, que generalmente tardan cientos de años en descomponerse, se acumulan en los vertederos y cuerpos de agua, contaminando mucho el aire y el agua. Reutilizar estos plásticos en proyectos de construcción como la base de las carreteras reduce la cantidad de residuos plásticos que llegan al medio ambiente. Esto facilita la gestión de estos materiales y evita que se propaguen en los ecosistemas naturales (León y Marín, 2021).

Reciclar plásticos para su uso en la infraestructura vial también reduce la necesidad de fabricar nuevo plástico, lo que significa menos uso de combustibles fósiles y menos contaminación por los gases que se liberan durante la fabricación (León y Marín, 2021).

Esta práctica tiene un efecto positivo en el medio ambiente, y también mejora el suelo y el agua. Reciclar plásticos para la construcción de bases de carreteras evita que los desechos plásticos se acumulen en vertederos y cuerpos de agua, donde pueden liberar productos químicos nocivos que dañan la biodiversidad y la salud de los ecosistemas acuáticos. Entonces, reutilizar estos materiales para construir carreteras es bueno para el medio ambiente porque reduce la contaminación y mejora la calidad del aire y el agua.

El uso de plásticos reciclados en la infraestructura vial también ayuda a la economía circular al hacer que los productos de plástico duren más. Una alternativa a los materiales

tradicionales que es más eficiente y mejor para el medio ambiente, reduce la necesidad de recursos naturales y fomenta la sostenibilidad en la construcción (Cruz y De la Cruz, 2024).

2.2.6.2 Beneficios de la Economía Circular en la Infraestructura Vial

La economía circular en la infraestructura vial tiene muchos beneficios importantes para el medio ambiente y la economía. Este modelo fomenta la reutilización, el reciclaje y la recuperación de materiales, lo que reduce la necesidad de nuevos recursos y la cantidad de residuos producidos. La economía circular facilita el uso de materiales reciclados, como los polímeros plásticos, en la mezcla de subbase al construir carreteras. Esto conduce a infraestructuras más duraderas y eficientes (León y Marín, 2021).

Una de las mejores cosas de usar la economía circular para las carreteras es que reduce mucho la huella de carbono. Usar materiales reciclados en lugar de nuevos reduce la energía necesaria para obtener, procesar y mover los recursos. Esto, a su vez, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, el reciclaje y la reutilización de materiales pueden ayudar a los ecosistemas y la biodiversidad al hacer que los materiales duren más, lo que significa que se necesitan extraer menos recursos naturales nuevos.

Este método también ayuda a reducir los costos de construcción y mantenimiento. Usar materiales reciclados, como polímeros reciclados, en la infraestructura vial puede reducir el costo de los insumos porque los materiales reciclados suelen ser más baratos que los nuevos. Además, las carreteras hechas con materiales reciclados tienden a durar más y ser más resistentes a los daños, lo que reduce los costos y la frecuencia de las reparaciones y el mantenimiento a largo plazo (Cruz y De la Cruz, 2024).

La economía circular en la infraestructura vial también fomenta la innovación y la creación de nuevas soluciones tecnológicas al incentivar la investigación en mejores formas de reciclar y reutilizar materiales. Esto no solo hace que la construcción de carreteras sea más ecológica, sino que también crea empleos que son buenos para el medio ambiente y estimula la economía local al hacer que la gente desee más tecnologías y procesos ecológicos (Laura Aguilar, 2022).

2.2.6.3 Comparación Ambiental con Métodos Tradicionales de Construcción Vial

Hay grandes diferencias en cómo los métodos tradicionales de construcción de carreteras y el uso de materiales reciclados como polímeros reciclados afectan al medio ambiente. Los métodos tradicionales de construcción de carreteras utilizan principalmente materiales nuevos como grava, arena y cemento. Obtener y procesar estos materiales requiere mucha energía y recursos naturales. Además, estos materiales pueden tener un gran impacto en el cambio climático porque liberan mucho dióxido de carbono cuando se fabrican y se transportan (Laura, 2022).

Por otro lado, el uso de polímeros reciclados en la infraestructura vial reduce la necesidad de nuevos materiales, lo que significa menos necesidad de obtener recursos naturales y la energía que conllevan estos procesos. En comparación con cómo se suelen hacer las cosas (Cruz y De la Cruz, 2024).

Además, los materiales reciclados son más fuertes y duran más que los nuevos. Los polímeros reciclados crean carreteras que son más capaces de soportar los cambios climáticos, la humedad y el tráfico pesado. Por otro lado, las carreteras hechas con materiales tradicionales tienden a desgastarse más rápido, lo que significa que se utilizan más recursos y se liberan más emisiones durante el mantenimiento (Laura, 2022).

Usar materiales reciclados para construir carreteras es una mejor manera de lidiar con los desechos porque les da a los materiales que de otro modo serían desechados una segunda oportunidad de vida. Esta práctica es diferente de los métodos tradicionales, que a menudo generan muchos desechos y necesitan ser eliminados adecuadamente, poniendo más presión en los vertederos y empeorando el impacto ambiental de la construcción de carreteras (Cruz y De la Cruz, 2024).

2.3 Marco conceptual

a. Afirmado

Su trabajo es proporcionar al tráfico una superficie estable y segura para conducir, mientras distribuye la carga sobre el subrasante.

b. Capacidad de Soporte

La capacidad de carga es la capacidad de un material, especialmente el subrasante, para soportar las cargas de tráfico sin romperse ni doblarse. Pruebas como la Prueba de Penetración Estándar (SPT) o las pruebas de carga estática se utilizan para medirlo. Esto es importante para determinar qué tan gruesa debe ser la capa base.

c. Durabilidad Vial

La durabilidad de las carreteras es la capacidad de una infraestructura de transporte para durar mucho tiempo sin necesitar muchas reparaciones, incluso en mal tiempo y con mucho tráfico. Usar materiales reciclados en la subbase puede mejorar esta propiedad al hacerla más resistente a cosas como la humedad y los cambios de temperatura.

d. Economía Circular

Esta idea fomenta el uso de materiales reciclados en la infraestructura vial para reducir el daño al medio ambiente y hacer que el trabajo en las carreteras sea más sostenible.

e. Polímeros Reciclados

Los polímeros reciclados son materiales plásticos que han sido procesados para que puedan ser utilizados nuevamente para fabricar nuevos productos. Proviene de cosas como botellas de plástico, neumáticos o envases que ya han sido utilizados. En el contexto de la construcción de carreteras, estos polímeros se añaden a la capa base para mejorar el material y hacerlo menos dependiente de nuevos recursos.



f. Resistencia a la Compresión

Esta propiedad es muy importante para la subbase porque asegura que el material pueda soportar las cargas de los vehículos sin cambiar de forma permanentemente.

g. Subrasante

Su principal función es soportar la estructura del pavimento distribuyendo el peso del tráfico a través de las capas inferiores. La estabilidad de la infraestructura vial depende de la capacidad del subrasante para soportar el peso.

h. Sostenibilidad

La sostenibilidad significa construir infraestructura y sistemas de una manera que satisfaga las necesidades. Esto incluye el uso de materiales y métodos de construcción que tengan menos impacto en el medio ambiente y fomenten el mejor uso de los recursos.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Este método cubre cada paso del proceso de investigación, desde la formulación de la pregunta de investigación y la recopilación de datos hasta el análisis de los datos y la interpretación y presentación de los resultados. Es un marco estructurado que asegura que la investigación se realice de manera sistemática y organizada, lo que garantiza que los resultados sean objetivos y puedan ser replicados.

En la metodología de investigación, se diferencian varios enfoques y diseños, dependiendo de la naturaleza del estudio y los objetivos definidos. Esto abarca la investigación cualitativa, que tiene como objetivo comprender fenómenos. Diferentes tipos de investigación utilizan diferentes herramientas y métodos para recopilar y analizar datos de una manera que se ajuste a la pregunta de investigación. Estas herramientas y métodos pueden incluir encuestas, entrevistas, observación, análisis de documentos o experimentación.

3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de investigación es el marco general que organiza cómo planteamos el problema, qué datos reunimos y cómo los analizamos para responder a nuestros objetivos. Puede ser cuantitativo (datos numéricos y pruebas estadísticas), cualitativo (significados,

experiencias y contextos) o mixto (combina ambos). Sea cual sea, exige claridad, rigor y coherencia: elegir métodos adecuados, medir u observar con cuidado, analizar de forma sistemática y comunicar hallazgos útiles y bien sustentados (Ramos Galarza, 2020).

El enfoque cuantitativo se basa en la recolección y el análisis de datos numéricos para probar hipótesis y establecer relaciones estadísticas entre variables. En nuestro estudio, se emplea este enfoque para medir de manera precisa las propiedades mecánicas de los afirmados con polímeros reciclados, como la resistencia a la compresión y la capacidad de soporte. El análisis cuantitativo de las diferentes dosificaciones de polímero reciclado (2%, 3%, y 4%) permitirá determinar de forma objetiva su impacto en el comportamiento de la subrasante y el espesor del afirmado.

3.2 Tipo de la investigación

La investigación de tipo aplicada tiene como objetivo resolver problemas prácticos y específicos, utilizando los conocimientos obtenidos para aplicar soluciones en contextos reales. En este caso, nuestro estudio tiene un tipo aplicado ya que busco mejorar las características de las vías rurales mediante el uso de polímeros reciclados. La implementación de las dosificaciones propuestas (2%, 3%, y 4%) de polímeros reciclados se orienta a generar soluciones efectivas para mejorar la resistencia y la durabilidad de las infraestructuras viales en la provincia de Huancané.

3.3 Nivel de la investigación

Un estudio explicativo busca descubrir las causas y efectos de un fenómeno, mientras que los estudios descriptivos se centran en delinear sus propiedades sin intentar establecer vínculos causales. El nivel de investigación determina los objetivos del estudio y los métodos de análisis empleados, lo cual influye directamente en el enfoque metodológico adoptado y en la interpretación de los hallazgos (Ramos Galarza, 2020).

El nivel explicativo pone énfasis en aclarar las causas y consecuencias de un evento, ofreciendo una comprensión amplia de los factores que influyen la incorporación de polímeros reciclados. Este nivel es adecuado para nuestra investigación, ya que procura explicar cómo y por qué la incorporación de polímeros reciclados en las capas de base de las vías afecta sus distintas funcionalidades.

3.4 Diseño de la investigación

Este diseño asegura que la investigación sea coherente y tenga la capacidad de responder adecuadamente a las preguntas planteadas, permitiendo un estudio riguroso y sistemático. El diseño de la investigación determina la manera en que se manipulan las variables, se seleccionan las muestras y se interpretan los resultados obtenidos, siendo crucial para la validez de los hallazgos (Vega Y Cahuana, 2021).

El diseño de investigación experimental se caracteriza por la manipulación deliberada de variables para observar sus efectos en otras variables bajo condiciones controladas. Este diseño es adecuado para el estudio de la influencia de los polímeros reciclados en la capacidad de soporte de la subrasante y el espesor de afirmado, ya que permitió comprobar la relación causal entre la incorporación de polímeros reciclados y las propiedades mecánicas de la vía. Al utilizar este diseño, se garantiza que las variables se puedan controlar y observar directamente, proporcionando evidencia clara de los efectos de las dosificaciones de polímero reciclado (2%, 3%, y 4%) en la resistencia y durabilidad de la infraestructura vial.

3.5 Método de la investigación

El método científico busca responder a preguntas específicas a través de la observación, formulación de hipótesis, experimentación, análisis de datos y conclusiones. En este estudio, se emplea el método científico para investigar cómo la incorporación de polímeros reciclados en el afirmado de las vías influye en su resistencia y capacidad de

soporte. Esto nos permite generar datos empíricos y verificables, lo que asegura que los resultados obtenidos sean reproducibles y se basen en la evidencia objetiva, siguiendo un proceso ordenado y lógico.

3.6 Población y muestra de la investigación

3.6.1 Población

En un contexto de investigación aplicada, la población incluye a todos los elementos que podrían ser sujetos de estudio, y de los cuales se obtienen los resultados generales. La población es clave para garantizar que los resultados obtenidos sean representativos y puedan ser aplicados a situaciones o contextos similares (Ojeda, 2020).

La población en nuestro estudio está compuesta por las vías urbanas de la provincia de Huancané, específicamente las calles 2 de mayo y Libertad. Estas calles han sido seleccionadas debido a que requieren una mejora en su infraestructura vial y presentan condiciones adecuadas en cuanto a la subrasante y el afirmado, los cuales pueden beneficiarse de la incorporación de polímeros reciclados. La población incluye todos los tramos de estas calles que cumplen con los requisitos técnicos para ser evaluados en términos de su capacidad de soporte y resistencia.

Figura 1

Posicionamiento de las regiones de estudio



3.6.2 Muestra

La muestra es un subconjunto representativo de la población seleccionada para el estudio. El objetivo es optimizar la recopilación de datos al tiempo que garantiza que los resultados sean relevantes para la comunidad en general. La selección de la muestra debe cumplir con los criterios de representatividad y magnitud apropiadas. Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018) sostienen que "una muestra es un subconjunto de la población de la cual se recopilan los datos y deben reflejar con precisión esa población".

La muestra específica de este estudio está constituida por un conjunto de tramos viales seleccionados en la provincia de Huancané, que fueron sometidos a la prueba experimental de afirmado con polímeros reciclados en las dosificaciones de 2%, 3% y 4%. Estos tramos fueron elegidos por su representatividad de las características del suelo y las condiciones ambientales típicas de la región. La muestra permitirá obtener resultados representativos sobre cómo las diferentes concentraciones de polímero reciclado afectan las propiedades del afirmado y su rendimiento en el terreno.

Tabla 2

Frecuencia de ensayos realizados

Descripción	Índice de Plasticidad	Grado Compactación	CBR	Total
SN	3	3	3	9
SN + 2% PR	3	3	3	9
SN + 3% PR	3	3	3	9
SN + 4% PR	3	3	3	9
Total				36

Nota. SN (Suelo natural), PR (polímero reciclado)

La tabla presenta el número de ensayos realizados para diferentes combinaciones de suelos y polímeros reciclados en un estudio de investigación. Cada fila muestra los diferentes tratamientos aplicados al suelo natural (SN), con incorporaciones de polímero reciclado (PR) en proporciones del 2%, 3% y 4%. Para cada combinación, se realizaron tres tipos de ensayos: Índice de Plasticidad, Grado de Compactación y CBR (Capacidad de Soporte California), con un total de 9 ensayos por cada tipo de tratamiento, sumando un total de 36 ensayos en el estudio. Se destaca que todos los tratamientos tienen valores similares para los tres ensayos, lo que indica que las condiciones de los ensayos fueron consistentes en cada caso.

3.7 Técnicas e instrumentos

3.7.1 Técnicas

- **Pruebas de laboratorio:** Las evaluaciones de laboratorio se realizaron para determinar las características físicas y mecánicas de los materiales, incluidos el índice de plasticidad, el grado de compactación y la resistencia de la relación de cojinete de California (CBR). Esta investigación facilita el examen de los efectos de los polímeros reciclados en la capacidad de carga y el grosor del material.
- **Análisis estadístico:** Se emplearon métodos estadísticos para analizar los datos adquiridos de las pruebas. La correlación entre las cantidades de polímeros

reciclados y cualidades del material se evaluará utilizando métodos como las pruebas de correlación, por lo que confirma la objetividad de los resultados.

- **Observación directa:** Durante el proceso experimental, se llevó a cabo una observación directa de las condiciones de los materiales en diferentes etapas de la investigación, especialmente durante la preparación de las mezclas y los ensayos de campo. Esta técnica ayuda a identificar comportamientos o anomalías que no puedan ser captadas únicamente a través de los datos numéricos.
- **Revisión bibliográfica:** Se utilizaron fuentes secundarias para obtener información relevante sobre investigaciones previas relacionadas con el uso de polímeros reciclados en infraestructuras viales. Esta técnica proporciona un marco teórico y permite comparar los resultados obtenidos con otros estudios similares, asegurando la consistencia de las conclusiones.

3.7.2 *Instrumentos de recolección de datos investigación*

Los materiales utilizados, como el suelo natural y el polímero reciclado. Uno de los principales instrumentos fue el material de ensayo estándar, que incluye los equipos y herramientas necesarios para realizar los ensayos de laboratorio conforme a las normas establecidas, como el análisis granulométrico, la medición del índice de plasticidad, y la determinación del grado de compactación y la resistencia CBR (California Bearing Ratio).

Además, se utilizaron formularios de registro de datos, donde se documentarán los resultados obtenidos en cada prueba, permitiendo el seguimiento de las distintas variables experimentales. Los datos recolectados son procesados y analizados mediante software estadístico para asegurar que los resultados sean confiables y representativos. El uso de instrumentos de medición precisos, como balanzas de alta precisión, termómetros y equipos de compresión, fue esencial para garantizar la calidad y exactitud de los datos. Estos instrumentos, junto con las técnicas de análisis estadístico, permitieron evaluar el impacto de las dosificaciones de polímero reciclado en la capacidad de soporte y otras propiedades clave del afirmado.

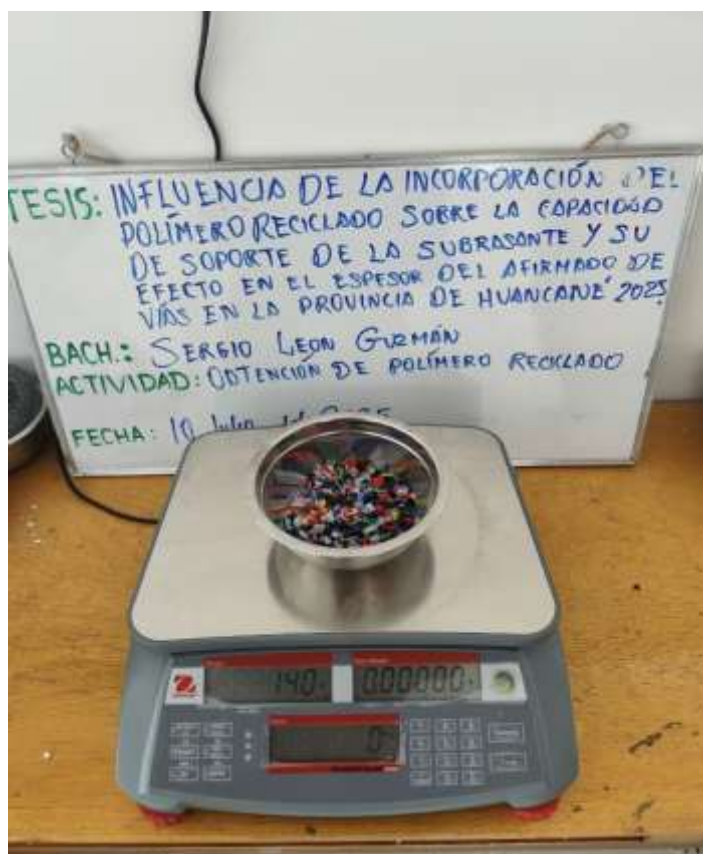
Instrumentos de Recolección de Datos de Investigación

1. Balanza de Alta Precisión

Se utilizó para medir con exactitud las muestras de suelo y polímero reciclado, especialmente en los ensayos de humedad y la determinación del contenido de sólidos. Esta balanza es capaz de medir con alta exactitud hasta gramos o fracciones de gramos para garantizar precisión en los resultados.

Figura 2

Pesaje del polímero reciclado



2. Tamices de Clasificación (Serie ASTM)

Se utilizaron tamices estándar, como los definidos por la ASTM D 422 / MTC E-107 (Análisis Granulométrico por Tamizado), para separar las partículas de suelo según su

tamaño. Este instrumento es fundamental para determinar la distribución granulométrica del suelo y para clasificar el material de acuerdo con su textura y tamaño de partículas.

3. Cilindro de Compactación

Este instrumento se usó en los ensayos de grado de compactación. Los cilindros de compactación, junto con un martillo estándar (usado en el ensayo de Proctor Modificado), permiten evaluar cómo se compacta el suelo bajo condiciones controladas. Esto es crucial para determinar la densidad máxima del material y su relación con la humedad.

4. Equipo para Ensayo de Índice de Plasticidad

El equipo estándar para medir el índice de plasticidad, conforme a la ASTM D 4318 / MTC E-110, incluye una placa de porcelana, un molde, y un aparato de rosca para determinar la plasticidad del suelo. Este índice es fundamental para evaluar la consistencia del material cuando se mezcla con polímeros reciclados.

5. Prensa Hidráulica para Ensayo de Compresión (CBR)

Para medir la resistencia CBR (California Bearing Ratio), se utilizó una prensa hidráulica especializada en la aplicación de carga controlada sobre una muestra de suelo. Esta prensa es esencial para evaluar la capacidad de soporte del material, que es crítica para determinar la resistencia y la durabilidad de las vías construidas con los materiales probados.

6. Horno de Secado

Un horno de secado se utilizó para determinar el contenido de humedad en las muestras de suelo y polímero reciclado, conforme a la ASTM D 2216 / MTC E-108 (Humedad Natural). Este proceso consiste en secar una muestra a una temperatura constante para medir la cantidad de agua presente en el material.

7. Sistemas de Medición de Temperatura y Humedad

En el proceso experimental, se utilizaron termómetros y medidores de humedad para asegurar que las condiciones del ensayo se mantengan dentro de los parámetros requeridos. Estos instrumentos garantizan que los ensayos se realicen bajo condiciones estables y controladas.

8. Formularios de Registro Manual o Digital

Para asegurar que todos los resultados sean documentados de manera ordenada y precisa, se utilizaron formularios de registro de datos manuales o digitales. Estos formularios permiten registrar las mediciones de cada ensayo, facilitando el seguimiento de cada uno de los parámetros evaluados durante el proceso experimental.

3.8 Validación y confiabilidad del instrumento

3.8.1 Validación de los instrumentos

La validación de los instrumentos utilizados en este estudio fue realizada por el Laboratorio de Suelos de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez (UANCV), reconocido por su experiencia y capacidad técnica en el análisis y pruebas de materiales geotécnicos. Este laboratorio está certificado bajo normas nacionales e internacionales, lo que asegura que los procedimientos de ensayo y los instrumentos empleados cumplen con los más altos estándares de calidad y precisión.

Para garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos durante los ensayos, el laboratorio lleva a cabo un proceso de calibración y verificación de todos los instrumentos antes de su utilización. Esto incluirá la validación de la balanza de alta precisión, los tamices de clasificación, los equipos para el ensayo de compresión CBR, y todos los demás instrumentos de medición y ensayo que se emplearon en el estudio. La calibración de los

equipos está a cargo de personal especializado del laboratorio, quien utilizará estándares de referencia y procedimientos establecidos para verificar la exactitud de las mediciones.

El Laboratorio de Suelos de la UANCV también proporciona el soporte necesario para realizar una evaluación preliminar de las muestras, siguiendo las normas internacionales, como las establecidas por ASTM y AASHTO, las cuales guiaron las metodologías de los ensayos de granulometría, índice de plasticidad, compactación y resistencia CBR, entre otros. Además, el laboratorio se encarga de la supervisión de los procedimientos experimentales, asegurando que los instrumentos sean utilizados correctamente y que los datos sean recolectados de manera rigurosa.

3.8.2 Confiabilidad de instrumentos

La confiabilidad de los instrumentos se garantiza a través de la calibración periódica de equipos esenciales, como la balanza de alta precisión, los tamices de clasificación, la prensa hidráulica para el ensayo CBR y los sistemas de medición de temperatura y humedad. La calibración se realiza utilizando estándares de referencia y procedimientos establecidos por normas internacionales (como ASTM y AASHTO), que aseguran que los instrumentos estén dentro de los márgenes de error aceptables.

Para asegurar la confiabilidad de los resultados, también se realiza un control de consistencia entre los instrumentos utilizados, comparando sus mediciones con los resultados de pruebas previas o con instrumentos de referencia. Esta estrategia de verificación cruzada ayuda a identificar cualquier anomalía en los equipos y a corregirla a tiempo, minimizando el riesgo de errores sistemáticos que puedan afectar la precisión de los datos obtenidos.

3.9 Plan de recolección y procesamiento de datos

Obtención del material

El **polímero reciclado** utilizado en el estudio fue plástico reciclado de diversas fuentes, como tapas de botellas PET y residuos de plástico industrial. Este material fue procesado previamente, asegurando su pureza y calidad para garantizar que se integre correctamente con el suelo. El polímero reciclado considerado para el presente estudio fue de tapas plásticas de bebidas, mismo que fue cortado de manera manual con tijeras y/o cúter, obteniéndose partículas pequeñas de 5 mm. x 2 mm. o tamaños similares, cuidando la homogeneidad de las partículas, lo que permite su mezcla eficiente con el suelo natural. Este polímero fue la base para las tres dosificaciones que se probarán: 2%, 3% y 4% de polímero reciclado en relación con el peso del suelo seco.

Figura 3

Plásticos reciclados



Para cada dosificación de polímero reciclado, el procedimiento fue el siguiente:

- **Preparación de la mezcla:** En función de la dosificación seleccionada, se pesó una cantidad adecuada del polímero reciclado y se mezclará con el suelo seco en una mezcla homogénea. Para obtener los porcentajes específicos, se calculará el 2%, 3%

o 4% del peso total del suelo y se añadió la cantidad correspondiente de polímero reciclado.

- **Homogeneización:** La mezcla de suelo y polímero reciclado se realizó de forma manual con cucharones y/o espátulas para asegurar que el polímero se distribuya uniformemente en todo el material. Este paso es crucial para garantizar que las propiedades mecánicas de material de subrasante influyan positivamente sobre las propiedades del afirmado, permitiendo la evaluación precisa de las mejoras que el polímero pueda aportar.
- **Alistamiento para ensayos:** Una vez que el suelo y el polímero reciclado se han mezclado de manera homogénea, la mezcla se alisto para los ensayos de compactación y resistencia CBR. Se tomó una porción de la mezcla para ser utilizada en la evaluación del índice de plasticidad, asegurando que todas las muestras sean preparadas en las condiciones necesarias para cada prueba. Además, las muestras se almacenaron bajo condiciones controladas de humedad para evitar alteraciones que puedan afectar los resultados.

Este proceso de obtención y preparación del material garantiza que las mezclas de suelo y polímero reciclado sean homogéneas y estén listas para someterse a los ensayos que evaluarán el impacto de las adiciones de polímero en la resistencia y durabilidad de las infraestructuras viales.

Toma de muestra del material

Se empleó suelo natural proveniente de la provincia de Huancané, específicamente de las calles 2 de mayo y Libertad, que fueron seleccionadas debido a su relevancia en la infraestructura vial de la zona. Este suelo se extrajo de las áreas seleccionadas y se transportó al laboratorio de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez (UANCV), donde se llevó a cabo el procesamiento necesario para su uso en los ensayos experimentales. El procesamiento del suelo incluyó la clasificación granulométrica, realizada a través de tamices de diferente tamaño, para determinar su distribución de

partículas. A partir de este análisis, se conoció la composición del suelo y su idoneidad para ser utilizado en los ensayos, así como su comportamiento cuando se mezcló con polímeros reciclados. Posteriormente, se procedió con la determinación del índice de plasticidad y otros parámetros físicos, lo que permitió conocer las propiedades mecánicas del material antes de agregar cualquier aditivo.

Equipos y herramientas utilizados:

- **Bolsas selladas al vacío:** Se utilizaron bolsas especialmente diseñadas para mantener las condiciones originales de las muestras, evitando la pérdida de humedad natural. Estas bolsas proporcionaron un entorno controlado que permitió preservar las propiedades iniciales del material, crucial para mantener la validez de los ensayos posteriores.
- **Pala de campo:** Para la recolección de las muestras, se empleó una pala de campo de alta precisión. Esta herramienta facilitó la obtención de muestras representativas y homogéneas, sin alterar su estructura ni composición, lo que es esencial para asegurar la calidad del material extraído.
- **Marcador para identificación:** Se utilizó un marcador especializado para etiquetar cada bolsa de manera ordenada, asegurando que cada muestra pudiera ser identificada de forma clara y precisa. Este proceso de etiquetado fue clave para organizar las muestras según su ubicación en el terreno y el momento de su recolección.

Procedimiento:

- Con la pala de campo, se extrajeron muestras de suelo de diferentes puntos del área seleccionada en las calles 2 de mayo y Libertad, siguiendo un patrón sistemático basado en el plan de estudio. Esto garantizó que las muestras fueran representativas de las características del terreno a lo largo de toda el área de investigación.

- Las muestras obtenidas se depositaron cuidadosamente en bolsas selladas al vacío, lo que permitió mantener intactas sus propiedades naturales, especialmente la humedad, evitando cualquier alteración que pudiera afectar los resultados de los análisis posteriores.
- Cada bolsa sellada fue debidamente etiquetada utilizando el marcador para identificación, con información relevante como la ubicación exacta de la toma de muestra y la fecha de recolección. Esta organización fue fundamental para poder rastrear y correlacionar los resultados de los análisis con la ubicación de cada muestra.

Este enfoque metodológico permitió obtener muestras de suelo de alta calidad, representativas y adecuadas para los ensayos de laboratorio que se llevarían a cabo, asegurando que los resultados fueran precisos y válidos para el análisis de las propiedades del suelo y su comportamiento al ser mezclado con polímeros reciclados.

Ensayos en laboratorio

- i. Contenido de humedad:** Se basa en la diferencia de peso entre una muestra húmeda y la misma muestra después de haber sido secada en un horno a una temperatura controlada.
 - Horno de secado: Se utilizó un horno de secado con control de temperatura preciso, diseñado para evaporar el agua contenida en las muestras de suelo. Este equipo permitió mantener condiciones constantes durante el proceso de secado, garantizando que la humedad de las muestras fuera eliminada de manera uniforme.
 - Balanza de alta precisión: Para determinar el contenido de humedad, se empleó una balanza de alta precisión que permitió medir las muestras antes y después del proceso de secado con exactitud. Esta herramienta fue esencial para obtener mediciones precisas del peso de las muestras de suelo.
 - Recipientes de metal: Se utilizaron recipientes metálicos de material resistente para colocar las muestras de suelo durante el secado. Estos recipientes permitieron

asegurar que las muestras no se contaminasen durante el proceso de secado y que el calor se distribuyera de manera uniforme.

- Marcadores para etiquetado: Se utilizó un marcador de identificación para etiquetar los recipientes con las muestras de suelo, con el fin de mantener un control organizado y rastreable durante todo el proceso de medición y secado.

Procedimiento:

- Se tomaron muestras de suelo natural (de las calles 2 de mayo y Libertad) que habían sido previamente recolectadas y almacenadas en bolsas selladas al vacío para preservar su humedad natural.
- Las muestras de suelo se pesaron con la balanza de alta precisión antes de ser colocadas en los recipientes metálicos. Esta medición inicial permitió conocer el peso de las muestras con su humedad natural intacta.
- Posteriormente, las muestras se colocaron en el horno de secado a una temperatura controlada de aproximadamente 105°C, siguiendo las normas estándar para la determinación de humedad en suelos. El tiempo de secado fue monitoreado regularmente, asegurando que el proceso fuera constante y que no se produjeran cambios adicionales en las muestras.
- Los recipientes que contenían las muestras fueron etiquetados adecuadamente con un marcador de identificación para asegurar que cada muestra fuera correctamente rastreada durante todo el proceso de medición y secado.

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

- ii. **Ensayo de límites de consistencia:** Un suelo para comportarse como material plástico, semiplástico o rígido, dependiendo de su contenido de agua. Los límites de consistencia incluyen el límite líquido, el límite plástico y la diferencia entre ambos, conocidos como el índice de plasticidad. Este ensayo es esencial para comprender

cómo el contenido de agua afecta las propiedades mecánicas del suelo, lo que influye en su capacidad de ser utilizado en la construcción de infraestructura vial, especialmente cuando se modifica con polímeros reciclados.

Materiales Utilizados:

- **Recipientes metálicos:** Se utilizaron recipientes metálicos de forma estandarizada para contener las muestras de suelo durante la prueba. Estos recipientes fueron utilizados para mezclar y mantener el material durante la evaluación del límite líquido y límite plástico.
- **Cucharas de porcelana y plato de porcelana:** Para medir el límite líquido, se emplearon cucharas de porcelana y un plato de porcelana, elementos estándar para realizar las pruebas de determinación de consistencia en suelos. Estos instrumentos permiten manipular las muestras sin alterarlas.
- **Horno de secado:** El horno de secado se utilizó para evaporar el agua de las muestras de suelo durante la evaluación del límite líquido y del índice de plasticidad, garantizando que las mediciones del contenido de humedad fueran precisas antes de las pruebas.
- **Balanza de alta precisión:** Para la medición precisa de las muestras antes y después de las pruebas de límite plástico y líquido, se utilizó una balanza de alta precisión que permitió registrar los cambios de peso en las muestras con exactitud.
- **Cilindro de Casagrande:** El cilindro de Casagrande es un dispositivo especializado que se empleó para realizar el ensayo del límite líquido del suelo, permitiendo medir el agua existente.

Procedimiento:

- **Preparación de las muestras:** Se tomaron las muestras de suelo natural previamente extraído de las calles 2 de mayo y Libertad. Estas muestras fueron almacenadas en bolsas selladas para preservar su humedad natural antes de ser sometidas al ensayo de límites de consistencia.

- **Determinación del límite plástico:** Se prepararon las muestras de suelo añadiendo agua gradualmente hasta que el material alcanzara una consistencia plástica, la cual fue evaluada utilizando el plato de porcelana y la cuchara de porcelana. Una vez alcanzada la consistencia plástica, se procedió a realizar el ensayo, registrando el valor del límite plástico.
- **Determinación del límite líquido:** Para el límite líquido, se utilizó el cilindro de Casagrande. Se colocaron las muestras de suelo sobre el aparato, y se aplicó un movimiento específico al cilindro mientras se añadía agua. El límite líquido fue determinado cuando la muestra de suelo permitió que el dispositivo realizara dos surcos cuando se movía el cilindro de manera estandarizada.
- **Registro de los resultados:** Las muestras se pesaron con la balanza de alta precisión antes y después de la prueba para calcular la cantidad de agua necesaria para alcanzar el límite plástico y el límite líquido. Esta medición permitió determinar.

iii. Control de humedad: El control de humedad es un proceso crucial en los estudios de suelos, ya que la cantidad de agua presente en una muestra influye directamente en sus propiedades físicas y mecánicas. En particular, en este estudio, el control de la humedad es fundamental para garantizar la precisión de las mediciones durante los ensayos de laboratorio, como la compactación, los límites de consistencia y la resistencia CBR. El contenido de humedad también afecta la mezcla de suelo con polímeros reciclados, por lo que es necesario mantener condiciones constantes durante el proceso de recolección y preparación de las muestras.

Materiales Utilizados:

- **Horno de secado:** Se utilizó un horno de secado con temperatura controlada a 105°C para eliminar la humedad de las muestras de suelo. Este equipo asegura que la humedad se evapora de manera uniforme, sin alterar las propiedades del

material. Es fundamental para determinar el grado de agua en los especímenes antes de realizar las pruebas de laboratorio.

- **Balanza de alta precisión:** La balanza de alta precisión fue esencial para medir el peso de las muestras de suelo antes y después del proceso de secado. Esta herramienta permitió obtener resultados exactos.
- **Recipientes metálicos:** Se utilizaron recipientes metálicos resistentes al calor, en los cuales se colocaron las muestras de suelo antes de ser introducidas en el horno de secado. Estos recipientes fueron fundamentales para evitar que las muestras se contaminasen durante el proceso de secado.
- **Higrómetro (opcional):** Para controlar la humedad ambiental durante los ensayos y garantizar que las condiciones del laboratorio fueran constantes, se utilizó un higrómetro. Este instrumento se empleó para medir la humedad relativa del aire, asegurando que no se produjeran alteraciones inesperadas en las muestras debido a cambios en las condiciones ambientales.

Procedimiento:

- Las muestras de suelo natural fueron extraídas de las calles 2 de mayo y Libertad y almacenadas en bolsas herméticas para mantener su humedad natural intacta hasta el momento de su uso en los ensayos de laboratorio.
- Antes de realizar los ensayos, se pesaron las muestras con la balanza de alta precisión para obtener el peso inicial de las mismas, asegurando que el contenido de humedad no se viera alterado por condiciones externas.
- Las muestras de suelo se colocaron en recipientes metálicos y se introdujeron en el horno de secado a una temperatura constante de 105°C. El tiempo de secado varió dependiendo de la cantidad de humedad presente en las muestras, pero generalmente se dejó durante al menos 24 horas para garantizar la eliminación completa del agua.

- El contenido de humedad se calculó utilizando la fórmula estándar para este tipo de ensayos:

$$\text{contenido de humedad} = \frac{(\text{peso inicial} + \text{peso final})}{\text{Peso final}} \times 100$$

- Para asegurar que el contenido de humedad fuera adecuado durante la mezcla de suelo con polímero reciclado, se monitorearon las condiciones de humedad en las muestras durante todo el proceso. Si el contenido de humedad era demasiado alto, las muestras fueron secadas nuevamente hasta alcanzar el nivel deseado para garantizar una mezcla uniforme.

iv. Ensayo de análisis granulométrico: Este ensayo es fundamental para clasificar el suelo y conocer su comportamiento cuando se mezcla con otros materiales, como los polímeros reciclados. El análisis permite evaluar la textura del suelo y su capacidad de compactación, factores clave en la construcción de infraestructuras viales.

Materiales Utilizados:

- Tamices de clasificación: Se utilizaron tamices de diferentes tamaños, conforme a las normativas ASTM D422, para separar las partículas de suelo en fracciones según su tamaño.
- Balanza de alta precisión: Fue utilizada para medir el peso de cada fracción de suelo obtenida tras el tamizado, lo que permitió calcular la distribución porcentual de las partículas en la muestra.
- Recipientes metálicos: Se usaron para recolectar las fracciones separadas por los tamices y evitar contaminaciones.

Procedimiento:

- Se tomó una muestra de suelo de las calles 2 de mayo y Libertad, que previamente había sido recolectada y almacenada en bolsas selladas para preservar sus propiedades.

- La muestra de suelo se sometió a un proceso de tamizado utilizando tamices con aberturas de diferentes tamaños, según lo especificado por la norma ASTM D422. El material pasó por una serie de tamices para separar las partículas en distintos grupos de tamaño.
- Posteriormente, se pesaron las fracciones de suelo obtenidas con la balanza de alta precisión, registrando el peso de cada fracción separada.
- Los resultados se analizaron y se calculó la distribución granulométrica del suelo, expresando los porcentajes de cada fracción en relación al total de la muestra. Este análisis proporcionó la clasificación del suelo y permitió evaluar cómo influiría la incorporación de polímeros reciclados en sus propiedades.

Este ensayo brindó información crucial sobre la estructura del suelo y su comportamiento ante el uso de materiales reciclados, facilitando el diseño adecuado de mezclas para mejorar las propiedades del afirmado en las vías.

v. Proctor modificado: Su comportamiento cuando se mezcla con aditivos, como los polímeros reciclados, lo que es esencial para diseñar una infraestructura vial resistente.

Materiales Utilizados:

- Molde de compactación: Se utilizó un molde estándar para compactar el suelo, conforme a la normativa ASTM D1557, que establece los procedimientos para el ensayo de Proctor modificado.
- Martillo de compactación: El martillo de 4.5 kg se utilizó para compactar el suelo en capas dentro del molde, aplicando una energía mayor que la del ensayo de Proctor estándar.
- Balanza de alta precisión: Esta balanza se empleó para medir la masa del suelo antes y después de cada ciclo de compactación, asegurando mediciones exactas para el cálculo de la densidad.

- Recipientes metálicos: Se utilizaron para colocar las muestras de suelo antes de ser compactadas y luego para la determinación de la humedad.

Procedimiento:

- Se prepararon muestras de suelo natural provenientes de las calles 2 de Mayo y Libertad, previamente extraídas y almacenadas en bolsas selladas para preservar su humedad.
- La muestra de suelo se tamizó para asegurar una distribución uniforme de las partículas antes de ser pesada y colocada en el molde de compactación.
- En el molde de compactación, el suelo se compactó en tres capas, cada una compactada con 25 golpes del martillo de 4.5 kg. Este proceso se repitió varias veces para alcanzar la densidad máxima posible bajo las condiciones establecidas por la norma.
- Finalmente, se repitió el proceso con diferentes niveles de contenido de humedad, generando una curva que permitió identificar el contenido de humedad óptimo y la densidad máxima de la mezcla.

Este ensayo proporcionó información sobre la capacidad de compactación del suelo y su comportamiento en diferentes condiciones de humedad, lo que permitió evaluar cómo la incorporación de polímeros reciclados afecta estas propiedades para su aplicación en la construcción de vías.

vi. CBR: Este ensayo es clave en la ingeniería vial, ya que proporciona información sobre la resistencia a la penetración del material, lo que influye directamente en el diseño y la estructura de las capas de pavimento y afirmado. En este estudio, el ensayo de CBR se utilizó para analizar el impacto de las mezclas de suelo y polímero reciclado.

Materiales Utilizados:

- **Moldes de ensayo CBR:** Se utilizaron moldes estandarizados según ASTM D1883, diseñados específicamente para medir la resistencia del material a la penetración. Estos moldes permitieron contener la muestra de suelo durante el ensayo, asegurando que se realizara en las condiciones controladas necesarias.
- **Placa de penetración y pistón:** Un pistón de penetración de acero de alta precisión se utilizó para aplicar carga sobre la muestra de suelo. La placa de penetración mide la resistencia del suelo o mezcla al ser presionada por el pistón.
- **Máquina de carga o prensa hidráulica:** Se utilizó una prensa hidráulica para aplicar la carga sobre la muestra de suelo de manera controlada y gradual, permitiendo medir la resistencia del material a diferentes profundidades de penetración.
- **Balanza de alta precisión:** Se empleó una balanza de alta precisión para medir la masa de la muestra antes de la aplicación de la carga, lo que permitió calcular la densidad del material.

Procedimiento:

- Se prepararon las muestras de suelo natural de las calles 2 de Mayo y Libertad, previamente obtenidas y almacenadas en bolsas selladas para preservar su humedad.
- Se sometió el suelo a un proceso de compactación en el molde de ensayo CBR, siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D1883. El suelo se compactó en el molde utilizando un número determinado de golpes con el martillo de compactación.
- Después de la compactación, se introdujo el pistón de penetración en la muestra compactada y se aplicó carga gradualmente mediante la prensa hidráulica hasta que se alcanzó una penetración de 2.5 mm y 5 mm, que son las penetraciones estándar para este tipo de ensayo.

- A medida que la carga se aplicaba, se registraron las cargas de penetración en las profundidades especificadas (2.5 mm y 5 mm) y se calculó la resistencia del material utilizando la fórmula CBR, comparando la penetración observada con las cargas aplicadas.
- Los resultados de la capacidad de soporte obtenidos permitieron evaluar cómo el polímero reciclado afectaba la capacidad de carga y la resistencia del material, proporcionando datos sobre la viabilidad de las mezclas de polímero reciclado en la mejora de las propiedades de los suelos para ser utilizados en pavimentos y afirmados.

Este ensayo permitió evaluar la resistencia del material y su capacidad de carga bajo condiciones controladas, proporcionando información clave para determinar el espesor adecuado de las capas de afirmado y su comportamiento cuando se mezcla con polímeros reciclados en la construcción de vías.

3.10 Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos en este estudio involucra la organización, limpieza y estructuración de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, como el análisis granulométrico, el ensayo de Proctor modificado, los ensayos de CBR, y el análisis de límites de consistencia. Los datos brutos obtenidos de estos ensayos son registrados y organizados en bases de datos para su posterior tratamiento. Esto incluye la eliminación de cualquier error o valor atípico en las mediciones, la conversión de las unidades cuando sea necesario, y la aseguración de que todos los datos estén listos para su análisis estadístico. Además, se calculan los promedios y desviaciones estándar de las mediciones repetidas para asegurar la precisión de los resultados.

El análisis de datos se lleva a cabo mediante técnicas estadísticas específicas para evaluar el impacto de las diferentes dosificaciones de polímero reciclado (2%, 3%, y 4%) sobre las propiedades del suelo. Se utilizaron herramientas entre los resultados obtenidos



con las distintas concentraciones de polímero reciclado. Las diferentes concentraciones de polímero reciclado. Los resultados son interpretados para determinar qué dosificación de polímero reciclado ofrece el mejor rendimiento en términos de resistencia y durabilidad del material. Finalmente, los datos procesados y analizados se utilizaron para generar conclusiones sobre la viabilidad de la incorporación de polímeros reciclados en la construcción de vías, proporcionando recomendaciones para su aplicación práctica en la mejora de infraestructuras viales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado y discusión es una etapa crucial en cualquier investigación, ya que permite interpretar y dar significado a los datos obtenidos. En esta fase, se comparan los resultados obtenidos con las hipótesis planteadas al inicio del estudio, evaluando si estos respaldan o refutan las expectativas iniciales. En el contexto de nuestro estudio sobre la incorporación de polímeros reciclados en la infraestructura vial, esta sección se centrará en examinar cómo las diferentes concentraciones de polímero reciclado (2%, 3%, y 4%) afectan las propiedades del suelo, como la capacidad de soporte, la resistencia a la compresión, y la estabilidad estructural de la mezcla.

En la discusión de los resultados, se interpretarán los datos dentro del marco teórico y comparando con estudios previos, se evaluará si los resultados obtenidos coinciden con investigaciones similares. Además, se analizarán las implicaciones prácticas de los hallazgos, como la posible mejora en la resistencia de las vías con la adición de polímeros reciclados, y su viabilidad para ser implementadas en la construcción de infraestructuras viales. Este análisis también abordará las limitaciones del estudio, considerando factores como la variabilidad de los materiales y el proceso experimental, y propondrá posibles líneas para futuras investigaciones que amplíen el conocimiento sobre el uso de materiales reciclados en la mejora de suelos para la construcción de caminos.

4.1 Presentación y análisis de resultados

Presentación y análisis de resultados es la fase en la que los datos obtenidos durante la investigación se organizan, se muestran de manera clara y se interpretan en función de los objetivos del estudio. En esta etapa, se presentan los resultados en formatos adecuados, como tablas, gráficos o figuras, para facilitar su comprensión. Posteriormente, se realiza un análisis detallado que compara los resultados con las hipótesis iniciales, discute su relevancia, identifica patrones o tendencias y establece conclusiones. Esta fase es crucial para comprender el impacto de las variables estudiadas y para evaluar la validez de los objetivos planteados, permitiendo que los hallazgos sean utilizados para tomar decisiones o sugerir nuevas investigaciones.

a. Presencia de humedad

La presencia de humedad en los materiales de construcción, como el suelo, se refiere a la cantidad de agua contenida en el material, ya sea en forma libre o absorbida. Esta variable es fundamental. En el contexto de estudios geotécnicos, la humedad se controla cuidadosamente durante los ensayos, ya que un exceso o déficit puede alterar significativamente los resultados y afectar la calidad de las mezclas utilizadas en la construcción de infraestructuras viales.

Tabla 3

Humedad presentada en las muestras recabadas

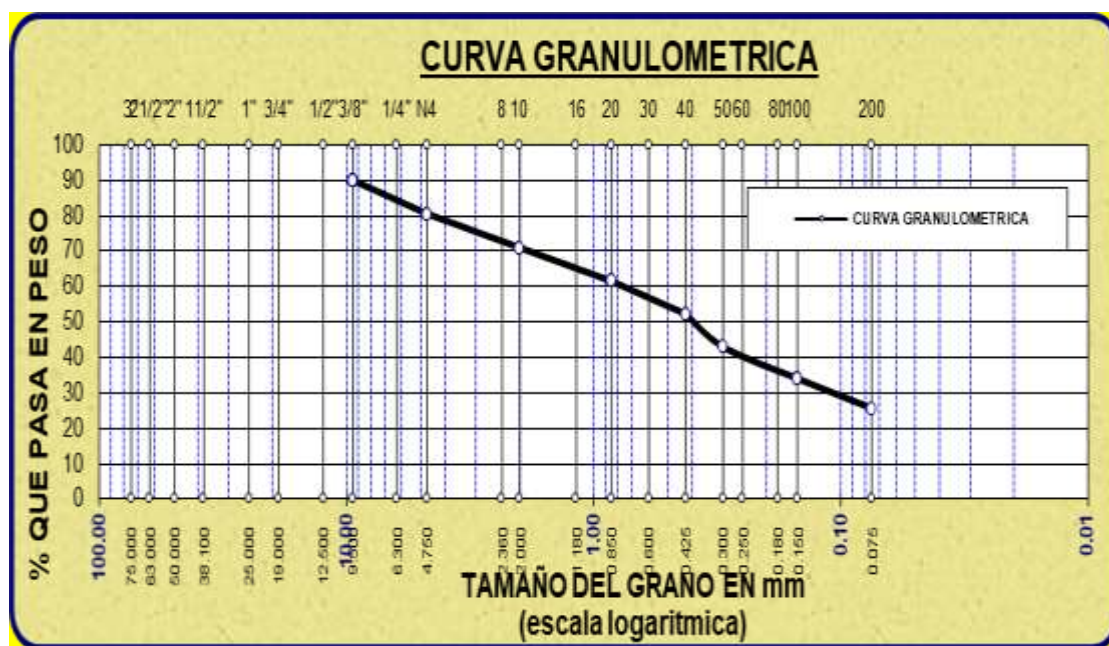
humedad (%)	
Calicata	(%) Humedad
Cal.-1	20.49
Cal.-2	21.27
Cal.-3	20.98
Promedio	20.91

La tabla muestra los resultados del contenido de humedad en las muestras recolectadas de calicata, presentando tres mediciones diferentes (Cal-1, Cal-2 y Cal-3), con valores de humedad de 20.49%, 21.27% y 20.98%, respectivamente. Estos valores fueron obtenidos mediante ensayos de laboratorio, y el promedio de la humedad en las tres muestras es de 20.91%. Este dato es relevante para evaluar las propiedades físicas del suelo en el estudio, ya que el contenido de humedad puede influir en su comportamiento durante los ensayos de laboratorio, como la compactación y la capacidad de soporte.

b. Análisis granulométrico

Figura 4

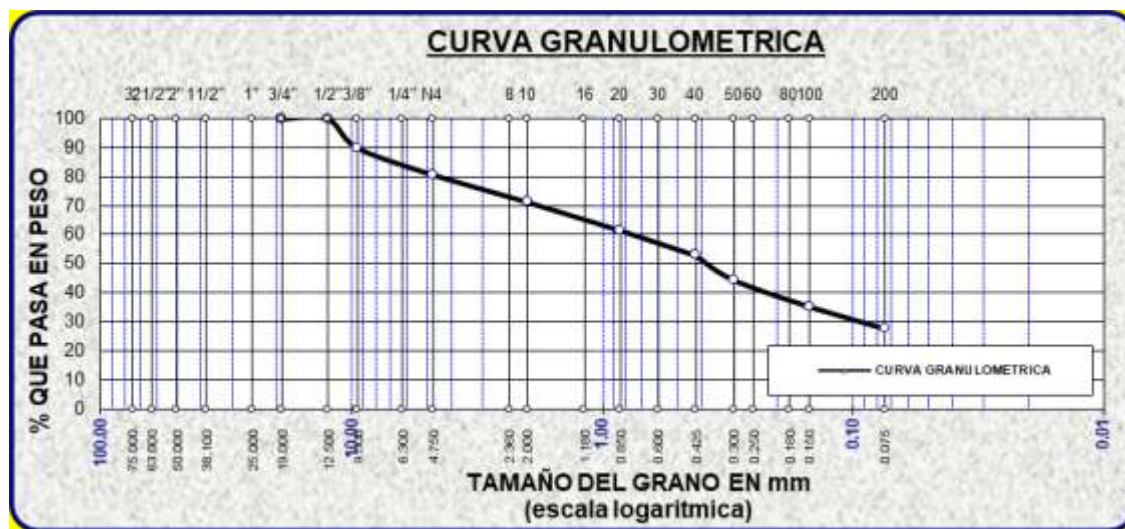
Determinación de la estructura granulométrica de la muestra 1



La imagen muestra una curva granulométrica que representa la distribución del tamaño de partículas de una muestra, utilizando una escala logarítmica en el eje horizontal para mostrar el tamaño de los granos en milímetros.

Figura 5

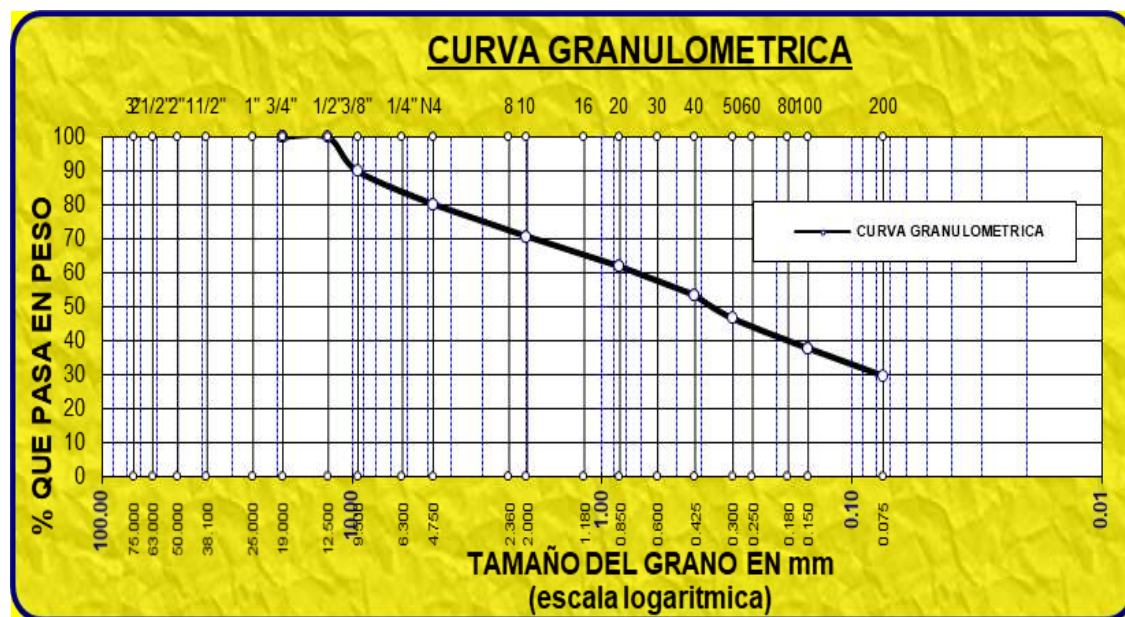
Determinación de la estructura granulométrica de la muestra 2



La imagen muestra una curva granulométrica que representa la distribución del tamaño de partículas de una muestra, utilizando una escala logarítmica en el eje horizontal para mostrar el tamaño de los granos en milímetros.

Figura 6

Determinación de la estructura granulométrica de la muestra 3



Esta curva es fundamental para analizar la composición y las características del material granular, como su densidad y textura, y se utiliza en diversas aplicaciones, especialmente en la ingeniería civil, para evaluar la calidad de los agregados en la fabricación de concreto.

c. Índice de plasticidad

Tabla 4

Medición del índice de plasticidad en las muestras naturales

Límit. de Atterberg–Subrasante			
Calicata	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C1	34.42%	19.49%	14.93%
C2	33.78%	17.83%	15.95%
C3	33.74%	19.05%	14.69%
Promedio	-	-	15.19%

(LL), límite plástico (LP) y índice de plasticidad (IP) para cada muestra son los siguientes: C-1 tiene un LL de 34.42%, LP de 19.49%, e IP de 14.93%; C-2 tiene un LL de 33.78%, LP de 17.83%, e IP de 15.95%; y C-3 tiene un LL de 33.74%, LP de 19.05%, e IP de 14.69%. El promedio del índice de plasticidad (IP) entre las tres muestras es de 15.19%. Estos resultados son importantes para evaluar las características de plasticidad del suelo, lo que influye en su comportamiento y resistencia en la construcción de infraestructuras viales.

4.1.1 Capacidad de soporte (CBR) del suelo existente en la zona

La capacidad de soporte (CBR) del suelo se refiere a la medida de la resistencia del suelo a la penetración bajo carga, lo cual indica su capacidad para soportar el tráfico vehicular sin deformarse o colapsar. En el contexto de este estudio, se evaluó la capacidad de soporte (CBR) del suelo natural de las calles 2 de mayo y Libertad en la provincia de Huancané. Este parámetro es esencial para determinar el espesor adecuado de las capas de afirmado y garantizar la estabilidad de las infraestructuras viales en estas áreas.

Tabla 5

Caracterización de la compactación y sus rangos (subrasante)

Grado de Compactación – Subrasante		
Calicata	MDS (gr/cc)	OCH (%)
Cal.-1	1.736	8.23
Cal.-2	1.757	8.54
Cal.-3	1.772	8.67
Promedio	1.768	8.48

Los resultados de la caracterización de la compactación del suelo se presentan en términos de Grado de Compactación (MDS) y contenido de humedad óptimo (OCH) para las tres calicatas. Los valores de MDS fueron 1.736, 1.757 y 1.772 gr/cc para las calicatas Cal-1, Cal-2 y Cal-3, respectivamente, mientras que los valores de OCH fueron 8.23%, 8.54% y 8.67%. El promedio de MDS fue de 1.768 gr/cc, y el promedio de OCH fue de 8.48%. Estos resultados son esenciales para evaluar la capacidad del suelo para ser compactado adecuadamente, lo cual influye directamente en su estabilidad y resistencia cuando se utiliza en la construcción de vías.

Figura 7

Conexión densidad/porcentaje de humedad 1

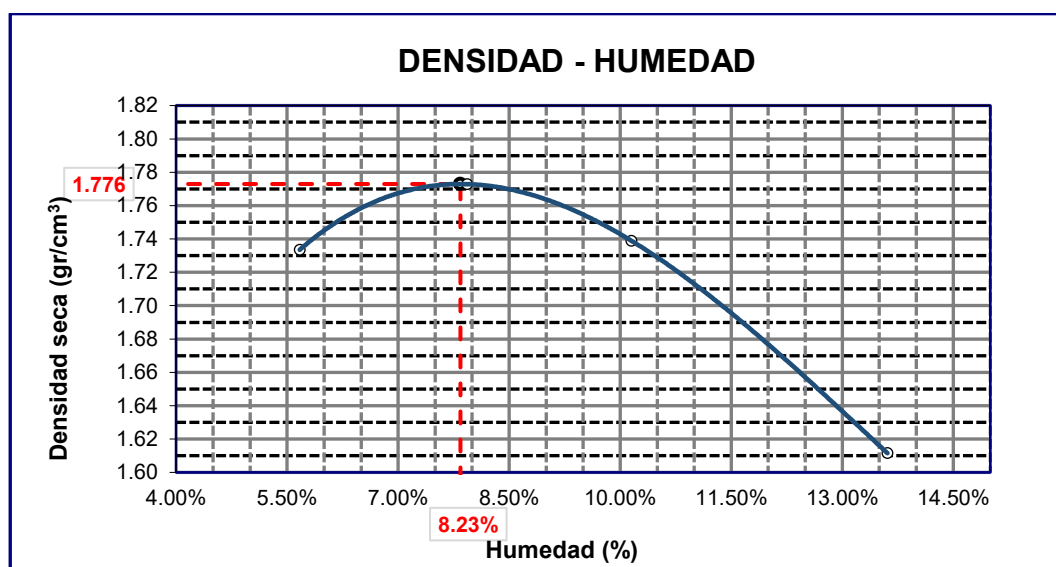


Figura 8

Conexión densidad/porcentaje de humedad 2

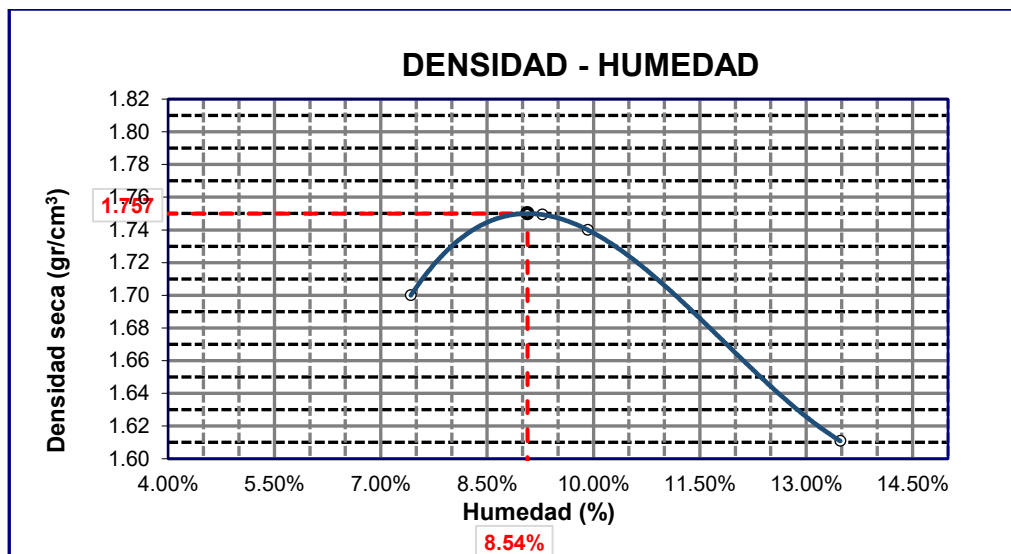
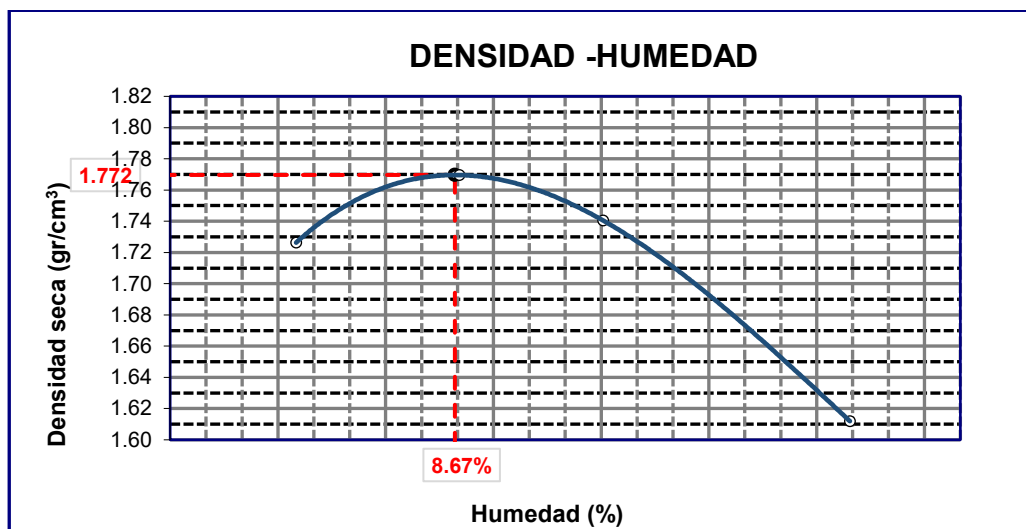


Figura 9

Conexión densidad/porcentaje de humedad 1.3



Capacidad de soporte muestra natural obtenida de la zona

Tabla 6

Prueba CBR en la subrasante de suelo natural

Punto Exploratorio	CBR-Suelo	
	CBR 95%	CBR 100%
CE-1	9.25	11.10
CE-2	8.87	10.64
CE-3	8.91	10.69

Los resultados obtenidos en la prueba CBR (Capacidad de Soporte California) en los puntos exploratorios de la subrasante muestran valores que reflejan la resistencia del suelo a la penetración bajo carga. En el punto exploratorio CE-1, el CBR al 95% fue de 9.25% y al 100% alcanzó 11.10%. En el punto CE-2, los valores fueron de 8.87% para el CBR al 95% y 10.64% al 100%. Finalmente, en el punto CE-3, el CBR al 95% fue de 8.91% y al 100% de 10.69%. Estos datos son esenciales para determinar la capacidad de carga del suelo en la subrasante, permitiendo realizar un diseño adecuado de las capas de afirmado y garantizar la estabilidad de la infraestructura vial.

4.1.2 Efecto en la subrasante de la adición de polímeros reciclado en 2%, 3% y 4%

a. Muestras con 2% de polímeros reciclados

Tabla 7

Suelo adicionado con 2% de polímeros reciclados (grado de compactación)

Grado de compactación – SN + 2% de polímeros reciclados			
Combinación	MDS (gr/cc)	Media (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.768	-	-
M1 + 2% polímero reciclado	1.821	1.823	3%
M2 + 2% polímero reciclado	1.814		
M3 + 2% polímero reciclado	1.833		

Los resultados presentados muestran el grado de compactación del suelo natural (SN) al cual se le ha añadido un 2% de polímeros reciclados. Se registraron los valores de MDS (Máxima Densidad Secada) y la media para cada combinación de mezcla de suelo. Para el suelo natural (SN), el valor de MDS fue 1.768 gr/cc. Al añadir 2% de polímero reciclado, se observó un incremento en la MDS: para la combinación M1 + 2% polímero reciclado, la MDS fue de 1.821 gr/cc, y con la adición de más polímero reciclado (para M2 + 2% polímero reciclado), la MDS alcanzó 1.814 gr/cc. En cuanto a la media, se alcanzó un valor de 1.823 gr/cc para la mezcla con 2% de polímero reciclado, lo que representó una variación del 3% respecto al suelo natural. Estos resultados indican que la incorporación del polímero

reciclado mejora la densidad del suelo, lo que puede influir en la mejora de las propiedades mecánicas y de compactación del material.

b. Muestras con 3% polímero reciclado

Tabla 8

Suelo adicionado con 3% de polímeros reciclados (grado de compactación)

Grado de compactación – SN + 3% de polímeros reciclados			
Combinación	MDS (gr/cc)	Media (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.768	-	-
M1 + 3% polímero reciclado	1.897		
M2 + 3% polímero reciclado	1.909	1.897	7%
M3 + 3% polímero reciclado	1.884		

Los resultados muestran el grado de compactación del suelo natural (SN) con la adición de 3% de polímeros reciclados. Para el suelo natural (SN), la MDS (Máxima Densidad Secada) fue 1.768 gr/cc. Al añadir 3% de polímero reciclado, la MDS aumentó a 1.897 gr/cc para la combinación M1 + 3% polímero reciclado. En las siguientes combinaciones, se observó una ligera variación en la densidad máxima seca: 1.909 gr/cc para M2 + 3% polímero reciclado y 1.884 gr/cc para la última mezcla de M3 + 3% polímero reciclado.

Muestras con 4% de polímero reciclado

Tabla 9

Suelo adicionado con 4% de polímeros reciclados (grado de compactación)

Grado de compactación – SN + 4% de polímeros reciclados			
Combinación	MDS (gr/cc)	Media (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.768	-	-
M1 + 4% polímero reciclado	1.941		
M2 + 4% polímero reciclado	1.957	1.948	-10%
M3 + 4% polímero reciclado	1.945		

Los resultados muestran el grado de compactación del suelo natural (SN) con la adición de 4% de polímeros reciclados. Para el suelo natural (SN), la MDS (Máxima Densidad Secada) fue 1.768 gr/cc. Al agregar 4% de polímero reciclado, la MDS aumentó a 1.941 gr/cc en la mezcla M1 + 4% polímero reciclado. En las siguientes combinaciones, la MDS fue de 1.957 gr/cc para M2 + 4% polímero reciclado, y 1.945 gr/cc para M3 + 4% polímero reciclado. El valor de la media para las mezclas con polímero reciclado fue 1.948 gr/cc, con una variación del -10% en comparación con el suelo natural (SN). Estos resultados reflejan cómo el aumento de polímero reciclado afecta la capacidad de compactación del material, lo que influye en la estabilidad y resistencia del suelo para aplicaciones viales.

c. Revisión comparativa de las muestras + polímeros naturales

Tabla 10

Comparación entre las muestras

Variación MDS		
PRUEBAS	MDS (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.768	-
M + 2% polímero reciclado	1.823	3%
M + 3% polímero reciclado	1.897	7%
M + 4% polímero reciclado	1.948	10%

Los resultados de la comparación entre las muestras muestran la variación en la máxima densidad seca (MDS) para diferentes combinaciones de suelo natural (SN) con polímeros reciclados. El valor de MDS para el suelo natural (SN) fue 1.768 gr/cc. Con la adición de 2% de polímero reciclado, la MDS aumentó a 1.823 gr/cc, lo que representa una variación del 3%. Al añadir 3% de polímero reciclado, la MDS alcanzó 1.897 gr/cc, con una variación del 7% respecto al suelo natural. Finalmente, con la incorporación de 4% de polímero reciclado, la MDS llegó a 1.948 gr/cc, lo que refleja una variación del 10%.

Capacidad de soporte de las muestras (CBR)**a. Muestras con 2 de polímero reciclado****Tabla 11***Suelo adicionado con 2% de polímeros reciclados (CBR)*

CBR – 95% MDS – SN + 2% de polímeros reciclados			
Combinación	CBR (%)	Media (%)	Variación (%)
SN	9.01	-	-
M1 + 2% polímero reciclado	11.01		
M2 + 2% polímero reciclado	11.12	11.04	22%
M3 + 2% polímero reciclado	10.98		

El CBR para el suelo natural (SN) fue de 9.01%. Al agregar 2% de polímero reciclado, el CBR aumentó a 11.01% en la mezcla M1 + 2% polímero reciclado. En la siguiente combinación M2 + 2% polímero reciclado, el CBR alcanzó 11.12%, y para M3 + 2% polímero reciclado, el CBR fue de 10.98%. El valor promedio de CBR para las mezclas con polímero reciclado fue de 11.04%, lo que representó una variación del 22% en comparación con el suelo natural. Estos resultados demuestran cómo la incorporación de polímeros reciclados mejora la capacidad de soporte del suelo, lo cual es esencial para el diseño de infraestructuras viales más estables.

b. Muestras con 3% de polímero reciclado**Tabla 12***Suelo adicionado con 3% de polímeros reciclados (CBR)*

CBR – 95% MDS – SN + 3% de polímeros reciclados			
Combinación	CBR (%)	Media (%)	Variación (%)
SN	9.01	-	-
M1 + 3% polímero reciclado	11.79		
M2 + 3% polímero reciclado	11.61	11.84	31%
M3 + 3% polímero reciclado	12.12		

Los resultados muestran el CBR (Capacidad de Soporte California) al 95% de MDS para las muestras de suelo natural (SN) con la adición de 3% de polímeros reciclados. El CBR para el suelo natural (SN) fue de 9.01%. Con la incorporación de 3% de polímero reciclado, el CBR aumentó a 11.79% en la mezcla M1 + 3% polímero reciclado, alcanzó 11.61% en M2 + 3% polímero reciclado, y finalmente, la mezcla M3 + 3% polímero reciclado mostró un CBR de 12.12%. El promedio de CBR para las combinaciones con polímero reciclado fue de 11.84%, lo que representó una variación del 31% en comparación con el suelo natural (SN).

c. Muestras con 4% de polímero triturado

Tabla 13

Suelo adicionado con 4% de polímeros reciclados (CBR)

CBR – 95% MDS – SN + 4% de polímero triturado			
Combinación	CBR (%)	Media (%)	Variación (%)
SN	9.01	-	-
M1 + 4% polímero reciclado	12.38		
M2 + 4% polímero reciclado	12.44	12.37	37%
M3 + 4% polímero reciclado	12.29		

Los resultados de la prueba CBR (Capacidad de Soporte California) al 95% de MDS para el suelo natural (SN) con la adición de 4% de polímero triturado muestran una mejora significativa en la capacidad de soporte. El CBR para el suelo natural (SN) fue de 9.01%. Con la adición de 4% de polímero reciclado, el CBR aumentó a 12.38% para la mezcla M1 + 4% polímero reciclado, alcanzó 12.44% en M2 + 4% polímero reciclado y 12.29% en M3 + 4% polímero reciclado. El promedio de CBR para las mezclas con polímero reciclado fue de 12.37%, lo que representó una variación del 37% en comparación con el suelo natural (SN). Estos resultados indican que la adición de polímeros reciclados mejora significativamente la capacidad de soporte del suelo, lo cual es fundamental para el diseño de vías más estables y duraderas.

d. Revisión comparativa de las muestras + polímero reciclado

Tabla 14

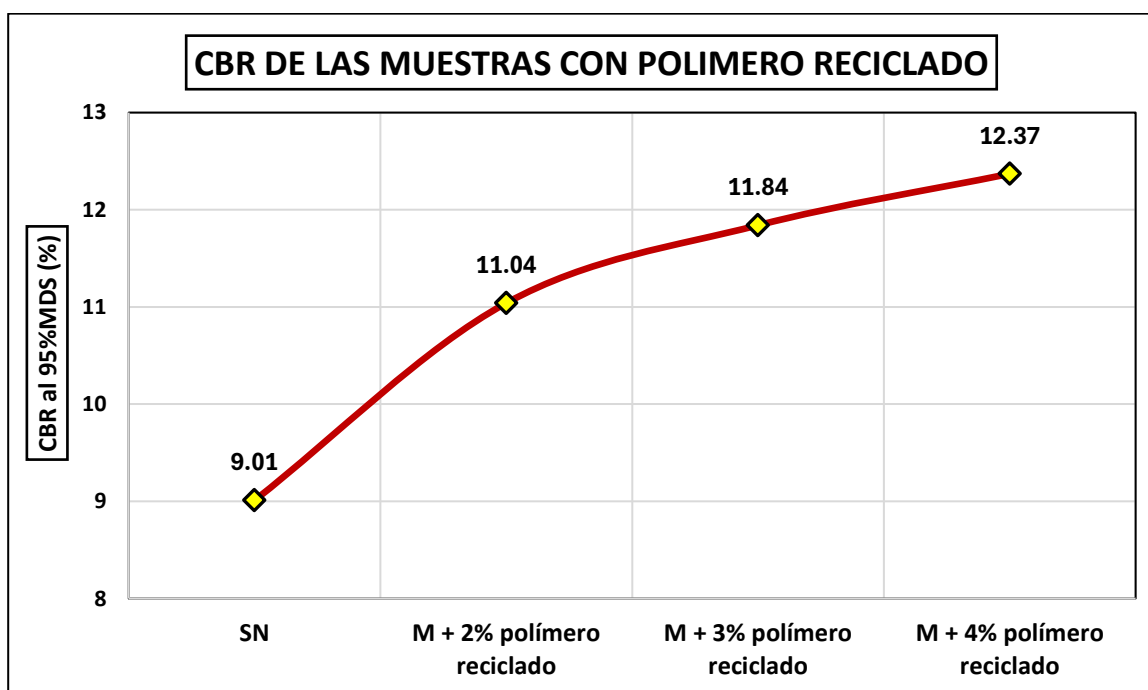
Comparación entre las muestras

PRUEBAS	Variación CBR	
	CBR (95%)	
SN	9.01	
M + 2% polímero reciclado	11.04	
M + 3% polímero reciclado	11.84	
M + 4% polímero reciclado	12.37	

Los resultados muestran la variación en el CBR (Capacidad de Soporte California) al 95% de MDS para las muestras de suelo natural (SN) y las mezclas con polímero reciclado. El CBR para el suelo natural (SN) fue de 9.01%. Con la adición de 2% de polímero reciclado, el CBR aumentó a 11.04% en la mezcla M + 2% polímero reciclado, mientras que con 3% de polímero reciclado, el CBR alcanzó 11.84% en la mezcla M + 3% polímero reciclado. Finalmente, con 4% de polímero reciclado, el CBR llegó a 12.37% en la mezcla M + 4% polímero reciclado.

Figura 10

Comparativa de los indicadores de compactación de las muestras



El gráfico presenta un Comparativa de los indicadores de compactación para las muestras con polímero reciclado. El CBR (Capacidad de Soporte California) para el suelo natural (SN) fue de 9.01%. Al agregar 2% de polímero reciclado, el CBR aumentó a 11.04% en la mezcla M + 2% polímero reciclado. Con 3% de polímero reciclado, el CBR alcanzó 11.84% en la mezcla M + 3% polímero reciclado, y con 4% de polímero reciclado, el CBR fue de 12.37% en la mezcla M + 4% polímero reciclado.

4.1.3 Dimensión del espesor del afirmado según el diseño mejorado

La durabilidad y estabilidad del pavimento. Sin embargo, las propiedades del suelo natural en muchas regiones, como las de la zona de estudio, pueden ser inadecuadas para soportar las cargas previstas, lo que requiere el uso de técnicas de estabilización. En este estudio, se plantea la utilización de polímeros reciclados para mejorar las propiedades del suelo y optimizar el diseño del espesor de la capa de afirmado, un factor clave en la resistencia y durabilidad de las infraestructuras viales.

1. Estudio de tráfico vehicular

Sabemos que el volumen de tráfico diario es 214 vehículos al día. De estos, 80% son vehículos livianos y 20% son camiones pesados.

Vehículos livianos: 80% de 214 vehículos diarios = 171 vehículos livianos.

- Factor de equivalencia de ESAL para vehículos livianos = 0.1 ESAL por vehículo.
- Camiones pesados: 20% de 214 vehículos diarios = 43 camiones pesados.
- Factor de equivalencia de ESAL para camiones pesados = 2.5 ESAL por camión.

2. Cálculo de ESAL diario

ESAL de vehículos livianos:

$171 \text{ vehículos livianos} * 0.1 \text{ ESAL} = 17.1 \text{ ESAL diario}$

ESAL de camiones pesados:

$43 \text{ camiones pesados} * 2.5 \text{ ESAL} = 107.5 \text{ ESAL diarios}$

ESAL total diarios:

$$\text{ESAL total diario} = 17.1 + 107.5 = 124.6 \text{ ESAL diarios}$$

3. Cálculo para 20 años:

Ahora, para calcular el ESAL total durante la vida útil de la vía (estimada en 20 años):

$$\text{ESAL total} = 124.6 \text{ ESAL diarios} \times 365 \text{ días/año} \times 20 \text{ años}$$

$$\text{ESAL total} = 124.6 \times 365 \times 20 = 908.990 \text{ ESAL}$$

4. Cálculo de Nrep (número de repeticiones de ejes equivalentes)

El valor de Nrep es igual al ESAL total obtenido:

$$N_{rep} = 908.990 \text{ ESAL}$$

Este valor de Nrep es esencial para determinar el espesor del afirmado. Se usará en la fórmula de diseño del pavimento para calcular el espesor adecuado de la capa de afirmado que soportará la carga durante la vida útil de la vía.

Cálculos actualizados

- Volumen de tráfico diario (VPD) = 214 vehículos diarios.
- ESAL total diario = 124.6 ESAL.
- ESAL total para 20 años = 908,990 ESAL.
- Nrep = 908,990 ESAL.

5. Aplicación de la fórmula para el cálculo del espesor del afirmado

En este paso, utilizaremos la fórmula ajustada para el cálculo del espesor del afirmado:

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} (N_{rep}/120)$$

- e = Espesor de la capa de afirmado en milímetros (mm).
- $\text{CBR} = 12.37\%$ (valor obtenido para el suelo estabilizado con polímero reciclado).

- **Nrep = 908,990 ESAL** (valor calculado anteriormente).
- **k** = Factor de corrección estándar para este tipo de suelos estabilizados, que hemos utilizado como **2.5** en los cálculos previos.

$$e = 224 \text{ mm} = 22.4 \text{ cm}$$

Este valor de espesor 22.4 cm es adecuado para garantizar la estabilidad y resistencia del pavimento, considerando tanto el tráfico esperado como las mejoras introducidas por la estabilización con polímeros reciclados.

Figura 11

Cuadro de ejes equivalentes y espesores (MTC)

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																			
6	200	200	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
> 30 *	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Nota. Obtenido del reglamento MTC

Es fundamental que el espesor calculado (224 mm) se ajuste a las normativas de diseño vial locales e internacionales. Para garantizar la estabilidad estructural y la durabilidad del pavimento durante su vida útil, existen límites mínimos para el espesor del afirmado, incluso si el cálculo muestra un valor inferior.

Algunas normativas relevantes que guían el cálculo y diseño de pavimentos incluyen:

- **AUSTROADS (Australia):** Esta normativa establece criterios de espesor para capas de afirmado en función del CBR de la subrasante y el tráfico vehicular proyectado. Por ejemplo, para un CBR de 12.37% y un volumen de tráfico bajo, el espesor recomendado podría oscilar entre 150 mm y 250 mm, lo que respalda nuestro cálculo de 224 mm como razonable.
- **AASHTO (Estados Unidos):** En esta norma se emplea una fórmula similar para calcular el espesor del afirmado, y los valores de espesor mínimo generalmente varían de 150 mm a 300 mm para condiciones similares.

6. Ajuste Práctico del Espesor del Afirmado

Aunque la fórmula proporciona un valor de 224 mm para el espesor del afirmado, se puede ajustar este valor de acuerdo con las condiciones locales y las características del tráfico. Los ajustes prácticos se pueden basar en:

- **Condiciones de tráfico:** Aunque el cálculo se realizó con un tráfico bajo, en algunas zonas se podrían considerar ajustes por el desgaste adicional que se pueda generar debido a picos de tráfico o la presencia de vehículos más pesados de lo estimado.
- **Normas mínimas:** Es posible que las normativas locales exijan un espesor mínimo para la capa de afirmado, incluso si los cálculos sugieren que se puede utilizar un espesor menor. En general, las vías urbanas y rurales con tráfico moderado a bajo suelen tener un espesor mínimo de 150 mm a 200 mm.

En este caso, si la normativa local o los estudios adicionales sugieren que un espesor de 150 mm es suficiente para las condiciones locales, podemos ajustar el diseño a este valor para optimizar los costos y recursos, manteniendo la seguridad y durabilidad de la infraestructura.

Tabla 15

Comparación de espesores de afirmado

Tipo de Afirmado	Espesor Calculado (mm)	Consideraciones
Afirmado Convencional (Suelo Natural sin estabilizar)	250 mm	Basado en el CBR bajo (generalmente entre 4% y 6%) y el tráfico proyectado.
Afirmado con Suelo Estabilizado con Polímero Reciclado	224 mm	CBR de 12.37% , optimización en el espesor gracias al uso de polímeros reciclados.
Afirmado Final (Ajuste práctico)	150 mm	Ajuste según normativas locales y condiciones de tráfico moderado.

Afirmado Convencional (Suelo Natural):

- El espesor de 250 mm es el valor típico para vías con suelo natural que tiene un CBR bajo (entre 4% y 6%). Este espesor es necesario para garantizar la estabilidad y resistencia del pavimento ante cargas de tráfico.

Afirmado con Suelo Estabilizado con Polímero Reciclado:

- Para el suelo estabilizado con polímero reciclado, el CBR de 12.37% mejora significativamente la capacidad de soporte de la subrasante, lo que permite reducir el espesor del afirmado a 224 mm. Este valor fue calculado a partir del número de repeticiones de ejes equivalentes (Nrep) y el CBR optimizado por el polímero reciclado.

Afirmado Final (Ajuste práctico):

- A pesar de que el cálculo inicial dio un espesor de 224 mm, se ha realizado un ajuste práctico en función de las normativas locales que exigen un espesor mínimo de 150 mm para vías urbanas y rurales con tráfico moderado. Este ajuste reduce los costos y mejora la sostenibilidad del proyecto sin comprometer la resistencia y durabilidad del pavimento.

4.2 Discusión de resultados

En este estudio se investigó el uso de polímeros reciclados en la estabilización de la subrasante de vías urbanas de la provincia de Huancané, con el objetivo de determinar el espesor óptimo del afirmado utilizando materiales reciclados en lugar de los métodos tradicionales de construcción. Los resultados obtenidos reflejan una mejora significativa en las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado con polímeros reciclados, lo que permitió reducir el espesor del afirmado necesario sin comprometer la resistencia ni la durabilidad del pavimento.

Impacto de la Estabilización con Polímeros Reciclados en el CBR de la Subrasante

Uno de los hallazgos más relevantes de este estudio fue el aumento significativo en el valor de CBR después de la estabilización de la subrasante con polímeros reciclados. El CBR inicial de la subrasante antes de la estabilización fue relativamente bajo, alrededor del 4%, lo que indicaba que el suelo no era lo suficientemente fuerte para soportar cargas de tráfico pesadas sin recurrir a un espesor mayor del afirmado (Mousavi et al., 2021).

Este aumento en el CBR es crucial, ya que indica que el suelo ha sido fortalecido de tal manera que puede soportar cargas sin necesidad de utilizar un espesor de afirmado tan grueso como el requerido para suelos no tratados. La estabilización con polímeros reciclados, por tanto, no solo mejora las propiedades mecánicas del suelo, sino que también permite reducir los costos asociados con la construcción de la vía, ya que el espesor del afirmado necesario se reduce considerablemente.

Reducción del Espesor del Afirmado con Polímeros Reciclados

El cálculo inicial del espesor del afirmado basado en el CBR de 12.37% dio como resultado un espesor de afirmado de 224 mm, lo que es considerablemente más bajo que el espesor tradicional de 250 mm utilizado para suelos no tratados. Esta reducción en el espesor es significativa, ya que optimiza el uso de materiales y reduce los costos de

construcción. Sin embargo, este espesor calculado fue ajustado a 150 mm en función de las normativas locales y las condiciones de tráfico moderado. Este ajuste tiene en cuenta la sostenibilidad del proyecto, el costo-beneficio y la resistencia a largo plazo del pavimento (Luan, Ma, et al., 2023).

Es importante señalar que, aunque el cálculo inicial muestra un espesor más grande, la validación de las normas locales y la evaluación del tráfico ayudaron a ajustar el espesor a un valor que sigue siendo adecuado para las condiciones de la vía sin generar un uso excesivo de materiales. Esto refleja la capacidad de la estabilización con polímeros reciclados para lograr un diseño de pavimento eficiente y sostenible, sin comprometer la calidad y la estabilidad de la infraestructura vial.

Análisis de los Resultados de ESAL y Nrep

El cálculo de ESAL y Nrep es un paso crítico para determinar la capacidad de la subrasante para soportar el tráfico durante su vida útil. A partir de los datos de tráfico estimados, se calculó un total de 847,800 ESAL para un período de 20 años. Este valor se utilizó para ajustar los cálculos del espesor del afirmado, asegurando que la vía fuera capaz de soportar las cargas de tráfico sin comprometer la seguridad y la funcionalidad.

La aplicación de estos valores en la fórmula de diseño del pavimento permitió obtener un espesor del afirmado de 224 mm inicialmente, pero, como mencionamos, este valor se ajustó a 150 mm basándose en las condiciones locales de tráfico, lo que demuestra la flexibilidad y la eficiencia de la metodología utilizada. Esta reducción también es una demostración de la efectividad de los polímeros reciclados para mejorar las propiedades del suelo sin recurrir a espesores excesivos (Perez, 2024).

Impacto Ambiental y Económico de la Estabilización con Polímeros Reciclados

Uno de los aspectos más destacables de este estudio es el beneficio ambiental derivado del uso de polímeros reciclados en la estabilización del suelo. Al incorporar

materiales reciclados, la huella de carbono de la construcción vial al minimizar la necesidad de recursos vírgenes como cemento, grava o arena.

Además, al reducir el espesor del afirmado, el proyecto también beneficia la economía del proyecto, ya que se optimizan los costos de materiales y mano de obra. El uso de polímeros reciclados en lugar de materiales convencionales también puede resultar en ahorros significativos en términos de transporte y adquisición de insumos, lo que hace que el proyecto sea más accesible para las comunidades con limitados recursos.

Comparación con Métodos Convencionales

Comparando los resultados obtenidos con el uso de polímeros reciclados con los métodos convencionales de estabilización de suelos, se observa una mejora significativa en la capacidad de carga y una reducción de los costos asociados al diseño y construcción de la vía. Mientras que el suelo natural requeriría un espesor mayor de afirmado (250 mm), la subrasante estabilizada con polímeros reciclados permitió reducir el espesor del afirmado a 150 mm, lo que optimiza el uso de recursos sin comprometer la resistencia estructural del pavimento.

Conclusiones Finales

En conclusión, el estudio demuestra que la estabilización de la subrasante, lo que permite reducir el espesor necesario para la capa de afirmado sin comprometer la resistencia y durabilidad del pavimento. Esta metodología no solo proporciona beneficios técnicos, sino que también es económicamente eficiente y ambientalmente sostenible.

La reducción del espesor del afirmado y el uso de materiales reciclados ofrecen una alternativa viable para la construcción de infraestructuras viales, especialmente en áreas con recursos limitados, como la provincia de Huancané. La implementación de esta tecnología puede ser replicada en otras regiones con condiciones similares, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia de los proyectos de infraestructura vial a nivel global.

CONCLUSIONES

General, se logró evaluar con éxito cómo la incorporación de polímeros reciclados mejora las propiedades de la subrasante, específicamente en términos de su capacidad de soporte (CBR) y su impacto en el diseño del espesor del afirmado. Los resultados obtenidos muestran que la adición de polímeros reciclados incrementa significativamente la capacidad de carga de la subrasante, reduciendo la necesidad de un espesor elevado para la capa de afirmado. Este enfoque contribuye a la optimización de los recursos y es sostenible desde el punto de vista ambiental y económico, lo cual constituye un avance significativo en la construcción de infraestructuras viales más económicas y resilientes.

Primera, los resultados obtenidos en las pruebas de CBR del suelo natural (subrasante) en las vías de la provincia de Huancané mostraron un CBR promedio de 9.01% en los puntos exploratorios. Estos valores indican que el suelo natural tiene una capacidad moderada de soporte, lo cual justifica la necesidad de estabilización para poder soportar el tráfico vehicular sin comprometer la estabilidad estructural de las vías. Este CBR inicial fue útil como base para comparar los resultados de la subrasante estabilizada con polímeros reciclados.

Segunda, se evaluaron tres concentraciones de polímero reciclado: 2%, 3% y 4%, con la correspondiente mejora en la capacidad de soporte (CBR). Para el suelo estabilizado con 2% de polímero reciclado, el CBR aumentó a 11.04%, lo que representa una mejora del 22% en comparación con el suelo natural. Con la adición de 3% de polímero reciclado, el CBR alcanzó 11.84%, lo que reflejó una mejora del 31%. Finalmente, con la adición de 4% de polímero reciclado, el CBR se incrementó a 12.37%, mostrando una mejora del 37% con respecto al suelo natural. Estos resultados indican que la incorporación de polímeros



reciclados mejora la resistencia del suelo y permite reducir el espesor necesario para la capa de afirmado, lo que optimiza el diseño del pavimento y reduce los costos asociados.

Tercera, el espesor del afirmado calculado para el suelo estabilizado con polímero reciclado resultó en 224 mm, basado en los valores de CBR y el número de repeticiones de ejes equivalentes (Nrep). Este valor de espesor se redujo a 150 mm en función de las normativas locales que exigen un espesor mínimo de la capa de afirmado en vías urbanas y rurales con tráfico moderado. El número total de ESAL calculado fue de 908,990 ESAL durante 20 años de vida útil del pavimento, lo que proporcionó la base para determinar el espesor adecuado de la capa de afirmado. El ajuste del espesor final refleja una optimización de los recursos sin comprometer la resistencia estructural del pavimento, lo que también garantiza la sostenibilidad económica del proyecto.

RECOMENDACIONES

Primera, Se recomienda a los siguientes investigadores realizar ensayos adicionales bajo diversas condiciones climáticas y de humedad para evaluar la durabilidad de la subrasante estabilizada. Además, es útil explorar otros tipos de polímeros reciclados para determinar su impacto en la resistencia del suelo y realizar un seguimiento a largo plazo del pavimento estabilizado.

Segunda, Se recomienda a los siguientes investigadores realizar más ensayos de CBR en diferentes puntos geográficos para evaluar la variabilidad del suelo. También se deben incluir pruebas adicionales como la resistencia a la tracción y compresión para obtener una evaluación más completa.

Tercera, Se recomienda a los siguientes investigadores optimizar la dosificación con un barrido 0–3% (pasos de 0.5%) y verificar 4–6% solo si hay mejora; detener si $y_d, \max$ disminuye >3% o el CBR no aumenta; estandarizar el polímero (PET/PEAD lavados, 2–6 mm) y usar mezclado en seco, modelando $\text{CBR} = f(\% \text{ polímero})$ para definir la dosis óptima.

Cuarta, Se recomienda a los siguientes investigadores refinar el diseño del afirmado con ESALs (crecimiento, confiabilidad, estacionalidad) y validar en campo con DCP/FWD/placa; ejecutar tramos piloto y ajustar el catálogo si la respuesta real difiere >10%, manteniendo mínimos normativos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabalar, A. F., Akbulut, N., Demir, S., & Yildiz, O. (2023). Use of a Biopolymer for Road Pavement Subgrade. *Sustainability*, 15(10), 8231. <https://doi.org/10.3390/su15108231>
- Cardoza Cordova, J. A. (2021). Uso de polímeros PET triturados para estabilizar la subrasante del centro poblado de Marcavelica – Piura 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84135>
- Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., Camargo Casallas, E., Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-174. <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Celi Yanchapanta, K. A. (2021). *Estabilización de suelos granulares de subrasante con finos de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE)*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/32376>
- Cruz Rodríguez, D. E., & De la Cruz Coraquiillo, O. J. (2024). Efectos en el uso de polímeros en la subrasante del camino vecinal Nepeña-la Grama-2023. *Repositorio Institucional - UNS*. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4781>
- Cusihuaman Tovar, J. J. (2022). Mejoramiento de las propiedades mecánicas de la subrasante adicionando polímero de polipropileno reciclado, Av. José Carlos Mariátegui—El Agustino 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/147116>
- Flores Cruz, P. D., & Mayta Calci, R. (2022). Mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas incorporando PET y cal en la subrasante de la carretera Unocolla, Puno—2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/98809>



- Guerrero Saavedra, R., & Valladolid Carrasco, C. E. (2021). Mejoramiento de la resistencia del suelo a nivel de subrasante aplicando bolsas de polietileno fundido, sector II Villa Hermosa, Lambayeque. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/86598>
- Guzmán Montenegro, M. J. (2023). *Estabilización de suelos arcillosos adicionando polímeros reciclados para mejoramiento de subrasante en el distrito de Mórrope, 2021*. Universidad Privada Antenor Orrego.
- Lau, Z. C., Bouazza, A., & Gates, W. P. (2022). Water exchange across a subgrade-GCL interface as impacted by polymers and environmental conditions. *Geotextiles and Geomembranes*, 50(1), 40-54. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2021.08.005>
- Laura Aguilar, K. P. (2022). Estabilización de subrasante del suelo natural con adición de polímeros, en camino vecinal Maras—Moray, Cusco, 2021. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12490>
- León Burga, J., & Marín Vásquez, D. J. C. (2021). Evaluar el uso de polímeros reciclados para el mejoramiento de vías no pavimentadas del distrito de José Leonardo Ortiz—Chiclayo—2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/69544>
- Luan, Y., Lu, W., & Fu, K. (2023). Research on Resilient Modulus Prediction Model and Equivalence Analysis for Polymer Reinforced Subgrade Soil under Dry–Wet Cycle. *Polymers*, 15(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/polym15204187>
- Luan, Y., Ma, X., Ma, Y., Liu, X., Jiang, S., & Zhang, J. (2023). Research on strength improvement and stabilization mechanism of organic polymer stabilizer for clay soil of subgrade. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02397. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02397>
- Maquera Aro, A. (2023). *Evaluación de las propiedades de la subrasante de la carretera Accaso – Huayllata, aplicando polímero adhesivo natural, Puno 2022*. Universidad César Vallejo.

- Marmanillo Mamani, D. G., & Villegas Aguilar, M. F. (2020). Elaboración de polímeros sintéticos con botellas plásticas para la estabilización de subrasante en suelos arcillosos calle Fortaleza Los Olivos 2020. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58885>
- Martinez Machado, M. M. (2020). Mejoramiento de la subrasante mediante la adición del Polímero Polycom, en la Av. Unión de Manchay. Lima -2019. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65430>
- Mousavi, F., Avatefi Hemmat, M., Abdi, E., & Norouzi, A. (2021). The effect of polymer materials on the stabilization of forest road subgrade. *International Journal of Forest Engineering*, 32(3), 235-245. <https://doi.org/10.1080/14942119.2021.1919967>
- Mousavi, F., Avatefi Hemmat, Mohammad, Abdi, Ehsan, & and Norouzi, A. (2021). The effect of polymer materials on the stabilization of forest road subgrade. *International Journal of Forest Engineering*, 32(3), 235-245. <https://doi.org/10.1080/14942119.2021.1919967>
- Ñaupá, P., & Katherin, C. (2020). *Aprovechamiento y estabilización de residuos peligrosos de relaves mineros para la fabricación de nuevos materiales de construcción mediante la aplicación de tecnología geopolimérica*. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/ed0516b9-1727-4bbd-8777-329e9c2f5fae>
- Ojeda, D. P. C. (2020). *Universo, población y muestra*.
- Perez Quintano, M. E. (2024, mayo 14). *Efectividad técnica-económica de polímeros reciclados (PET) en el módulo de soporte de la subrasante en suelos arcillosos en ventanilla – Callao*. Universidad Peruana Los Andes. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/7402?locale-attribute=es>
- Ramos Galarza, C. A. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 9(3), 1-6. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7746475>
- Reyes, E. (2022). *Metodología de la Investigación Científica*. Page Publishing Inc.



- Roncal Reyes, A. D., & Rodriguez Perez, J. F. (2022). *Aplicación del estabilizador Z con polímeros a nivel de subrasante en el sector de Yurac Yacu – Cruz Colorada 2022*. Universidad César Vallejo.
- Saberian, M., Perera, S. T. A. M., Zhu, J., Roychand, R., Li, J., & Wang, G. (2024). Enhancing the Mechanical and Microstructural Properties of Low Expansive Clay Subgrade with Vinyl Acetate-Ethylene Polymer Incorporation. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 36(7), 04024161. <https://doi.org/10.1061/JMCEE7.MTENG-17049>
- Sauñe Ingaroca, J. L. (2025). Estabilización de suelos arcillosos mediante la incorporación de polímeros polycom a nivel de la subrasante. *Universidad Peruana Los Andes*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/9059>
- Vega, S. A. D. L. C., & Cahuana, G. A. P. (2021). Diseño de infraestructura vial con pavimento flexible para mejora de transitabilidad de la avenida Industrial, Lurín, Lima. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, 21, Article 21. <https://doi.org/10.36561/ING.21.9>
- Wang, H., Guo, C., Wang, S., Chu, X., Zhang, J., Wang, C., Yue, L., & Wang, F. (2024). Insights into the thermal insulation capability of a new polyurethane polymer subgrade material: An in-situ field test on the Qinghai–Tibet highway. *Transportation Geotechnics*, 46, 101240. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2024.101240>
- Yue, J., Zhang, H., Zhang, Y., & Xu, S. (2024). Experimental investigation of influence of amide polymer on loess for subgrade. *Scientific Reports*, 14(1), 12229. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62503-3>
- Zapana Bustincio, R. A. (2022). Estabilización de suelos arcillosos con polímeros reciclados a nivel de la subrasante de la carretera que une el C.P. de Santa María con la av. Circunvalación del distrito de San Miguel—San Román—Puno. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12316>



Zhang, X., Cui, X., Ding, L., Luan, J., Wang, Y., Jiang, P., & Hao, J. (2023). Effects of a novel hybrid polymer material on the hydro-mechanical behavior of subgrade silts considering freeze-thaw cycles. *Cold Regions Science and Technology*, 205, 103698. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2022.103698>



ANEXOS



Anexo. Matriz de Consistencia

TITULO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025"				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
Problema General: ¿Cuál es la influencia de la incorporación de polímero reciclado sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías en la provincia de Huancané 2025?	Objetivo General: Evaluar la influencia de la incorporación de polímero reciclado sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías en la provincia de Huancané 2025.	Hipótesis General: La influencia de la incorporación de polímero reciclado sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías en la provincia de Huancané 2025, fue positiva.	Variable independiente <i>POLÍMERO RECICLADO</i> Dimensión: Proporciones de adición de polímero reciclado 2%, 3% y 4% Variable dependiente <i>CAPACIDAD RELATIVA DE SOPORTE DEL SUELO DE SUBRASANTE</i> Dimensión: CBR Variable dependiente <i>ESPESOR DE AFIRMADO</i> Dimensión: CBR IMDA	Fichas y Herramientas de Laboratorio Equipos de ensayo CBR y herramientas de laboratorio para caracterización de suelos.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		
¿Cuál es la capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante y el afirmado existente en vías en la provincia de Huancané? ¿Cuál es la influencia de la adición de polímero reciclado en proporciones variables sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante en vías en la provincia de Huancané? ¿Cuál es el espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales en vías en la provincia de Huancané?	Determinar la capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante y el afirmado existente en vías en la provincia de Huancané. Evaluar la influencia de la adición de polímero reciclado en proporciones variables sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante en vías en la provincia de Huancané. Determinar el espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales en vías en la provincia de Huancané	La capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante y el afirmado existente en vías en la provincia de Huancané, estará por debajo de las especificaciones mínimas de calidad, requiriendo estabilización. La influencia de la adición de polímero reciclado en proporciones variables mejorará la capacidad relativa de soporte de la subrasante en vías en la provincia de Huancané. El espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales en vías en la provincia de Huancané, estará por debajo 15 cm que es lo recomendado.		

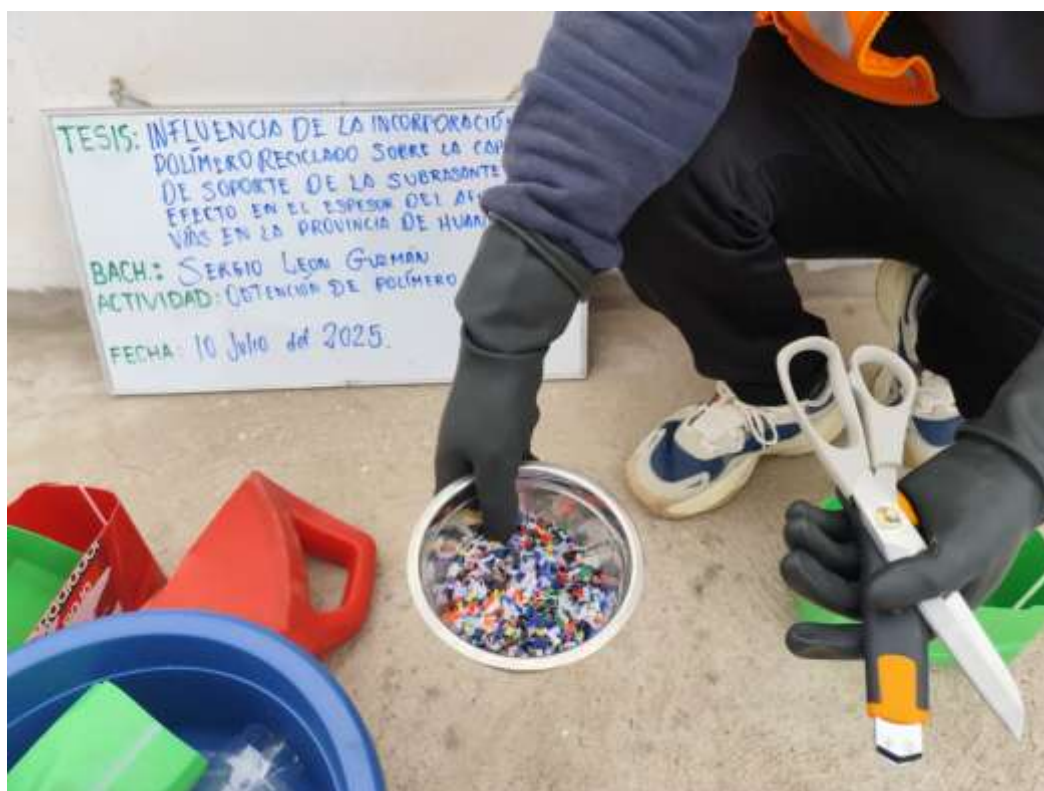
Anexo 2. Panel fotográfico



Fotografía 1. Material reciclado de plástico para el estudio



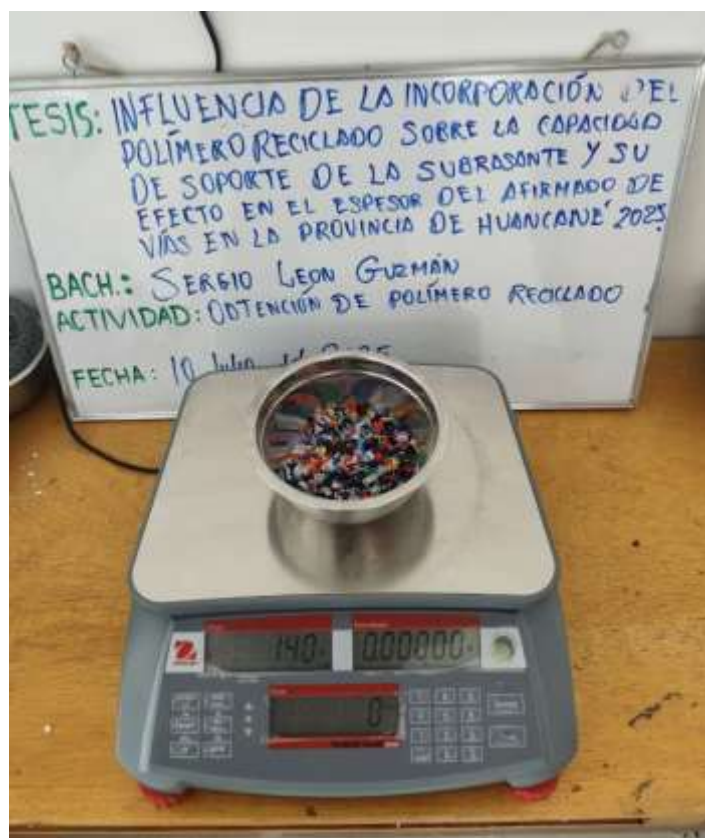
Fotografía 2. Limpieza y preparación de los plásticos



Fotografía 3. Corte de plásticos reciclados en tamaños especificados.



Fotografía 4. Polímeros (plásticos reciclados) en cortes pequeños de 5 mm x 2 mm.



Fotografía 5. Pesaje de los polímeros reciclados cortados.



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO

SOLICITANTE

LUGAR

PROGRESIVA

MUESTRA

FECHA

"INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANE 2025"

Bach. SERGIO LEON GUZMAN

PROVINCIA DE HUANCANE

KM 0+500

CALICATA 1 - MUESTRA 1

15 DE JULIO DEL 2025

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	93.78
SUELO SECO + TARRO	gr	80.61
PESO DEL TARRO	gr	25.42
PESO DEL AGUA	gr	13.17
PESO DEL SUELO SECO	gr	55.19
HUMEDAD %	%	23.22

LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	31.79	30.29	30.54
SUELO SECO + TARRO	gr	29.26	28.74	28.09
PESO DEL TARRO	gr	21.55	22.86	21.41
PESO DEL AGUA	gr	2.53	1.55	2.45
PESO DEL SUELO SECO	gr	7.71	5.88	6.68
HUMEDAD %	%	35.42	31.37	36.68
N° DE GOLPES		31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
18.74	18.75
17.08	17.22
8.33	8.67
1.66	1.53
8.75	8.55
18.97	19.78

LÍMITE LÍQUIDO % : 34.42

LÍMITE PLÁSTICO % : 19.49

ÍNDICE PLÁSTICO % : 14.93

$$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$$

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
M.S.C.A. JEFATURA
Dr. Arnulfo Yana Torres
CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO
SOLICITANTE
LUGAR
PROGRESIVA
MUESTRA
FECHA

INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025

Baúl SERGIO LEÓN GUZMÁN
PROVINCIA DE HUANCANÉ
KM 2+800
CALICATA 2 - MUESTRA 2
15 DE JULIO DEL 2025

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	95.49
SUELO SECO + TARRO	gr	82.22
PESO DEL TARRO	gr	25.35
PESO DEL AGUA	gr	13.27
PESO DEL SUELO SECO	gr	56.87
HUMEDAD %	%	22.10

LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	32.55	32.10	31.75
SUELO SECO + TARRO	gr	29.95	29.75	29.36
PESO DEL TARRO	gr	21.32	22.09	21.45
PESO DEL AGUA	gr	2.60	2.35	2.39
PESO DEL SUELO SECO	gr	8.63	7.66	7.91
HUMEDAD %	%	34.76	34.79	31.78
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
19.12	18.75
17.41	17.29
8.15	8.96
1.71	1.46
9.26	8.33
18.21	17.44

LÍMITE LÍQUIDO % : 33.78

LÍMITE PLÁSTICO % : 17.83

ÍNDICE DE PLASTICIDAD % : 15.95

$$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$$

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
M.S.C.A. JEFATURA
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP: 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO

INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANE 2025

SOLICITANTE

Beck: SERGIO LEON GUZMAN

LUGAR

PROVINCIA DE HUANCANE

PROGRESIVA

KM 4+500

MUESTRA

CALICATA 3 - MUESTRA 3

FECHA

15 DE JULIO DEL 2025

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	96.76
SUELO SECO + TARRO	gr	83.43
PESO DEL TARRO	gr	25.25
PESO DEL AGUA	gr	13.33
PESO DEL SUELO SECO	gr	58.18
HUMEDAD %	%	24.19

LÍMITE LIQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LIQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	33.00	33.45	33.04
SUELO SECO + TARRO	gr	30.12	30.65	30.32
PESO DEL TARRO	gr	21.87	22.58	21.79
PESO DEL AGUA	gr	2.88	2.80	2.72
PESO DEL SUELO SECO	gr	8.25	8.07	8.53
HUMEDAD %	%	34.91	33.87	32.45
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
19.41	20.55
18.02	18.79
8.63	8.95
1.39	1.76
9.39	9.84
18.87	19.23

LÍMITE LIQUIDO % : 33.74

LÍMITE PLÁSTICO % : 19.05

ÍNDICE PLÁSTICO % : 14.69

$$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$$

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP: 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMAO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANE 2025

SOLICITANTE : Bach. SERGIO LEON GUZMAN

LUGAR : PROVINCIA DE HUANCANE

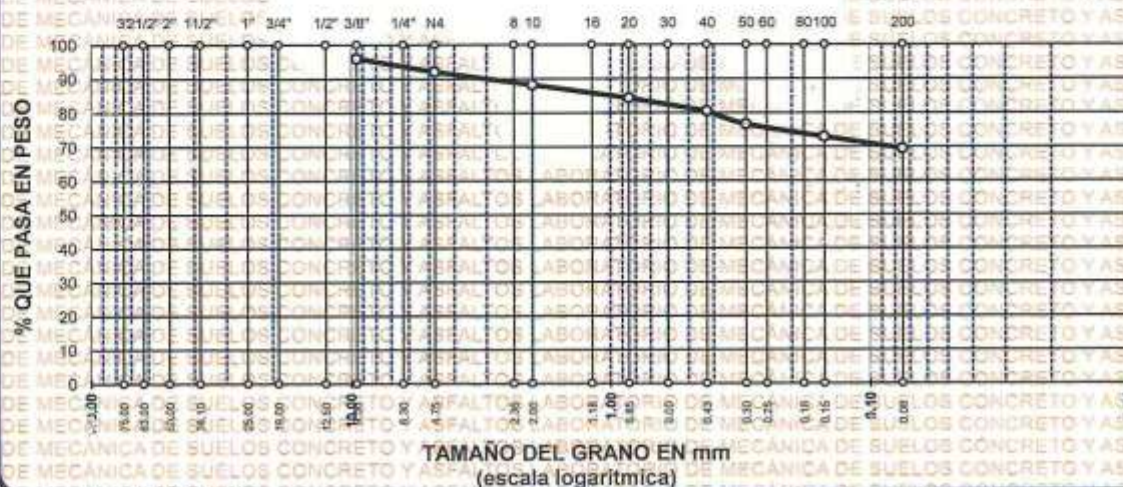
PROGRESIVA : KM 0+500

MUESTRA : GALICATA 1 - MUESTRA 1

FECHA : 15 DE JULIO DEL 2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 2500.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 762.95
2"	50.000						P.P.= 1737.05
1 1/2"	38.100						%w= 23.22
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 34.42
1/2"	12.500						L.P.= 19.48
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		I.P.= 14.93
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	97.35	3.89	7.89	92.11		D10= --- Cu= ---
No8	2.360						D30= --- Cc= ---
No10	2.000	96.95	3.88	11.77	88.23		D60= ---
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850	96.75	3.87	15.64	84.36		I.G. = :
No30	0.600						SUCS : CH
No40	0.425	96.35	3.85	19.50	80.50		ASSTHO : A-7
No50	0.300	96.35	3.85	23.35	76.65		OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	91.65	3.67	27.02	72.98		
No200	0.075	87.55	3.50	30.52	69.48		
BASE		1737.05	69.48	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		69.48					

CURVA GRANULOMÉTRICA



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMACO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANE 2025

SOLICITANTE : Bach. SERGIO LEON GUZMÁN

LUGAR : PROVINCIA DE HUANCANE

PROGRESIVA : KM 2+500

MUESTRA : CALICATA 2 - MUESTRA 2

FECHA : 15 DE JULIO DEL 2025

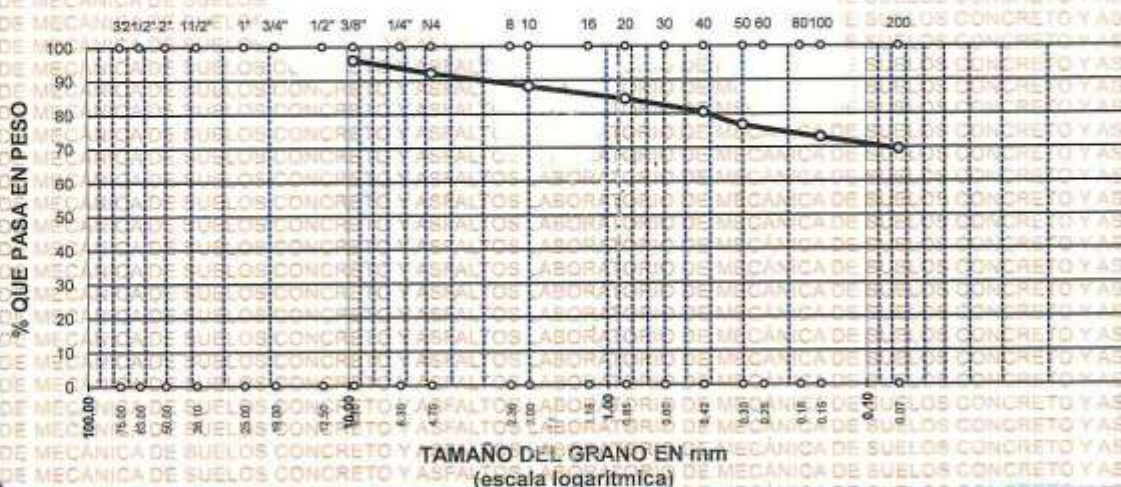
TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 2500.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 762.55
2"	50.000						P.P.= 1737.45
1 1/2"	38.100						% W = 23.22
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 34.42
1/2"	12.500						L.P.= 19.49
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		I.P.= 14.93
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	97.05	3.88	7.88	92.12		D10= --- Cu= ---
No8	2.360						D30= --- Cc= ---
No10	2.000	96.55	3.86	11.74	88.26		
No16	1.180						
No20	0.850	96.35	3.85	15.60	84.40		
No30	0.600						
No40	0.425	96.95	3.88	19.48	80.52		
No 50	0.300	96.95	3.88	23.35	76.65		
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	91.35	3.65	27.01	72.99		
No200	0.075	87.35	3.49	30.50	69.50		
BASE		1737.45	69.50	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		69.50					

CLASIFICACIÓN:
I.G. =

SUCS : CH
ASSTHO : A-7

OBSERVACIONES:

CURVA GRANULOMÉTRICA



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CARR. INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIB 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025

SOLICITANTE : Bach. SERGIO LEON GUZMAN

LUGAR : PROVINCIA DE HUANCANE

PROGRESIVA : KM 4+500

MUESTRA : CALICATA 3 - MUESTRA 3

FECHA : 16 DE JULIO DEL 2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 2500.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 761.85
2"	50.000						P.P.= 1738.15
1 1/2"	38.100						%W= 23.22
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						LL= 34.42
1/2"	12.500						LP= 19.49
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		LP= 14.93
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	97.25	3.89	7.89	92.11		D10= — Cu= —
No8	2.360						D30= — Cc= —
No10	2.000	98.75	3.87	11.76	88.24		
No16	1.180						
No20	0.850	98.55	3.85	15.62	84.38		
No30	0.600						
No40	0.425	96.15	3.85	19.47	80.53		
No 50	0.300	96.15	3.85	23.31	76.69		
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	91.55	3.66	26.98	73.02		
No200	0.075	87.45	3.50	30.47	69.53		
BASE		1738.15	69.53	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		69.53					

CLASIFICACIÓN:

I.G. =

SUCS : CH
ASSTHO : A-7

OBSERVACIONES:

CURVA GRANULOMÉTRICA



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP-103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMACIÓN DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025
SOLICITANTE	Bach. SERGIO LEON GUZMAN
UBICACIÓN	HUANCANÉ
PROGRESIVA	KM 0+500
MUESTRA	CALICATA 1 - MUESTRA 1
FECHA	20 DE JULIO DEL 2025

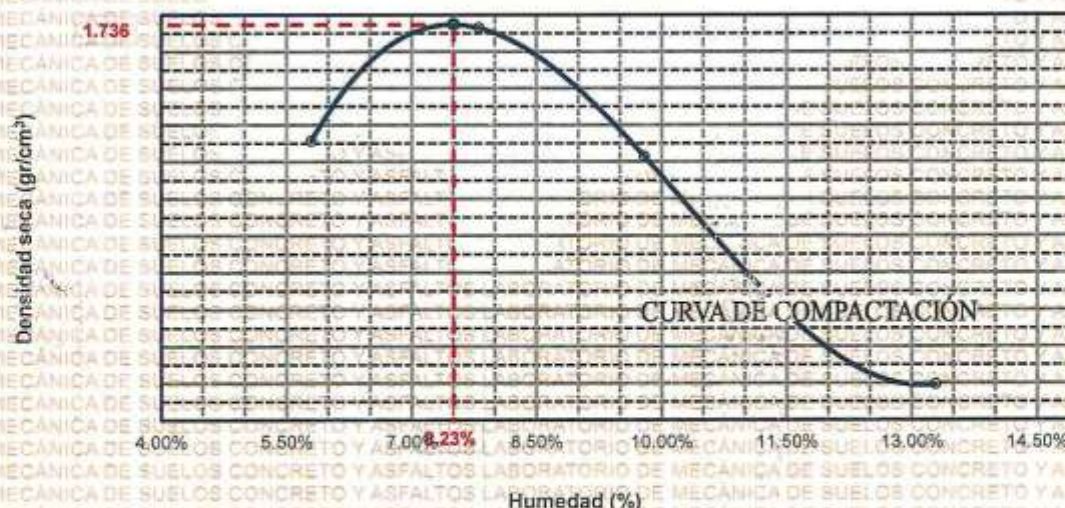
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2105 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9874	10088	10002	9836
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	3900	4114	4028	3862
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1.853	1.954	1.914	1.835

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	423.88	412.88	441.88	421.36	433.25	412.36	409.67	398.34
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.74	384.25	416.74	393.42	401.25	380.74	380.33	359.49
Peso del Agua	gr.	20.14	18.63	25.14	27.94	32.00	31.62	49.34	28.85
Peso de la Capsula	gr.	64.96	64.36	63.96	64.36	66.78	65.36	65.55	66.47
Peso del Suelo Seco	gr.	338.78	325.89	352.78	329.06	334.47	315.38	284.78	293.02
% de Humedad	%	5.94%	5.65%	7.13%	8.49%	9.57%	10.03%	16.74%	9.85%
Promedio de Humedad	%	5.80%		7.81%		9.80%		13.29%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.751		1.813		1.743		1.619	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.736 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	8.23%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAR. INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025
SOLICITANTE	Bach. SERGIO LEON GUZMAN
UBICACIÓN	HUANCANÉ
PROGRESIVA	KM 2+500
MUESTRA	CALICATA 2 - MUESTRA 2
FECHA	20 DE JULIO DEL 2025

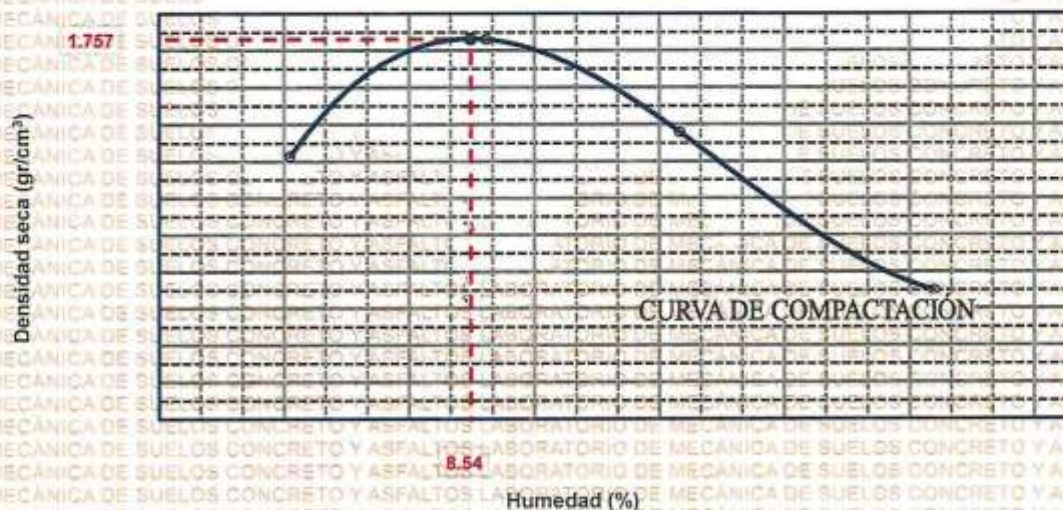
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2105 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9847	10077	10049	9957
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	3873	4103	4075	3983
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.840	1.949	1.936	1.892

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	425.46	412.52	441.73	421.82	434.35	412.63	411.89	390.67
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	405.12	395.43	416.71	392.87	399.81	380.65	361.41	362.35
Peso del Agua	gr.	20.34	17.09	25.02	28.75	34.54	31.98	50.48	28.32
Peso de la Capsula	gr.	64.87	64.79	63.77	64.77	65.25	65.45	65.65	65.37
Peso del Suelo Seco	gr.	340.25	330.64	352.94	328.10	333.56	315.20	295.76	296.98
% de Humedad	%	5.98%	5.17%	7.09%	8.78%	10.35%	10.15%	17.07%	9.54%
Promedio de Humedad	%	5.57%		7.93%		10.25%		13.30%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.743		1.806		1.756		1.670	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.757 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	8.54%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP 103257



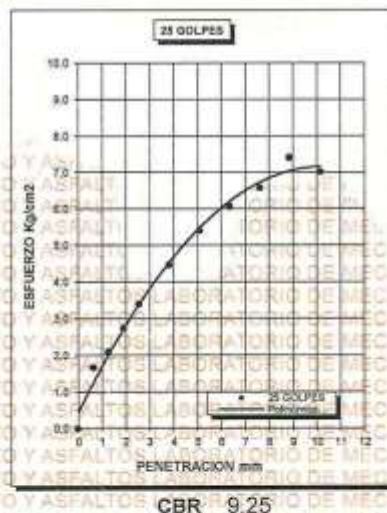
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



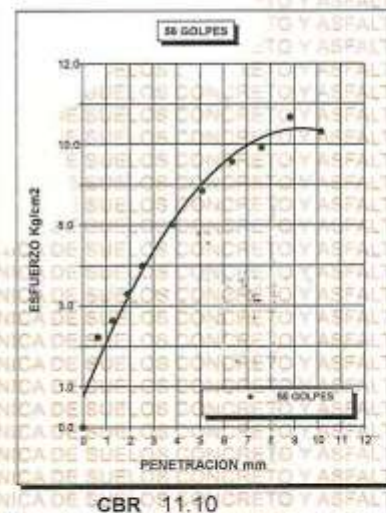
PROYECTO : INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANE 2025		METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO : Bach. SERGIO LEON GUZMAN		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.736
UBICACIÓN : HUANCANE		HUMEDAD OPTIMA (%)	8.23%
PROGRESIVA : KM 0+500		CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	11.10
MUESTRA : SUELO NATURAL - CALICATA - M1		CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	9.25
FECHA : 20 DE JULIO DEL 2025		CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



CBR 3.87



CBR 9.25



CBR 11.10



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP 103257

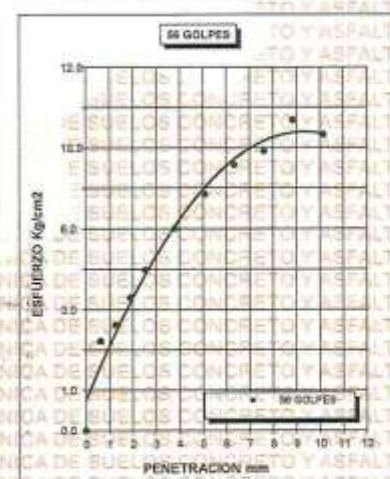
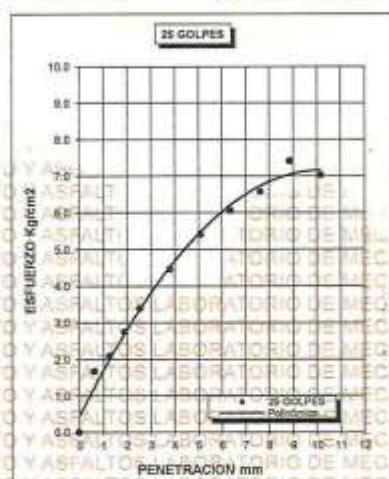
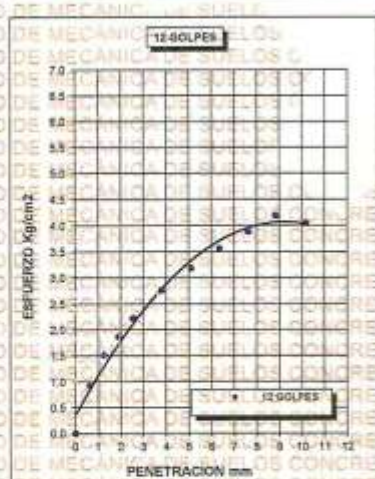
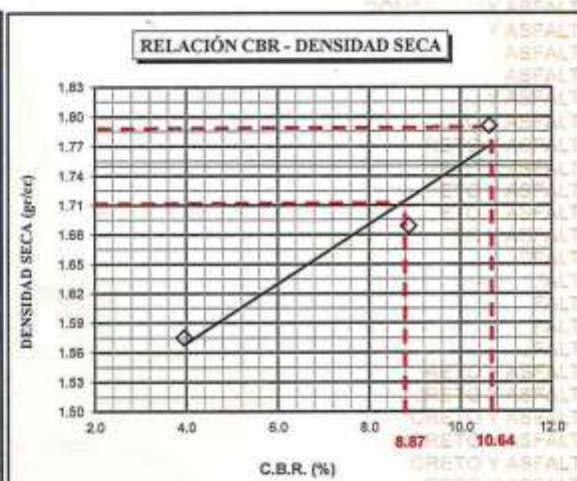
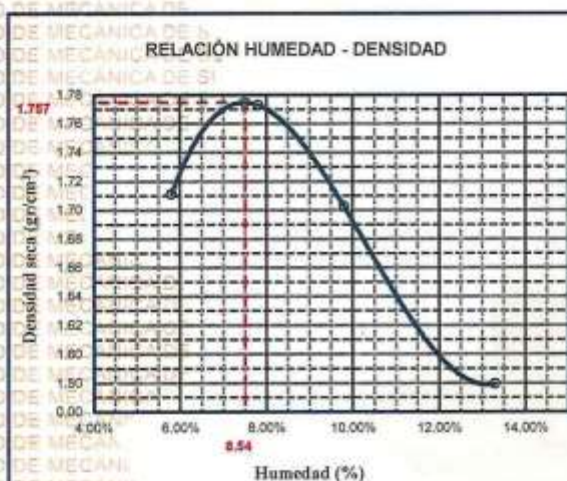
BIE: B004-00025628



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : "INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANE 2025"		METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO : Bach. SERGIO LEON GUZMAN		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	1.757
UBICACIÓN : HUANCANE		HUMEDAD OPTIMA (%)	8.54%
PROGRESIVA : KM 2+500		CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	10.64
MUESTRA : SUELO NATURAL - CALICATA - M2		CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	8.87
FECHA : 20 DE JULIO DEL 2025		CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



CBR 3.96

CBR 8.87

CBR 10.64



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANE 2025		
SOLICITANTE	Bach. SERGIO LEON GUZMAN		
UBICACIÓN	HUANCANE		
PROGRESIVA	KM 4+500		
MUESTRA	CALICATA 3 - MUESTRA 3		
FECHA	20 DE JULIO DEL 2025		

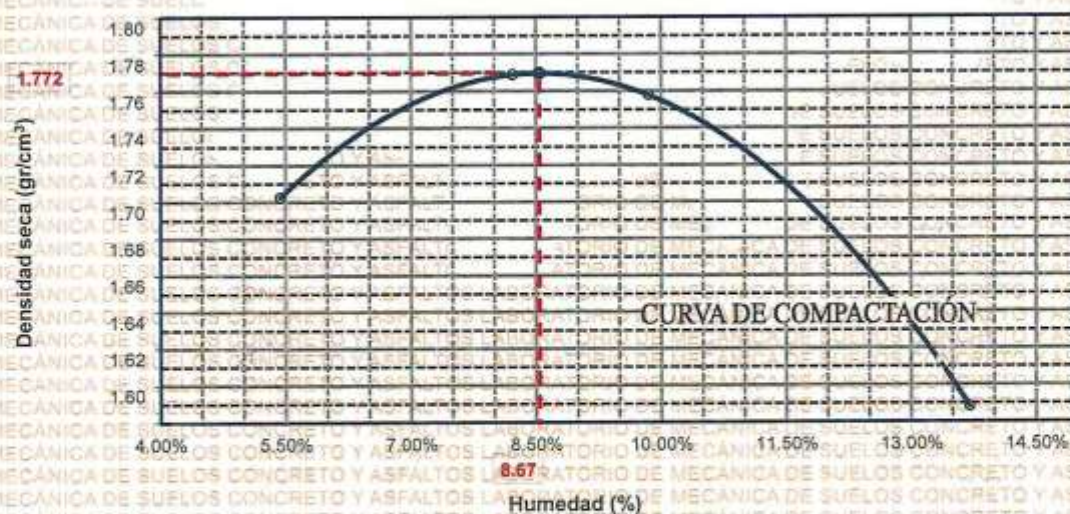
MOLDE No.	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2105 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9797	10049	10085	9823
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	3823	4075	4111	3849
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1.816	1.936	1.953	1.829

Capsula No.	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	420.76	409.56	438.12	418.99	430.26	409.28	405.96	395.76
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	402.24	391.95	413.65	388.35	398.79	377.35	355.49	355.60
Peso del Agua	gr.	18.52	17.61	24.47	30.63	31.47	31.93	50.47	29.15
Peso de la Capsula	gr.	64.85	64.74	63.35	64.45	65.25	65.65	65.74	65.52
Peso del Suelo Seco	gr.	337.39	327.21	350.30	323.90	332.54	311.70	290.75	290.08
% de Humedad	%	5.49%	5.38%	6.99%	9.46%	9.46%	10.24%	17.36%	10.05%
Promedio de Humedad	%	5.44%		8.22%		9.85%		13.71%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.723		1.789		1.778		1.608	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.772 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	8.67%

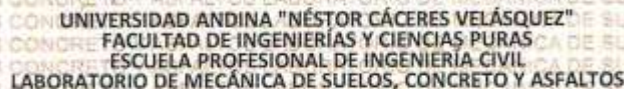
RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



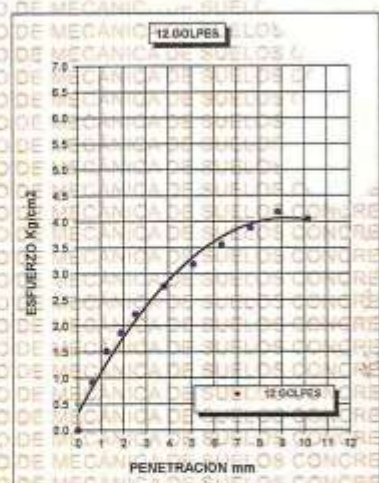
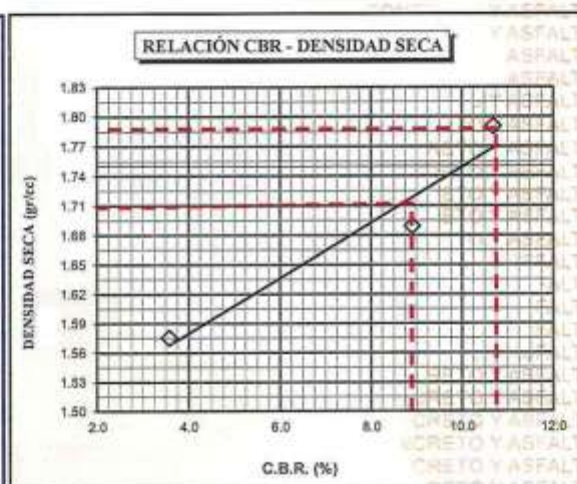
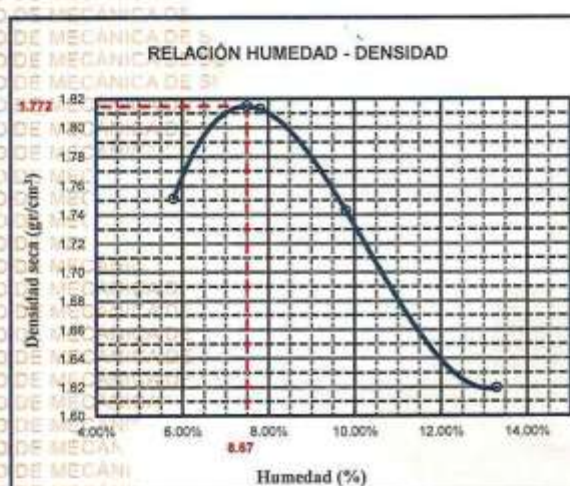
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnoldo Yana Torres
CIP 103257



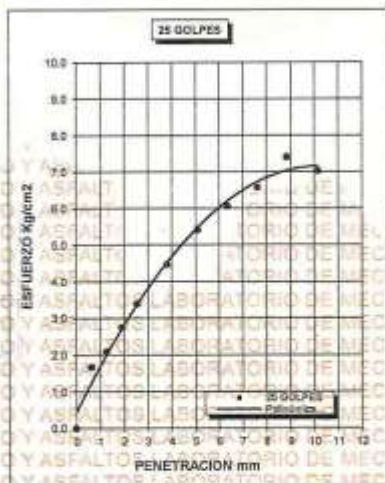
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"



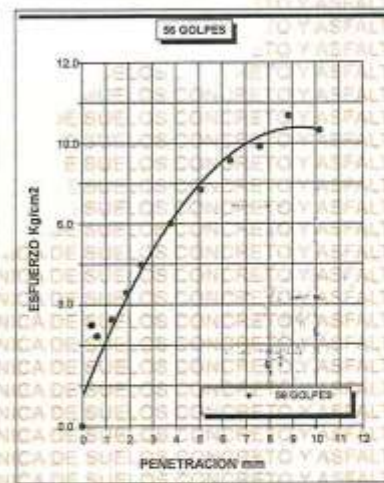
PROYECTO :	"INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANE 2025"	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. SERGIO LEON GUZMAN	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.) 1.772
UBICACIÓN :	HUANCANE	HUMEDAD OPTIMA (%) 8.67%
PROGRESIVA :	KM 4+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 10.69
MUESTRA :	SUELO NATURAL - CALICATA - M3	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 8.91
FECHA :	20 DE JULIO DEL 2025	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



CBR 3.58



CBR 8.9



CBR 10.69



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOS RIOS
FICP - CARRERA INGENIERIA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025
SOLICITANTE	: Bach. SERGIO LEON GUZMAN
UBICACIÓN	: HUANCANÉ
PROGRESIVA	: KM 0+500
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 2% DE POLÍMERO RECICLADO
FECHA	: 20 DE JULIO DEL 2025

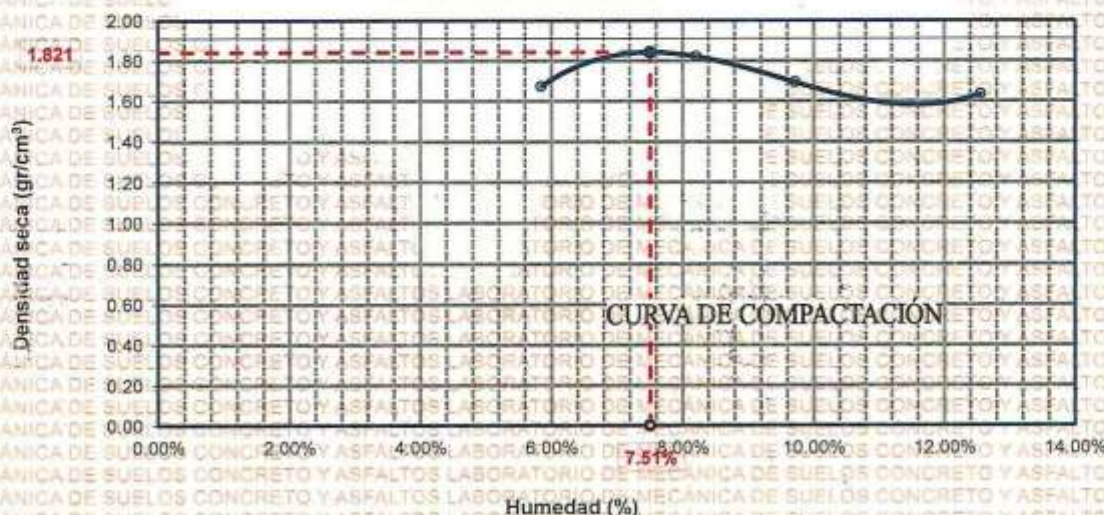
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2115 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9898	10545	10341	9874
Peso del Molde	gr.	5980	5980	5980	5980
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	3918	4565	4361	3894
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.852	2.158	2.062	1.841

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	423.75	415.76	442.22	422.85	432.45	415.75	412.67	389.66
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.02	397.16	412.12	396.88	400.21	384.52	367.25	360.15
Peso del Agua	gr.	20.73	18.60	30.10	25.97	32.24	31.23	45.42	29.71
Peso de la Capsula	gr.	62.98	64.78	63.10	64.20	65.36	65.25	64.87	65.85
Peso del Suelo Seco	gr.	340.04	332.38	349.02	332.68	334.85	318.27	302.38	294.30
% de Humedad	%	6.10%	5.60%	8.62%	7.81%	9.63%	9.81%	15.02%	10.10%
Promedio de Humedad	%	5.85%	8.22%	9.72%	12.56%				
Densidad del Suelo Seco	%	1.674	1.821	1.694	1.636				

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.821 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 7.51%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



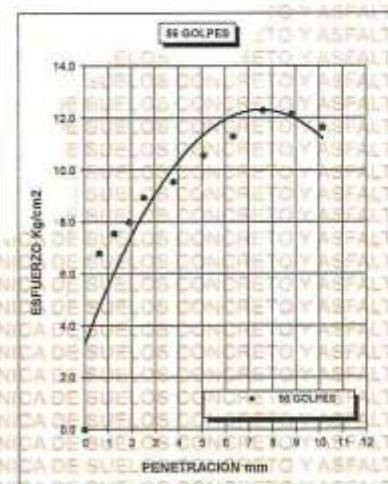
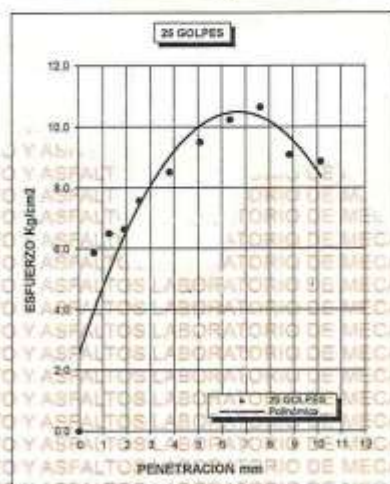
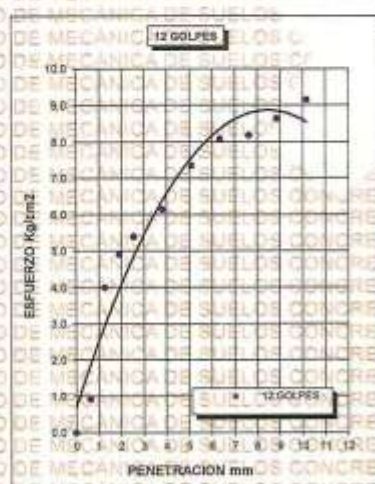
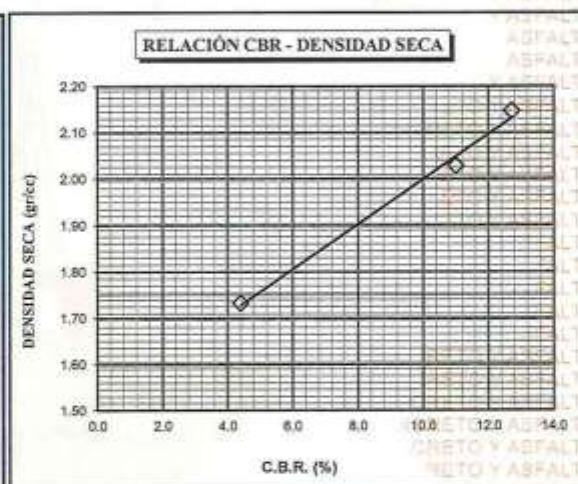
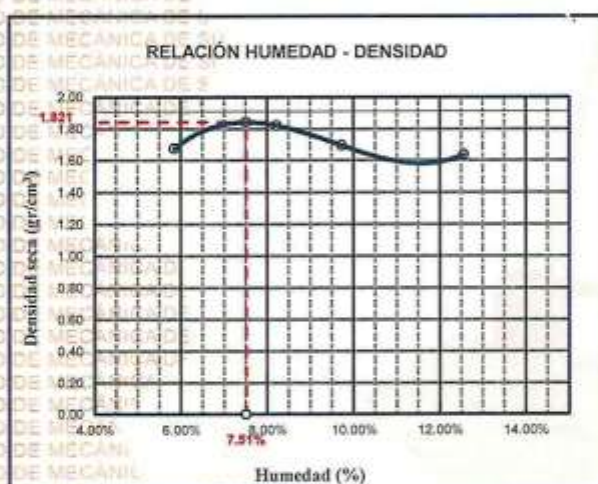
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP: 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : "INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANE - 2025"		METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO : Bach. SERGIO LEON GUZMAN		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.821
UBICACIÓN : HUANCANE		HUMEDAD OPTIMA (%)	7.51%
PROGRESIVA : KM 0+500		CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	12.72
MUESTRA : CALICATA - M1 + 2% DE POLÍMERO RECICLADO		CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	11.01
FECHA : 20 DE JULIO DEL 2025		CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



CBR 4.42

CBR 11.01

CBR 12.72



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP: 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS : INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMACIÓN DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025

SOLICITANTE : Bach. SERGIO LEÓN GUZMÁN

UBICACIÓN : HUANCANÉ

PROGRESIVA : KM 2+500

MUESTRA : CALICATA 2 - MUESTRA 2 + 3% DE POLÍMERO RECICLADO

FECHA : 08 DE JULIO DEL 2024

MOLDE No : 1 VOLUMEN DEL MOLDE : 2115 cm³

No DE CAPAS : 5 GOLPES POR CAPA : 56 golpes

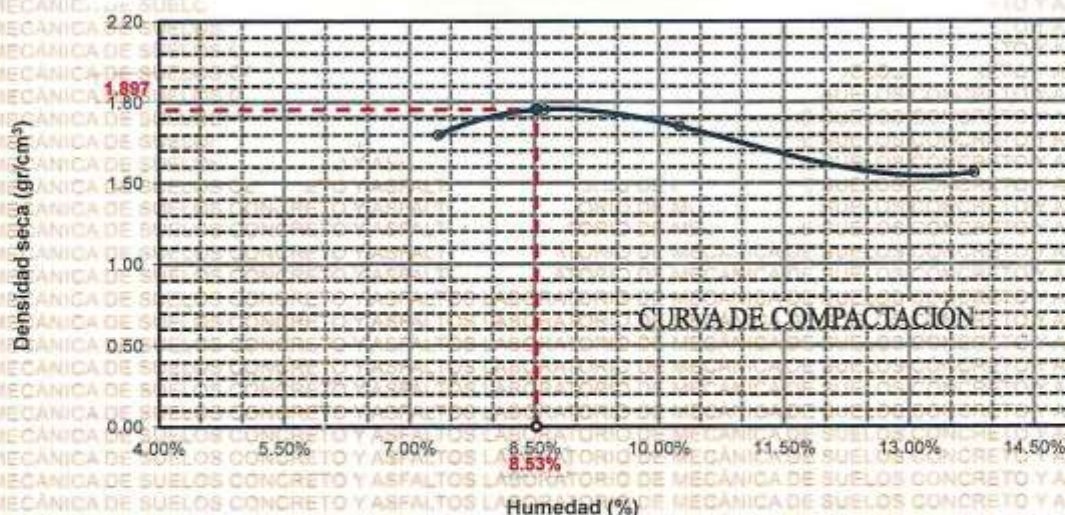
Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10056	10465	10289	9741
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	4082	4491	4315	3767
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.930	2.123	2.040	1.781

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	420.89	410.95	445.88	420.42	432.74	415.85	405.85	390.75
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	395.21	388.25	415.26	392.21	390.64	382.32	354.12	352.12
Peso del Agua	gr.	25.68	22.70	30.62	28.21	33.10	33.53	51.73	28.63
Peso de la Capsula	gr.	62.25	63.21	62.25	63.10	66.12	65.21	65.52	65.21
Peso del Suelo Seco	gr.	332.96	325.04	353.01	329.11	333.52	317.11	288.60	296.91
% de Humedad	%	7.71%	6.98%	8.67%	8.57%	9.92%	10.57%	17.92%	9.84%
Promedio de Humedad	%	7.35%	8.62%	10.25%	13.78%				
Densidad del Suelo Seco	%	1.798	1.955	1.851	1.565				

METODO: ASTM D - 1557 MAXIMA DENSIDAD SECA : 1.897 gr/cm³

MODIFICADO "C" HUMEDAD OPTIMA : 8.53%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



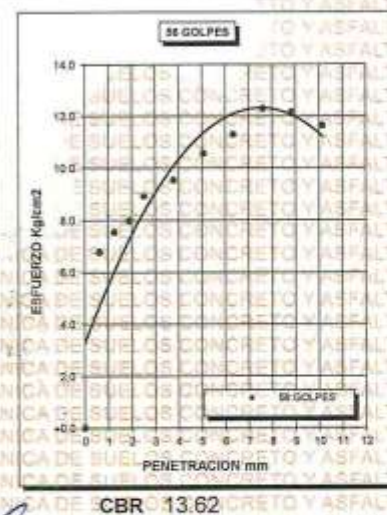
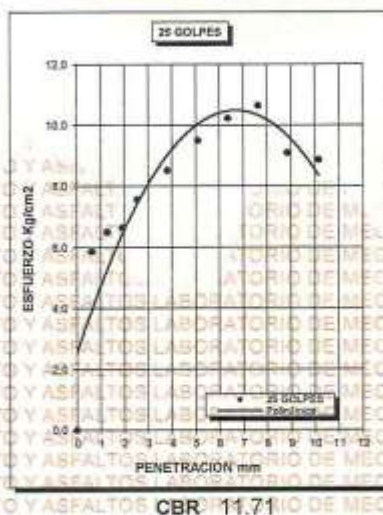
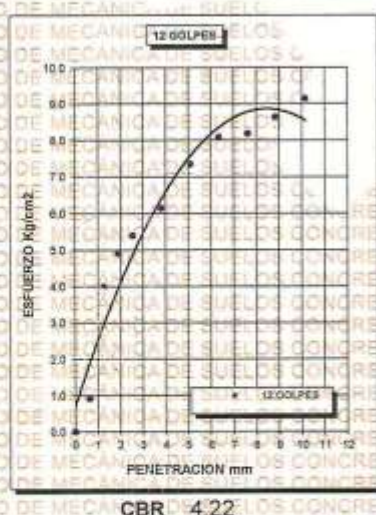
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP: 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



"INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANE 2025"		MÉTODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
PROYECTO :		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.897
SOLICITADO : Bach. SERGIO LEON GUZMAN		HUMEDAD OPTIMA (%)	8.53%
UBICACIÓN : HUANCANE		CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	13.62
PROGRESIVA : KM 2+500		CBR AL 95 DE M.D.S. (%)	11.79
MUESTRA : CALICATA - M2 + 3% DE POLIMERO RECICLADO		CLASIFICACIÓN :	CL
FECHA : 20 DE JULIO DEL 2025		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - C.A. INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMACIÓN DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025
SOLICITANTE	Bach. SERGIO LEON GUZMAN
UBICACIÓN	HUANCANÉ
PROGRESIVA	KM 4+500
MUESTRA	CALICATA 3 - MUESTRA 3 + 4% DE POLÍMERO RECICLADO
FECHA	20 DE JULIO DEL 2025

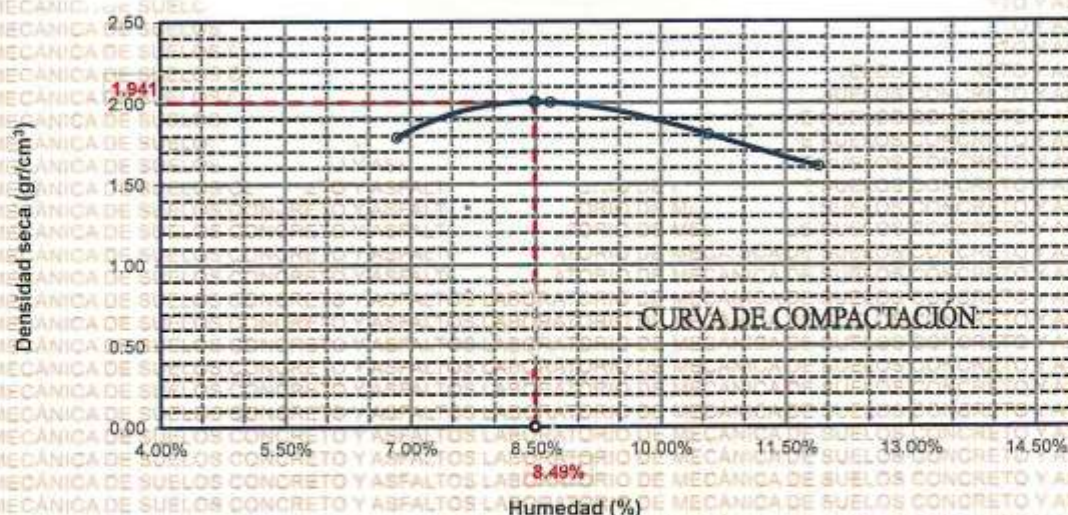
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2115 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10035	10598	10215	9802
Peso del Molde	gr.	5993	5993	5993	5993
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	4042	4605	4222	3809
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.911	2.177	1.996	1.801

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	425.89	415.89	438.78	420.98	425.85	416.78	406.58	392.72
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.65	392.42	413.45	388.21	392.45	382.25	363.12	365.32
Peso del Agua	gr.	22.24	23.47	25.33	32.77	33.40	34.53	43.46	27.40
Peso de la Capsula	gr.	62.45	64.85	63.58	64.52	65.36	66.69	65.87	68.74
Peso del Suelo Seco	gr.	341.20	327.77	349.87	323.69	327.09	315.56	297.25	296.58
% de Humedad	%	6.52%	7.18%	7.24%	10.12%	10.21%	10.94%	14.62%	9.18%
Promedio de Humedad	%	6.84%		8.68%		10.58%		11.90%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.789		2.003		1.805		1.609	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.941 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	8.49%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



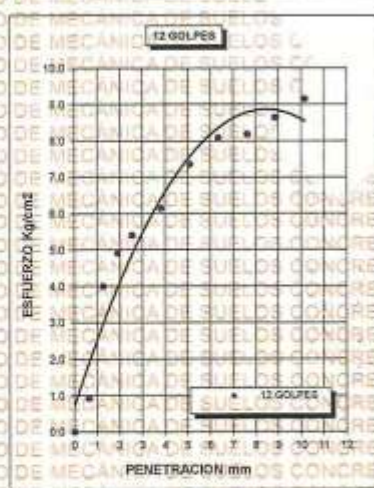
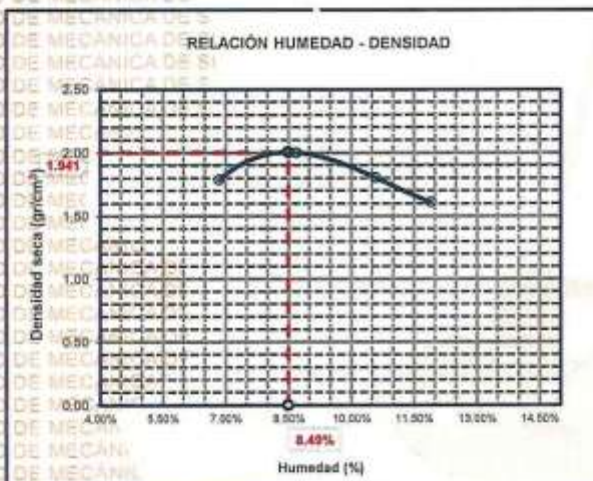
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
D. Arpaldo Yana Torres
CIP 103257



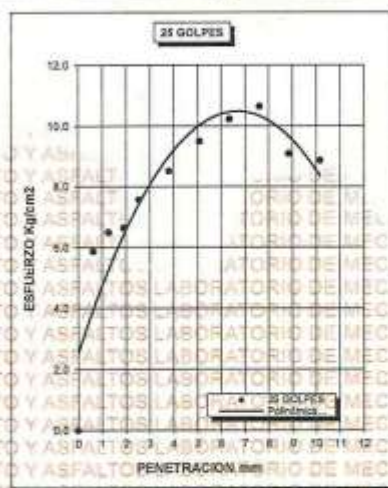
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



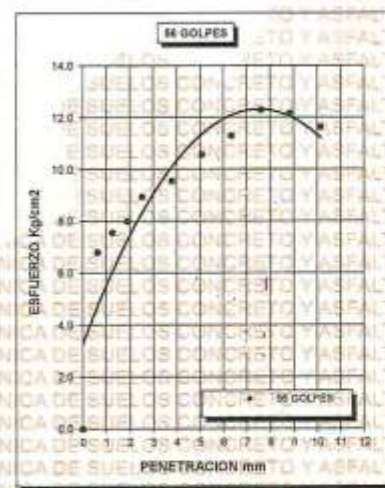
PROYECTO :	"INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANE 2025"	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. SERGIO LEON GUZMAN	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) 1.941
UBICACIÓN :	HUANCANE	HUMEDAD OPTIMA (%) 8.49%
PROGRESIVA :	KM 4+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 14.21
MUESTRA :	CALICATA - M3 + 4% DE POLÍMERO RECICLADO	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 12.38
FECHA :	20 DE JULIO DEL 2025	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



CBR 4.36



CBR 12.37



CBR 14.21



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
C.I.F. 103257



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 10-11-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: SERGIO LEON GUZMAN

Dirección: COMUNIDAD CHIMBOYA

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 76358907

Teléfono: 916 373 642 email: sergiolguzman678@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Asesor: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐

Título: INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMERO RECICLADO SOBRE LA CAPACIDAD
DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO

DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE HUANCANÉ 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): SUBRASANTE, POLÍMERO RECICLADO, AFIRMADO, CBR

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Título ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- ☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- ☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- ☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- ☐ Sí autorizo
- ☒ No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

☒ Internacional

☐ Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P17

Firma de Autor



huella digital

10-11-2025

Fecha