



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA
SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO
TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE
AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS

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
EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA
SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO
TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE
AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:

Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

PRIMER MIEMBRO

:

Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO

:

Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ASESOR DE TESIS

:

Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P17



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1103-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 15 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU- 7934, presentado por el señor (a) **JORGE LUIS MAMANI ROJAS** solicitando **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, el Proveedor del Director de la Unidad de Investigación de la FICP, y la **RESOLUCIÓN DECANAL N°1732-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 145-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **JORGE LUIS MAMANI ROJAS** ha presentado cambio de asesor de tesis del tema investigación Titulada: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la FICP a tomado conocimiento que el asesor **Dr. MILTHON QUISPE HUANCA** no tiene vínculo laboral en la facultad de ingenierías y ciencias puras y existiendo la **RESOLUCIÓN DECANAL N°1732-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 145-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**.

Estando, a la solicitud del ejecutante y en cumplimiento al reglamento al Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención Grados Académicos y Títulos Profesionales; el director de la Unidad de Investigación **Dr. Fritz Willy Mamani Apaza** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió el proveído favorable del cambio de asesor de investigación del tema titulada: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024**.

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 del Director de la Unidad 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, 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 **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, designado al señor (a): **JORGE LUIS MAMANI ROJAS**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**, se le asigna como:

ASESOR: Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente **Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**.

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"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 695-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 15 de julio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025- CU-7348 presentado por el (la) Bachiller: JORGE LUIS MAMANI ROJAS 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. JORGE LUIS MAMANI ROJAS, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024**, 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. ARNALDO YANA TORRES
- * **2do Miembro** : Mgtr. 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, Dr. MILTHON QUISPE HUANCA.

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: JORGE LUIS MAMANI ROJAS; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : jueves 24 de julio del 2025.
- * **HORA** : 11:30 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.



cc,
Archivo



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 145-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 27 de marzo del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 590 por el señor (a): **JORGE LUIS MAMANI ROJAS** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 092- 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 001 - 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): **JORGE LUIS MAMANI ROJAS**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024**, 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° 001 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024**, 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): **JORGE LUIS MAMANI ROJAS**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024** 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), Dr. **MILTHON QUISPE HUANCA**.

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.

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASWALTER LIZARRAGA ARIMAZA
DECANO (e)
CIP. 70808UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Arnaldo Yana Torres
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo
Interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1732-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 11 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 14656, presentado el señor (a) **JORGE LUIS MAMANI ROJAS** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 1510 -2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 389 -2024 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): **JORGE LUIS MAMANI ROJAS** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024**, 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° 389 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024**.

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): **JORGE LUIS MAMANI ROJAS**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024** 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 **Dr. MILTHON QUISPE HUANCA**.

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.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



cc:
Archivo 2024
Interesado (a)



24% 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

- 9%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 22%  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	
EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÚNGARO 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	JORGE LUIS MAMANI ROJAS
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70128941
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-2857-9239
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02371550
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0005-6613-6925
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	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
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: Azángaro Distrito: Azángaro Latitud: S 14° 54' 35" Longitud: O 70° 11' 50"  https://maps.app.goo.gl/hgdRxdeMDCfXdWbm7
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Diciembre 2024 – Julio 2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AZUAY
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Dr. Frida Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo JORGE LUIS MAMANI ROJAS, identificado con DNI

Nro. 70128941, 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:

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE

CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR

DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÚNGARO 2024

Asesorado por: Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

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 26 de setiembre del 2025


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)


Huella



DEDICATORIA

Este logro es compartido con quienes me acompañaron desde el inicio, con paciencia, fe y cariño. A todas aquellas personas que, de alguna forma, fueron parte de este proceso de formación y crecimiento personal.



AGRADECIMIENTO

Gracias a quienes hicieron posible este logro: a mi familia por su apoyo incondicional, a mis docentes por su dedicación y entrega, y a mis amistades por cada palabra de aliento. A la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, por ser el espacio donde crecí académica y personalmente.



ÍNDICE GENERAL

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

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1	Análisis de la situación problemática.....	15
1.2	Planteamiento del problema.....	16
1.2.1	Problema general	16
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.....	19
1.7	Operacionalización de variables.....	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación	20
2.1.1	Antecedentes internacionales	20
2.1.2	Antecedente nacional	22
2.1.3	Antecedente de ámbito local.....	23
2.2	Bases teóricas	24
2.2.1	Subrasante	24
2.2.1.1	Definición y características de la subrasante	25
2.2.1.2	Comportamiento mecánico de la subrasante bajo cargas dinámicas	26
2.2.1.3	Factores que afectan la capacidad de soporte de la subrasante.....	27
2.2.1.4	Métodos de estabilización de la subrasante.....	28
2.2.2	Capacidad de Soporte	30
2.2.2.1	Concepto de capacidad de soporte en suelos	31
2.2.2.2	Importancia de la capacidad de soporte en la construcción de vías.....	32
2.2.2.3	Índice CBR (California Bearing Ratio): Métodos y aplicaciones	33
2.2.2.4	Relación entre la capacidad de soporte y el diseño estructural de afirmados.....	35
2.2.3	Cemento Vencido Triturado	36
2.2.3.1	Características físicas y químicas del cemento vencido.....	38
2.2.3.2	Propiedades del cemento triturado en suelos	39
2.2.3.3	Impacto ambiental del uso de cemento vencido.....	40
2.2.3.4	Usos alternativos del cemento vencido en construcción	41
2.2.4	Estabilización de Suelos	43
2.2.4.1	Principios de la estabilización de suelos	44
2.2.4.2	Métodos tradicionales de estabilización	45
2.2.4.3	Uso de aditivos para mejorar las propiedades mecánicas del suelo	46
2.2.4.4	Efectos del cemento en suelos arcillosos y granulares	48
2.2.5	Afirmados	49



2.2.5.1	Definición y función de los afirmados en vías rurales	50
2.2.5.2	Diseño de espesores en afirmados	51
2.2.5.3	Relación entre la subrasante y el espesor de afirmados	53
2.2.5.4	Importancia de optimizar los espesores para la durabilidad de las vías .	54
2.2.6	Relación entre el Cemento Vencido y la Optimización de Espesores	59
2.2.6.1	Efectos del cemento triturado en la capacidad de soporte de la subrasante	60
2.2.6.2	Reducción de espesores mediante estabilización con cemento vencido	61
2.2.6.3	Beneficios técnicos y económicos de la adición de cemento triturado ...	62
2.2.6.4	Estudios previos sobre estabilización con materiales reciclados	64
2.3	Marco conceptual	65

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Enfoque de investigación	67
3.2	Tipo de la investigación	68
3.3	Nivel de la investigación	68
3.4	Diseño de la investigación	69
3.5	Método de la investigación	69
3.6	Población y muestra de la investigación	70
3.6.1	Población	70
3.6.2	Muestra	71
3.7	Técnicas e instrumentos	72
3.7.1	Técnicas	72
3.7.2	Instrumentos de recolección de datos investigación	73
3.8	Validación y confiabilidad del instrumento	75
3.8.1	Validación de los instrumentos	75
3.8.2	Confiabilidad de instrumentos	76
3.9	Plan de recolección y procesamiento de datos	78
3.9.1	Obtención del material y su procesamiento	79
3.9.2	Ensayos realizados en el laboratorio de suelos	80
3.10	Procesamiento y análisis de datos	88



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1	Presentación y análisis de resultados	90
4.1.1	Grado de compactación muestra de los materiales de subrasante	96
4.1.2	Efecto del cemento vencido en el grado de compactación.....	102
4.1.3	Espesor para el afirmado según el afirmado mejorado	115
4.2	Discusión de resultados	119
CONCLUSIONES		122
RECOMENDACIONES.....		124
REFERENCIAS		125
ANEXOS		129



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Operacionalización de variables</i>	19
Tabla 2	<i>Numero de ensayos realizados</i>	72
Tabla 3	<i>Humedad presentada en las muestras recabadas</i>	91
Tabla 4	<i>Índice plástico de las muestras- naturales</i>	95
Tabla 5	<i>Compactación y sus grados (subrasante)</i>	96
Tabla 6	<i>Medición del CBR en la subrasante de tierra natural</i>	100
Tabla 7	<i>Muestras + 6% cemento vencido (grado de compactación)</i>	102
Tabla 8	<i>Muestras + 10% cemento vencido (grado de compactación)</i>	103
Tabla 9	<i>Muestras + 14% cemento vencido (grado de compactación)</i>	104
Tabla 10	<i>Muestras + 18% cemento vencido (grado de compactación)</i>	106
Tabla 11	<i>Comparativa de valores alcanzados</i>	107
Tabla 12	<i>Muestras + 6% cemento vencido (CBR)</i>	108
Tabla 13	<i>Muestras + 10% cemento vencido (CBR)</i>	110
Tabla 14	<i>Muestras + 14% cemento vencido (CBR)</i>	111
Tabla 15	<i>Muestras + 18% cemento vencido (CBR)</i>	112
Tabla 16	<i>Comparativa de valores alcanzados</i>	114
Tabla 17	<i>Comparativa del espesor del afirmado</i>	118



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Localización geográfica de las áreas de estudio</i>	71
Figura 2	<i>Ensayos en laboratorio</i>	80
Figura 3	<i>Secado de muestras en instalaciones del laboratorio</i>	81
Figura 4	<i>Ensayos de granulometría</i>	84
Figura 5	<i>Ensayos de Proctor modificado</i>	86
Figura 6	<i>Contenido en % de humedad en los testigos</i>	92
Figura 7	<i>Perfil granulométrico de los testigos 1</i>	93
Figura 8	<i>Perfil granulométrico de los testigos 2</i>	93
Figura 9	<i>Perfil granulométrico de los testigos 3</i>	94
Figura 10	<i>Perfil granulométrico de los testigos 4</i>	94
Figura 11	<i>Comparativa de los límites alcanzados</i>	95
Figura 12	<i>Conexión entre el porcentaje de humedad y la densidad de la muestra 1.1</i>	97
Figura 13	<i>Conexión entre el porcentaje de humedad y la densidad de la muestra 1.2</i>	98
Figura 14	<i>Conexión entre el porcentaje de humedad y la densidad de la muestra 1.3</i>	98
Figura 15	<i>Conexión entre el porcentaje de humedad y la densidad de la muestra 1.4</i>	99
Figura 16	<i>Relaciones entre humedad y densidad de los suelos naturales</i>	99
Figura 17	<i>CBR en la subrasante de suelo muestra 1</i>	101
Figura 18	<i>Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 6% de cemento vencido</i>	102
Figura 19	<i>Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 10% de cemento vencido</i>	104
Figura 20	<i>Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 14% de cemento vencido</i>	105
Figura 21	<i>Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 18% de cemento vencido</i>	106



Figura 22	<i>Comparativa de los grados de compactación de las muestras.....</i>	108
Figura 23	<i>Comparativa de la capacidad de soporte + 6% de cemento vencido</i>	109
Figura 24	<i>Comparativa de la capacidad de soporte + 10% de cemento vencido</i>	110
Figura 25	<i>Comparativa de la capacidad de soporte + 14% de cemento vencido</i>	112
Figura 26	<i>Comparativa de la capacidad de soporte + 18% de cemento vencido</i>	113
Figura 27	<i>Comparativa de los grados de compactación de las muestras.....</i>	114
Figura 28	<i>Cuadro de ejes equivalentes y espesores (mtc).....</i>	117



RESUMEN

La presente investigación titulada "Evaluación de la capacidad de soporte de la subrasante con adición de cemento vencido triturado para la optimización del espesor de afirmados en la provincia de Azángaro 2024" tuvo como objetivo analizar cómo influye el uso de cemento vencido triturado en la mejora de la capacidad de soporte del suelo, y cómo ello permite optimizar el espesor de las capas de afirmado. Se abordó el estudio bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, con nivel explicativo, diseño experimental y mediante el uso del método científico, lo cual permitió realizar ensayos de laboratorio sobre suelos locales, incluyendo determinación del índice CBR, densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad. Se trabajaron mezclas con adiciones de cemento vencido en proporciones del 6%, 10%, 14% y 18%. Los resultados revelaron que la adición del 14% de cemento vencido generó el mayor incremento en la capacidad de soporte, elevando el CBR promedio de 4.22% a 14.4%, lo que representa una mejora del 75%. En proporciones mayores, el CBR disminuyó, indicando un punto óptimo de estabilización. La densidad seca máxima promedio fue de 1.787 g/cc, mientras que el contenido óptimo de humedad se mantuvo alrededor del 9.61%. Además, se observó una reducción en la plasticidad del suelo tratado, lo que favorece su compactación y estabilidad. En conjunto, los resultados validan la viabilidad técnica del uso de cemento vencido como una alternativa económica y sostenible para mejorar subrasantes y reducir el espesor de afirmados en proyectos viales.

Palabras Clave: Subrasante, Cemento, Soporte, CBR.



ABSTRACT

The present investigation entitled "Evaluation of the support capacity of the subgrade with the addition of defeated cement crushed for the optimization of the thickness of affirmed in the province of Azángaro 2024" was intended to analyze how the use of expired cement has been crushed in the improvement of the soil support capacity, and how this allows optimizing the thickness of the layers of affirmed. The study was addressed under a quantitative, applied type, explanatory level, experimental design and through the use of the scientific method, which allowed laboratory tests on local soils, including determination of the CBR index, maximum dry density and optimal moisture content. Mixes with recycled concrete additions were worked in proportions of 6%, 10%, 14% and 18%. The results revealed that the addition of 14% expired cement generated the greatest increase in bearing capacity, raising the average CBR of 4.22% to 14.4%, which represents a 75% improvement. In major proportions, the CBR decreased, indicating an optimal stabilization point. The average maximum dry density was 1,787 g/cc, while the optimal moisture content remained around 9.61%. In addition, a reduction in the plasticity of the treated soil was observed, which favors its compaction and stability. Together, the results validate the technical viability of the use of defeated cement as an economic and sustainable alternative to improve subgrade and reduce the thickness of affirmations in road projects.

Keywords: Subrasante, Sulfatos, Cemento endurecido, CBR.



INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial representa un pilar esencial para el desarrollo económico, social y territorial de las regiones, al facilitar la integración entre comunidades, el transporte de bienes y el acceso a servicios básicos. En zonas altoandinas como la provincia de Azángaro, donde las condiciones climáticas son extremas y los recursos técnicos limitados, las carreteras no pavimentadas presentan dificultades recurrentes en cuanto a su capacidad de soporte, durabilidad y comportamiento frente al tránsito pesado. Esta situación se ve agravada por la calidad heterogénea de los materiales empleados en la conformación de la subrasante y del afirmado, lo que exige soluciones técnicas viables y sostenibles que permitan mejorar la calidad de las vías y optimizar el uso de recursos disponibles.

Dentro de la estructura del pavimento, la subrasante cumple un rol fundamental al ser la base sobre la cual se distribuyen los esfuerzos generados por la carga vehicular. Su adecuada estabilización influye directamente en el espesor requerido de las capas superiores, por lo que su mejoramiento mediante la incorporación de aditivos se ha convertido en una alternativa eficaz. En ese sentido, el uso de cemento vencido triturado (CVT) surge como una opción técnica y ambientalmente favorable, al tratarse de un subproducto que puede reincorporarse al ciclo constructivo mediante técnicas de estabilización de suelos. Su aplicación no solo contribuye a reducir residuos y mitigar impactos ambientales, sino que mejora las propiedades mecánicas del suelo, aumentando su capacidad portante y reduciendo la necesidad de afirmados gruesos.

Este estudio tiene como objetivo general evaluar el espesor de afirmado mediante el mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante con empleo de cemento vencido en la provincia de Azángaro. Para ello, se plantearon como objetivos específicos: (1) determinar la capacidad de soporte de los materiales de subrasante y de la capa de afirmado; (2) cuantificar el impacto del uso de cemento vencido sobre el valor CBR del



suelo tratado; y (3) estimar el espesor requerido de afirmado considerando una subrasante estabilizada frente a los ejes equivalentes del tránsito actual en la región.

La investigación fue desarrollada bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, con un nivel explicativo y diseño experimental, guiado por el método científico. Se realizaron ensayos de laboratorio sobre suelos de la zona con diferentes proporciones de cemento vencido triturado, evaluando parámetros como el índice CBR, densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad. Este enfoque permitió analizar con precisión el comportamiento del suelo estabilizado y su potencial para reducir el espesor de las capas de afirmado sin comprometer la capacidad estructural. Los hallazgos obtenidos contribuirán a optimizar diseños viales sostenibles en contextos rurales y altoandinos, promoviendo la reutilización de materiales y el uso eficiente de recursos locales.

En este marco, la investigación no solo se enfoca en los beneficios mecánicos de la aplicación de cemento vencido triturado, sino también en los impactos económicos y ambientales asociados. La reducción del espesor de las capas de afirmado implica un ahorro significativo de materiales y costos de construcción, mientras que la reutilización de cemento vencido contribuye a una gestión más eficiente de los recursos y a la reducción de residuos. De esta manera, el estudio se posiciona en la intersección entre la ingeniería vial sostenible y la economía circular, respondiendo a las necesidades locales y globales de desarrollo sostenible.

Capítulo I: Este capítulo contextualiza el problema, destacando la relevancia del estudio en las intervenciones urbanas sobre pavimentos rígidos. Se analizan los efectos de las ampliaciones en redes de agua potable y las brechas de información existentes. Además, se presenta el tema central junto con los objetivos y la justificación, resaltando su importancia tecnológica, social y económica.

Capítulo II: Se desarrolla el marco teórico, abordando conceptos clave sobre pavimentos rígidos, diseño estructural y métodos de evaluación de daños. También se revisan estudios previos sobre intervenciones y técnicas de reparación, proporcionando la base científica para el análisis.



Capítulo III: Detalla la metodología, incluyendo el diseño del estudio, métodos de recolección de datos y herramientas para evaluar la integridad de los pavimentos. Se describen las características de la zona de estudio, criterios de muestreo y técnicas analíticas que aseguran la validez de los resultados.

Capítulo IV: Presenta los resultados del estudio en la región de Santa Bárbara, incluyendo inspecciones estructurales y ensayos interpretados según normativas. Además, se analizan las implicaciones de los datos y se proponen alternativas para optimizar y mantener los pavimentos.

.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática

En el ámbito internacional, la gestión de residuos derivados de la construcción, como el cemento vencido, constituye un desafío considerable en términos de sostenibilidad ambiental y economía circular. Destacan que la reutilización de estos materiales en infraestructura vial no solo mitiga problemas ambientales asociados con su eliminación, sino que también mejora significativamente las propiedades mecánicas de los suelos tratados, favoreciendo su capacidad de carga y durabilidad (Becerra Y Calderon, 2023).

En el contexto peruano, se evidencian retos significativos en la mejora de la infraestructura vial, especialmente en zonas rurales. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, la aplicación de materiales reciclados, como el cemento vencido triturado, se perfila como una solución eficiente para reducir costos y maximizar recursos, contribuyendo al cierre de brechas de infraestructura en regiones desatendidas y promoviendo el desarrollo sostenible (Velásquez, 2018).

A nivel local, en la provincia de Azángaro, las vías no pavimentadas enfrentan deterioros significativos debido a las condiciones climáticas adversas y al tránsito vehicular constante. Investigaciones realizadas por (Macías et al., 2023) sugieren que la aplicación de cemento vencido triturado podría incrementar notablemente la capacidad de soporte de

los suelos de subrasante, optimizando los costos de mantenimiento y prolongando la vida útil de las vías locales.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 *Problema general*

¿De qué manera la capacidad de soporte de la subrasante con adición de cemento vencido triturado influye en la optimización del espesor de afirmados en la provincia de Azángaro 2024?

1.2.2 *Problemas específicos.*

1. ¿Cuánto es la capacidad de soporte de los materiales de subrasante y de la capa de afirmado de carreteras de la provincia de Azángaro?
2. ¿Cuál es el impacto de la incorporación de cemento vencido en cantidades controladas sobre la capacidad de soporte CBR del material de subrasante de carreteras de la provincia de Azángaro?
3. ¿Cuál es el espesor resultante para el afirmado considerando una subrasante estabilizada y los ejes equivalentes actuales de carreteras de la provincia de Azángaro?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 *Objetivo general*

Evaluar el espesor de afirmado mediante mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante con empleo de cemento vencido en la provincia de Azángaro.

1.3.2 *Objetivos específicos*

1. Determinar la capacidad de soporte de los materiales de subrasante y de la capa de afirmado de carreteras de la provincia de Azángaro.

2. Cuantificar el impacto de la incorporación de cemento vencido en cantidades controladas sobre la capacidad de soporte CBR del material de subrasante de carreteras de la provincia de Azángaro.
3. Estimar el espesor resultante para el afirmado considerando una subrasante estabilizada y los ejes equivalentes actuales de carreteras de la provincia de Azángaro.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación técnica

El uso de cemento vencido triturado como estabilizante representa una solución innovadora y eficiente para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos de subrasante en proyectos viales. Este material permite incrementar la capacidad de soporte, reducir la deformación plástica y garantizar una mayor durabilidad estructural. Además, su aplicación facilita el cumplimiento de los estándares establecidos en normativas técnicas modernas, optimizando el diseño y funcionalidad de las infraestructuras viales.

1.4.2 Justificación económica

El cemento vencido triturado constituye una alternativa económica frente a los materiales tradicionales, al aprovechar un recurso considerado residuo y disminuir los costos de adquisición. Su empleo también reduce los gastos de mantenimiento de las vías, prolongando su vida útil y generando un ahorro significativo a largo plazo. Además, fomenta la economía local al integrar soluciones sostenibles que optimizan el uso de los recursos disponibles.

1.4.3 Justificación social

La implementación de soluciones viales que emplean cemento vencido triturado beneficia directamente a las comunidades, mejorando su conectividad y acceso a servicios esenciales. Esta intervención contribuye al desarrollo regional, fortaleciendo la movilidad y

generando oportunidades económicas. Además, al reducir los costos de construcción, permite destinar recursos a otras necesidades prioritarias de la población.

1.4.4 Justificación ambiental

La reutilización de cemento vencido en proyectos viales promueve la economía circular al dar un nuevo uso a materiales que de otro modo serían desechados. Esta práctica disminuye el impacto ambiental asociado a la producción de nuevos materiales y reduce la cantidad de residuos en los vertederos. Además, contribuye a minimizar la extracción de recursos naturales, apoyando la sostenibilidad ambiental y el cumplimiento de metas globales relacionadas con la mitigación del cambio climático.

1.5 Hipótesis de la investigación

1.5.1 Hipótesis general

El espesor de afirmado se optimizará mediante el mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante con empleo de cemento vencido en la provincia de Azángaro.

1.5.2 Hipótesis específicas.

1. La capacidad de soporte de los materiales de subrasante y de la capa de afirmado de carreteras de la provincia de Azángaro, estarán por debajo de las especificaciones mínimas recomendadas por la EG-2013.
2. El impacto de la incorporación de cemento vencido en cantidades controladas mejorará la capacidad de soporte CBR del material de subrasante de carreteras de la provincia de Azángaro.
3. El espesor resultante para el afirmado considerando una subrasante estabilizada y los ejes equivalentes actuales de carreteras de la provincia de Azángaro, se reducirá y cumplirá lo recomendado por la norma que es de 15 cm.

1.6 Variables e indicadores

1.6.1 Variable independiente

Cemento vencido triturado

1.6.2 Variable dependiente

- Capacidad de soporte del suelo de subrasante
- Espesor de afirmado

1.7 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos De Medición
CEMENTO VENCIDO TRITURADO	Es un material derivado de la molienda de cemento cuyo tiempo de vida útil ha expirado, pero que conserva propiedades químicas y mecánicas útiles para ser reutilizado como estabilizante en suelos.	Porcentajes de adición del cemento vencido.	Propiedades del cemento triturado.	Herramientas de laboratorio
Variable Dependiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos De Medición
CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO SUBRASANTE	Es la capacidad del suelo en la base de una estructura vial para resistir las cargas aplicadas por el tránsito vehicular sin experimentar deformaciones excesivas.	Capacidad para soportar cargas.	CBR	• Equipos y herramientas de laboratorio
ESPESOR DEL AFIRMADO	Se refiere al grosor de la capa de material granular colocada sobre la subrasante para distribuir las cargas vehiculares, mejorar la estabilidad y proporcionar una superficie más uniforme en vías no pavimentadas.	Capacidad para soportar cargas.	CBR Subrasante CBR afirmado IMDA	• Equipos y herramientas de laboratorio

Nota. Generado por el autor

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 *Antecedentes internacionales*

Para, Kufre et al., (2021) en su trabajo titulado “Efecto de partículas de polvo de cantera de tamaño micrométrico sobre las propiedades de compactación y resistencia de suelo laterítico estabilizado con cemento”, Se realizó un experimento de laboratorio para evaluar el efecto del polvo de cantera de tamaño micro sobre las cualidades técnicas del suelo laterítico estabilizado con cemento. El énfasis estuvo en la reducción, gestión y eliminación efectiva de los desechos sólidos generados por las operaciones de las canteras, incluyéndolos como aditivo en el proceso de estabilización del cemento de suelos lateríticos débiles para obtener material de subrasante sostenible. En aeródromos, terraplenes, vías férreas y estructuras de cimientos de pavimentos, continuamente se presta considerable atención a la influencia de la infiltración de humedad sobre la capacidad portante o la resistencia de la capa de subrasante. Se mezcló polvo de cantera, que variaba del 0 al 10%, con cemento, del 0 al 8%, en incrementos del 2% por peso seco del suelo, produciendo una matriz combinada de veinticinco especímenes de prueba para una técnica de mejora. Los resultados de las pruebas demuestran que la adición de una mezcla de polvo de cantera mejoró consistentemente el índice de plasticidad del suelo



estabilizado con cemento al reducir el índice de plasticidad. La densidad seca máxima en la mayoría de los experimentos aumentó con el mayor porcentaje de mezclas de estabilizadores de acuerdo con el nivel de humedad óptimo del suelo tratado. Las propiedades mecánicas, es decir, la relación de carga de California y la resistencia a la compresión libre, del suelo laterítico cementado mostraron una mejora significativa con el aumento del estabilizador de polvo de cantera de tamaño micro. La resistencia a la degradación de la fuerza sugirió que se documentaron valores de durabilidad del 80%. El análisis SEM/EDS del material óptimamente estabilizado, en contraste con el suelo no tratado, validó la aparición de calcita como C-S-H y C-(A)-S-H. El aumento de la fuerza se atribuyó a la formación de C-S-H y C-(A)-S-H, como lo confirmaron las investigaciones FTIR y XRD.

Seguidamente, Macías et al., (2023) En este trabajo se investiga "Mejoramiento de subrasante mediante la estabilización con cemento en obras viales del cantón Portoviejo". La mejora de la subrasante mediante el uso de cemento como agente estabilizador conduce a una mayor resistencia. La investigación sugerida es cuantitativa y experimental, organizada en dos secciones. La fase inicial consiste en la caracterización del suelo en su estado natural, clasificado como suelo ML (Low Plasticity Limo) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) y como A-7-5 según el Sistema AASHTO. La segunda fase consiste en la estabilización del suelo con cemento, que incluye la producción y curado de cilindros de suelo-cemento, empleando dos porcentajes de cemento, y evaluados por CBR después de inmersión como variable dependiente, junto con el análisis de cambios en la plasticidad. El enfoque se aplicó a suelo procedente de la región de La Piñonada, lo que produjo mejoras en las cualidades del suelo original, caracterizado por una flexibilidad reducida y una mayor resistencia. La proporción ideal para la estabilización del suelo es del 3% del peso seco, mejorando la calidad de la subrasante de pobre a moderada.



2.1.2 Antecedente nacional

Para, Velásquez, (2018), El estudio titulado "Impacto del uso de cemento Portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso en la subrasante de la Avenida Dinamarca, sector La Molina" aborda los problemas comunes de los suelos arcillosos, los cuales generalmente no cumplen con los requisitos de resistencia necesarios para ser utilizados como subrasantes, lo que obliga a la aplicación de diversas técnicas de mejora. La investigación se centró en analizar cómo el cemento Portland influye en las propiedades de estabilidad de suelos arcillosos con alta plasticidad. Se llevaron a cabo pruebas detalladas sobre el suelo para evaluar sus características físicas y mecánicas, aplicando cemento Portland tipo I en concentraciones de 1%, 3% y 5% sobre el peso seco de la muestra. Las pruebas realizadas incluyeron la determinación del contenido de humedad, el análisis granulométrico, los límites líquidos, plásticos y de contracción, así como las pruebas de Proctor modificado y CBR para medir los efectos del cemento sobre la plasticidad, la contracción y la resistencia CBR del suelo. El suelo en cuestión fue clasificado como A-7-6 (37) según la normativa AASHTO y como OH en el sistema SUCS. Al incorporar un 5% de cemento, se observó una reducción significativa en el índice de plasticidad, que pasó del 44% al 15%, además de una disminución en el índice de contracción del 27% al 19%, mientras que el índice CBR aumentó del 1,30% al 13,75% con un DSM del 95%. A pesar de estas mejoras, el suelo todavía mostró una flexibilidad considerable y estuvo sujeto a cambios volumétricos. Finalmente, se obtuvo una subrasante con propiedades satisfactorias a recomendables, evaluada a través del valor CBR, con una mejora óptima tras la adición de solo un 4% de cemento.

Para, Zavaleta Y Marlen, (2019) en su investigación titulada "Mejoramiento de la subrasante incorporando el estabilizador cemento Portland Tipo I, en la Asociación los Rosales II, distrito de Carabayllo, 2019" La estabilización de suelos mediante la adición de agregados (materiales cementantes) es una práctica bien establecida que se ha convertido en una técnica estandarizada para el tratamiento de subrasantes, así como de bases y

estructuras de subbase de pavimentos, especialmente cuando los suelos presentan características adversas para la pavimentación. Esta investigación tiene como objetivo evaluar las características de un suelo limo-arcilloso estabilizado con cemento Portland Tipo I para determinar su idoneidad para la construcción de subrasante para la pavimentación de la calle S/N en la Asociación Los Rosales II de Carabayllo. En contraste, las investigaciones realizadas en el área de estudio (pozos C-1, C-2, C-3) indicaron la existencia de un nivel freático a 1 metro de profundidad, empeorando las condiciones de estabilización del suelo ya establecidas. A las muestras recolectadas se les realizaron pruebas de laboratorio, incluyendo análisis granulométricos mediante tamizado para determinar el tipo de suelo; un C.B.R. prueba para evaluar el esfuerzo cortante; y pruebas de sulfato posteriores, pruebas de resistencia a la compresión no confinada y pruebas de resistencia a la compresión en muestras con cemento agregado en concentraciones del 1%, 1,5% y 2%. El examen de los hallazgos reveló que el porcentaje ideal es 1%, resultando un valor de 20,7% M.D.S. Esto verifica que la subrasante ha pasado de mala a muy excelente, haciendo que el suelo sea apropiado para sostener una construcción de pavimento y, en consecuencia, mejorar las condiciones de circulación en la región de estudio.

2.1.3 Antecedente de ámbito local

Para, Cotrado, (2022), su investigación titulada "Mejoramiento de subrasante con adición de cenizas de lenteja de agua y cemento en la Avenida La Huayrana, Juliaca 2022" Este estudio tiene como objetivo mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante a lo largo de la Avenida La Huayrana desde el Km 0+000 al Km 1+000, utilizando una metodología cuantitativa y un diseño experimental. La población abarcó toda la subrasante de la Avenida La Huayrana, mientras que la muestra incluyó tres pozos ubicados entre el Km 0+000 y el Km 1+000. Los hallazgos demostraron que la adición de 4,5% CLA + 0,5% C, 4% CLA + 1% C, 3% CLA + 2% C y 5% C mejoró la capacidad de

soporte del 4,40% al 7,63%, 9,4% y 15,37%, respectivamente, mientras que los valores del índice de plasticidad disminuyeron de 10,97% a 10,33%, 9,73% y 8,43%, respectivamente. El uso de ceniza de lenteja de agua y cemento mejora las características físico-mecánicas de la subrasante de la Avenida Huayrana. El uso de 3% de ceniza de lenteja de agua y 2% de cemento provocó una mejora en el CBR de 4,40% a 15,37% y una disminución en el índice de plasticidad de 10,97% a 8,43%.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Subrasante

La subrasante es la capa de suelo natural que actúa como base para la estructura estructural de un pavimento, sosteniendo y transfiriendo de manera crucial las cargas del tráfico a las capas de suelo subyacentes. (Becerra Y Calderon, 2023) afirman que la estabilidad y resiliencia de esta capa son críticas para asegurar el óptimo desempeño vial, ya que cualquier falla en la subrasante puede poner en riesgo el funcionamiento del pavimento. Las características fundamentales de la subrasante, incluida su capacidad de carga, densidad y contenido de humedad, son críticas para evaluar su desempeño bajo cargas aplicadas.

El desempeño de la subrasante a menudo se evalúa utilizando el índice California Bearing Ratio (CBR), una prueba que cuantifica la resistencia relativa del suelo a una carga estándar (Becerra Y Calderon, 2023). Esta característica es crucial en el diseño de pavimentos, ya que permite evaluar si el suelo requiere estabilización antes de su utilización como base. De igual forma, su capacidad de carga se ve afectada por variables como el contenido de finos, la plasticidad y el nivel de compactación alcanzado en campo.

Los cambios climáticos, particularmente las precipitaciones, pueden alterar sustancialmente las cualidades mecánicas de la subrasante, especialmente en suelos cohesivos. (Becerra Y Calderon, 2023) afirman que el exceso de humedad disminuye la resistencia al corte del suelo, disminuyendo por tanto su capacidad de carga. En este

contexto, el uso de aditivos, como cemento o materiales reciclados, se propone como un método eficaz para mejorar las propiedades del suelo y alargar la vida útil del pavimento.

La subrasante sirve como base fundamental para las capas de un pavimento. Un examen exhaustivo, junto con técnicas de mejora relevantes, es crucial para garantizar la longevidad y la integridad estructural óptima de las carreteras.

2.2.1.1 Definición y características de la subrasante

La subrasante es definida como la capa inferior del sistema de pavimentación, compuesta por el suelo natural o mejorado, que tiene la función de soportar las cargas transmitidas por las capas superiores y distribuirlas uniformemente al terreno subyacente. Según (Becerra Y Calderon, 2023), esta capa es clave en la estructura del pavimento, ya que su desempeño afecta directamente la estabilidad y la vida útil de las vías. Una subrasante bien compactada y con características adecuadas puede prevenir deformaciones y asentamientos diferenciales, contribuyendo a la funcionalidad del pavimento.

Entre las principales características de la subrasante destacan su capacidad de soporte, plasticidad, compactabilidad y sensibilidad a los cambios de humedad. Estas propiedades varían según el tipo de suelo y las condiciones ambientales. De acuerdo con (Zavaleta Y Marlen, 2019), los suelos granulares tienden a ofrecer mejores capacidades de soporte y menor sensibilidad a la humedad en comparación con los suelos cohesivos, como las arcillas, que pueden experimentar significativas reducciones en su resistencia cuando están saturados.

Este indicador, ampliamente utilizado en el diseño de pavimentos, permite clasificar los suelos según su desempeño y determinar si requieren procesos de estabilización para cumplir con los requisitos estructurales (Zavaleta Y Marlen, 2019).

Asimismo, las características de la subrasante pueden modificarse a través de procesos de estabilización que incorporan materiales como cemento, cal o aditivos reciclados. Estas técnicas no solo mejoran la capacidad de soporte, sino que también

reducen la plasticidad y aumentan la resistencia al esfuerzo cortante del suelo (Zavaleta Y Marlen, 2019). La compactación adecuada es otra característica esencial, ya que incrementa la densidad del suelo y, por ende, su estabilidad estructural.

En resumen, la subrasante es una capa fundamental en el sistema de pavimentación, cuyas características deben ser evaluadas y, de ser necesario, optimizadas para garantizar un desempeño adecuado. Su comportamiento bajo cargas dinámicas y su sensibilidad a las condiciones ambientales destacan la importancia de un análisis detallado y de la aplicación de técnicas de estabilización cuando se requiera.

2.2.1.2 Comportamiento mecánico de la subrasante bajo cargas dinámicas

La respuesta mecánica de la subrasante a la carga dinámica es una consideración vital en la ingeniería de pavimentos, ya que dicta la reacción de la capa a las tensiones repetidas producidas por el tráfico de automóviles. (Zavaleta Y Marlen, 2019) afirman que la subrasante sirve como soporte principal para la construcción de la carretera, y su capacidad para distribuir equitativamente las cargas mitiga las deformaciones irreversibles y las fallas tempranas en las capas superiores del pavimento.

Las cargas dinámicas impuestas por los automóviles inducen tensiones cíclicas en la subrasante, lo que puede provocar una acumulación de deformaciones plásticas si el suelo carece de características mecánicas suficientes. Esta acumulación puede generar problemas como baches, fracturas y asentamientos diferenciales, perjudicando la operación de la vía (Zamora Y Ortiz, 2023). La resistencia al esfuerzo cortante y la rigidez del suelo son características esenciales que afectan su desempeño bajo cargas recurrentes.

Las cualidades mecánicas de la subrasante están directamente asociadas con características como densidad, contenido de humedad y tipo de suelo. Los suelos granulares tienen un rendimiento superior bajo carga dinámica debido a su elevada capacidad de drenaje y resistencia a una mayor compactación, mientras que los suelos cohesivos, como las arcillas, son más propensos a la deformación y la pérdida de soporte

cuando están saturados. (Zamora Y Ortiz, 2023). En este contexto, métodos como la estabilización adicional o la compactación controlada pueden mejorar notablemente las propiedades mecánicas de la subrasante.

De manera similar, técnicas de evaluación como la prueba CBR y las pruebas triaxiales proporcionan el análisis del comportamiento del suelo bajo condiciones de carga dinámica simuladas. Estos ensayos arrojan información sobre la resistencia y deformabilidad del suelo, lo cual es crucial para diseñar construcciones de pavimento que puedan soportar suficientemente el tráfico anticipado (Zamora Y Ortiz, 2023).

La respuesta mecánica de la subrasante a las tensiones dinámicas es crítica para la longevidad y el desempeño del pavimento. La evaluación de sus cualidades mecánicas y el uso de técnicas de mejora son cruciales para garantizar la integridad estructural y evitar problemas asociados con el tráfico recurrente.

2.2.1.3 Factores que afectan la capacidad de soporte de la subrasante

Los elementos que influyen en la capacidad de soporte de la subrasante son variados y están íntimamente asociados con las características físicas, mecánicas y ambientales del suelo. La capacidad de carga, crucial para la estabilidad y el funcionamiento de un pavimento, depende de la capacidad de la subrasante para soportar y distribuir las cargas aplicadas sin deformación sustancial. (Zamora Y Ortiz, 2023) clasifican estas características como inherentes al suelo y aquellas asociadas a circunstancias externas y de diseño.

El tipo de suelo es uno de los elementos intrínsecos más significativos. Los suelos granulares, incluyendo arenas y gravas, exhiben una capacidad de soporte superior debido a su baja plasticidad y fuerte tolerancia al esfuerzo cortante, mientras que los suelos cohesivos, como las arcillas, tienen un comportamiento más problemático, particularmente en circunstancias de elevada humedad. (Zamora Y Ortiz, 2023). La densidad seca del suelo es crucial; una subrasante bien compactada puede soportar mayores cargas sin deformarse.

El contenido de humedad es un componente crítico, ya que afecta directamente las cualidades mecánicas del suelo. (Zamora Y Ortiz, 2023) afirman que el exceso de humedad en suelos cohesivos disminuye significativamente su resistencia, aumentando la vulnerabilidad a deformaciones y fallas estructurales. Por el contrario, un contenido de humedad ideal mejora la compactación y aumenta la capacidad de soporte.

Los factores externos, como las cargas aplicadas y las condiciones meteorológicas, pueden influir en la capacidad de carga. Las tensiones dinámicas producidas por el tráfico intenso pueden provocar la acumulación de deformaciones plásticas si el suelo carece de la resistencia suficiente (Zamora Y Ortiz, 2023). Además, variables meteorológicas como las precipitaciones o las variaciones estacionales de temperatura podrían modificar la humedad y densidad del suelo, poniendo en peligro su estabilidad.

El proceso de estabilización es un aspecto crucial que puede mejorar notablemente la capacidad de apoyo. El uso de agentes estabilizantes, como cemento, cal o aditivos reciclados, mejora la resiliencia del suelo, disminuye la flexibilidad y mejora el rendimiento bajo cargas dinámicas (Rodrigo & Yucra, 2022).

La capacidad de carga de la subrasante está determinada por una combinación de características inherentes del suelo e influencias externas. Una evaluación integral de estos factores es crucial para diseñar soluciones que mejoren el desempeño estructural y garanticen la longevidad del pavimento.

2.2.1.4 Métodos de estabilización de la subrasante

La resistencia a las tensiones dinámicas. Estas soluciones son esenciales cuando las condiciones naturales del suelo no cumplen con los requisitos estructurales necesarios para soportar el pavimento. (Rodrigo & Yucra, 2022) sostienen que la estabilización reduce la deformabilidad del suelo, aumenta la densidad y reduce la sensibilidad a la humedad.

Un método común es la estabilización química, que implica la integración en el suelo de sustancias como cemento, cal o aditivos específicos. El uso de cemento mejora

significativamente la resistencia a la compresión y la cohesión, especialmente en suelos con capacidad de carga restringida, como los arcillosos (Rodrigo & Yucra, 2022). La cal reduce eficientemente la flexibilidad y aumenta la resistencia en suelos cohesivos al interactuar químicamente con las partículas del suelo, formando así una estructura más sólida.

Un método común es la estabilización mecánica, que implica la compactación controlada del suelo utilizando equipos especializados. Este método aumenta la densidad seca máxima, reduce los huecos entre las partículas del suelo y aumenta su capacidad de carga (Rodrigo & Yucra, 2022). La estabilización mecánica se utiliza a menudo junto con métodos químicos para mejorar el rendimiento de la subrasante.

El uso de materiales reciclados para la estabilización se ha convertido en los últimos años en una importante opción ecológica. (Rodrigo & Yucra, 2022) sostienen que la incorporación de materiales como cemento caducado triturado o residuos de construcción mejora la capacidad de carga del suelo y, al mismo tiempo, reduce el impacto ambiental asociado con el uso de recursos vírgenes. Estas soluciones son técnicamente eficientes y proporcionan beneficios económicos y medioambientales.

La estabilización granular implica la integración de suelos con insuficiente capacidad de carga con materiales granulares, como grava o arena, para mejorar sus propiedades estructurales. Este método es particularmente eficaz en suelos cohesivos, ya que mejora la permeabilidad y alivia los problemas asociados al exceso de humedad (Rodrigo & Yucra, 2022).

En conclusión, los procedimientos de estabilización de subrasante son herramientas vitales para lograr un desempeño óptimo del pavimento alterando las propiedades del suelo para cumplir con los criterios de diseño. La selección del método depende de las características del suelo y de las necesidades específicas del proyecto, lo que requiere un análisis exhaustivo para obtener resultados óptimos.

2.2.2 Capacidad de Soporte

Distribuir cargas aplicadas sin experimentar deformaciones significativas que puedan comprometer la integridad estructural de las capas superpuestas. En ingeniería de carreteras, este concepto es crucial para garantizar que la subrasante proporcione un soporte adecuado al sistema de pavimento. (Rodrigo & Yucra, 2022) sostienen que la capacidad de carga es un parámetro esencial para evaluar la resistencia del suelo a las cargas dinámicas generadas por los automóviles.

El índice California Bearing Ratio (CBR) es una estadística comúnmente utilizada para evaluar la capacidad de carga del suelo. Esta evaluación examina la relación entre la resistencia al estrés del suelo y la de un material de referencia estándar en condiciones específicas (Rodrigo & Yucra, 2022). Los resultados obtenidos del CBR permiten categorizar el suelo y evaluar su idoneidad para aplicaciones de subrasante, al mismo tiempo que determinan la necesidad de estabilización o refuerzo para cumplir con los requisitos estructurales.

La capacidad de carga del suelo se ve afectada por factores como su composición granulométrica, plasticidad, contenido de humedad y grado de compactación. Los suelos granulares suelen exhibir una mayor capacidad de carga debido a su poca flexibilidad y robusta resistencia a la deformación, mientras que los suelos cohesivos, como los arcillosos, pueden presentar limitaciones importantes, especialmente en condiciones de alta humedad (Rodrigo Y Yucra, 2022). Por lo tanto, es fundamental realizar investigaciones geotécnicas para determinar las propiedades del suelo y evaluar su respuesta a diferentes condiciones de carga.

El diseño y construcción de pavimentos están determinados principalmente por la capacidad portante de la subrasante, ya que ésta afecta directamente el espesor de las capas superiores, incluyendo el pavimento y la cimentación. (Rodrigo Y Yucra, 2022) sostienen que una subrasante con mayor capacidad de soporte permite una disminución en el espesor de las capas estructurales, optimizando así los costos y mejorando la longevidad del pavimento.

2.2.2.1 Concepto de capacidad de soporte en suelos

La idea de capacidad portante en suelos denota la capacidad del suelo para soportar cargas aplicadas sin incurrir en deformaciones persistentes que puedan poner en peligro su integridad estructural. Esta palabra es fundamental en la ingeniería geotécnica, ya que facilita la evaluación del comportamiento del suelo como base para estructuras de soporte y sistemas de pavimento. (Romero, 2025) afirman que la capacidad de carga de un suelo está estrechamente relacionada con sus cualidades mecánicas, incluida la resistencia al esfuerzo cortante, la densidad y el grado de compactación.

La capacidad de soporte se evalúa mediante experimentos que determinan el comportamiento del suelo bajo cargas particulares. El índice CBR (California Bearing Ratio) se utiliza a menudo para evaluar la resistencia al estrés comparativo del suelo frente a la de un material de referencia en entornos controlados (Romero, 2025). Esta característica es esencial para el diseño de pavimentos, ya que indica la idoneidad del suelo para su uso como subrasante o la necesidad de estabilización para mejorar su desempeño.

El tipo de suelo, el contenido de humedad y la compactación son factores importantes que afectan la capacidad de soporte. Los suelos granulares, incluidas arenas y gravas, exhiben una capacidad de soporte superior debido a su baja flexibilidad y alta resistencia, mientras que los suelos cohesivos, como arcillas y limos, son más susceptibles a la humedad, lo que puede disminuir su resistencia (Romero, 2025). La compactación es un factor crucial, ya que mejora la densidad del suelo y disminuye los huecos, aumentando así notablemente su capacidad de carga.

La capacidad de soporte de la subrasante es crítica para determinar el espesor de las capas superiores, incluido el pavimento y los cimientos granulares, en los sistemas de pavimentación. (Romero, 2025) afirman que un suelo con una elevada capacidad de carga podría disminuir los espesores necesarios, optimizando así los gastos de construcción y mejorando la eficacia estructural.

En esencia, la noción de capacidad de soporte del suelo es crucial para garantizar la estabilidad y el funcionamiento de los edificios construidos sobre él. El estudio, que incluye ensayos geotécnicos y evaluación de cualidades mecánicas, permite diseñar soluciones eficientes y sostenibles para proyectos de infraestructura.

2.2.2.2 Importancia de la capacidad de soporte en la construcción de vías

La capacidad de soporte es un elemento crucial en la construcción de carreteras, ya que dicta la capacidad del suelo para soportar y distribuir los esfuerzos del tráfico vehicular sin causar deformaciones que pongan en peligro la integridad y longevidad del pavimento. (Romero, 2025) afirman que este atributo caracteriza la calidad del suelo como base estructural del sistema de pavimentación, lo que afecta directamente el diseño y eficacia de las capas superiores, incluyendo el pavimento, base y subbase.

Una subrasante con elevada capacidad portante garantiza una distribución uniforme de las cargas dinámicas al suelo subyacente, mitigando así la probabilidad de problemas como asentamientos, grietas y fallas prematuras del pavimento (Romero, 2025). Un suelo con una capacidad de carga inadecuada podría provocar deformaciones persistentes, lo que requeriría capas estructurales más gruesas y, por tanto, un aumento de los gastos de construcción.

(Romero, 2025) afirman que un suelo con un alto CBR podría disminuir considerablemente los espesores necesarios de las capas de estabilización o de cimentación granular, optimizando así el diseño y minimizando los gastos relacionados.

Además, la capacidad de carga es esencial para garantizar la longevidad de las carreteras frente a las condiciones climáticas y la carga de tráfico prevista. Los suelos débiles son más susceptibles a fallar bajo cargas cíclicas o condiciones de alta humedad, particularmente en áreas con lluvias importantes o tráfico intenso (Romero, 2025). En consecuencia, evaluar y, si es necesario, estabilizar la subrasante es crucial para garantizar un rendimiento óptimo y extender la vida útil de la carretera.

En conclusión, la capacidad de soporte es un criterio crucial en la construcción de carreteras, ya que afecta la estabilidad, longevidad y costos del sistema de pavimentación. La investigación exhaustiva mediante pruebas geotécnicas facilita la optimización de los diseños estructurales y garantiza un rendimiento satisfactorio en las condiciones únicas del proyecto.

2.2.2.3 Índice CBR (California Bearing Ratio): Métodos y aplicaciones

Esta técnica, ideada por primera vez por el Departamento de Transporte de California, evalúa la resistencia al estrés de un suelo en entornos regulados yuxtaponiéndolo con un material de referencia estándar. (Romero, 2025) afirman que el índice CBR es una métrica crucial para la clasificación del suelo y la construcción de capas estructurales de pavimento.

Métodos para determinar el índice CBR

La prueba CBR se puede realizar en un laboratorio o en el campo, dependiendo de los requisitos del proyecto. La prueba de laboratorio implica compactar. Luego se aplica una carga progresiva a través de un pistón y se registra la fuerza necesaria para alcanzar penetraciones estándar de 2,5 mm y 5,0 mm (Guzman Y Panduro, 2024).

La prueba CBR se realiza in situ sobre la subrasante compactada, utilizando aparatos portátiles que simulan la metodología de laboratorio. Esta variación arroja hallazgos que reflejan con mayor precisión las condiciones reales del suelo, sin embargo, su precisión puede verse disminuida por factores como la humedad ambiental o condiciones de compactación no controladas (Guzman Y Panduro, 2024).

Utilizaciones del índice CBR

El índice CBR tiene varios propósitos en el diseño y construcción de pavimentos. García et al. (2021) afirman que este parámetro es crucial para determinar el espesor adecuado de la subbase granular, la base y las capas de subbase. Un valor alto de CBR

significa una mayor capacidad de soporte del suelo, lo que permite una reducción en el espesor de las capas estructurales y optimiza los gastos de construcción.

Además, el CBR se emplea para categorizar los suelos en función de su resistencia relativa, determinando cuáles necesitan estabilización o refuerzo antes de su utilización como subrasante. Es un instrumento esencial para pronosticar el comportamiento del suelo bajo cargas dinámicas y recurrentes, vital para el diseño de caminos que soportan tráfico intenso o malas condiciones climáticas (Guzman Y Panduro, 2024).

En conclusión, el índice CBR es una métrica crucial en la ingeniería de pavimentos, ya que facilita la evaluación de la capacidad de soporte del suelo y mejora el diseño de las construcciones viales. La correcta aplicación, tanto en laboratorio como en campo, asegura la estabilidad, longevidad y eficiencia de los sistemas de pavimentación.

Procedimiento para determinar el CBR

La metodología para determinar el índice CBR (California Bearing Ratio) se basa en una prueba estandarizada que evalúa la resistencia a la tensión del suelo compactado o material granular en entornos regulados. (Guzman Y Panduro, 2024) afirman que la prueba se realiza en laboratorio o en campo, siguiendo protocolos establecidos por normas como ASTM D1883 o AASHTO T193, que aseguran la precisión y repetibilidad de los resultados.

El procedimiento de laboratorio comienza con la preparación. Luego, la muestra se remoja durante un período de 4 a 24 horas, dependiendo de los entornos del estudio, para replicar el comportamiento del suelo en estado húmedo. Luego se aplica una carga progresiva con un pistón estándar.

El proceso de prueba de campo es análogo, sin embargo, se realiza directamente sobre la subrasante o material granular compactado. Los equipos portátiles simulan entornos de laboratorio, sin embargo, los resultados pueden diferir debido a variables inherentes al suelo, incluida la humedad y la compactación (Guzman Y Panduro, 2024).

Interpretación de resultados de CBR

El análisis de los valores de CBR facilita la clasificación de suelos y materiales en función de su capacidad de soporte comparativa. El índice CBR está determinado por la relación entre la carga medida en la muestra y la carga estándar del material de referencia, representada como porcentaje. (Guzman Y Panduro, 2024) afirman que un valor alto de CBR significa suelo con una excelente capacidad de carga, mientras que valores bajos sugieren una resistencia inadecuada que puede requerir estabilización o refuerzo.

Un CBR superior al 20% es característico de suelos granulares bien compactados, lo que los hace apropiados para su uso como base o subbase en pavimentos. Un CBR inferior al 5% indica que el suelo no es apto para su uso como subrasante sin una estabilización adicional (Guzman Y Panduro, 2024). Estos datos se utilizan para determinar el espesor de las capas de pavimento, mejorando así el diseño estructural de acuerdo con los requisitos del tráfico y los factores ambientales.

El proceso para determinar el CBR e interpretar sus resultados es crucial para evaluar la capacidad de carga del suelo. La aplicación adecuada garantiza un diseño eficaz y resiliente de los sistemas de pavimentación, estableciendo una base sólida para la infraestructura vial.

2.2.2.4 Relación entre la capacidad de soporte y el diseño estructural de afirmados

La correlación entre capacidad portante y diseño estructural es fundamental en la construcción de carreteras, ya que la capacidad del suelo para soportar cargas afecta directamente al espesor y características de las capas estructurales. (Guzman Y Panduro, 2024) afirman que la capacidad portante de la subrasante, evaluada mediante el índice CBR, es un criterio importante para establecer el diseño y las especificaciones del pavimento, asegurando que la estructura pueda soportar el tráfico anticipado sin fallas tempranas.

El índice CBR facilita la clasificación de los suelos en función de su capacidad portante, determinando los espesores necesarios para las capas de estabilización. Los

suelos con valores elevados de CBR (superiores al 20%) requieren espesores reducidos, ya que poseen la capacidad de distribuir las cargas de manera más uniforme y soportar mayores tensiones sin deformaciones sustanciales. Por el contrario, los suelos que exhiben un bajo índice de carga de California (CBR) de menos del 5% necesitan capas adicionales o métodos de estabilización para cumplir con los criterios estructurales requeridos (Guzman Y Panduro, 2024).

Además, la capacidad portante influye no sólo en el espesor sino también en la calidad de los materiales empleados en la afirmación. (Guzman Y Panduro, 2024) afirman que, en suelos con capacidad portante limitada, es crucial emplear materiales granulares bien graduados en las capas superiores para mejorar la resistencia general del pavimento. En tales casos, puede ser esencial emplear procedimientos estabilizantes, como la integración de cemento, cal u otros aditivos, para mejorar la capacidad de soporte del sistema.

El diseño estructural de pavimentos debe tener en cuenta la correlación entre el tráfico previsto y la capacidad de carga. (Guzman Y Panduro, 2024) afirman que, en carreteras muy utilizadas, incluso los suelos con una capacidad de soporte adecuada pueden requerir un mayor espesor del pavimento para garantizar la longevidad contra cargas dinámicas recurrentes y condiciones climáticas desfavorables. Este método permite mitigar peligros como deformaciones persistentes o asentamientos diferenciales.

La capacidad de soporte del suelo es un aspecto crítico en la construcción estructural de afirmaciones. Una evaluación integral, junto con técnicas de estabilización y selección de materiales adecuados, garantiza un diseño eficiente, rentable y resistente que cumpla con los requisitos de tráfico y las circunstancias del proyecto.

2.2.3 *Cemento Vencido Triturado*

El cemento caducado triturado es un material reciclado que ha adquirido importancia en la ingeniería civil por su posible reutilización en la estabilización de suelos y mejora de capas estructurales en pavimentos. Esta sustancia se deriva del cemento que

ha superado su fecha de caducidad, el cual se pulveriza en diminutas partículas para utilizarlo como aditivo o sustituto parcial de los materiales convencionales. (Larico, 2024) afirman que su aplicación no solo mejora la sostenibilidad al minimizar los residuos de la construcción, sino que también aumenta las cualidades mecánicas de los suelos y materiales estabilizados.

El cemento caducado, a pesar de su capacidad disminuida para lograr una resistencia óptima como aglutinante primario, conserva características químicas que interactúan positivamente con las partículas del suelo, mejorando la cohesión y aumentando la resistencia al esfuerzo cortante (Larico, 2024). Estos atributos lo hacen apropiado para estabilizar suelos con capacidad de carga limitada, particularmente aquellos con niveles elevados de partículas o plasticidad.

Una de las principales ventajas del cemento triturado es su capacidad para disminuir la flexibilidad de los suelos cohesivos y aumentar la densidad seca máxima, mejorando así la compactación y, posteriormente, la capacidad portante del suelo. Además, su integración puede disminuir la permeabilidad, salvaguardando así la subrasante de los impactos perjudiciales del agua, incluida la saturación y la pérdida de resistencia (Larico, 2024).

El uso de cemento caducado triturado tiene beneficios tanto económicos como medioambientales. (Larico, 2024) afirman que reutilizar este material en lugar de desecharlo disminuye los gastos de eliminación de basura y disminuye la necesidad de recursos vírgenes, fomentando así prácticas más sostenibles en proyectos de infraestructura. Además, su proximidad a las obras ayuda a ahorrar gastos de transporte y almacenamiento.

En resumen, el cemento caducado triturado es un material reciclado multifacético que proporciona un medio eficaz y sostenible para mejorar la capacidad de carga del suelo y optimizar las capas estructurales de los pavimentos. Su aplicación no sólo potencia la economía circular en la edificación, sino que también aporta mejoras sustanciales en las cualidades mecánicas de los materiales estabilizados.

2.2.3.1 Características físicas y químicas del cemento vencido

Las propiedades físicas y químicas del cemento caducado son cruciales para comprender su comportamiento y su reutilización en aplicaciones como la estabilización de suelos y la mejora de materiales de pavimentación. A pesar de superar su vida útil como aglutinante principal, el cemento caducado conserva características adecuadas para muchos usos. (Larico, 2024) indican que este material presenta una reducción en su capacidad de hidratación general, aunque conserva constituyentes químicos activos que interactúan positivamente con los suelos y otras sustancias.

Desde una perspectiva física, el cemento caducado a menudo presenta una mayor agregación de partículas debido a la exposición prolongada a la humedad ambiental. Estas aglomeraciones pueden erradicarse mediante procedimientos de molienda, obteniéndose un material con partículas pequeñas y homogéneas similares a la textura del cemento nuevo (Larico, 2024). Además, el peso específico del cemento caducado triturado es algo menor que el del cemento nuevo, afectando potencialmente su dosificación en combinaciones de estabilización.

En cuanto a sus cualidades químicas, el cemento caducado conserva una proporción considerable de sus constituyentes activos, entre ellos el óxido de calcio (CaO), el silicato tricálcico (C_3S) y el aluminato tricálcico (C_3A). A pesar de una posible reducción en la hidratación inicial de estos químicos atribuible a la duración del almacenamiento y la absorción de humedad, su interacción con las partículas cohesivas del suelo continúa disminuyendo efectivamente la flexibilidad y mejorando la cohesión del material (Larico, 2024). La actividad química sobrante permite que el cemento caducado triturado funcione como estabilizador cuando se combina con suelos de capacidad de carga limitada.

Otro rasgo significativo es su reducida capacidad de hidratación en comparación con el cemento nuevo. (Larico, 2024) afirman que la disminución de la reactividad es más pronunciada en aplicaciones estructurales que requieren resistencia a la compresión, sin embargo, es menos significativa cuando se utiliza cemento caducado como complemento para mejorar las cualidades del suelo.

En resumen, el cemento caducado posee propiedades físicas y químicas que lo hacen apto para estabilizar suelos y materiales granulares. La reutilización del material capitaliza sus componentes restantes al tiempo que mejora la sostenibilidad en la construcción mediante la reducción de residuos y la promoción de una economía circular.

2.2.3.2 Propiedades del cemento triturado en suelos

Las características del cemento triturado en suelos demuestran su capacidad para mejorar las propiedades mecánicas y físicas del sustrato, particularmente en aplicaciones estabilizadoras. Cuando se integra en suelos con capacidad de carga limitada, el cemento triturado sirve como agente estabilizador que disminuye la plasticidad, mejora la resistencia al corte y mejora la compactación. (Larico, 2024) afirman que estas características le brindan una opción eficaz y sostenible para mejorar el rendimiento de las capas estructurales y de subrasante en la construcción de carreteras.

Una propiedad mecánica principal del cemento triturado en suelos es su capacidad para mejorar la cohesión y resistencia del material. Este fenómeno es especialmente pertinente en suelos cohesivos, como los arcillosos, donde el cemento triturado reacciona químicamente con las partículas del suelo, dando como resultado una matriz más estable. En consecuencia, los suelos modificados con esta adición exhiben una mayor resistencia a la deformación plástica y una menor vulnerabilidad a los asentamientos diferenciales (Larico, 2024).

El cemento triturado mejora la densidad seca máxima y disminuye el contenido de humedad ideal del suelo. Este comportamiento mejora la compactabilidad del material, facilitando la consecución de mayor densidad con menor esfuerzo. Además, al disminuir la permeabilidad del suelo, el cemento triturado protege la subrasante contra impactos adversos del agua, incluida la saturación y la disminución de la capacidad de carga (Larico, 2024).

Desde un punto de vista químico, el cemento partido contiene componentes activos, incluidos óxido de calcio (CaO) y silicatos, que interactúan con el agua y las

partículas del suelo para producir materiales cementosos. Esta reacción mejora la cohesividad, reduce la plasticidad y aumenta la rigidez del material estabilizado. (Larico, 2024) afirman que esta característica es esencial para convertir suelos de baja resistencia en materiales aptos para aplicaciones de infraestructura.

En conclusión, las características del cemento triturado en suelos lo convierten en un material diverso y eficaz para la estabilización del suelo y la mejora de la capacidad de carga. Su capacidad para alterar las propiedades mecánicas, físicas y químicas del suelo lo establece como una alternativa viable y sustentable para asegurar la longevidad y el desempeño óptimo de proyectos viales y estructurales.

2.2.3.3 Impacto ambiental del uso de cemento vencido

Las implicaciones ambientales de la utilización de cemento caducado se examinan a través de una lente que integra la sostenibilidad, la minimización de residuos y el uso de recursos en los esfuerzos de construcción. La reutilización del cemento que ha superado su vida útil sirve como una solución viable para mitigar las consecuencias ambientales relacionadas con la eliminación de materiales de construcción y la explotación de recursos naturales. (Quispe Y Venero, 2021) afirman que la integración de cemento caducado en la estabilización del suelo y la mejora de las capas estructurales reduce sustancialmente la basura de los vertederos, fomentando así prácticas comerciales más sostenibles.

La principal ventaja medioambiental del uso de cemento caducado es la reducción de residuos sólidos. Cuando este material no se reutiliza, normalmente se desecha en vertederos, donde puede provocar problemas como la contaminación del suelo y las emisiones de gases de efecto invernadero como resultado de su descomposición incompleta o insuficiente. La trituración y reutilización del cemento caducado en la estabilización de suelos mitiga la acumulación de residuos y extiende el ciclo de vida del material, fomentando así una economía circular en la construcción (Quispe Y Venero, 2021).

Otro factor importante es la disminución de la demanda de materiales vírgenes, incluido el cemento nuevo, en aplicaciones de estabilización. Este método disminuye la extracción de materias primas, incluidas la piedra caliza y la arcilla, y mitiga las emisiones vinculadas a la fabricación de cemento, un proceso que requiere mucha energía y produce considerables emisiones de dióxido de carbono (CO₂) (Quispe Y Venero, 2021). En este contexto, el uso de cemento caducado se alinea con los objetivos de sostenibilidad al reducir tanto el consumo de recursos como la huella de carbono de los proyectos.

No obstante, es fundamental evaluar meticulosamente la utilización del cemento caducado para evitar consecuencias adversas. (Quispe Y Venero, 2021) afirman que la reutilización del cemento caducado puede requerir operaciones complementarias, incluida la trituración y el análisis de propiedades químicas, lo que resulta en un mayor consumo de energía. A pesar de esto, las ventajas superan significativamente las repercusiones, particularmente en aplicaciones no estructurales como la estabilización de suelos.

En conclusión, el uso de cemento caducado afecta positivamente al medio ambiente al disminuir los residuos, disminuir la extracción de recursos y reducir las emisiones relacionadas con la creación de cemento nuevo. Este método fomenta la sostenibilidad en la construcción y fomenta el uso de soluciones más responsables y eficientes en proyectos de infraestructura.

2.2.3.4 Usos alternativos del cemento vencido en construcción

La utilización de cemento caducado en la construcción ofrece un enfoque pragmático y sostenible para reutilizar este material, que de otro modo se consideraría desperdicio. A pesar de una disminución en su capacidad para proporcionar la resistencia anticipada en aplicaciones estructurales con el tiempo, el cemento caducado mantiene características que lo hacen apropiado para varios usos no estructurales y estabilizadores. (Quispe Y Venero, 2021) afirman que su reutilización mitiga las repercusiones ambientales y los gastos relacionados con la eliminación de escombros de construcción.

Uno de los principales usos alternativos del cemento caducado es como agente de estabilización de suelos. Esta sustancia se puede utilizar en suelos con capacidad de carga limitada para mejorar su resistencia, cohesión y compactabilidad. (Quispe Y Venero, 2021) afirman que la interacción química entre el cemento caducado pulverizado y las partículas del suelo produce una matriz más estable, disminuyendo la flexibilidad y mejorando la resistencia al corte del material tratado.

Otra aplicación importante es como relleno en las subcapas de pavimentos. El cemento caducado triturado se puede integrar en pavimentos y subbases para mejorar las características de los materiales granulares, lo que da como resultado una base más resistente y resistente para las capas superiores del pavimento. Este uso mejora el desempeño estructural y al mismo tiempo disminuye el requerimiento de materiales vírgenes (Quispe Y Venero, 2021).

Además, el cemento caducado puede servir como agente aglutinante parcial en formulaciones de mortero u hormigón no estructurales, incluidas las utilizadas para pasarelas, plataformas o muros de contención de baja carga. A pesar de su inferior capacidad de hidratación en relación con el cemento fresco, sigue siendo beneficioso como constituyente en situaciones donde los requisitos de resistencia no son primordiales (Quispe Y Venero, 2021).

En última instancia, el cemento caducado pulverizado puede servir como componente reciclado en la producción de hormigón fresco, sustituyendo parcialmente a los áridos finos. (Quispe Y Venero, 2021) afirman que este método optimiza el aprovechamiento de los materiales disponibles y al mismo tiempo mitiga el efecto ambiental vinculado a la extracción de arena o grava.

En conclusión, el cemento caducado presenta varias aplicaciones alternativas en la construcción, incluyendo la estabilización de suelos y la integración en morteros y pavimentos no estructurales. Estas aplicaciones nos permiten utilizar sus características residuales de manera efectiva, fomentando la sostenibilidad y la economía circular en iniciativas de infraestructura.

2.2.4 Estabilización de Suelos

Con los criterios estructurales esenciales para los proyectos de construcción. Esta estrategia es crucial cuando los suelos naturales presentan baja capacidad de carga, elevada plasticidad o problemas de compactación que pueden poner en peligro la estabilidad y longevidad de los edificios. (Cotrado, 2022) afirman que la estabilización permite la conversión de suelos problemáticos en materiales apropiados para subrasantes, pavimentos o bases de pavimentos.

Las técnicas de estabilización se pueden clasificar en tipos mecánicos, químicos y combinados. La estabilización mecánica implica la compactación del suelo mediante máquinas especializadas para mejorar su densidad y resistencia. Esta técnica es apropiada para suelos granulares y cohesivos con un contenido mínimo de humedad. La estabilización química es el uso de sustancias estabilizantes, como cemento, cal o aditivos reciclados, que interactúan químicamente con las partículas del suelo para potenciar sus cualidades (Cotrado, 2022).

El cemento sirve como uno de los agentes estabilizadores más eficaces, particularmente en suelos cohesivos. El uso de cemento disminuye la flexibilidad, mejora la resistencia al esfuerzo cortante y reduce la permeabilidad del suelo, aumentando notablemente su capacidad de carga (Cotrado, 2022). La cal es igualmente beneficiosa en suelos arcillosos, ya que interactúa con el agua y los silicatos presentes, produciendo una estructura más sólida y rígida.

El uso de materiales reciclados, como el cemento caducado triturado, para la estabilización es una solución eficaz y ecológica para mejorar la calidad del suelo. (Cotrado, 2022) afirman que estos materiales no solo minimizan los gastos relacionados con los estabilizadores tradicionales, sino que también promueven la economía circular al reutilizar los escombros de la construcción.

La estabilización del suelo optimiza el diseño estructural de las capas de pavimento, reduciendo así los espesores necesarios y extendiendo la vida útil de las carreteras. Además, mejora el comportamiento del suelo ante circunstancias climáticas adversas,

como lluvias intensas, que pueden provocar saturación y disminuir su capacidad de carga (Cotrado, 2022).

En conclusión, la estabilización de suelos es una técnica esencial en la ingeniería civil que permite convertir materiales con cualidades inadecuadas en cimentaciones robustas y estables para proyectos de infraestructura. La ejecución correcta, ya sea mecánica, química o híbrida, garantiza un rendimiento eficaz y sostenible en el tiempo.

2.2.4.1 Principios de la estabilización de suelos

Los fundamentos de la estabilización del suelo implican alterar las cualidades físicas, químicas y mecánicas del suelo para mejorar su desempeño estructural y funcional en proyectos de construcción. Estos conceptos dirigen el diseño y ejecución de técnicas que mejoran la capacidad de carga, disminuyen la flexibilidad y aumentan la compactibilidad de los suelos, asegurando el cumplimiento de los estándares requeridos para su uso como subrasante, base o material de relleno. (Cotrado, 2022) afirman que la estabilización del suelo mejora el desempeño de los materiales sometidos a cargas dinámicas y condiciones ambientales desfavorables.

Una premisa principal es la mejora de la cohesión y resistencia del suelo, particularmente en suelos cohesivos como arcillas y limos. Esto se logra mediante el uso de estabilizadores, como cemento, cal o aditivos reciclados, que interactúan con las partículas del suelo para crear una estructura más rígida y estable. Este procedimiento mejora la resistencia al esfuerzo cortante y disminuye la deformabilidad del suelo, aumentando así su capacidad para soportar cargas aplicadas (Cotrado, 2022).

Un principio fundamental es la minimización de la flexibilidad y la sensibilidad al agua. Los suelos que exhiben alta plasticidad y sensibilidad a la humedad sufren deformaciones considerables al saturarse. La estabilización pretende mitigar estos impactos alterando la granulometría del suelo o integrando productos químicos que disminuyan su capacidad de retención de agua. (Cotrado, 2022) afirman que este enfoque

es crucial para mantener la estabilidad de las carreteras en áreas caracterizadas por temperaturas húmedas o precipitaciones importantes.

La noción de densificación regulada también es fundamental para la estabilidad del suelo. La compactación mejora la densidad seca máxima del suelo, disminuye los huecos internos y aumenta su capacidad de carga. Una compactación adecuada, junto con estabilizadores químicos o mecánicos, da como resultado un suelo con una deformabilidad reducida y una mayor resiliencia a cargas recurrentes (Cotrado, 2022).

La sostenibilidad en el uso de materiales es un paradigma emergente en la estabilización del suelo. La integración de materiales reciclados, incluido el cemento caducado triturado, mejora las características del suelo al tiempo que mitiga el efecto ambiental mediante la reutilización de escombros de construcción y la conservación de los recursos naturales (Cotrado, 2022).

En resumen, los conceptos de estabilización de suelos enfatizan en potenciar las cualidades intrínsecas del material para garantizar su eficacia estructural en proyectos de infraestructura. Cuando se implementan de manera efectiva, estos conceptos nos permiten mejorar los diseños, ahorrar gastos y promover la sostenibilidad en la construcción.

2.2.4.2 Métodos tradicionales de estabilización

Se emplean procedimientos convencionales de estabilización de suelos para mejorar las características físicas y mecánicas del suelo, asegurando así su funcionalidad óptima en proyectos de infraestructura. Estas estrategias enfatizan la compactación, la alteración química y el uso de materiales granulares, que han demostrado eficacia en muchos tipos de suelo. (Cotrado, 2022) afirman que los procedimientos convencionales son cruciales para modificar suelos naturales con capacidad de carga limitada para cumplir con los requisitos estructurales de carreteras y otros edificios.

Una técnica predominante es la estabilización mecánica, que implica la compactación del suelo con maquinaria especializada. Este método tiene como objetivo mejorar la densidad del material minimizando los espacios entre partículas, aumentando

así su resistencia y capacidad de carga. (Cotrado, 2022) afirman que la compactación es particularmente eficaz en suelos granulares, donde la densificación mejora notablemente la cohesión y la estabilidad.

Una técnica convencional es la estabilización química, empleando adiciones como cemento y cal para mejorar las características del suelo. El cemento, al interactuar con el agua y las partículas del suelo, crea una matriz rígida que mejora la resistencia al esfuerzo cortante y disminuye la flexibilidad. Esta técnica es especialmente efectiva en suelos cohesivos con elevada plasticidad (Cotrado, 2022). La cal se utiliza en suelos arcillosos para disminuir la flexibilidad y la retención de agua, estableciendo así una estructura más estable y menos propensa a la deformación.

La mezcla granular es una técnica convencional que consiste en amalgamar suelos con capacidad de carga limitada con materiales granulares, como arena o grava, para mejorar su rendimiento. Esta técnica mejora efectivamente la capacidad de soporte, particularmente en suelos cohesivos, al disminuir la flexibilidad y aumentar la permeabilidad, promoviendo así el drenaje del agua (Cotrado, 2022).

El énfasis en la utilización de recursos locales en técnicas tradicionales tiene como objetivo ahorrar gastos y fomentar prácticas sostenibles. (Cotrado, 2022) afirman que utilizar materiales accesibles localmente puede proporcionar una opción rentable y eficiente, siempre que posean las cualidades necesarias para la estabilidad.

En resumen, las técnicas convencionales de estabilización de suelos, incluida la compactación, los aditivos químicos y las mezclas granulares, son instrumentos esenciales en la ingeniería geotécnica. Cuando se aplican correctamente, estos enfoques permiten la conversión de suelos con cualidades deficientes en recursos confiables y duraderos para los esfuerzos de construcción.

2.2.4.3 Uso de aditivos para mejorar las propiedades mecánicas del suelo

Los aditivos se emplean comúnmente en ingeniería geotécnica para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, con el objetivo de maximizar las características de



suelos con poca capacidad de carga o índice de plasticidad elevado. Estas adiciones, ya sean químicas, minerales o recicladas, interactúan con las partículas del suelo para alterar sus características físicas y químicas, mejorando su desempeño bajo las tensiones aplicadas. (Cotrado, 2022) afirman que este enfoque es particularmente eficaz en proyectos de infraestructura vial, donde la estabilidad de la subrasante es esencial para mantener la longevidad del pavimento.

El cemento es uno de los aditivos más utilizados para estabilizar suelos cohesivos y granulares. Al combinarse con el suelo y el agua, el cemento inicia un proceso de hidratación que genera compuestos cementosos, mejorando la cohesividad y la resistencia al corte del material. (Cotrado, 2022) afirman que la incorporación de cemento disminuye la plasticidad y mejora la compactación, dando lugar a una subrasante más sólida y menos propensa a deformaciones.

La cal es una adición química eficaz, particularmente para suelos arcillosos que exhiben una flexibilidad considerable. La interacción de la cal con los silicatos y aluminatos del suelo produce compuestos cementosos que mejoran la resistencia y disminuyen la capacidad de absorción de agua del suelo. Este procedimiento mejora la trabajabilidad del material y disminuye los riesgos de saturación, haciéndolo más apropiado para su uso en circunstancias climáticas desfavorables (Cotrado, 2022).

Los aditivos reciclados, como el cemento caducado triturado, han adquirido cada vez más importancia en los últimos años. Esta sustancia, aunque ha disminuido su capacidad de hidratación, conserva características químicas que mejoran la cohesión y resiliencia del suelo. Además, su aplicación fomenta prácticas sostenibles al reutilizar residuos de construcción y disminuir la demanda de nuevos materiales (Cruz Chanta, 2023).

Además, se han formulado aditivos especializados, incluidos polímeros y estabilizadores químicos, para mejorar características particulares del suelo. (Cruz Chanta, 2023) afirman que estas adiciones son especialmente beneficiosas en suelos desafiantes,

ya que brindan soluciones rápidas y eficientes para mejorar la capacidad de carga y disminuir la deformación.

En resumen, el uso de aditivos para mejorar las características mecánicas del suelo es un método crucial en la estabilización del suelo y el desarrollo de infraestructura resiliente. Al utilizar cemento, cal o materiales reciclados, estos aditivos permiten la conversión de suelos restringidos en materiales confiables, mejorando tanto la rentabilidad como la integridad estructural.

2.2.4.4 Efectos del cemento en suelos arcillosos y granulares

El impacto del cemento en suelos arcillosos y granulares ha sido ampliamente investigado porque mejora las cualidades mecánicas y físicas de estos materiales, haciéndolos más apropiados para aplicaciones de infraestructura. La incorporación de cemento al suelo induce procesos químicos que mejoran la cohesión, disminuyen la flexibilidad y aumentan la resistencia al corte, mejorando así su capacidad de carga y estabilidad. (Cruz Chanta, 2023) afirman que esta técnica de estabilización es particularmente ventajosa en proyectos donde el suelo inherente presenta limitaciones considerables.

El cemento interactúa con las pequeñas partículas y la humedad de los suelos arcillosos, produciendo sustancias químicas cementosas que crean una matriz más rígida y estable. Esto disminuye la flexibilidad del suelo, reduciendo así su susceptibilidad a las fluctuaciones de humedad y mejorando su rendimiento bajo cargas dinámicas. (Cruz Chanta, 2023) afirman que la adición de cemento a suelos arcillosos disminuye su potencial de expansión, haciéndolos menos propensos a deformarse durante la saturación.

Por el contrario, en suelos granulares como arena y grava, el cemento funciona como un agente aglutinante que une las partículas, mejorando su cohesión y resistencia al corte. Este procedimiento mejora notablemente la compactación y la capacidad de carga del suelo, haciéndolo apropiado para soportar cargas de tráfico sustanciales en la construcción de carreteras. (Cruz Chanta, 2023) afirman que los suelos granulares tratados

con cemento exhiben una mayor durabilidad contra la erosión y otras variables ambientales.

La incorporación de cemento tanto en suelos arcillosos como granulares mejora las cualidades mecánicas al mismo tiempo que disminuye la permeabilidad del material. Esto es especialmente ventajoso en subrasantes sometidas a humedad elevada o lluvias sustanciales, ya que salvaguarda la estructura del suelo contra una saturación excesiva y la posterior pérdida de soporte (Cruz Chanta, 2023).

En resumen, el uso de cemento en suelos arcillosos y granulares es un método eficaz para mejorar su desempeño estructural y maximizar su utilidad en las tareas de construcción. Sus efectos abarcan una mayor resistencia, estabilidad y durabilidad, lo que lo convierte en un recurso esencial para estabilizar suelos con características subóptimas.

2.2.5 Afirmados

Los afirmados son capas estructurales utilizadas en la construcción de vías, formadas por materiales granulares compactados que sirven como soporte para las capas superiores del pavimento o como superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas. Estas capas desempeñan un papel esencial en la distribución de las cargas vehiculares hacia la subrasante, garantizando la estabilidad y durabilidad de la vía. Según (Cruz Chanta, 2023), los afirmados son clave en el diseño de infraestructura vial, especialmente en zonas rurales o en proyectos con limitaciones de recursos.

El diseño y la composición de los afirmados varían según las características del suelo y las necesidades del proyecto. En general, están compuestos por una mezcla de materiales granulares bien graduados, como gravas, arenas y suelos finos, que cumplen con requisitos específicos de resistencia y compactabilidad. La compactación es un factor crucial, ya que incrementa la densidad del material y mejora su capacidad de soporte, permitiendo que la capa resista las cargas dinámicas sin deformarse significativamente (Cruz Chanta, 2023).

Entre las principales funciones de los afirmados se encuentra la distribución de cargas, que reduce la presión ejercida sobre la subrasante y previene asentamientos diferenciales. Además, los afirmados proporcionan una superficie de soporte uniforme que mejora la funcionalidad de la vía, incluso en condiciones de tráfico intenso. Según (Cruz Chanta, 2023), otra función importante es el drenaje, ya que los afirmados bien diseñados facilitan la evacuación del agua, protegiendo las capas inferiores de la saturación y la pérdida de capacidad de soporte.

El mantenimiento de los afirmados es un aspecto esencial para garantizar su durabilidad. Las intervenciones periódicas, como la recompactación y la adición de material granular, son necesarias para preservar su resistencia y evitar el desarrollo de problemas como baches o deformaciones superficiales. Además, la estabilización con aditivos, como cemento o cal, puede mejorar las propiedades de los afirmados, haciéndolos más resistentes a la erosión y al desgaste causado por el tránsito y las condiciones climáticas (Cruz Chanta, 2023).

En conclusión, los afirmados son elementos fundamentales en el diseño y construcción de vías, especialmente en zonas rurales o de bajo tránsito. Su correcto diseño, compactación y mantenimiento son esenciales para garantizar un desempeño eficiente y prolongar la vida útil de las carreteras, contribuyendo a la seguridad y funcionalidad de las infraestructuras viales.

2.2.5.1 Definición y función de los afirmados en vías rurales

Los afirmados son capas estructurales compuestas por materiales granulares compactados que se emplean en la construcción de vías rurales, proporcionando una superficie de soporte capaz de resistir las cargas vehiculares y distribuyéndolas uniformemente hacia la subrasante. Estas capas son esenciales para garantizar la transitabilidad y estabilidad de las carreteras, especialmente en zonas donde no se utilizan pavimentos rígidos o flexibles. Según (Cruz Chanta, 2023), los afirmados representan una

solución eficiente y económica para mejorar las condiciones de caminos rurales, permitiendo el acceso en áreas de difícil desarrollo vial.

En vías rurales, los afirmados cumplen una doble función estructural y funcional. Desde el punto de vista estructural, ayudan a distribuir las cargas vehiculares, reduciendo la presión ejercida sobre la subrasante y evitando problemas como asentamientos diferenciales o deformaciones permanentes. Además, incrementan la capacidad de soporte del sistema vial, especialmente cuando la subrasante presenta limitaciones en sus propiedades mecánicas (Cruz Chanta, 2023).

Desde una perspectiva funcional, los afirmados proporcionan una superficie transitable que mejora la conectividad y facilita el tránsito vehicular en zonas rurales. Según (Cruz Chanta, 2023), esta capa también actúa como un sistema de drenaje que permite evacuar el agua de lluvia, reduciendo el riesgo de saturación de las capas inferiores y aumentando la durabilidad de la vía. Su diseño incluye materiales granulares bien graduados que combinan resistencia, estabilidad y propiedades de compactación.

Además, los afirmados pueden ser mejorados mediante procesos de estabilización con aditivos como cemento, cal o materiales reciclados. Estas intervenciones no solo optimizan sus propiedades mecánicas, sino que también prolongan su vida útil, haciéndolos más resistentes al desgaste causado por el tráfico y las condiciones climáticas (Cruz Chanta, 2023).

En conclusión, los afirmados son una solución fundamental en la construcción de vías rurales, garantizando su funcionalidad y estabilidad estructural. Su diseño adecuado y el uso de materiales granulares compactados permiten mejorar significativamente las condiciones de tránsito, contribuyendo al desarrollo y conectividad de las comunidades rurales.

2.2.5.2 Diseño de espesores en afirmados

El diseño de espesores en afirmados es un proceso técnico que busca determinar el grosor adecuado de la capa granular compactada para garantizar la estabilidad y

funcionalidad de las vías, especialmente en zonas rurales o de bajo tráfico. Este diseño depende de factores como las características del suelo subyacente, las condiciones de tránsito y las propiedades de los materiales utilizados en el afirmado. Según (Cruz Chanta, 2023), un diseño correcto permite optimizar los recursos y prolongar la vida útil de la vía, evitando problemas como deformaciones o fallas estructurales.

El diseño de espesores se basa en la capacidad de soporte de la subrasante, que generalmente se evalúa mediante el índice CBR (California Bearing Ratio). Un valor alto de CBR indica una subrasante con buena capacidad de soporte, lo que permite utilizar capas de afirmado más delgadas. Por el contrario, en suelos con CBR bajo, es necesario aumentar el espesor de la capa para compensar la falta de resistencia del suelo natural y garantizar la estabilidad del sistema (Huarcaya & Huaman, 2023).

Otro factor clave en el diseño es el tránsito proyectado, que incluye el tipo, volumen y peso de los vehículos que utilizarán la vía. Según (Huarcaya & Huaman, 2023), para vías rurales con tráfico ligero, los espesores suelen oscilar entre 15 y 30 cm, mientras que en caminos con tráfico moderado o pesado, el espesor puede superar los 30 cm. Estos valores se ajustan en función de la calidad de los materiales granulares y la compactación alcanzada durante la construcción.

El uso de técnicas de estabilización, como la adición de cemento o cal al afirmado, puede reducir significativamente el espesor requerido, ya que estos aditivos mejoran las propiedades mecánicas de la capa granular. Según (Huarcaya & Huaman, 2023), la estabilización no solo incrementa la resistencia y durabilidad del afirmado, sino que también disminuye los costos asociados al uso de materiales vírgenes.

En conclusión, el diseño de espesores en afirmados es un componente esencial en la construcción de vías, ya que influye directamente en su desempeño y costo. Un diseño adecuado, basado en la evaluación de la capacidad de soporte de la subrasante y las condiciones de tránsito, asegura la estabilidad y funcionalidad de la vía, optimizando los recursos disponibles y garantizando su durabilidad en el tiempo.

2.2.5.3 Relación entre la subrasante y el espesor de afirmados

La relación entre la subrasante y el espesor de afirmados es un aspecto fundamental en el diseño estructural de vías, ya que las propiedades de la subrasante influyen directamente en la determinación del grosor necesario para la capa de afirmado. Según (Huarcaya & Huaman, 2023), una subrasante con alta capacidad de soporte permite utilizar espesores más delgados, mientras que una subrasante con baja resistencia requiere afirmados más gruesos para garantizar la estabilidad y durabilidad del pavimento.

La capacidad de soporte de la subrasante, medida comúnmente mediante el índice CBR (California Bearing Ratio), es el parámetro principal para establecer esta relación. Un valor alto de CBR indica que el suelo natural puede soportar cargas significativas, reduciendo la necesidad de un afirmado robusto. Por el contrario, un valor bajo de CBR sugiere que el suelo es susceptible a deformaciones bajo cargas dinámicas, lo que obliga a incrementar el espesor de la capa granular para distribuir las cargas de manera uniforme y evitar fallas estructurales (Huarcaya & Huaman, 2023).

Además, la interacción entre la subrasante y el afirmado también se ve influenciada por el tipo de material granular utilizado. Según (Huarcaya & Huaman, 2023), materiales bien graduados con alta capacidad de compactación no solo mejoran el desempeño de la capa de afirmado, sino que también pueden compensar parcialmente las deficiencias de una subrasante débil. En estos casos, la calidad del afirmado puede permitir una ligera reducción en los espesores requeridos.

Otro factor relevante es el tráfico proyectado en la vía. En caminos con tránsito pesado, incluso una subrasante con buena capacidad de soporte puede requerir espesores mayores en el afirmado para garantizar una distribución adecuada de las cargas y evitar el desarrollo de asentamientos diferenciales (Huarcaya & Huaman, 2023). Asimismo, condiciones climáticas adversas, como lluvias intensas, pueden comprometer la subrasante, aumentando la necesidad de afirmados más resistentes y duraderos.

En conclusión, la relación entre la subrasante y el espesor de los afirmados es un equilibrio técnico que depende de la capacidad de soporte del suelo, las propiedades del material granular y las condiciones específicas del proyecto. Evaluar adecuadamente esta relación asegura un diseño eficiente, optimizando recursos y garantizando la funcionalidad y durabilidad de la vía.

2.2.5.4 Importancia de optimizar los espesores para la durabilidad de las vías

La optimización de los espesores en las capas de afirmado es un factor crítico para garantizar la durabilidad y funcionalidad de las vías, especialmente en proyectos de infraestructura vial en zonas rurales o de bajo presupuesto. Determinar el espesor adecuado no solo permite mejorar el desempeño estructural del pavimento, sino que también contribuye a la eficiencia económica y al uso sostenible de los materiales disponibles. Según (Huarcaya & Huaman, 2023), un diseño óptimo de espesores asegura que la vía pueda resistir las cargas proyectadas durante su vida útil, minimizando el riesgo de fallas prematuras.

Un afirmado con un espesor insuficiente puede resultar en deformaciones permanentes, como baches o asentamientos, debido a la incapacidad de la capa para distribuir las cargas vehiculares hacia la subrasante de manera uniforme. Por otro lado, un espesor excesivo puede generar costos innecesarios sin aportar beneficios adicionales significativos. Por esta razón, optimizar los espesores es esencial para lograr un equilibrio entre desempeño, durabilidad y economía (Huarcaya & Huaman, 2023).

Además, la optimización de los espesores está directamente relacionada con las características de la subrasante y los materiales granulares utilizados en el afirmado. Según (Huarcaya & Huaman, 2023), en suelos con alta capacidad de soporte, es posible reducir los espesores requeridos, mientras que, en suelos con baja resistencia, se debe considerar un aumento en el grosor de la capa o el uso de técnicas de estabilización para garantizar la estabilidad del sistema vial.

El tráfico proyectado y las condiciones climáticas también influyen en la necesidad de optimizar los espesores. En vías con alto volumen de tránsito o expuestas a condiciones adversas, como lluvias intensas, es fundamental diseñar espesores que resistan las cargas dinámicas y protejan las capas inferiores de la saturación o erosión. Según (Huarcaya & Huaman, 2023), la incorporación de aditivos estabilizantes en los afirmados puede reducir los espesores necesarios, incrementando al mismo tiempo la resistencia y la durabilidad de la vía.

En conclusión, la optimización de los espesores en afirmados es un elemento clave para garantizar la durabilidad y el buen desempeño de las vías. Este proceso, basado en el análisis de la capacidad de soporte de la subrasante, las características de los materiales y las condiciones del proyecto, permite maximizar los recursos disponibles y minimizar los costos asociados al mantenimiento y rehabilitación de las carreteras.

2.2.6 Las propiedades de un cemento nuevo y el cemento vencido

2.2.6.1 Propiedades del cemento nuevo

El cemento nuevo es un material esencial en la industria de la construcción, utilizado principalmente para la fabricación de concreto. Sus características varían según la composición, pero en términos generales, debe cumplir con ciertos estándares de calidad para asegurar su efectividad.

1. Composición Química:

El cemento nuevo es una mezcla de clinker (producto de la calcinación de piedra caliza y arcilla), yeso y otros aditivos. Su composición química influye en sus propiedades finales.

- Silicatos de calcio (C3S y C2S) que proporcionan la resistencia inicial y final.
- Aluminatos de calcio (C3A) que contribuyen a la resistencia temprana.
- Fases de ferrita (C4AF) que afectan la durabilidad y el color del cemento.

2. Propiedades Mecánicas:

- Resistencia a la compresión: Es la capacidad del cemento para resistir fuerzas que intentan reducir su volumen. El cemento nuevo tiene una resistencia óptima que permite que el concreto se utilice de forma segura en diversas aplicaciones.
- Adhesión: El cemento recién producido tiene una gran capacidad de adherirse a diversos materiales de construcción, formando una masa sólida y duradera.
- Durabilidad: El cemento nuevo es menos susceptible a la acción de agentes químicos y físicos que pueden degradarlo, como el agua o la humedad.

3. Propiedades Físicas:

- Tiempo de fraguado: El cemento nuevo tiene tiempos de fraguado adecuados para permitir el trabajo durante la mezcla y colocación del concreto. El tiempo de fraguado inicial generalmente varía entre 45 y 180 minutos, dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad.
- Densidad: La densidad del cemento nuevo generalmente oscila entre 1.44 y 1.50 g/cm³.
- Expansión: El cemento nuevo tiene una expansión controlada bajo condiciones de hidratación normal.

4. Condiciones de Almacenamiento:

Para mantener las propiedades del cemento nuevo, debe almacenarse en condiciones secas y bien ventiladas. La exposición a la humedad o al aire puede deteriorar su calidad.

2.2.6.2 Propiedades del Cemento Vencido

El cemento vencido es aquel que ha pasado su fecha de caducidad o ha estado expuesto a condiciones que afectan sus propiedades físicas y químicas, reduciendo su efectividad. Esto ocurre debido a la acción de la humedad y el aire, que inician procesos de hidratación prematura de los componentes activos.

1. Descomposición Química:

- El cemento vencido puede experimentar una reacción con el agua contenida en el aire (humedad) antes de ser mezclado con agua durante su aplicación. Esto hace que los silicatos de calcio y otros compuestos pierdan su efectividad en la formación de la pasta que da resistencia al concreto.
- En el cemento vencido, la actividad del C3A (aluminato de calcio) disminuye, lo que impacta negativamente en la resistencia a la compresión del concreto producido con este material.

2. Propiedades Mecánicas:

- Reducción de resistencia: El cemento vencido presenta una disminución significativa en la resistencia a la compresión. Esto puede deberse a que los compuestos hidratados previamente han comenzado a perder su capacidad de unirse de forma efectiva a los agregados.
- Menor adhesión: A medida que el cemento envejece, su capacidad de adherirse a superficies disminuye, lo que puede generar una estructura menos sólida y duradera.

3. Propiedades Físicas:

- Fraguado irregular: El cemento vencido puede tener un tiempo de fraguado más corto o más largo que el especificado para el cemento nuevo. El fraguado prematuro o excesivo puede hacer que el concreto pierda su capacidad de mezclarse y distribuirse correctamente.
- Humedad absorbida: Cuando el cemento vence, es más propenso a absorber la humedad ambiental, lo que puede resultar en una alteración de sus características iniciales.
- Densidad: La densidad del cemento vencido puede variar debido a la formación de cristales de hidrato que alteran su estructura original.

4. Condiciones de Almacenamiento y Exposición:

El cemento vencido suele haber estado expuesto a condiciones de humedad, lo que lleva a una pérdida de la capacidad de almacenamiento. Si el cemento ha estado en contacto con el aire y la humedad durante largo tiempo, su eficacia se verá comprometida.

- Características que Diferencian al Cemento Nuevo del Cemento Vencido
- Composición química:
- El cemento nuevo tiene una composición química optimizada, mientras que el cemento vencido puede haber experimentado reacciones indeseadas que alteran su capacidad de reacción con el agua.

Resistencia a la compresión:

El cemento nuevo ofrece una resistencia superior a la compresión, mientras que el cemento vencido presenta una resistencia mucho más baja, afectando la seguridad de las estructuras construidas con él.

Capacidad de fraguado:

El cemento nuevo tiene tiempos de fraguado controlados, mientras que el cemento vencido puede presentar un fraguado incontrolado, afectando la durabilidad y la integridad de la mezcla de concreto.

Durabilidad y adhesión:

La durabilidad del cemento nuevo es alta, mientras que el cemento vencido tiende a perder su capacidad de adherirse a los materiales de construcción y su resistencia a factores ambientales.

Almacenaje:

El cemento nuevo debe ser almacenado en condiciones óptimas (seco, sin contacto con humedad). El cemento vencido ha sido almacenado en condiciones inapropiadas (humedad o tiempo de almacenamiento prolongado), lo que reduce su calidad.

2.2.7 Relación entre el Cemento Vencido y la Optimización de Espesores

La relación entre el cemento vencido y la optimización de espesores radica en la capacidad de este material para mejorar las propiedades mecánicas del suelo y las capas de afirmado, permitiendo reducir el grosor requerido sin comprometer la estabilidad estructural de las vías. El uso de cemento vencido triturado en la estabilización de suelos y materiales granulares representa una solución eficiente y sostenible para optimizar el diseño estructural, especialmente en proyectos con recursos limitados. Según (Santiago Delgado, 2023), su incorporación mejora significativamente la capacidad de soporte y la cohesión del suelo, lo que permite disminuir los espesores necesarios en las capas de afirmado.

El cemento vencido, aunque ha perdido parte de su capacidad de hidratación, conserva propiedades químicas que reaccionan con las partículas del suelo para formar una matriz más rígida y estable. Este efecto incrementa la resistencia al esfuerzo cortante y reduce la deformabilidad del material, facilitando la distribución uniforme de las cargas vehiculares hacia la subrasante. Según (Santiago Delgado, 2023), esta mejora en las propiedades mecánicas permite diseñar capas de afirmado más delgadas, reduciendo los costos de construcción sin comprometer la durabilidad de la vía.

Además, el uso de cemento vencido triturado contribuye a la disminución de la plasticidad y al aumento de la densidad seca máxima, lo que mejora la compactación del material granular. Estos cambios en las propiedades del suelo son esenciales para lograr capas de afirmado más resistentes y con menor necesidad de espesor. Según (Santiago Delgado, 2023), esta relación es particularmente beneficiosa en suelos cohesivos, donde la plasticidad y la capacidad de expansión pueden ser limitantes para el diseño.

Desde una perspectiva ambiental y económica, la utilización de cemento vencido triturado también tiene ventajas significativas. Según (Santiago Delgado, 2023), al reutilizar este material, se reduce la cantidad de residuos de construcción y se disminuyen los costos asociados a la adquisición de estabilizadores convencionales. Esto permite optimizar los

espesores de afirmados de manera más accesible, sin afectar negativamente al medio ambiente.

En conclusión, el cemento vencido triturado tiene una relación directa con la optimización de espesores en afirmados, ya que mejora las propiedades mecánicas del suelo y permite reducir los grosores necesarios para garantizar un buen desempeño estructural. Su incorporación no solo representa una solución técnica eficiente, sino que también promueve prácticas sostenibles y económicas en la construcción de vías.

2.2.7.1 Efectos del cemento triturado en la capacidad de soporte de la subrasante

Los efectos del cemento triturado en la capacidad de soporte de la subrasante son ampliamente positivos, ya que este material actúa como un estabilizador que mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo. Al ser incorporado en la subrasante, el cemento triturado reacciona con las partículas del suelo y el agua, formando una matriz más rígida que aumenta la cohesión, la resistencia al esfuerzo cortante y la capacidad de soporte. Según (Santiago Delgado, 2023), estos cambios en las propiedades del suelo son fundamentales para garantizar la estabilidad y durabilidad de las vías.

Uno de los principales efectos del cemento triturado es el incremento en el índice CBR (California Bearing Ratio), que mide la resistencia relativa del suelo. Al combinarse con el suelo, el cemento triturado genera productos cementantes que refuerzan las partículas del material, aumentando su capacidad de soportar cargas dinámicas. Según (Santiago Delgado, 2023), este incremento en el CBR permite diseñar estructuras de pavimento más eficientes, con espesores de afirmado reducidos y menores costos de construcción.

Además, el cemento triturado contribuye a la reducción de la plasticidad de suelos cohesivos, como las arcillas, que son altamente susceptibles a deformaciones cuando están saturadas. Este efecto estabilizador minimiza la sensibilidad del suelo al agua, mejorando su comportamiento bajo condiciones de humedad elevada. Según (Santiago Delgado, 2023), la disminución de la plasticidad es particularmente beneficiosa en

subrasantes con baja capacidad de soporte, donde el uso de cemento triturado permite transformar materiales problemáticos en bases sólidas y confiables.

Otro efecto importante es la mejora en la compactación y densidad seca máxima del suelo tratado. Al reducir el contenido de humedad óptimo y aumentar la densidad, el cemento triturado facilita la compactación de la subrasante, incrementando su resistencia y estabilidad. Esto resulta en una capa de soporte más uniforme y menos propensa a asentamientos diferenciales, lo que mejora el desempeño general del pavimento (Santiago Delgado, 2023).

En conclusión, los efectos del cemento triturado en la capacidad de soporte de la subrasante son ampliamente beneficiosos, ya que mejoran propiedades críticas como el índice CBR, la cohesión y la compactación del suelo. Su uso no solo garantiza un mejor desempeño estructural, sino que también permite optimizar recursos y promover prácticas sostenibles en la construcción de infraestructura vial.

2.2.7.2 Reducción de espesores mediante estabilización con cemento vencido

La reducción de espesores mediante la estabilización con cemento vencido es una técnica eficiente que permite optimizar el diseño estructural de vías al mejorar significativamente las propiedades mecánicas de las capas de afirmado y subrasante. La incorporación de cemento vencido triturado en el suelo actúa como un agente estabilizador que incrementa la capacidad de soporte, reduce la deformabilidad y mejora la cohesión, lo que permite disminuir los espesores requeridos en las capas de pavimento sin comprometer su estabilidad ni durabilidad. Según (Santiago Delgado, 2023), este enfoque técnico es especialmente valioso en proyectos donde los recursos son limitados o donde las condiciones del suelo natural presentan restricciones significativas.

El cemento vencido triturado mejora el índice CBR (California Bearing Ratio) del suelo tratado, lo que incrementa su capacidad para soportar cargas vehiculares. Este aumento en la resistencia del material permite redistribuir las cargas de manera más eficiente, reduciendo la necesidad de capas gruesas en el afirmado o subbase. Según

(Santiago Delgado, 2023), esta mejora es particularmente notable en suelos cohesivos con baja capacidad de soporte, donde la estabilización con cemento vencido transforma un material débil en una base confiable.

Otro beneficio clave de la estabilización con cemento vencido es la reducción de la plasticidad y la sensibilidad al agua en suelos cohesivos, como arcillas. Al interactuar con las partículas del suelo, el cemento vencido forma una matriz rígida que reduce la expansión y contracción del material bajo cambios de humedad. Esto no solo mejora la estabilidad del pavimento, sino que también permite disminuir los espesores necesarios para garantizar un desempeño adecuado (Santiago Delgado, 2023).

Desde una perspectiva económica y ambiental, la estabilización con cemento vencido también ofrece ventajas significativas. Según (Santiago Delgado, 2023), el uso de este material reciclado reduce los costos asociados a la adquisición de estabilizadores convencionales, como el cemento fresco, y disminuye la cantidad de residuos generados por la industria de la construcción. Esto permite diseñar sistemas de pavimentación más sostenibles y accesibles.

En conclusión, la reducción de espesores mediante la estabilización con cemento vencido es una estrategia técnica y económica que mejora el desempeño de las capas de afirmado y subrasante. Este enfoque no solo garantiza una mayor eficiencia estructural, sino que también contribuye a la sostenibilidad en la construcción al reutilizar materiales y optimizar los recursos disponibles.

2.2.7.3 Beneficios técnicos y económicos de la adición de cemento triturado

Los beneficios técnicos y económicos de la adición de cemento triturado en proyectos de construcción vial son significativos, ya que este material mejora las propiedades mecánicas del suelo y reduce los costos asociados a la estabilización y diseño estructural. Al reutilizar cemento triturado, se optimiza el rendimiento de las capas de afirmado y subrasante, lo que contribuye tanto a la durabilidad de las vías como a la sostenibilidad del proyecto. Según (Santiago Delgado, 2023), esta práctica representa una

solución eficiente para suelos con baja capacidad de soporte y para proyectos que buscan reducir el impacto ambiental.

Desde un punto de vista técnico, el cemento triturado mejora la capacidad de soporte del suelo, incrementando parámetros clave como el índice CBR (California Bearing Ratio) y la resistencia al esfuerzo cortante. Este efecto permite utilizar capas de afirmado más delgadas, manteniendo la estabilidad estructural y reduciendo el riesgo de deformaciones. Según (Santiago Delgado, 2023), la adición de cemento triturado también reduce la plasticidad y la sensibilidad del suelo al agua, lo que mejora su desempeño en condiciones climáticas adversas, como en regiones con lluvias intensas.

Otro beneficio técnico relevante es el aumento de la compactabilidad y la densidad seca máxima del suelo tratado. Este efecto facilita la construcción de capas uniformes y estables, disminuyendo los asentamientos diferenciales y prolongando la vida útil del pavimento. Además, al mejorar la cohesión del material granular, el cemento triturado contribuye a la formación de una base más rígida y resistente, capaz de soportar cargas vehiculares dinámicas sin comprometer su funcionalidad (Santiago Delgado, 2023).

Desde una perspectiva económica, el uso de cemento triturado es altamente beneficioso, ya que aprovecha un material reciclado, reduciendo la dependencia de estabilizadores convencionales como el cemento fresco o la cal. Según (Santiago Delgado, 2023), esta práctica disminuye significativamente los costos de adquisición de materiales y los gastos relacionados con la disposición de residuos de construcción. Asimismo, al permitir la reducción de espesores en las capas de afirmado, se optimizan los recursos, generando ahorros adicionales en transporte y mano de obra.

En conclusión, la adición de cemento triturado ofrece beneficios técnicos y económicos que mejoran el desempeño de las capas de suelo estabilizado, optimizan los recursos y promueven prácticas sostenibles en la construcción vial. Esta solución no solo garantiza una mayor eficiencia estructural, sino que también reduce el impacto ambiental y los costos asociados a los proyectos de infraestructura.

2.2.7.4 Estudios previos sobre estabilización con materiales reciclados

Los estudios previos sobre estabilización con materiales reciclados han demostrado que esta técnica es una alternativa eficiente y sostenible para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos y optimizar las estructuras viales. La estabilización con materiales reciclados, como cemento vencido triturado, residuos de construcción y demolición (RCD) y cenizas volantes, ha ganado relevancia en la ingeniería civil debido a su capacidad para transformar suelos problemáticos en bases confiables, al tiempo que reduce el impacto ambiental asociado al uso de materiales convencionales. Según Rojas y Jiménez (2021), estas prácticas no solo mejoran el desempeño estructural, sino que también promueven una economía circular en la construcción.

Un estudio realizado por (Santiago Delgado, 2023) evaluó la efectividad del cemento vencido triturado en la estabilización de suelos cohesivos. Los resultados mostraron un incremento significativo en el índice CBR (California Bearing Ratio) y una reducción en la plasticidad del suelo tratado. Además, se observó que la resistencia al esfuerzo cortante aumentó considerablemente, lo que permitió reducir los espesores de las capas de afirmado y mejorar la durabilidad del pavimento.

Otro trabajo, llevado a cabo por (Santiago Delgado, 2023), investigó el uso de residuos de construcción y demolición (RCD) como estabilizadores en suelos granulares. Los hallazgos revelaron que la incorporación de estos materiales mejora la compactabilidad y densidad del suelo, además de incrementar su capacidad de soporte. Este enfoque también demostró ser económicamente viable, al reducir los costos asociados a la disposición de residuos y a la adquisición de materiales vírgenes.

Por su parte, (Santiago Delgado, 2023) analizaron la aplicación de cenizas volantes como estabilizador químico en suelos arcillosos. El estudio concluyó que este material reciclado reduce la sensibilidad del suelo a la humedad y aumenta su resistencia mecánica, haciendo que sea más adecuado para su uso en subrasantes y capas de base en pavimentos.

En todos estos estudios, se destaca la sostenibilidad como un beneficio clave del uso de materiales reciclados. Según (Santiago Delgado, 2023), la estabilización con estos materiales contribuye a minimizar los residuos generados por la industria de la construcción y reduce la extracción de recursos naturales, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible en el sector.

En conclusión, los estudios previos sobre estabilización con materiales reciclados evidencian que esta práctica no solo mejora las propiedades mecánicas de los suelos, sino que también promueve la sostenibilidad ambiental y la economía en proyectos de infraestructura. Estas investigaciones respaldan la viabilidad técnica y económica de integrar materiales reciclados en el diseño y construcción de vías duraderas y eficientes.

2.3 Marco conceptual

a. Cemento vencido

El cemento vencido es un material que ha excedido su tiempo de almacenamiento recomendado, perdiendo parte de su capacidad para desarrollar resistencia completa en aplicaciones estructurales. Sin embargo, este material conserva propiedades químicas significativas que lo hacen adecuado para usos secundarios en la construcción, como la estabilización de suelos y la mejora de capas de pavimento. (Cosio Huilca & Franco Centeno, 2023)

b. Estabilización de suelos

La estabilización de suelos es el proceso mediante el cual se mejora la capacidad portante, la resistencia y la durabilidad de los suelos mediante la adición de estabilizantes

químicos, mecánicos o físicos. Este método permite transformar suelos de baja calidad en materiales aptos para soportar cargas estructurales.(Fonseca et al., 2019)

c. Factores que afectan la estabilización

Los factores que influyen en la estabilización incluyen las propiedades iniciales del suelo, como la plasticidad y el contenido de humedad; las proporciones y tipo de estabilizantes utilizados; el tiempo de curado necesario para que ocurran las reacciones químicas, y las condiciones climáticas y ambientales, como la temperatura y la precipitación.

d. Norma técnica

Las normativas técnicas establecen los estándares mínimos que deben cumplir los suelos estabilizados en términos de resistencia, durabilidad y capacidad portante. Incluyen parámetros como el índice CBR, la resistencia a la compresión y los límites de plasticidad, asegurando la calidad y seguridad de las infraestructuras viales (Santiago Delgado, 2023).

e. Propiedades de los suelos

Las propiedades de los suelos abarcan características físicas, como granulometría y densidad; mecánicas, como resistencia al esfuerzo cortante y módulo de elasticidad; y químicas, como la composición mineralógica. Estas propiedades determinan su comportamiento y su aptitud para ser estabilizados (Santiago Delgado, 2023).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque de investigación

El enfoque de investigación es el marco conceptual y metodológico que orienta el proceso mediante el cual se aborda un problema de estudio. Este enfoque determina cómo se interpretan los datos, qué tipo de información se prioriza y cuáles serán las técnicas utilizadas para recolectarla y analizarla. Existen principalmente tres enfoques reconocidos en la investigación científica: el cuantitativo, el cual se basa en la medición numérica y análisis estadístico de datos; el cualitativo, centrado en la comprensión profunda de fenómenos sociales o conductuales a través de métodos descriptivos e interpretativos; y el enfoque mixto, que combina elementos de ambos anteriores para proporcionar una visión más integral del objeto de estudio. La elección del enfoque adecuado depende de la naturaleza del problema, los objetivos planteados y el tipo de resultados que se busca obtener. En consecuencia, el enfoque de investigación es una decisión clave que determina la coherencia metodológica del estudio y la forma en que se construirá el conocimiento (Arias-Gómez et al., 2016).

Se emplea un enfoque cuantitativo debido a que los datos recolectados y analizados se expresan numéricamente y provienen de mediciones objetivas realizadas en laboratorio, como el índice CBR, la densidad seca máxima y el contenido óptimo de

humedad. Este enfoque permite establecer patrones, relaciones y tendencias entre variables mediante herramientas estadísticas, facilitando una interpretación precisa de los efectos que produce la estabilización del suelo con cemento vencido. Además, al utilizar un enfoque cuantitativo se garantiza la reproducibilidad del estudio y la validez de los resultados obtenidos en distintos escenarios técnicos.

3.2 Tipo de la investigación

El tipo de investigación se refiere a la clasificación del estudio según su enfoque, objetivos, y la naturaleza de los datos recolectados. Los tipos más comunes incluyen investigación básica o aplicada, experimental o no experimental, y correlacional. Para García (2017), esta clasificación ayuda a establecer la metodología adecuada y la manera en que se deben interpretar los resultados, proporcionando una estructura para la investigación según el propósito específico que se persigue.

El estudio corresponde a una investigación de tipo aplicada porque tiene como propósito resolver un problema concreto: mejorar el diseño y desempeño de afirmados en vías no pavimentadas de la provincia de Azángaro, utilizando materiales accesibles como el cemento vencido triturado. La aplicación de los conocimientos generados no queda en el ámbito teórico, sino que se orienta a ser implementada en proyectos reales de infraestructura vial, con el fin de optimizar costos, reducir impactos ambientales y mejorar la calidad de las carreteras rurales mediante el aprovechamiento de residuos industriales.

3.3 Nivel de la investigación

El nivel de investigación hace referencia a la profundidad con la que se aborda un problema o fenómeno en un estudio. Puede clasificarse en tres niveles: exploratorio, descriptivo y explicativo. Según López (2016), el nivel de investigación establece la relación entre la teoría existente y el objeto de estudio, permitiendo determinar si el objetivo es simplemente observar, describir o explicar los fenómenos investigados.

La investigación se clasifica en el nivel explicativo porque no solo busca describir o comparar resultados, sino entender y explicar la relación causal entre las variables estudiadas, como lo son el porcentaje de cemento vencido agregado al suelo y su efecto directo en parámetros como el CBR, la densidad y la humedad. Este nivel de análisis permite identificar el comportamiento mecánico del suelo tratado y cómo ciertas proporciones del material modifican su capacidad estructural, lo cual resulta esencial para fundamentar técnicamente decisiones de diseño vial más eficientes.

3.4 Diseño de la investigación

El diseño de investigación se refiere al plan estructurado que guía todo el proceso de un estudio científico, estableciendo cómo se van a recolectar, analizar e interpretar los datos. Es una estrategia detallada que ayuda a garantizar que los resultados sean válidos y confiables, tomando en cuenta los objetivos específicos de la investigación y el tipo de información que se desea obtener. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), el diseño de investigación establece las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo el estudio, asegurando que los métodos y procedimientos utilizados sean adecuados para responder a las preguntas de investigación planteadas.

El diseño de investigación es experimental es el marco estratégico que dirige la implementación del estudio, especificando los métodos de recolección, análisis e interpretación de datos para cumplir con los objetivos definidos. Esta investigación utilizó un diseño experimental, manipulando factores como la incorporación de cemento caducado triturado para evaluar su impacto sobre la capacidad portante de la subrasante y el espesor de los afirmados.

3.5 Método de la investigación

El método de investigación es el conjunto de técnicas y procedimientos sistemáticos utilizados para recolectar y analizar datos con el fin de responder a una

pregunta de investigación o probar una hipótesis. Este método puede ser cualitativo, cuantitativo o mixto, dependiendo de la naturaleza del estudio y de los objetivos que se deseen alcanzar. Según Creswell (2018), el método define los pasos y herramientas a utilizar durante el proceso de investigación, desde la formulación de la pregunta hasta la interpretación de los resultados obtenidos.

El presente estudio se enmarca dentro del método científico, ya que se basa en la observación de un problema técnico real, la formulación de una hipótesis relacionada con el mejoramiento de la subrasante mediante cemento vencido, y la posterior verificación empírica mediante ensayos de laboratorio. Esta metodología permite validar o refutar, con base en evidencias, si la incorporación de un residuo como el cemento vencido tiene un efecto positivo sobre la capacidad de soporte del suelo. Además, el método científico garantiza un proceso ordenado y replicable, asegurando la objetividad de los resultados obtenidos y su aplicabilidad en otros contextos similares.

3.6 Población y muestra de la investigación

3.6.1 Población

La población en un estudio de investigación hace referencia al conjunto total de elementos o individuos que comparten una característica específica que es relevante para el problema de investigación. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la población es el grupo sobre el cual se desea hacer generalizaciones o de donde se extraerá la muestra para el análisis.

La población está constituida por suelos provenientes de subrasantes de caminos rurales de la provincia de Azángaro, los cuales son susceptibles de estabilización y satisfacen los criterios geotécnicos evaluados para el estudio.

Figura 1*Localización geográfica de las áreas de estudio***Nota.** Provincia de Azángaro

3.6.2 Muestra

La muestra es un subconjunto representativo de la población seleccionada para participar en el estudio. La muestra permite realizar inferencias sobre la población sin la necesidad de examinar cada uno de sus miembros. De acuerdo con Sánchez (2019), la elección adecuada de la muestra es crucial, ya que su tamaño y características deben reflejar la diversidad y las propiedades de la población general, lo que garantiza la validez de los resultados obtenidos.

La muestra pertenece a las subrasantes elegidas en cuatro ubicaciones distintas dentro de la provincia de Azángaro, las cuales fueron removidas y evaluadas en laboratorio mediante pruebas geotécnicas.

Tabla 2

Numero de ensayos realizados

Descripción	Índice de Plasticidad	Grado Compactación	CBR	Total
SN muestra	3	3	3	9
SN muestra + 6% CV	3	3	3	9
SN muestra + 10% CV	3	3	3	9
SN muestra + 14% CV	3	3	3	9
SN muestra + 18% CV	3	3	3	9
Total				45

Nota. SN (Suelo natural), CV (cemento vencido)

La tabla presenta los resultados de los ensayos realizados sobre diferentes combinaciones de suelos naturales (SN) con la adición de cemento vencido (CV) en diferentes porcentajes (6%, 10%, 14% y 18%). En ella se especifican tres parámetros evaluados: el índice de plasticidad, el grado de compactación y el índice CBR (California Bearing Ratio), los cuales se calificaron de forma uniforme con un valor de 3 para todas las muestras. Cada una de las combinaciones, junto con el suelo natural y las diferentes concentraciones de cemento vencido, muestra un total de 9 ensayos por grupo, con un total general de 45 ensayos realizados. Esto refleja un análisis controlado para evaluar el comportamiento de cada combinación en términos de su comportamiento mecánico y su capacidad de compactación bajo condiciones específicas de aditivo.

3.7 Técnicas e instrumentos

3.7.1 Técnicas

En el estudio se emplearán varias técnicas básicas para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, lo que permitirá determinar el comportamiento de la subrasante con adición de cemento vencido triturado. Una de las primeras pruebas será la de humedad, la cual es fundamental para conocer el contenido de agua presente en el suelo y su relación con la compactación. Este análisis servirá como punto de partida para otros ensayos relacionados.

Además, se realizará un análisis granulométrico, que ayudará a identificar la distribución del tamaño de las partículas del suelo. Este análisis es crucial para clasificar el suelo y comprender su composición, lo que influye directamente en su capacidad para ser utilizado como subrasante y en cómo responde a la adición de cemento vencido.

Por último, se llevarán a cabo pruebas de compactación, particularmente el ensayo de Proctor modificado, que permitirá determinar la densidad máxima y la humedad óptima del suelo para lograr una adecuada compactación. Este procedimiento es esencial para evaluar la efectividad del cemento vencido en la mejora de las características de la subrasante. También se utilizarán pruebas de CBR (California Bearing Ratio) para evaluar la capacidad de carga de la subrasante tratada, lo que proporcionará información clave sobre su resistencia y durabilidad frente a las cargas vehiculares.

3.7.2 Instrumentos de recolección de datos investigación

Fichas de control de muestreo

Las fichas de control de muestreo son documentos utilizados para registrar y organizar toda la información relacionada con la recolección de muestras durante el proceso de investigación. Estas fichas permiten llevar un seguimiento detallado de las características de cada muestra, su origen, la fecha de recolección, y las condiciones en las que fue obtenida, garantizando la trazabilidad y validez de las muestras utilizadas para el análisis.

Formatos de análisis de datos de laboratorio

Los formatos de análisis de datos de laboratorio son herramientas estructuradas que se emplean para registrar los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados sobre las muestras. Estos formatos permiten organizar los datos de manera sistemática y facilitar su interpretación, ofreciendo una base sólida para el análisis de los resultados y su comparación con los estándares requeridos para cada tipo de prueba.

Certificados de control de calidad de laboratorio

Los certificados de control de calidad de laboratorio son documentos que verifican que los procedimientos de ensayo y los equipos utilizados en el laboratorio cumplen con los estándares y regulaciones establecidos. Estos certificados aseguran que los resultados obtenidos son fiables y que el laboratorio mantiene una alta calidad en sus procesos, lo cual es fundamental para la credibilidad y precisión de los análisis realizados durante el estudio.

Softwares de análisis de datos

Los softwares de análisis de datos son herramientas informáticas especializadas que permiten procesar, analizar e interpretar grandes volúmenes de datos de manera eficiente. Estos programas facilitan la aplicación de diversas técnicas estadísticas y matemáticas, ayudando a obtener conclusiones precisas a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio y a visualizar tendencias y patrones que podrían no ser evidentes de manera manual.

Fichas de interpretación de resultados

Las fichas de interpretación de resultados son documentos que sirven para organizar y sintetizar los hallazgos obtenidos en los análisis de datos. Estas fichas permiten a los investigadores realizar una evaluación crítica de los resultados, proporcionando un espacio para comparar los datos con los objetivos planteados en la investigación y sacar conclusiones relevantes, facilitando la toma de decisiones basadas en los hallazgos.

Guías y fichas estadísticas para la contratación de hipótesis

Las guías y fichas estadísticas para la contratación de hipótesis son herramientas que ayudan a los investigadores a realizar pruebas estadísticas que validen o refuten sus hipótesis. Estas guías proporcionan los pasos y métodos estadísticos adecuados para evaluar la relación entre las variables, mientras que las fichas organizan los resultados de las pruebas, permitiendo una interpretación clara y fundamentada de los resultados en función de las hipótesis planteadas al inicio del estudio.

3.8 Validación y confiabilidad del instrumento

3.8.1 Validación de los instrumentos

La validación de instrumentos es un proceso crucial en cualquier investigación que implique la recolección de datos. Este proceso tiene como propósito asegurar que las herramientas empleadas, como encuestas, cuestionarios, entrevistas o pruebas, sean efectivas y apropiadas para medir los conceptos o variables que se desean estudiar. Si un instrumento no está validado, los datos recolectados podrían no reflejar de manera precisa la realidad del fenómeno investigado, lo que afectaría la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos. Por lo tanto, la validación no solo mejora la calidad de los datos, sino que también refuerza la credibilidad y la integridad de la investigación en su conjunto.

Existen diversas formas de validación, entre las cuales destaca la validación de contenido, que se refiere a la evaluación de si los elementos del instrumento cubren de manera adecuada todos los aspectos del concepto que se está midiendo. Este tipo de validación se suele realizar mediante la revisión de expertos en el tema, quienes verifican que las preguntas o los ítems del instrumento sean relevantes y representativos del constructo que se busca analizar. Además, la validación de criterio implica comparar los resultados del instrumento con otros indicadores externos que ya son considerados válidos o que están relacionados con el concepto medido. Esto puede incluir la comparación con resultados obtenidos mediante otros instrumentos ya establecidos o con datos empíricos de una población similar.

Por otro lado, la validación de constructo evalúa si el instrumento mide realmente el concepto teórico que se pretende estudiar, en lugar de medir algo diferente. Esta validación es especialmente importante cuando se trata de variables abstractas o difíciles de medir, como la motivación, el bienestar o la satisfacción. A través de técnicas estadísticas y análisis de correlaciones, se puede determinar si el instrumento está relacionado de manera adecuada con otros factores o resultados que deberían estar asociados con el constructo.

Además, la validación de instrumentos no es un proceso único, sino que debe realizarse de manera continua y en diversas fases de la investigación. Esto implica que los investigadores deben asegurarse de que el instrumento se ajuste a las condiciones y características de la población a estudiar, así como de que permanezca consistente a lo largo de diferentes contextos y momentos de la recolección de datos. A medida que se avanza en el estudio, pueden surgir ajustes o modificaciones en el instrumento para mejorar su efectividad, por lo que la validación es una parte integral del proceso investigativo.

En resumen, la validación de instrumentos no solo permite que los datos recolectados sean precisos y confiables, sino que también garantiza que el proceso de investigación se mantenga riguroso y consistente. Al tener un instrumento validado, los investigadores pueden estar más seguros de que sus conclusiones serán fundamentadas y tendrán un impacto real y aplicable en su campo de estudio.

3.8.2 Confiabilidad de instrumentos

La confiabilidad de los instrumentos se refiere a la consistencia y estabilidad con la que un instrumento de medición produce resultados a lo largo del tiempo y en diferentes condiciones. Es decir, un instrumento confiable es aquel que proporciona resultados consistentes cuando se utiliza repetidamente para medir el mismo fenómeno o variable. La confiabilidad es fundamental porque asegura que los datos obtenidos no sean producto de errores aleatorios o de variaciones innecesarias, lo que podría comprometer la precisión y la validez de los hallazgos de la investigación.

Existen varios enfoques para medir la confiabilidad de un instrumento, siendo uno de los más comunes la confiabilidad test-retest, que evalúa la estabilidad temporal de los resultados. Este enfoque consiste en administrar el mismo instrumento a los mismos sujetos en diferentes momentos y luego comparar los resultados obtenidos. Si los resultados son similares, el instrumento se considera confiable. Otro enfoque es la confiabilidad interevaluador, que se refiere a la consistencia de los resultados cuando



diferentes evaluadores o investigadores utilizan el mismo instrumento en el mismo conjunto de sujetos. Esto es especialmente importante en investigaciones cualitativas o en instrumentos de observación, donde la interpretación de los datos puede variar entre observadores.

Una forma adicional de evaluar la confiabilidad es mediante la confiabilidad interna, que examina la consistencia de las respuestas dentro de un mismo instrumento. En este caso, se analizan las correlaciones entre las diferentes preguntas o ítems del mismo cuestionario o prueba para asegurarse de que todos miden el mismo concepto de manera coherente. Una de las herramientas estadísticas más utilizadas para medir la confiabilidad interna es el coeficiente alfa de Cronbach, que cuantifica la consistencia interna del instrumento.

La confiabilidad es esencial en todo proceso investigativo porque, sin ella, los resultados no serían replicables ni generalizables. En investigaciones científicas, especialmente aquellas que requieren análisis precisos y comparaciones entre diferentes grupos o condiciones, un instrumento confiable es un requisito indispensable. Además, la confiabilidad también está relacionada con la precisión de los resultados, ya que un instrumento confiable minimiza los errores sistemáticos y proporciona datos más exactos y robustos para las conclusiones del estudio.

Por lo tanto, garantizar la confiabilidad de un instrumento de medición implica evaluar de manera continua su rendimiento en diversas condiciones, asegurando que se mantenga consistente a lo largo del tiempo y entre diferentes aplicaciones. La confiabilidad no solo mejora la calidad de los datos, sino que también fortalece la validez del estudio al reducir las fuentes de error y aumentar la certeza de los resultados obtenidos.

3.9 Plan de recolección y procesamiento de datos

Toma de muestra del material

La toma de muestra del material es un proceso fundamental en la investigación que consiste en seleccionar un subconjunto representativo de un conjunto mayor de material o elementos para su análisis. Esta técnica es crucial porque permite obtener información sobre las características de la totalidad del material sin necesidad de examinar cada unidad individualmente, lo que sería impráctico y costoso. La selección adecuada de las muestras asegura que los resultados obtenidos a partir de ellas sean representativos y generalizables a la población o al conjunto de materiales en estudio.

El proceso de toma de muestra debe seguir procedimientos estrictos para garantizar que las muestras sean representativas y que los resultados sean confiables. Esto incluye la elección del método de muestreo, que puede ser aleatorio, sistemático, estratificado o por conveniencia, dependiendo de las características del material y de los objetivos del estudio. Por ejemplo, en estudios geotécnicos, el muestreo se realiza de manera que se capturen las variaciones del material a lo largo de diferentes puntos o profundidades, para reflejar las condiciones heterogéneas del terreno.

Además, se debe prestar atención al manejo y transporte de las muestras, ya que cualquier alteración del material durante este proceso puede afectar las propiedades que se desean evaluar. Esto implica asegurarse de que las muestras se recojan de manera que mantengan sus características originales y sean transportadas de forma adecuada para su análisis en el laboratorio. También se considera el tamaño de la muestra, ya que debe ser lo suficientemente grande para representar adecuadamente al conjunto de material, pero también manejable para realizar los ensayos necesarios.

La toma de muestra es, por lo tanto, un paso crítico que influye directamente en la calidad y validez de los resultados de la investigación. Si el muestreo no es realizado correctamente, los datos obtenidos pueden ser sesgados o no reflejar la realidad del material en estudio, lo que podría comprometer las conclusiones del proyecto. Un

adecuado procedimiento de toma de muestra asegura que los resultados sean precisos y reflejen las propiedades del material de manera fiel y confiable.

3.9.1 Obtención del material y su procesamiento

Durante el desarrollo experimental de la presente investigación, se empleó cemento Portland tipo I vencido como material adicionante para la estabilización de suelos de subrasante, con el objetivo de evaluar su impacto sobre la capacidad de soporte y el espesor óptimo de las capas de afirmado. Este cemento fue recolectado desde diversas ferreterías comerciales ubicadas en la ciudad de Azángaro, donde se identificaron bolsas almacenadas fuera de su periodo de vigencia, pero conservadas en estado seco y sin signos evidentes de hidratación o apelmazamiento.

La recolección del material se realizó en una sola jornada, alcanzando un total de aproximadamente 65 kilogramos de cemento vencido triturado, cantidad calculada en función del diseño experimental planteado. Para este cálculo, se consideró la necesidad de estabilizar un volumen aproximado de 120 kilogramos de suelo seco distribuido en cuatro grupos de mezcla, cada uno correspondiente a una proporción diferente de adición (6%, 10%, 14% y 18%). Por ejemplo, para el grupo con 14% de adición, se requería al menos 16.8 kg de cemento para 120 kg de suelo, asegurando una cantidad excedente para cubrir pérdidas por manipulación, tamizado o ensayo repetido.

Una vez recolectado, el material fue trasladado en sacos cerrados al laboratorio de suelos de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, filial Juliaca, donde se almacenó en ambiente seco para evitar la activación prematura del cemento. El procesamiento del material comenzó con una etapa de trituración manual, utilizando mazos metálicos sobre superficies de concreto limpio. Luego, el cemento fue tamizado a través de una malla N° 4 (4.75 mm) para asegurar una granulometría uniforme, eliminando cualquier partícula endurecida o aglomerada que pudiera afectar la mezcla con el suelo.

Posteriormente, el cemento triturado fue dosificado en proporciones del 6%, 10%, 14% y 18% en peso respecto al suelo seco, y se mezcló cuidadosamente con las

respectivas muestras de suelo natural. Cada lote fue preparado con un protocolo de mezcla en seco seguido por una etapa de humedecimiento hasta alcanzar el contenido óptimo de humedad previamente determinado para cada combinación. Estas muestras fueron utilizadas para los ensayos de laboratorio correspondientes, incluyendo CBR, densidad seca máxima y humedad óptima, permitiendo así analizar el comportamiento estructural del suelo estabilizado bajo diferentes niveles de adición.

Este proceso permitió garantizar la homogeneidad y reactividad del cemento vencido durante el ensayo, y proporcionó las condiciones necesarias para validar su viabilidad como estabilizante alternativo en la mejora de subrasantes para infraestructura vial en zonas altoandinas.

3.9.2 Ensayos realizados en el laboratorio de suelos

Ensayos en laboratorio

- i. Contenido de humedad: Los ensayos de contenido de humedad son técnicas esenciales para cuantificar el contenido de agua en muestras de materiales, particularmente en suelos, agregados y otros materiales de construcción.

Figura 2

Ensayos en laboratorio



La técnica predominante para evaluar el contenido de humedad es el enfoque gravimétrico, en el que la muestra se pesa antes y posterior a someterse a un procedimiento de secado en un horno controlado por temperatura. El diferencial de peso entre la muestra húmeda y la muestra seca se utiliza para calcular el % de humedad en función del peso inicial de la muestra. Este enfoque se considera muy exacto porque a su simplicidad y la claridad de los hallazgos producidos.

Los métodos alternativos para la medición de la humedad incluyen medidores de humedad electrónica, que proporcionan mediciones rápidas y en tiempo real; Sin embargo, estos métodos a menudo son menos exactos que las técnicas gravimétricas. Sin embargo, son ventajosos para la medición rápida de humedad o en condiciones al aire libre. Además, el contenido de humedad de una muestra puede fluctuar en función de las circunstancias climáticas, lo que hace que estos análisis sean esenciales para monitorear y regular la humedad en los proyectos de construcción o la investigación geotécnica.

Figura 3

Secado de muestras en instalaciones del laboratorio



La precisión de la medición del contenido de humedad es crucial, ya que afecta otras pruebas de laboratorio, incluidas la compactación, la resistencia y la permeabilidad. Los niveles de humedad inexactos pueden afectar los resultados de las pruebas, lo que resulta en malas interpretaciones de los atributos materiales. En consecuencia, las evaluaciones de contenido de humedad son importantes para un análisis preciso de materiales y son cruciales para garantizar la calidad y fiabilidad de los resultados en cualquier estudio que utilice materiales con contenido de agua fluctuante.

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

- ii. Ensayo de límites de consistencia: El ensayo límite de consistencia, junto con el índice de plasticidad, es una técnica fundamental para evaluar las propiedades de plasticidad de un suelo. El límite de consistencia se refiere a los puntos en los que un suelo cambia de estado bajo diferentes niveles de humedad, determinando la transición entre los estados sólido, plástico y líquido. En particular, los tres límites principales que se establecen son el límite líquido, el límite plástico y el límite de contracción, los cuales permiten clasificar un suelo según su comportamiento frente a la humedad. El límite líquido marca el contenido de agua en el cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido, mientras que el límite plástico indica la humedad a la cual el suelo es capaz de deformarse sin fracturarse. Finalmente, el límite de contracción se refiere al punto en el que el suelo comienza a reducir su volumen a medida que pierde agua.

El índice de plasticidad es una propiedad derivada de estos límites, calculado como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo. Este índice mide la capacidad de un suelo para comportarse de manera plástica, es decir, la facilidad con la que un suelo puede moldearse o deformarse bajo presión antes de romperse o agrietarse. Un índice de plasticidad alto sugiere que el suelo contiene una proporción significativa de partículas finas, como las arcillas, que tienen una alta capacidad de retención de agua y

una gran susceptibilidad a cambios de volumen con variaciones de humedad. En cambio, un índice bajo indica que el suelo tiene menos propiedades plásticas y tiende a comportarse de forma más rígida y menos sensible a la humedad.

La combinación del ensayo límite de consistencia con el cálculo del índice de plasticidad proporciona una evaluación completa de las características de plasticidad de un suelo, lo que es esencial para su clasificación y para la determinación de su idoneidad en aplicaciones de ingeniería civil. Estos ensayos ayudan a prever cómo el suelo reaccionará ante cambios de humedad, lo cual es crucial para el diseño de pavimentos, cimentaciones y otras estructuras. Los suelos con un índice de plasticidad alto pueden ser más propensos a problemas de expansión o contracción, lo que requiere un manejo especial en la construcción, mientras que los suelos con un índice bajo suelen ser más estables y menos susceptibles a deformaciones.

iii. Ensayo de análisis granulométrico: Este análisis es esencial para clasificar el material y entender cómo se comportará en diferentes condiciones, especialmente en contextos de construcción o ingeniería geotécnica. A través de este ensayo, se determina la proporción de partículas de diferentes tamaños presentes en una muestra, lo que permite caracterizar el suelo según su composición y, en consecuencia, predecir su comportamiento ante fuerzas externas, como la carga, la humedad y la compactación.

El análisis granulométrico se realiza mediante técnicas de tamizado y sedimentación. En el caso de los suelos gruesos, el tamizado es el método más común, en el que la muestra de suelo se pasa a través de una serie de tamices de malla de diferentes tamaños. Las partículas se separan según su tamaño y el porcentaje de cada fracción se calcula con base en la cantidad de material retenido en cada tamiz. Para suelos finos, como los arcillosos o limosos, se utiliza el método de sedimentación, donde la velocidad de caída de las partículas en un líquido es inversamente proporcional a su

tamaño. La prueba de hidrómetro es uno de los métodos más comunes para determinar el contenido de partículas finas.

Los resultados del análisis granulométrico permiten clasificar el suelo según las normas de clasificación, como el sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) o el SUCS (Unified Soil Classification System), lo cual es crucial para determinar su adecuación para diferentes usos en ingeniería civil. Suelos con una gran proporción de partículas finas, como las arcillas, tienden a ser más susceptibles a la retención de agua y pueden mostrar un comportamiento más plástico, mientras que suelos con partículas más gruesas, como las arenas y gravas, suelen ser más permeables y estables en condiciones de carga.

Figura 4

Ensayos de granulometría



Este ensayo no solo proporciona información sobre la composición del suelo, sino que también tiene implicaciones directas sobre la resistencia, la capacidad de carga, la permeabilidad y la estabilidad de las estructuras construidas sobre él. Por lo tanto, el análisis granulométrico es un paso esencial para comprender y predecir el comportamiento

del suelo en proyectos de construcción, pavimentación, y en la planificación de infraestructuras geotécnicas.

iv. Proctor modificado: El ensayo de Proctor modificado es una prueba utilizada para determinar la relación entre la densidad máxima y la humedad óptima de un suelo, lo que permite establecer las condiciones bajo las cuales el material alcanza su mayor capacidad de compactación. Este ensayo es fundamental para evaluar la capacidad de un suelo para ser compactado de manera eficiente en el sitio de construcción, ya que influye directamente en la estabilidad y durabilidad de las estructuras. El objetivo del ensayo es encontrar la cantidad de agua que debe tener el suelo para alcanzar su densidad máxima, lo que garantiza un material adecuado para la construcción de pavimentos, bases de carreteras y cimientos.

El procedimiento del ensayo de Proctor modificado consiste en someter una muestra de suelo a un proceso de compactación en un molde estándar utilizando un martillo que aplica un número específico de golpes a una altura determinada. A diferencia del ensayo de Proctor estándar, el Proctor modificado utiliza un mayor esfuerzo de compactación, lo que implica un martillo de 4.5 kg de peso y una caída de 45.7 cm, aplicado en tres capas de igual espesor, con 25 golpes por capa. Este aumento en la energía de compactación permite simular las condiciones de compresión más altas a las que puede ser sometido el suelo en la práctica, como en proyectos de construcción pesada.

Para llevar a cabo el ensayo, se comienza con la preparación de la muestra de suelo, la cual se pesa y se coloca en el molde de ensayo. Luego, se añade agua a la muestra en diferentes porcentajes y se compacta en el molde según las especificaciones del procedimiento. Después de compactar el suelo, se pesa nuevamente la muestra para determinar su densidad. Este proceso se repite para diferentes contenidos de humedad, y los resultados obtenidos permiten trazar una curva de compactación que muestra la relación entre la densidad y la humedad.

El resultado principal del ensayo es la determinación de la densidad máxima y la humedad óptima de la muestra, que son fundamentales para el diseño de suelos compactados en obras de infraestructura. Esta información permite ajustar la cantidad de agua que debe añadirse al suelo en el campo para lograr la máxima densidad y, por lo tanto, garantizar la estabilidad y resistencia del material. Además, el ensayo de Proctor modificado es crucial para comparar suelos de diferentes composiciones y elegir el material más adecuado para cada tipo de construcción, ya sea para caminos, carreteras o cimentaciones.

Figura 5

Ensayos de proctor modificado



- v. CBR: La prueba de relación de rodamiento de California (CBR) es un método utilizado para evaluar la capacidad de carga del suelo o los materiales granulares, especialmente en ingeniería civil, para determinar su idoneidad como base o subgrado para la construcción de pavimentos, carreteras y otros edificios. Esta evaluación mide

la resistencia del suelo a la penetración del pistón en condiciones controladas, lo que refleja la capacidad de carga del material. Los resultados del ensayo son cruciales para el diseño y evaluación de pavimentos y estructuras de transporte, ya que determinan la fuerza del subgrado y la necesidad de refuerzo o tratamiento del suelo.

El método de prueba de relación de rodamiento de California (CBR) comienza con la creación de una muestra de suelo compacta dentro de un molde estandarizado, lo que garantiza que la densidad del material refleje con precisión las condiciones del sitio. Después del procesamiento de muestras, se sumerge en agua durante un cierto período para simular las condiciones de campo del suelo. Después de la saturación, se utiliza un pistón de penetración para aplicar un empuje gradual en la muestra. A medida que el pistón penetra en el sustrato, las fuerzas necesarias se registran para facilitar la penetración de profundidad adicional, generalmente a 2.5 mm y 5 mm.

El índice CBR se establece comparando la fuerza de penetración medida a profundidades designadas con la de un material de referencia estándar, a menudo una mezcla de arena de grava. Los hallazgos producen un porcentaje que indica la asociación entre la resistencia del suelo y la resistencia de la muestra de referencia. Este porcentaje es crucial, ya que un CBR mayor denota más capacidad de carga, lo que sugiere que el material puede mantener pesos significativos sin requerir un mayor refuerzo. Un CBR bajo puede sugerir que el material requiere modificación o tratamiento para mejorar su capacidad de carga.

La prueba CBR es esencial para la clasificación del suelo, ya que evalúa la calidad de los materiales de construcción en el sitio. Los suelos con un alto índice CBR son ideales para aplicaciones de subgrado o base en la construcción del pavimento, mientras que los suelos con un CBR bajo requieren una mayor estabilización, como la adición de cemento o cal, para mejorar su resistencia. La prueba CBR proporciona información crítica para los ingenieros para determinar el diseño del pavimento, la selección de materiales y los métodos de tratamiento del suelo en proyectos de infraestructura.

3.10 Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos es un paso crucial en cualquier estudio de investigación, ya que permite transformar la información cruda obtenida a través de los diferentes ensayos y técnicas de recolección de muestras en resultados comprensibles y útiles para la toma de decisiones. En este contexto, el procesamiento de datos comienza con la organización y clasificación de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, como los de humedad, granulometría, Proctor modificado, CBR y otros. Los datos son cuidadosamente registrados y tabulados para garantizar que sean precisos y completos, lo que facilita su análisis posterior. En esta fase, es fundamental asegurar que no haya errores en la entrada de los datos, por lo que se suelen aplicar procedimientos de verificación para garantizar la calidad de la información antes de avanzar al análisis.

El análisis de datos se realiza utilizando herramientas estadísticas y matemáticas para identificar patrones, correlaciones y tendencias significativas que puedan aportar información sobre el comportamiento del material en estudio. En el caso de los ensayos realizados, como los de CBR y Proctor modificado, se emplean fórmulas específicas para calcular índices como la humedad óptima y la densidad máxima, así como para evaluar la capacidad de soporte del suelo. El análisis de estos datos permite interpretar cómo las variables del suelo, como su contenido de humedad, su distribución granulométrica o su resistencia a la penetración, afectan la estabilidad y la capacidad de carga de la subrasante en las condiciones específicas del estudio.

Una parte importante del análisis de datos es la comparación de los resultados obtenidos con estándares o parámetros previamente establecidos, como las normas de calidad de materiales para pavimentación o las especificaciones de diseño de carreteras. A través de esta comparación, se pueden identificar las condiciones en las que el material cumple con los requisitos técnicos para su uso y cuándo es necesario aplicar un tratamiento o mejora, como la adición de cemento u otros estabilizantes, para optimizar sus características. También es fundamental utilizar métodos estadísticos para analizar la



variabilidad de los resultados y obtener estimaciones precisas sobre el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de humedad y carga.

El procesamiento y análisis de datos también implica la presentación de los resultados de manera clara y comprensible, utilizando gráficos, tablas y otros recursos visuales que faciliten la interpretación de la información. Estas representaciones permiten identificar de manera rápida y precisa las relaciones entre las variables estudiadas y brindan una base sólida para las conclusiones del estudio. Finalmente, el análisis de los datos no solo sirve para evaluar la capacidad de carga y el comportamiento del suelo, sino también para realizar proyecciones y recomendaciones prácticas para el diseño de pavimentos, bases de carreteras y otras infraestructuras. Este proceso es esencial para garantizar que las decisiones tomadas estén basadas en datos fiables y bien analizados.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación y análisis de resultados

La presentación y análisis de resultados consiste en exponer de manera estructurada los datos obtenidos durante el proceso de investigación, interpretándolos en función de los objetivos planteados. Esta sección incluye tablas, gráficos y descripciones que permiten visualizar las tendencias, comparaciones y relaciones entre las variables estudiadas. Además, el análisis profundiza en la interpretación de estos datos, identificando patrones, evaluando el impacto de las variables independientes sobre las dependientes, y discutiendo los hallazgos en el contexto del marco teórico y los estudios previos. Su objetivo principal es dar sustento objetivo a las conclusiones y recomendaciones del estudio.

a. Presencia de humedad

La presencia de humedad en materiales como suelos, rocas o agregados es un factor clave que influye en sus propiedades físicas y mecánicas. En el contexto de estudios geotécnicos y de ingeniería civil, la humedad se refiere a la cantidad de agua que se encuentra en el material, ya sea retenida en las partículas del suelo o en forma de agua libre. La humedad tiene un impacto significativo en la compacidad, la resistencia, la estabilidad y la capacidad

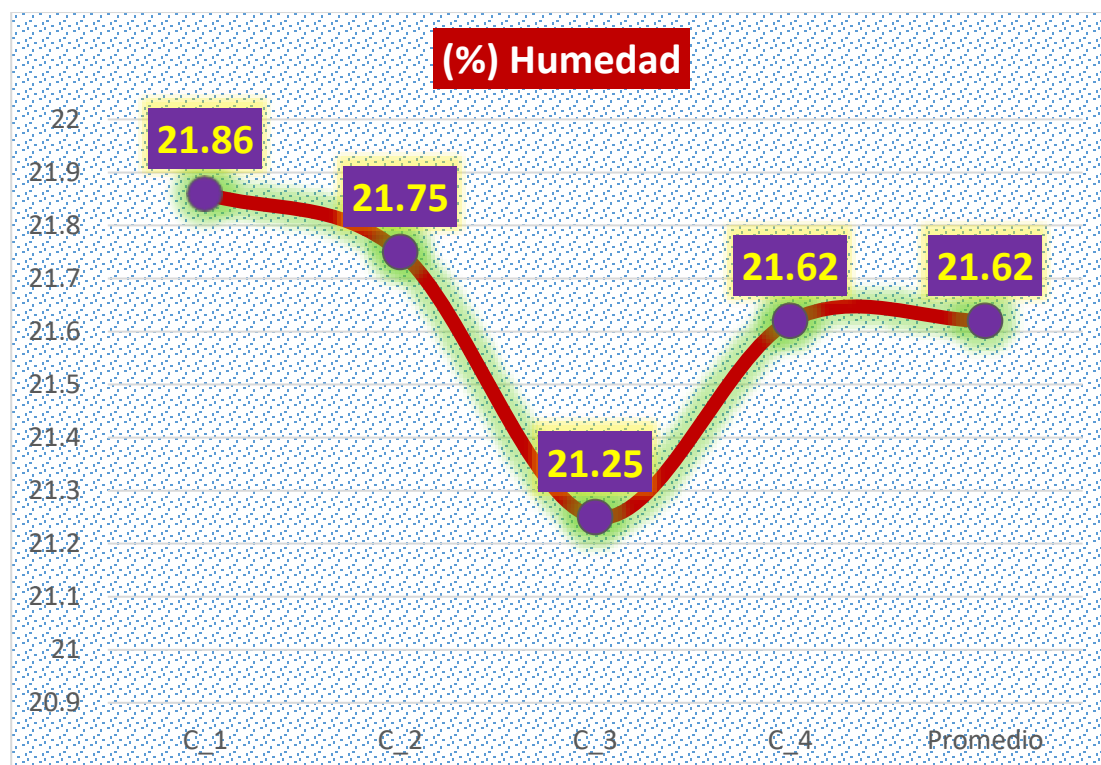
de carga de los materiales, ya que el exceso o la falta de agua puede modificar sus características. La determinación de la presencia de humedad se realiza mediante ensayos específicos que miden el contenido de agua en una muestra, lo que permite evaluar cómo este factor afectará el rendimiento del material en condiciones de uso, como en la construcción de pavimentos, cimientos o subrasantes. La correcta gestión y control de la humedad en los materiales es esencial para garantizar la durabilidad y seguridad de las infraestructuras.

Tabla 3*Humedad presentada en las muestras recabadas*

Presencia de humedad en las muestras (%)	
Calicata	(%) Humedad
C_1	21.86
C_2	21.75
C_3	21.25
C_4	21.62
Promedio	21.62

Nota. Resultados de laboratorio

La tabla muestra los valores de Contenido en % de humedad en los testigos recabados, obtenidos a partir de ensayos realizados en cuatro calicatas (C_1, C_2, C_3 y C_4). Los porcentajes de humedad varían ligeramente entre los puntos analizados, registrándose un valor máximo de 21.86% en la calicata C_1 y un valor mínimo de 21.25% en la calicata C_3. La calicata C_2 presentó un 21.75%, mientras que C_4 registró un 21.62%. El promedio general de humedad para las cuatro calicatas es de 21.62%, lo que refleja una homogeneidad relativa en las condiciones de humedad de las muestras evaluadas en laboratorio. Este análisis es fundamental para entender las propiedades iniciales de las subrasantes y su influencia en el comportamiento mecánico del suelo.

Figura 6*Contenido en % de humedad en los testigos***Nota.** Generado por el autor

La gráfica ilustra los valores de Contenido en % de humedad en los testigos correspondientes a cuatro calicatas (C_1, C_2, C_3 y C_4) y el promedio general obtenido en el análisis de laboratorio. Los resultados reflejan una ligera variación en los porcentajes de humedad entre las muestras, siendo el valor más alto de 21.86% registrado en la calicata C_1, seguido por C_2 con 21.75%. La calicata C_3 presentó el porcentaje más bajo, con 21.25%, mientras que C_4 alcanzó un 21.62%. El promedio general de humedad para las calicatas es de 21.62%. La representación gráfica permite observar un descenso en el porcentaje de humedad en la muestra C_3, seguido de una recuperación en las calicatas posteriores, lo que sugiere una relativa uniformidad con ligeras diferencias entre las áreas evaluadas.

b. Análisis granulométrico

Figura 7

Perfil granulométrico de los testigos 1

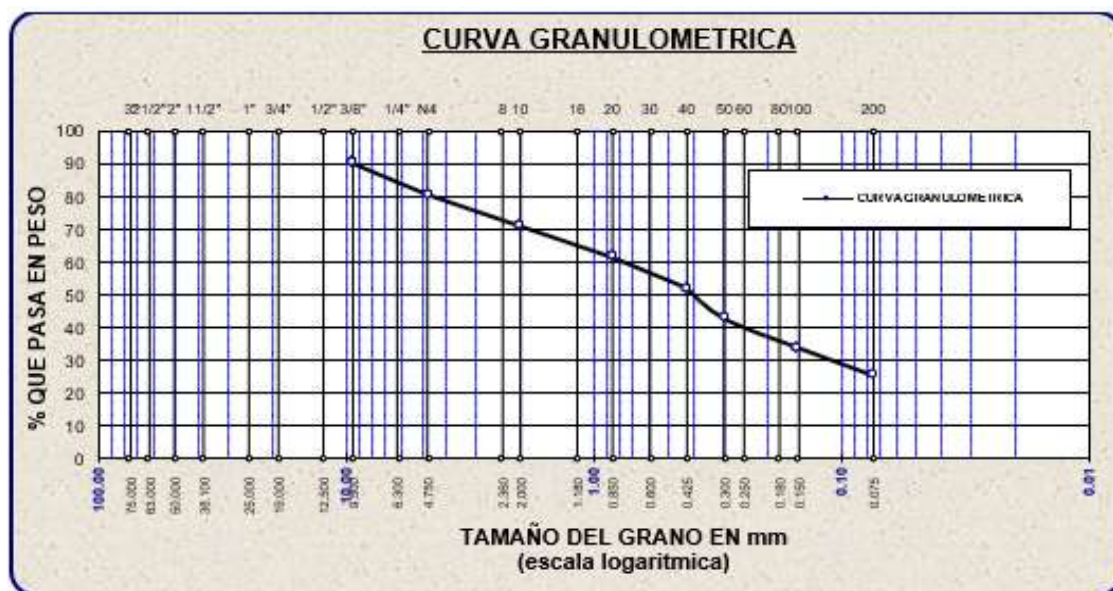
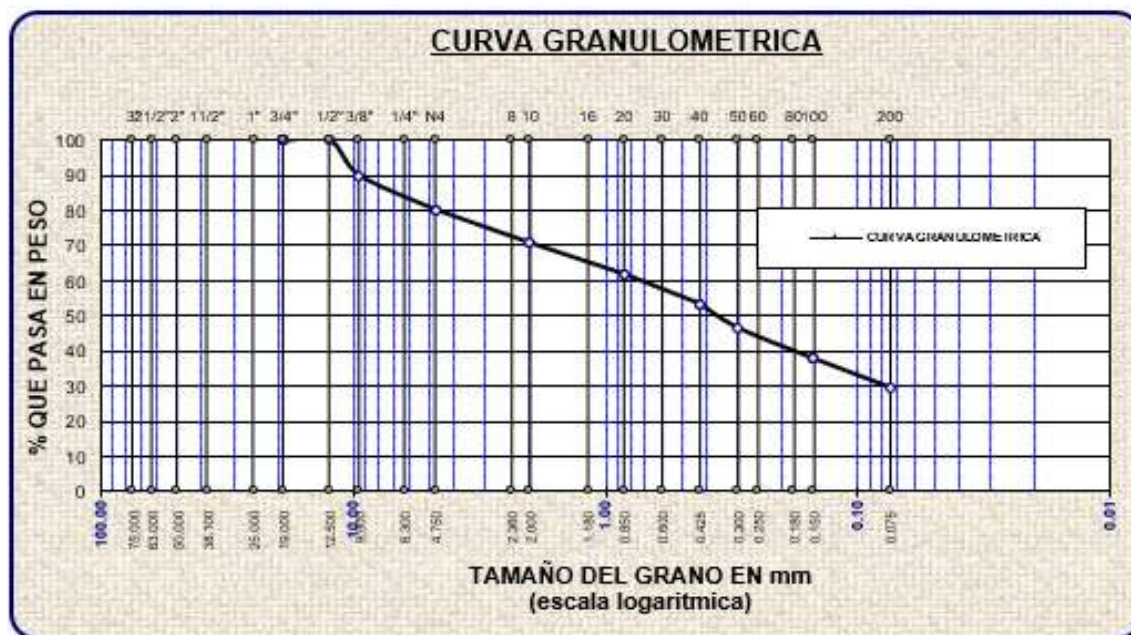


Figura 9

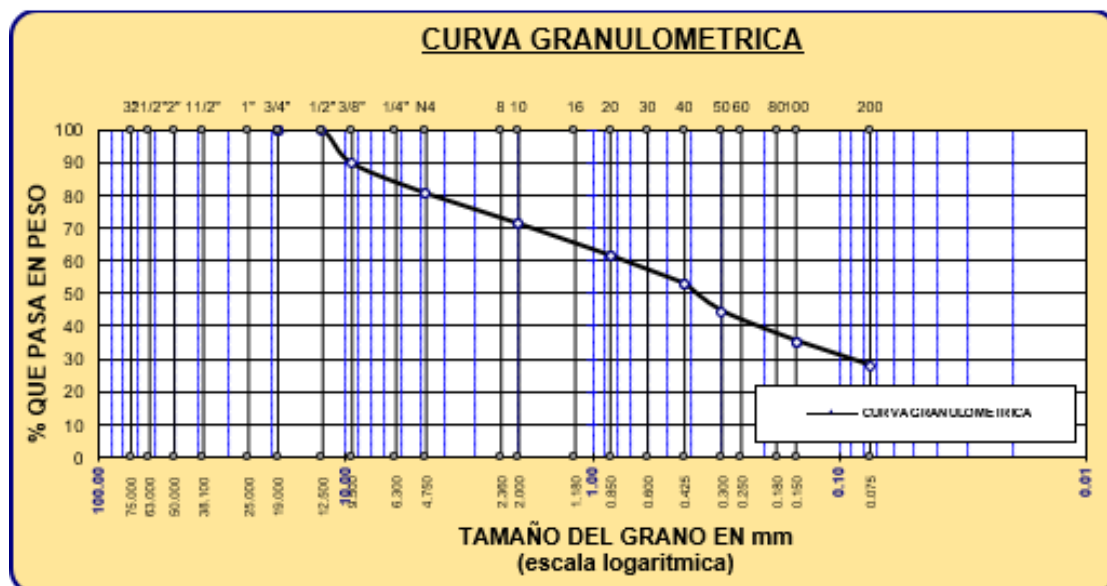
Perfil granulométrico de los testigos 3



Nota. Generado por el autor

Figura 10

Perfil granulométrico de los testigos 4



Nota. Generado por el autor

c. Índice de plasticidad

Tabla 4

Índice plástico de las muestras- naturales

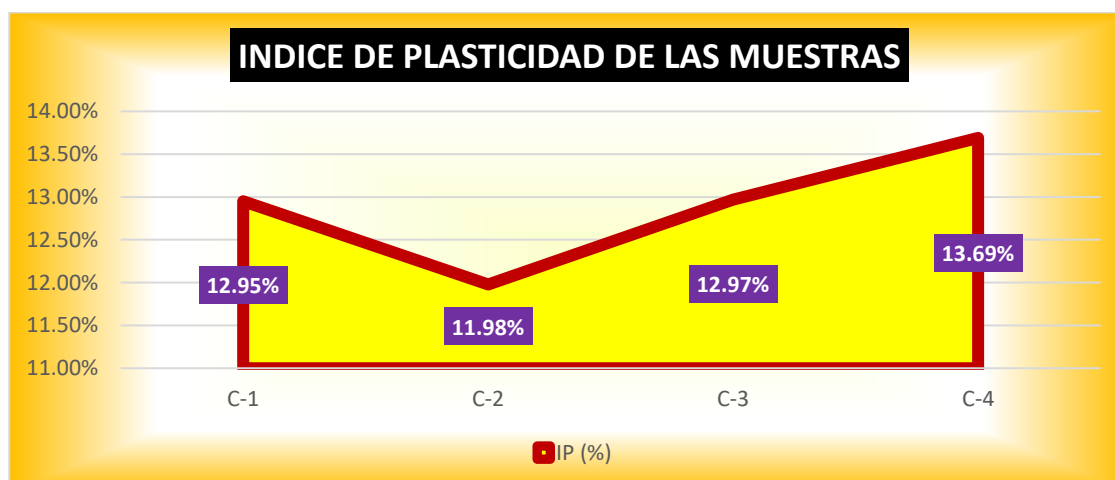
Calicata	Límites de Atterberg–Subrasante		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C1	31.36%	18.41%	12.95%
C2	30.75%	18.77%	11.98%
C3	30.14%	17.17%	12.97%
C4	31.08%	17.39%	13.69%
Prom.	-	-	12.90%

Nota. Generado por el autor

La tabla presenta los resultados del índice plástico de las muestras naturales obtenidas de cuatro calicatas (C_1, C_2, C_3 y C_4), basado en los límites de Atterberg (LL: límite líquido, LP: límite plástico e IP: índice plástico). Los valores de límite líquido oscilan entre 30.14% (C_3) y 31.36% (C_1), mientras que los valores de límite plástico varían desde 17.17% en C_3 hasta 18.77% en C_2. En cuanto al índice plástico, que refleja la diferencia entre los límites líquido y plástico, los resultados van de 11.98% en la calicata C_2 a 13.69% en C_4. El promedio del índice plástico calculado para las cuatro muestras es de 12.90%, lo que sugiere una variación moderada en la plasticidad de los suelos analizados.

Figura 11

Comparativa de los límites alcanzados



Nota. Generado por el autor

La gráfica titulada “Límites de las muestras” presenta una comparación visual del índice de plasticidad (IP) correspondiente a cuatro muestras de suelo estabilizadas con diferentes proporciones de cemento vencido triturado. Se observa que la muestra C-2 registra el valor más bajo, con un IP de 11.98%, mientras que la muestra C-4 alcanza el valor más alto con 13.69%. Las muestras C-1 y C-3 mantienen valores intermedios de 12.95% y 12.97%, respectivamente. Esta tendencia evidencia una leve reducción inicial en la plasticidad del suelo con adiciones moderadas del material, seguida de un incremento al alcanzar proporciones más elevadas. La variación del índice de plasticidad sugiere que la incorporación del cemento vencido afecta la cohesión y trabajabilidad del suelo, influyendo en su comportamiento frente a esfuerzos mecánicos y a procesos de compactación.

4.1.1 Grado de compactación muestra de los materiales de subrasante

El grado de compactación de la muestra denota la relación porcentual de la densidad seca lograda durante el procedimiento de compactación con respecto a la densidad seca máxima alcanzable según lo determinado por la prueba Proctor. Este indicador evalúa la eficacia del proceso de compactación realizado y es crucial para determinar la estabilidad y la capacidad de carga del suelo bajo cargas aplicadas. Un nivel suficiente de compactación garantiza que el suelo posea una estructura densa y homogénea, reduciendo los huecos y mejorando su resistencia a la deformación y al asentamiento.

Tabla 5

Compactación y sus grados (subrasante)

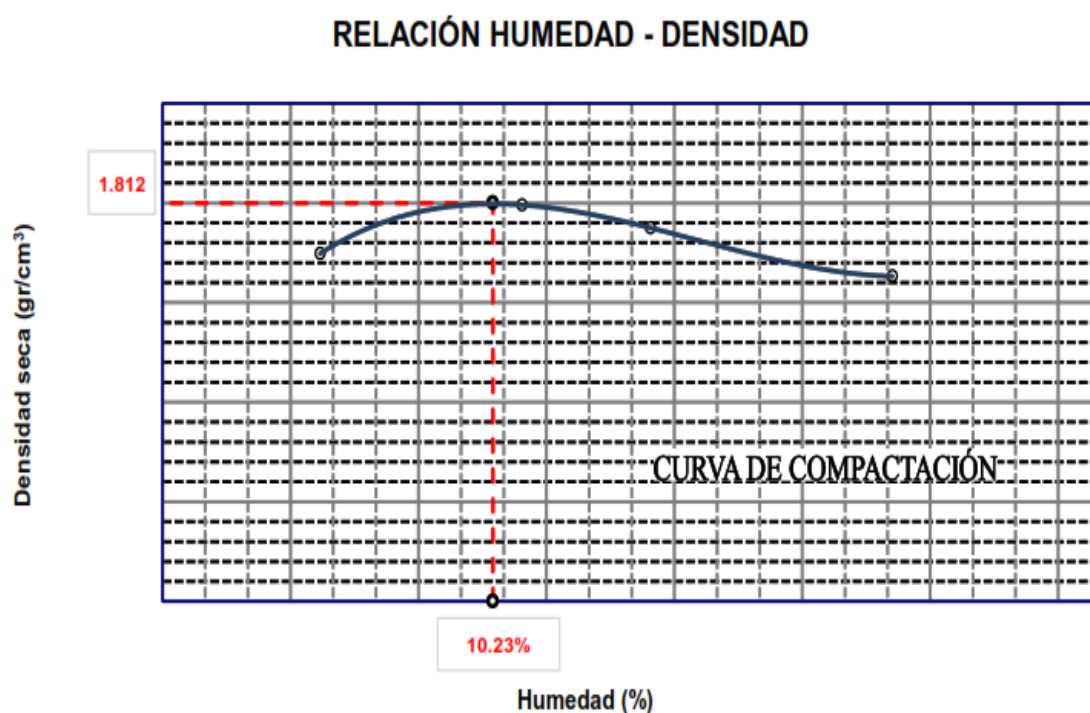
Grado de Compactación – Subrasante		
Calicata	MDS (gr/cc)	OCH (%)
C-1.1	1.812	10.23
C-1.2	1.795	9.62
C-1.3	1.767	9.21
C-1.4	1.774	9.36
Promedio	1.787	9.61

Nota. Generado por el autor

La tabla presenta los valores correspondientes al grado de compactación de la subrasante, específicamente en términos de la densidad seca máxima (MDS), medida en gramos por centímetro cúbico, y el contenido óptimo de humedad (OCH) expresado en porcentaje, obtenidos en cuatro calicatas (C-1.1, C-1.2, C-1.3 y C-1.4). La densidad seca máxima varía entre 1.767 g/cc en C-1.3, el valor más bajo, y 1.812 g/cc en C-1.1, el más alto, con un promedio general de 1.787 g/cc. En cuanto al contenido óptimo de humedad, los valores oscilan desde 9.21% en C-1.3 hasta 10.23% en C-1.1, alcanzando un promedio de 9.61%. Estos datos reflejan las características de compactación de los suelos analizados, fundamentales para evaluar su capacidad de soporte y comportamiento mecánico en condiciones controladas.

Figura 12

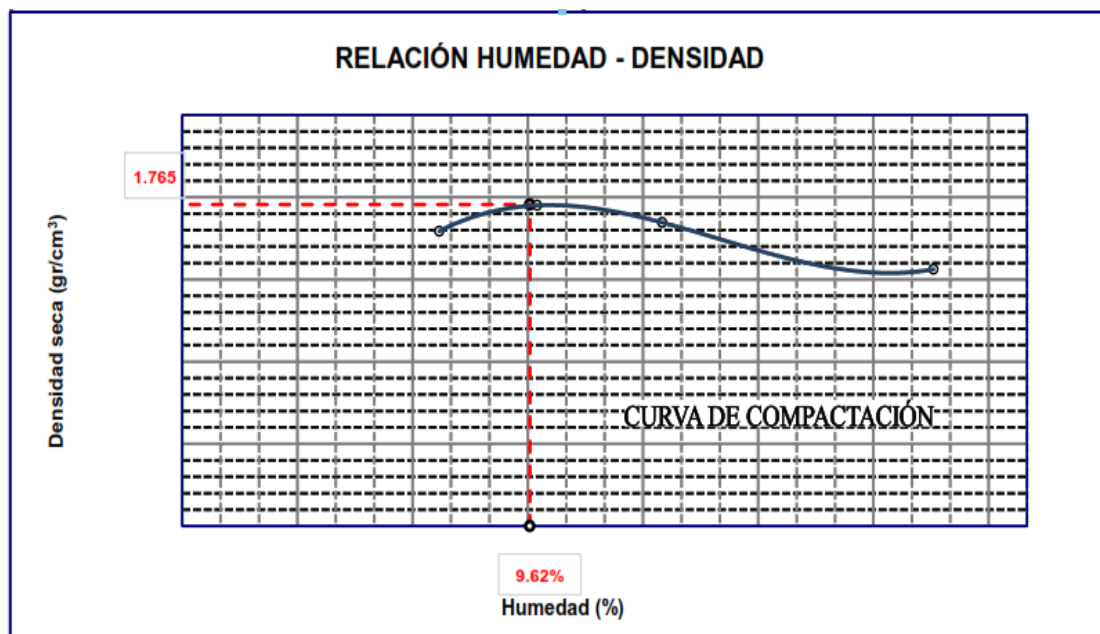
Conexión entre el porcentaje de humedad y la densidad de la muestra 1.1



Nota. Generado por el autor

Figura 13

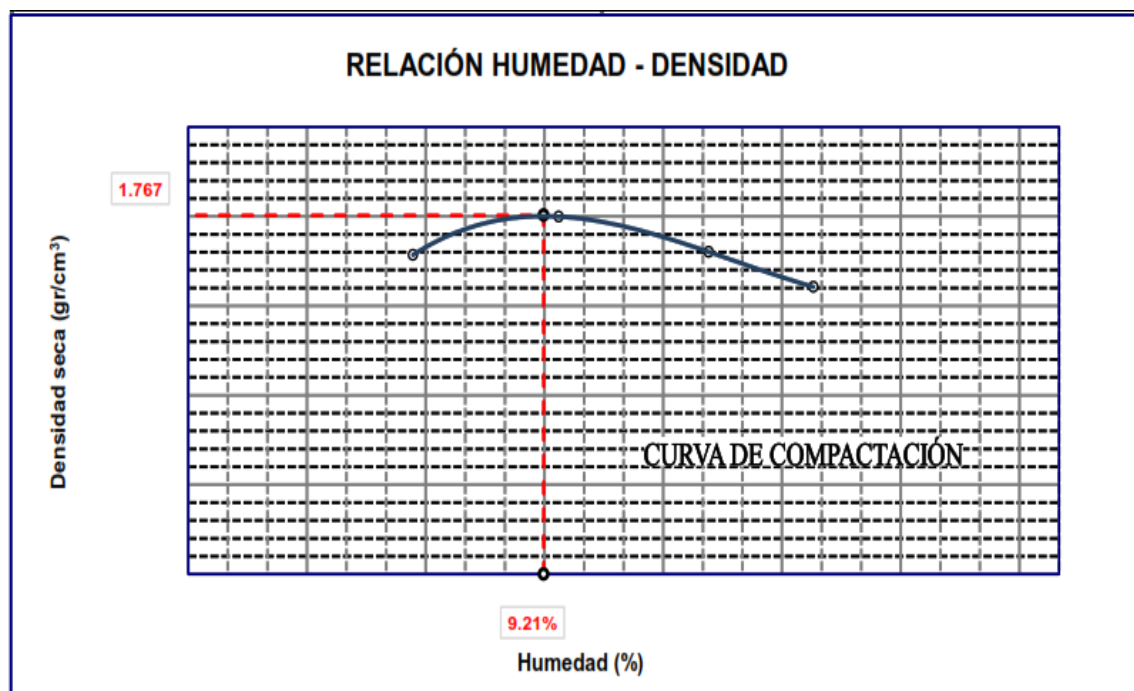
Conexión entre el porcentaje de humedad y la densidad de la muestra 1.2



Nota. Generado por el autor

Figura 14

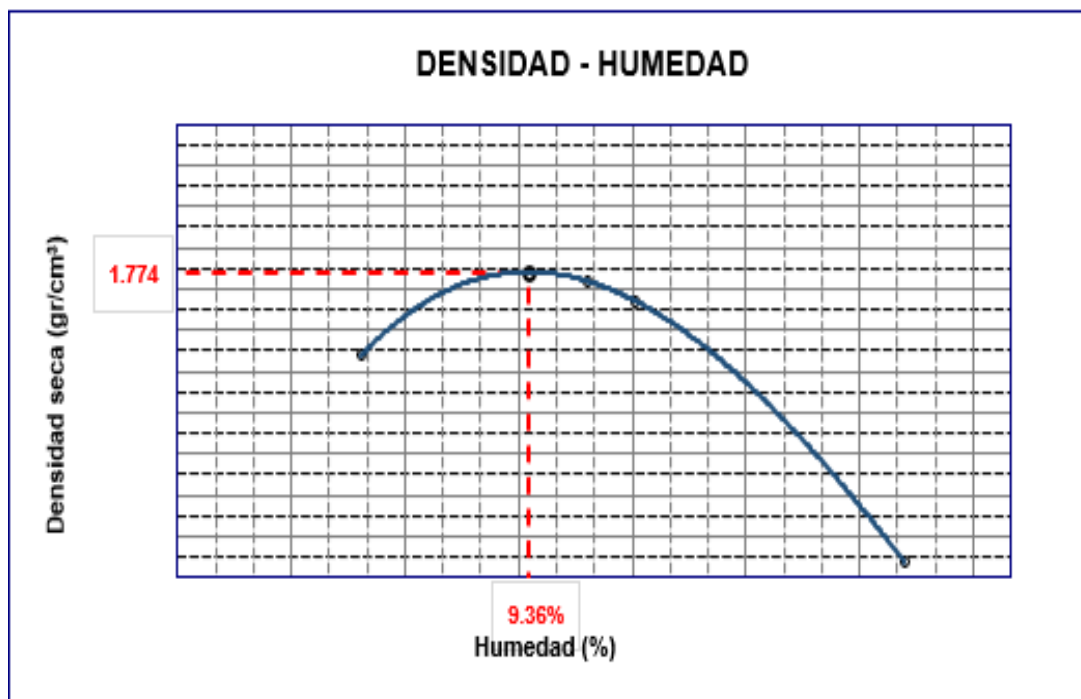
Conexión entre el porcentaje de humedad y la densidad de la muestra 1.3



Nota. Generado por el autor

Figura 15

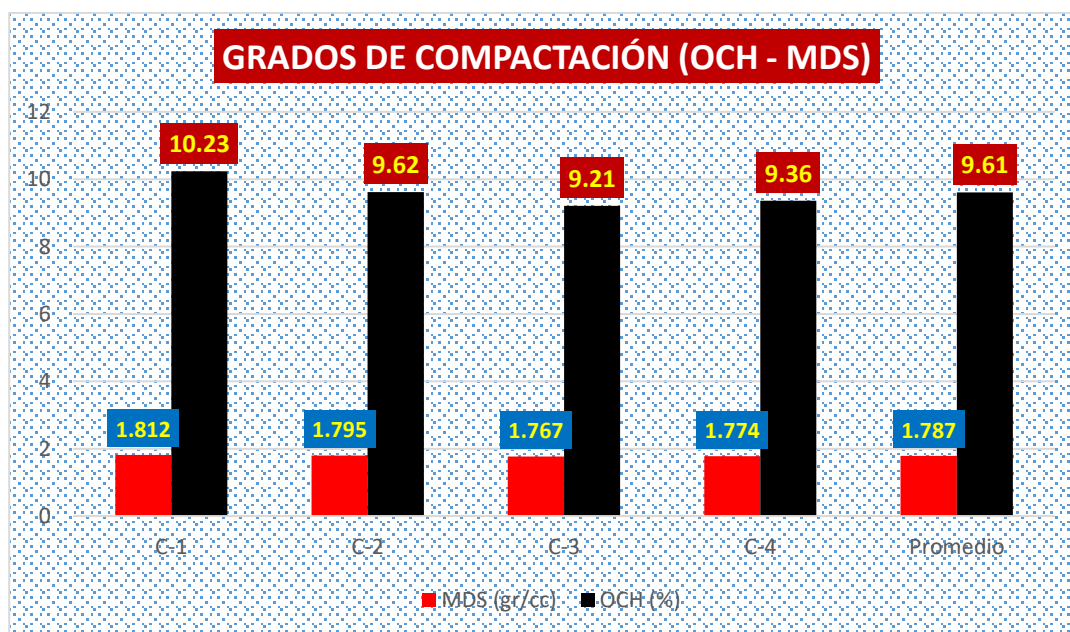
Conexión entre el porcentaje de humedad y la densidad de la muestra 1.4



Nota. Generado por el autor

Figura 16

Relaciones entre humedad y densidad de los suelos naturales



Nota. Generado por el autor

La gráfica muestra las relaciones entre el contenido óptimo de humedad (OCH) y la densidad seca máxima (MDS) de los suelos naturales en cuatro calicatas (C-1, C-2, C-3, C-4) y el promedio general. Los valores de MDS, representados en azul, varían de 1.767 g/cc en C-3, el más bajo, a 1.812 g/cc en C-1, el más alto, con un promedio de 1.787 g/cc. Por otro lado, los valores de OCH, representados en rojo, oscilan entre 9.21% en C-3 y 10.23% en C-1, alcanzando un promedio de 9.61%. La gráfica refleja cómo las variaciones en la humedad óptima afectan las condiciones de compactación de los suelos, mostrando una correlación inversa en algunos casos entre la humedad y la densidad alcanzada.

a. Capacidad de soporte muestra natural obtenida de la zona

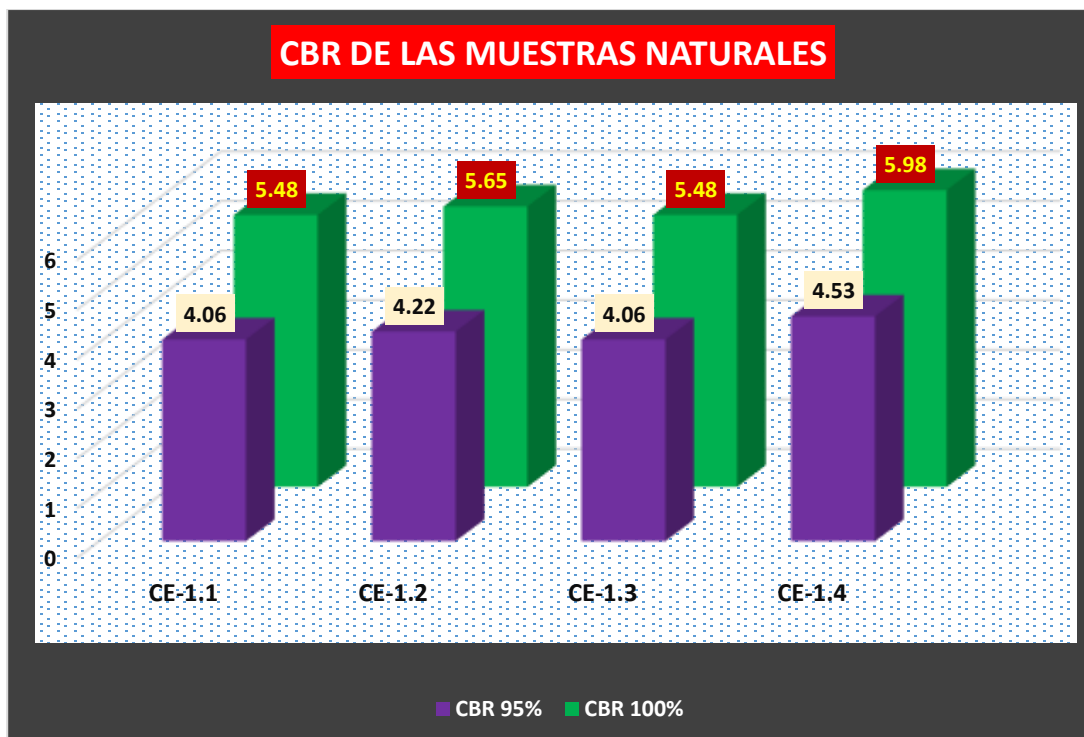
Tabla 6

Medición del CBR en la subrasante de tierra natural

CBR-Suelo		
Punto Exploratorio	CBR 95%	CBR 100%
CE-1.1	4.06	5.48
CE-1.2	4.22	5.65
CE-1.3	4.06	5.48
CE-1.4	4.53	5.98

Nota. Generado por el autor

La tabla presenta los valores de CBR (California Bearing Ratio) obtenidos en la subrasante de suelo natural en cuatro puntos exploratorios (CE-1.1, CE-1.2, CE-1.3 y CE-1.4). Los resultados muestran las mediciones realizadas al 95% y 100% de compactación. En el nivel del 95% de compactación, los valores de CBR oscilan entre 4.06 y 4.53, evidenciando variaciones leves en la capacidad de soporte del suelo entre los puntos analizados. Al 100% de compactación, los valores de CBR aumentan ligeramente, con rangos entre 5.48 y 5.98, lo que indica una mejora en la resistencia del suelo al incrementar el nivel de compactación. Estos resultados reflejan la influencia directa de la densidad en la capacidad de soporte del suelo natural.

Figura 17*CBR en la subrasante de suelo muestra 1***Nota.** Generado por el autor

La gráfica muestra los resultados de la prueba de CBR (California Bearing Ratio) sobre muestras naturales de suelo, realizadas a dos diferentes niveles de compactación: 95% y 100%. En el análisis, las barras verdes representan los valores de CBR a 100% de compactación y las barras moradas corresponden a los valores a 95% de compactación. Para las muestras de suelo CE-1.1, el valor de CBR a 95% es 4.06, mientras que a 100% alcanza 5.48. En el caso de CE-1.2, el CBR a 95% es 4.22 y a 100% se incrementa a 5.65. Para CE-1.3, los valores son 4.06 a 95% y 5.48 a 100%. Finalmente, para CE-1.4, el CBR a 95% es 4.53 y a 100% llega a 5.98. Estos resultados indican una tendencia general de aumento del CBR al incrementar la compactación, lo que sugiere una mejora en la capacidad de carga del suelo.

4.1.2 Efecto del cemento vencido en el grado de compactación

a. Muestras con 6% de cemento vencido

Tabla 7

Muestras + 6% cemento vencido (grado de compactación)

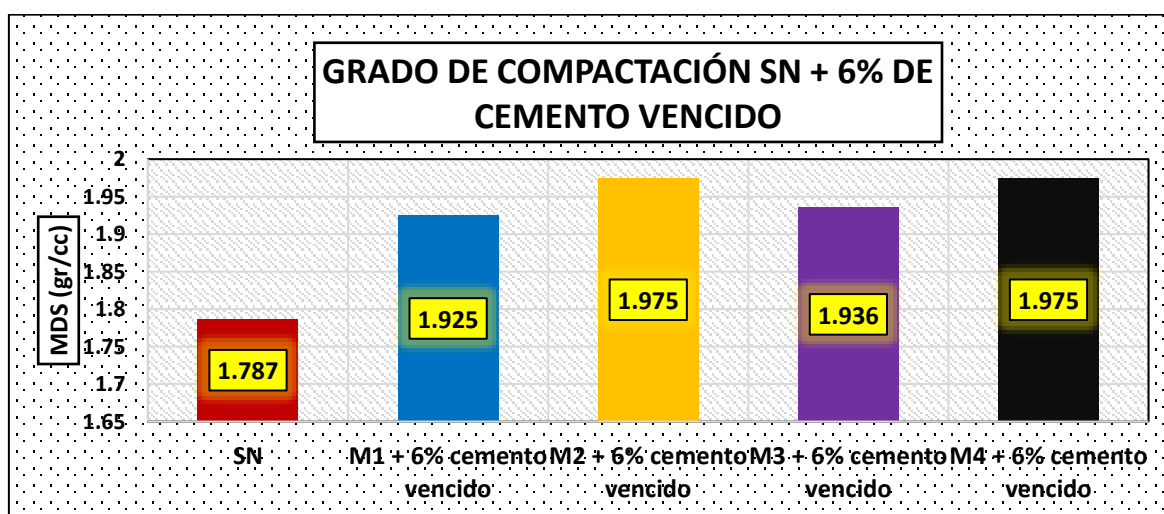
Grado de compactación – SN + 6% de cemento vencido			
Combinación	MDS (gr/cc)	Media (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.787	-	-
M1 + 6% cemento vencido	1.925	1.950	-9%
M2 + 6% cemento vencido	1.975		
M3 + 6% cemento vencido	1.936		
M4 + 6% cemento vencido	1.975		

Nota. Generado por el autor

En la tabla se observa la densidad media de las muestras tratadas con 6% de cemento vencido, la cual se establece en 1.950 gr/cc para las combinaciones M1 y M2. Este valor refleja cómo la adición de cemento en la cantidad indicada influye en la densidad del suelo, mejorando su compactación en comparación con el suelo sin tratamiento. La consistencia en la densidad media entre las combinaciones M1 y M2 indica que la dosificación de 6% de cemento vencido genera resultados similares en términos de la mejora de la capacidad de compactación del material.

Figura 18

Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 6% de cemento vencido



Nota. Generado por el autor

La gráfica compara los grados de compactación del suelo natural y de muestras tratadas con un 6% de cemento vencido. Se observa un aumento en el grado de compactación en todas las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, mostrando una mejora en las propiedades mecánicas del material. Cada tratamiento presenta valores similares y consistentes, lo que resalta la eficacia del aditivo para mejorar la compactación del suelo.

b. Muestras con 10% cemento vencido

Tabla 8

Muestras + 10% cemento vencido (grado de compactación)

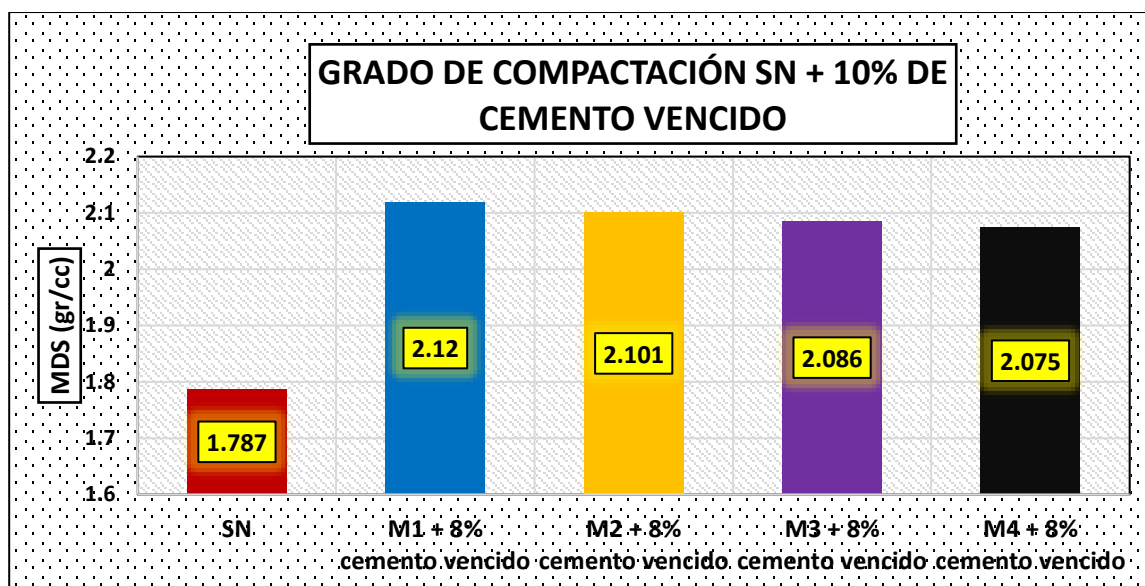
Grado de compactación – SN + 10% de cemento vencido			
Combinación	MDS (gr/cc)	Media (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.787	-	-
M1 + 10% cemento vencido	2.120	2.010	-17%
M2 + 10% cemento vencido	2.101		
M3 + 10% cemento vencido	2.086		
M4 + 10% cemento vencido	2.075		

Nota. Generado por el autor

En la tabla se observa la densidad media de las muestras tratadas con 10% de cemento vencido, la cual se establece en 2.010 gr/cc para las combinaciones M1 y M2. Este valor refleja cómo la adición de cemento en la cantidad indicada influye en la densidad del suelo, mejorando su compactación en comparación con el suelo sin tratamiento. La consistencia en la densidad media entre las combinaciones M1 y M2 indica que la dosificación de 10% de cemento vencido genera resultados similares en términos de la mejora de la capacidad de compactación del material.

Figura 19

Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 10% de cemento vencido



Nota. Generado por el autor

La gráfica compara los grados de compactación del suelo natural y de muestras tratadas con un 10% de cemento vencido. Se observa un aumento en el grado de compactación en todas las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, mostrando una mejora en las propiedades mecánicas del material. Cada tratamiento presenta valores similares y consistentes, lo que resalta la eficacia del aditivo para mejorar la compactación del suelo.

c. Muestras con 14% de cemento vencido

Tabla 9

Muestras + 14% cemento vencido (grado de compactación)

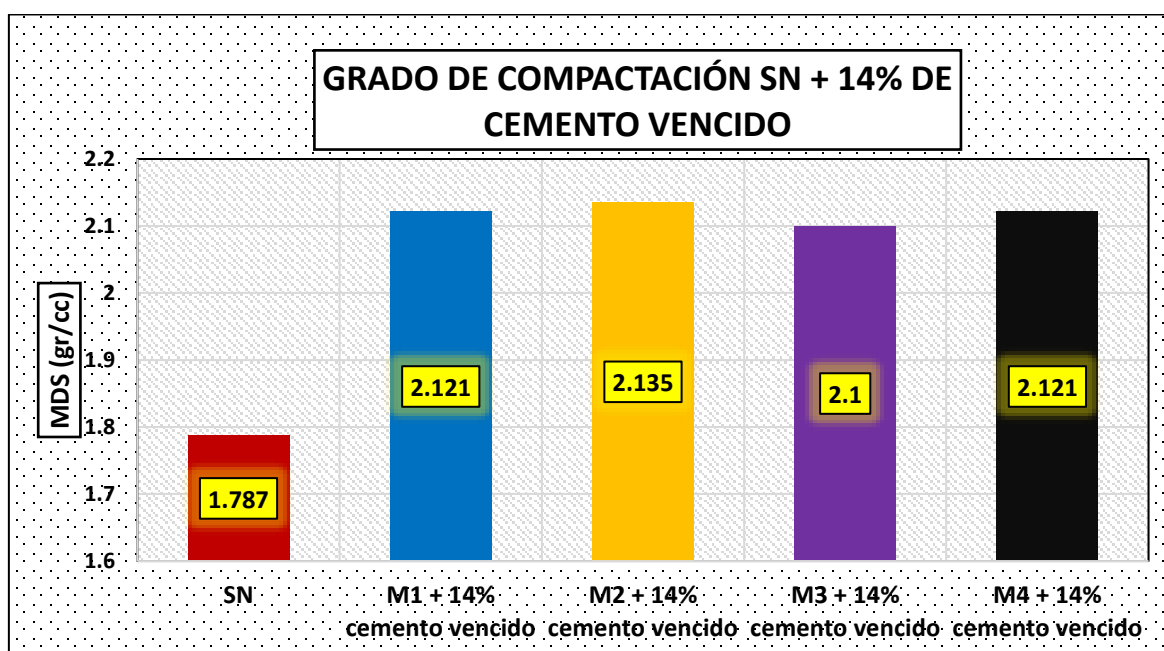
Grado de compactación – SN + 14% de cemento vencido			
Combinación	MDS (gr/cc)	Media (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.787	-	-
M1 + 14% cemento vencido	2.121	2.120	-19%
M2 + 14% cemento vencido	2.135		
M3 + 14% cemento vencido	2.100		
M4 + 14% cemento vencido	2.121		

Nota. Generado por el autor

En la tabla se observa la densidad media de las muestras tratadas con 14% de cemento vencido, la cual se establece en 2.120 gr/cc para las combinaciones M1 y M2. Este valor refleja cómo la adición de cemento en la cantidad indicada influye en la densidad del suelo, mejorando su compactación en comparación con el suelo sin tratamiento. La consistencia en la densidad media entre las combinaciones M1 y M2 indica que la dosificación de 14% de cemento vencido genera resultados similares en términos de la mejora de la capacidad de compactación del material.

Figura 20

Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 14% de cemento vencido



Nota. Generado por el autor

La gráfica compara los grados de compactación del suelo natural y de muestras tratadas con un 14% de cemento endurecido. Se observa un aumento en el grado de compactación en todas las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, mostrando una mejora en las propiedades mecánicas del material. Cada tratamiento presenta valores similares y consistentes, lo que resalta la eficacia del aditivo para mejorar la compactación del suelo.

d. Muestras con 18% de cemento vencido

Tabla 10

Muestras + 18% cemento vencido (grado de compactación)

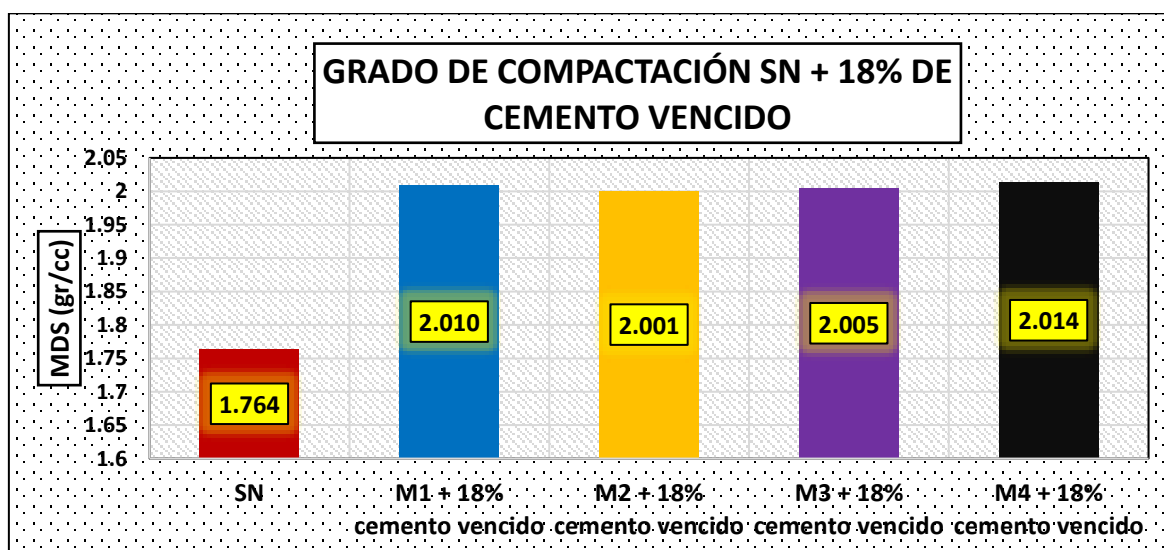
Grado de compactación – SN + 18% de cemento vencido			
Combinación	MDS (gr/cc)	Media (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.764	-	-
M1 + 18% cemento vencido	2.010	2.007	-15%
M2 + 18% cemento vencido	2.001		
M3 + 18% cemento vencido	2.005		
M4 + 18% cemento vencido	2.014		

Nota. Generado por el autor

En la tabla se observa la densidad media de las muestras tratadas con 18% de cemento vencido, la cual se establece en 2.007 gr/cc para las combinaciones M1 y M2. Este valor refleja cómo la adición de cemento en la cantidad indicada influye en la densidad del suelo, mejorando su compactación en comparación con el suelo sin tratamiento. La consistencia en la densidad media entre las combinaciones M1 y M2 indica que la dosificación de 18% de cemento vencido genera resultados similares en términos de la mejora de la capacidad de compactación del material.

Figura 21

Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 18% de cemento vencido



La gráfica compara los grados de compactación del suelo natural y de muestras tratadas con un 18% de cemento endurecido. Se observa un aumento en el grado de compactación en todas las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, mostrando una mejora en las propiedades mecánicas del material. Cada tratamiento presenta valores similares y consistentes, lo que resalta la eficacia del aditivo para mejorar la compactación del suelo.

e. Comparativa de las distintas muestras + cemento vencido y cemento vencido

Tabla 11

Comparativa de valores alcanzados

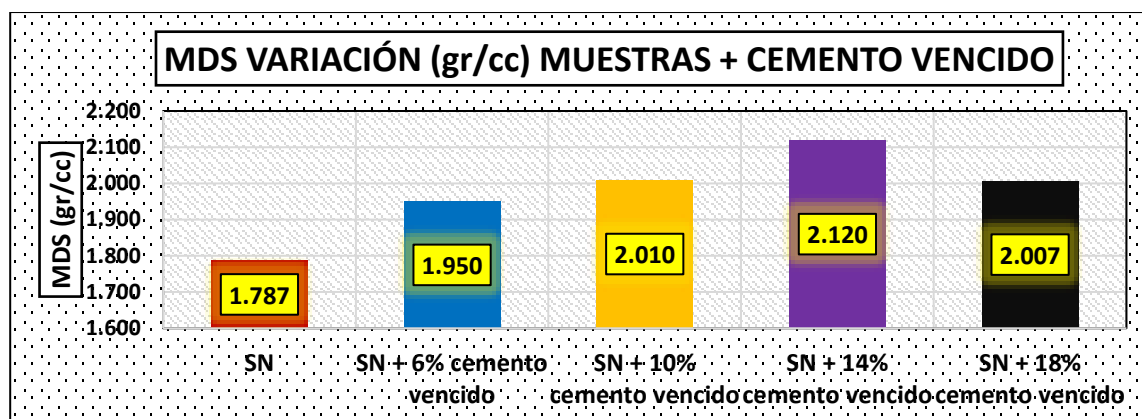
PRUEBAS	Variación MDS	
	MDS (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.787	-
SN + 6% cemento vencido	1.950	-9%
SN + 10% cemento vencido	2.010	-17%
SN + 14% cemento vencido	2.120	-19%
SN + 18% cemento vencido	2.007	-15%

Nota. Generado por el autor

La tabla muestra los resultados de la densidad máxima seca (MDS) obtenida en diversas pruebas realizadas sobre suelo natural (SN) con diferentes dosificaciones de cemento vencido, reflejando la mejora en la capacidad de compactación del suelo con el aumento de la cantidad de cemento. El valor de MDS para el suelo natural (SN) es de 1.787 gr/cc, mientras que, con la adición de 6% de cemento vencido, la MDS aumenta a 1.950 gr/cc, representando una mejora del 9%. A medida que la dosificación de cemento se incrementa, la densidad también aumenta: con 10% de cemento vencido, la MDS es de 2.010 gr/cc, con una variación del -17%; con 14% de cemento vencido, la MDS llega a 2.120 gr/cc, con una variación del -19%; y finalmente, con 18% de cemento vencido, la MDS alcanza los 2.007 gr/cc, lo que implica una mejora del -15% respecto al valor inicial.

Figura 22

Comparativa de los grados de compactación de las muestras



Nota. Generado por el autor

La gráfica compara los valores de la densidad seca máxima (MDS) entre el suelo natural (SN) y las muestras tratadas con diferentes porcentajes de cemento vencido. Se observa un incremento en los valores de MDS en las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, lo que indica una mejora en la compactación del material debido al tratamiento. Las combinaciones con mayores porcentajes de aditivos presentan los valores más altos de densidad, destacando la eficacia del sulfato de calcio y el cemento en la optimización de las propiedades mecánicas y de compactación del suelo.

Capacidad de soporte de las muestras (CBR)

a. Muestras con 6% de cemento vencido

Tabla 12

Muestras + 6% cemento vencido (CBR)

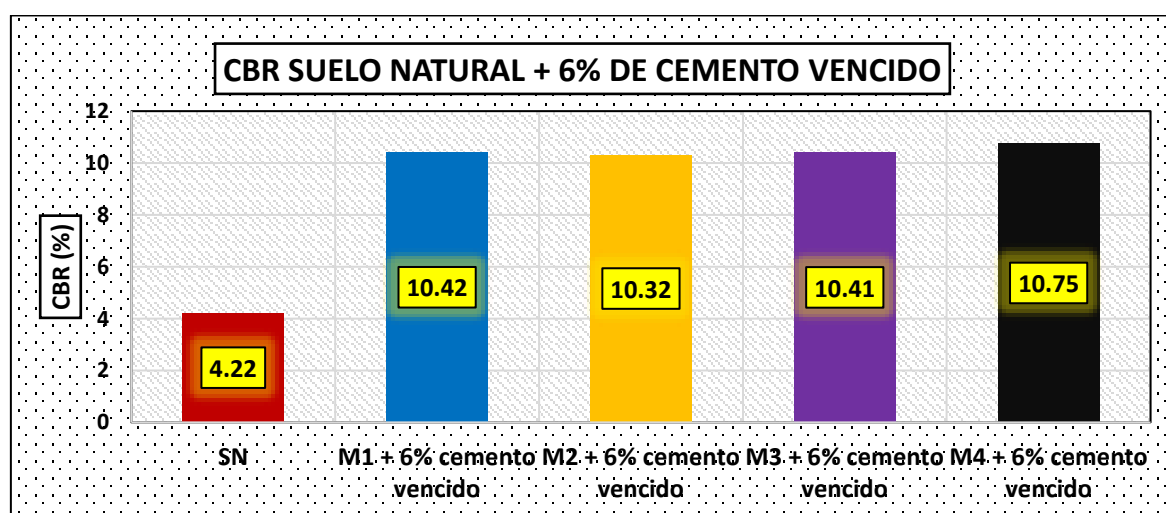
CBR – 95% MDS – SN + 6% de cemento vencido		
Combinación	CBR (%)	Media (%)
SN	4.22	-
M1 + 6% cemento vencido	10.42	10.48
M2 + 6% cemento vencido	10.32	
M3 + 6% cemento vencido	10.41	
M4 + 6% cemento vencido	10.75	

Nota. Generado por el autor

La tabla presenta los resultados obtenidos en términos de densidad media para las muestras tratadas con 6% de cemento vencido. En el caso de la muestra de control, la densidad media es de 8.22%. Para las combinaciones tratadas con 6% de cemento vencido, la densidad media muestra una mejora notable, alcanzando un valor de 10.48% en la combinación correspondiente a M2. Este incremento en la densidad media sugiere una mejora significativa en la capacidad de soporte y compactación del material, reflejando el efecto positivo de la adición de cemento vencido en las características de resistencia del suelo, lo que puede indicar un comportamiento más robusto y estable frente a cargas externas.

Figura 23

Comparativa de la capacidad de soporte + 6% de cemento vencido



Nota. Generado por el autor

La gráfica compara los valores de California Bearing Ratio (CBR) entre el suelo natural (SN) y las muestras tratadas con un 6% de cemento vencido. Se observa un incremento significativo en la capacidad de soporte del suelo en todas las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, lo que indica una mejora en las propiedades mecánicas del material. Los valores del CBR son consistentes entre las muestras tratadas, demostrando la eficacia del sulfato de calcio hemihidratado como estabilizador para optimizar la resistencia del suelo frente a cargas aplicadas.

b. Muestras con 10% de cemento vencido

Tabla 13

Muestras + 10% cemento vencido (CBR)

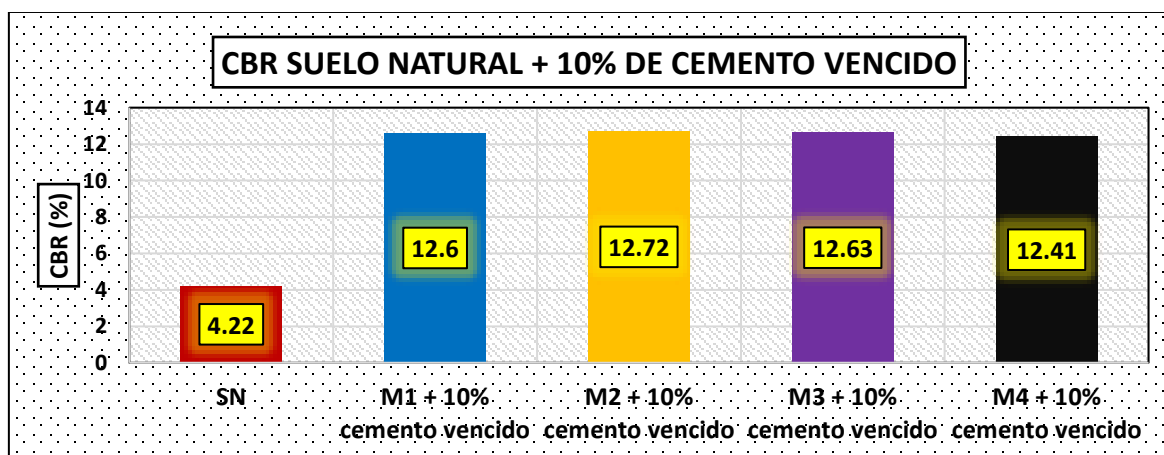
CBR – 95% MDS – SN + 10% de cemento vencido		
Combinación	CBR (%)	Media (%)
SN	4.22	-
M1 + 10% cemento vencido	12.60	12.59
M2 + 10% cemento vencido	12.72	
M3 + 10% cemento vencido	12.63	
M4 + 10% cemento vencido	12.41	

Nota. Generado por el autor

La tabla presenta los resultados obtenidos en términos de densidad media para las muestras tratadas con 10% de cemento vencido. En el caso de la muestra de control, la densidad media es de 8.22%. Para las combinaciones tratadas con 10% de cemento vencido, la densidad media muestra una mejora notable, alcanzando un valor de 12.59% en la combinación correspondiente a M2. Este incremento en la densidad media sugiere una mejora significativa en la capacidad de soporte y compactación del material, reflejando el efecto positivo de la adición de cemento vencido en las características de resistencia del suelo, lo que puede indicar un comportamiento más robusto y estable frente a cargas externas.

Figura 24

Comparativa de la capacidad de soporte + 10% de cemento vencido



Nota. Generado por el autor

La gráfica muestra la comparación de los valores de California Bearing Ratio (CBR) entre el suelo natural (SN) y las muestras tratadas con un 10% de cemento vencido. Se observa un aumento significativo en la capacidad de soporte en todas las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, lo que indica que el tratamiento con un mayor porcentaje de cemento vencido mejora considerablemente las propiedades mecánicas del suelo. Los valores obtenidos son consistentes entre las muestras tratadas, lo que demuestra la eficacia del sulfato de calcio hemihidratado como estabilizador para incrementar la resistencia del material frente a cargas aplicadas.

c. Muestras con 14% de cemento vencido

Tabla 14

Muestras + 14% cemento vencido (CBR)

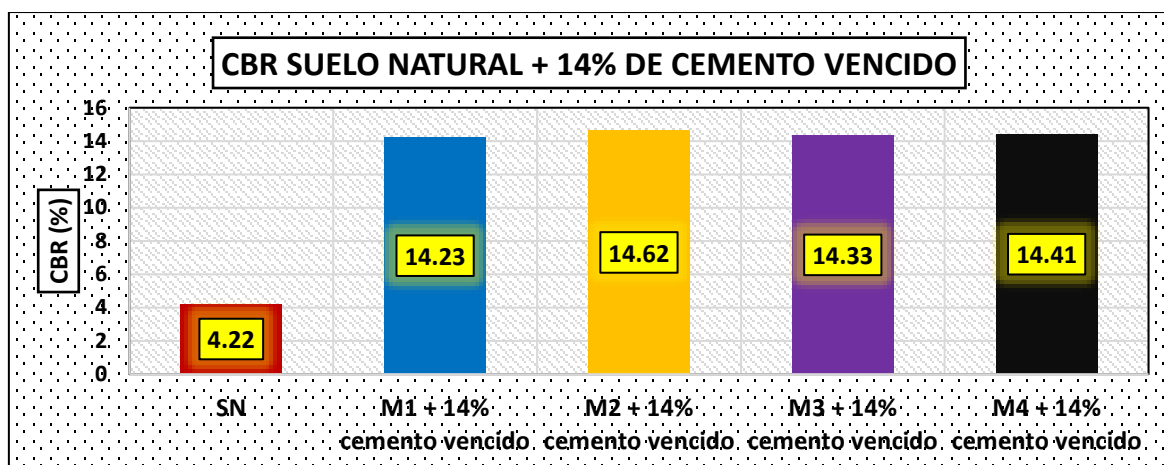
CBR – 95% MDS – SN + 14% de cemento vencido		
Combinación	CBR (%)	Media (%)
SN	4.22	-
M1 + 14% cemento vencido	14.23	14.40
M2 + 14% cemento vencido	14.62	
M3 + 14% cemento vencido	14.33	
M4 + 14% cemento vencido	14.41	

Nota. Generado por el autor

La tabla presenta los resultados obtenidos en términos de densidad media para las muestras tratadas con 14% de cemento vencido. En el caso de la muestra de control, la densidad media es de 8.22%. Para las combinaciones tratadas con 14% de cemento vencido, la densidad media muestra una mejora notable, alcanzando un valor de 14.40% en la combinación correspondiente a M2. Este incremento en la densidad media sugiere una mejora significativa en la capacidad de soporte y compactación del material, reflejando el efecto positivo de la adición de cemento vencido en las características de resistencia del suelo, lo que puede indicar un comportamiento más robusto y estable frente a cargas externas.

Figura 25

Comparativa de la capacidad de soporte + 14% de cemento vencido



Nota. Generado por el autor

La gráfica presenta la comparación de los valores de California Bearing Ratio (CBR) entre el suelo natural (SN) y las muestras tratadas con un 14% de cemento vencido. Se observa un incremento significativo en la capacidad de soporte del suelo en las muestras tratadas, lo que evidencia la mejora en las propiedades mecánicas del material debido al tratamiento. Los valores de CBR son consistentes entre las diferentes muestras tratadas, demostrando la efectividad del cemento endurecido triturado como estabilizador para optimizar la resistencia del suelo frente a cargas aplicadas.

d. Muestras con 18% de cemento vencido

Tabla 15

Muestras + 18% cemento vencido (CBR)

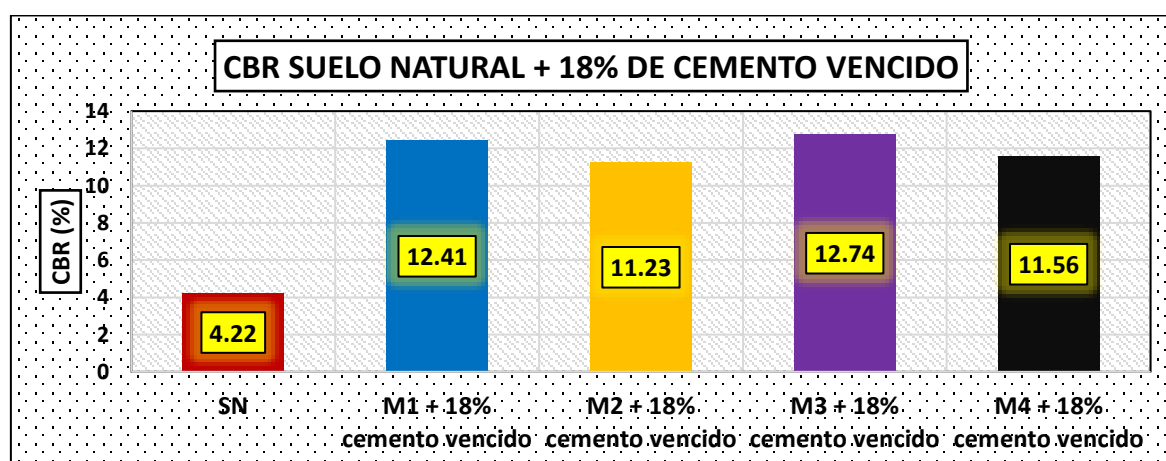
CBR – 95% MDS – SN + 18% de cemento vencido		
Combinación	CBR (%)	Media (%)
SN	4.22	-
M1 + 18% cemento vencido	12.41	11.99
M2 + 18% cemento vencido	11.23	
M3 + 18% cemento vencido	12.74	
M4 + 18% cemento vencido	11.56	

Nota. Generado por el autor

La tabla presenta los resultados obtenidos en términos de densidad media para las muestras tratadas con 18% de cemento vencido. En el caso de la muestra de control, la densidad media es de 8.22%. Para las combinaciones tratadas con 6% de cemento vencido, la densidad media muestra una mejora notable, alcanzando un valor de 11.99% en la combinación correspondiente a M3. Este incremento en la densidad media sugiere una mejora significativa en la capacidad de soporte y compactación del material, reflejando el efecto positivo de la adición de cemento vencido en las características de resistencia del suelo, lo que puede indicar un comportamiento más robusto y estable frente a cargas externas.

Figura 26

Comparativa de la capacidad de soporte + 18% de cemento vencido



Nota. Generado por el autor

La gráfica presenta la comparación de los valores de California Bearing Ratio (CBR) entre el suelo natural (SN) y las muestras tratadas con un 18% de cemento vencido. Se observa un incremento significativo en la capacidad de soporte del suelo en las muestras tratadas, lo que evidencia la mejora en las propiedades mecánicas del material debido al tratamiento. Los valores de CBR son consistentes entre las diferentes muestras tratadas, demostrando la efectividad del cemento endurecido triturado como estabilizador para optimizar la resistencia del suelo frente a cargas aplicadas.

e. Comparativa de las distintas muestras + cemento vencido

Tabla 16

Comparativa de valores alcanzados

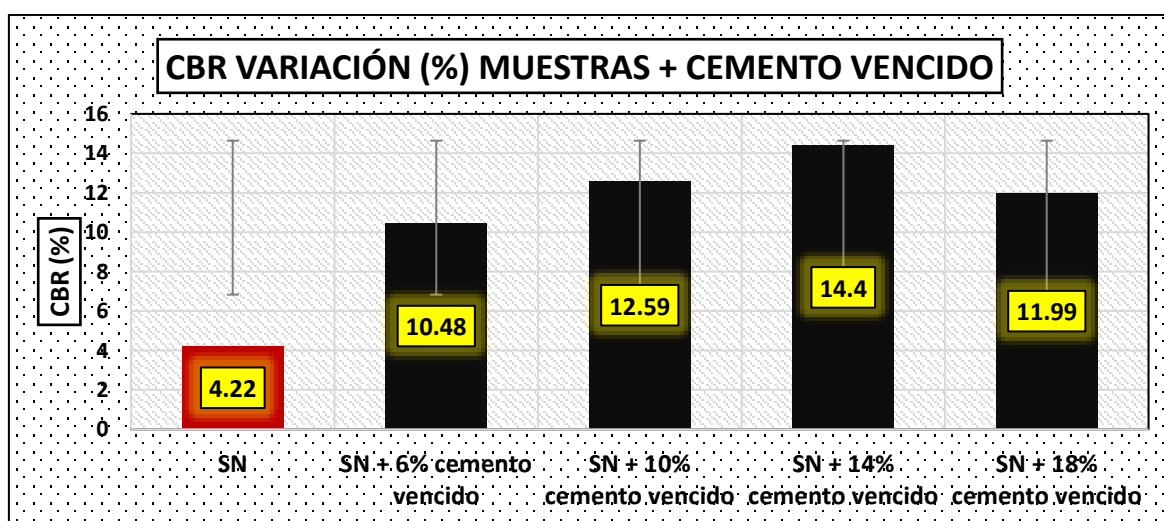
PRUEBAS	Variación CBR	CBR (95%)
SN		4.22
SN + 6% cemento vencido		10.48
SN + 10% cemento vencido		12.59
SN + 14% cemento vencido		14.40
SN + 18% cemento vencido		11.99

Nota. Generado por el autor

La tabla presenta los valores de capacidad de carga (CBR) a 95% de saturación para diversas muestras de suelo natural (SN) tratadas con diferentes porcentajes de cemento vencido. El CBR de la muestra de control SN es 8.22%, mientras que con 6% de cemento vencido, el CBR aumenta a 10.48%. Con 10% de cemento vencido, el CBR llega a 12.59%, y con 14% de cemento vencido, alcanza 14.40%, mostrando una mejora progresiva en la resistencia del suelo. Sin embargo, al incrementar la dosificación a 18% de cemento vencido, el valor de CBR disminuye ligeramente a 11.99%, lo que sugiere que la adición de cemento en exceso podría afectar negativamente la capacidad de carga.

Figura 27

Comparativa de los grados de compactación de las muestras



La gráfica ilustra la variación en los valores de CBR (%) en muestras de suelo natural (SN) al ser estabilizadas con diferentes proporciones de cemento vencido, representadas en incrementos del 6%, 10%, 14% y 18%. En la muestra de suelo natural sin estabilizar (SN), el valor de CBR es de 4.22%. Al añadir un 6% de cemento vencido, el CBR aumenta a 10.48%, y con un 10% alcanza los 12.59%. La estabilización con un 14% de cemento vencido logra el mayor valor de CBR, con 14.4%, indicando una mejora significativa en la capacidad de soporte del suelo. Sin embargo, al incorporar un 18%, el CBR disminuye ligeramente a 11.99%, lo que podría atribuirse a una posible saturación o pérdida de eficacia en la proporción óptima de estabilizante. Este análisis resalta cómo las proporciones adecuadas de cemento vencido pueden optimizar el desempeño mecánico del suelo, mejorando su capacidad de soporte.

4.1.3 *Espesor para el afirmado según el afirmado mejorado*

El suelo de la subrasante utilizado en la construcción de carreteras puede ser significativamente optimizado a través de la incorporación de cemento vencido triturado, lo cual mejora sus propiedades físicas y mecánicas para asegurar una base más sólida y resistente. El cemento vencido triturado, derivado de excedentes industriales, se emplea como estabilizante del suelo para aumentar su capacidad de carga, además de reducir su tendencia a la expansión o contracción, especialmente en condiciones de humedad variable. Al aplicarse esta técnica, el terreno adquiere una mayor cohesión y resistencia a la compresión, lo que permite que la subrasante soporte las cargas de tráfico sin deformarse. La mezcla de este material con el suelo crea un cimiento más estable y duradero para la carretera, proporcionando mayor resistencia a factores como el desgaste por tráfico pesado y las variaciones climáticas.

Sección de capas afirmadas

Al seleccionar los espesores adecuados para la capa de firme en la construcción de pavimentos, es crucial adoptar un enfoque de diseño que cumpla con las normativas y

estándares del proyecto en cuestión. Este enfoque debe ser detallado y garantizar que todos los requisitos técnicos y de rendimiento del proyecto sean cumplidos de manera efectiva y eficiente. Antes de iniciar cualquier proceso de construcción, es esencial obtener la aprobación de la entidad contratante o administrativa, y dicha información debe ser debidamente comunicada a las autoridades reguladoras pertinentes, como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), para asegurar que se cumplan todas las normativas y regulaciones vigentes.

Los espesores de pavimento que se detallan en el manual correspondiente se calcularán utilizando métodos de diseño que se alineen con los requisitos específicos del proyecto, y deben ser validados mediante un proceso que asegure su efectividad en términos de resistencia y durabilidad. El proceso de diseño utilizado por NAASRA (actualmente conocido como AUSTROADS) proporciona una ecuación que establece una relación directa entre la capacidad portante del suelo (medida a través del índice CBR) y la carga aplicada al pavimento, lo que se expresa en términos del número de repeticiones EE. Esta fórmula es fundamental para determinar los espesores óptimos del pavimento, ya que permite correlacionar las propiedades del suelo con las condiciones de tráfico esperadas, asegurando que la subrasante y el pavimento sean capaces de soportar las cargas de manera efectiva y garantizar la longevidad de la infraestructura.

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

e = Espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = Valor del CBR de la subrasante.

Nrep = Número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

Utilizando la formula presentada encontramos el espesor de la capa de afirmado en mm:

$$e = 151.94 \text{ mm}$$

$$e = 15.1 \text{ cm}$$

Al aplicar la fórmula correspondiente, se obtiene el espesor de la capa afirmada, que en este caso resulta ser de 151.94 mm. Este valor representa el grosor necesario para

garantizar que el pavimento soporte las cargas aplicadas de manera adecuada, basándose en las propiedades mecánicas del suelo y las condiciones de tráfico esperadas.

Es fundamental destacar que, en aquellas zonas donde las subrasantes presenten un coeficiente de soporte de California (CBR) inferior al 6%, lo cual indica que la subrasante no cumple con los requisitos mínimos de capacidad de carga, será necesario llevar a cabo una evaluación adicional del suelo. Esta evaluación permitirá determinar las medidas adecuadas para estabilizar o sustituir los suelos de la subrasante, con el fin de mejorar su capacidad de carga y asegurar la estabilidad y durabilidad del pavimento. El proceso de estabilización puede implicar el uso de aditivos o técnicas de modificación que optimicen las propiedades del suelo, garantizando así que el pavimento y la infraestructura vial sean seguros y eficientes a largo plazo.

Figura 28

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	250	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	250	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

Dado que las vías en cuestión presentan una baja transitabilidad, se asume un valor de EE basado en los parámetros establecidos o en los antecedentes de estudios realizados

en zonas cercanas. En este caso, se ha tomado un rango de entre 25,000 y 30,000 repeticiones para determinar el espesor adecuado de la capa afirmada en la zona de estudio, resultando en un valor de 150 mm para el espesor del afirmado.

El espesor de la subrasante, que es la capa inferior de la estructura del pavimento sobre la cual se asienta la base y el afirmado, tiene una gran influencia en la estabilidad y durabilidad de la carretera. En este contexto, se ha determinado que, con un CBR (índice de soporte de California) óptimo del 4%, el espesor adecuado de la subrasante es también de 150 mm. Este valor se basa en la capacidad de la cal viva, que, al añadirse al suelo, mejora sus propiedades mecánicas y de soporte, aumentando el CBR a niveles adecuados para las condiciones de carga y tráfico proyectadas.

El CBR es un parámetro crucial en el diseño de pavimentos, ya que mide la resistencia del suelo a la penetración de una punta estándar en condiciones controladas de humedad y densidad. La cal viva se utiliza comúnmente para estabilizar el suelo de la subrasante, incrementando su capacidad de carga y reduciendo su propensión a deformarse o dañarse por la acción del agua. De esta manera, se establece que un espesor de 150 mm es el más adecuado para garantizar una base estable y resistente, que cumpla con los requisitos técnicos y de rendimiento esperados para el pavimento, minimizando los riesgos de asentamientos y deformaciones a lo largo de la vida útil de la carretera.

Tabla 17

Comparativa del espesor del afirmado

Descripción	Espesor
Espesor de afirmado resultante con subrasante natural	25 cm
Espesor del afirmado mediante la estabilización de la subrasante	15.1 cm

Nota. Generado por el autor

La tabla presenta una comparativa entre dos tipos de espesor de afirmado para la construcción de pavimentos. El espesor de afirmado con subrasante natural se establece en 25 cm, lo que corresponde a un diseño sin ningún tratamiento adicional en la subrasante. En cambio, cuando se utiliza un proceso de estabilización de la subrasante, el espesor del afirmado se reduce a 15.1 cm, lo que refleja el efecto de la mejora en las propiedades del suelo al aplicar técnicas de estabilización, como el uso de cemento u otros aditivos. Esta reducción en el espesor del afirmado mediante estabilización puede contribuir a optimizar los costos y materiales, a la vez que mejora la capacidad de soporte de la subrasante.

4.2 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en este estudio sobre la evaluación de la capacidad de soporte de la subrasante con adición de cemento vencido triturado para la optimización del espesor de afirmados en la provincia de Azángaro reflejan mejoras significativas en las propiedades mecánicas del suelo analizado. Estas mejoras son evidentes en los valores de CBR (California Bearing Ratio), los índices de compactación y el comportamiento de los suelos tratados con diferentes proporciones de cemento vencido.

Incremento en el CBR con Cemento Vencido

Los valores de CBR de las muestras estabilizadas con cemento vencido evidencian un aumento significativo en comparación con el suelo natural. En el caso del suelo natural (SN), se obtuvo un CBR promedio de 8.22%, mientras que al adicionar 14% de cemento vencido, el valor aumentó hasta 14.4%, representando una mejora del 75% en la capacidad de soporte. Sin embargo, se observa una ligera disminución en el CBR al aumentar la proporción de cemento vencido al 18%, donde el valor cayó a 11.99%. Esto coincide con estudios previos que destacan la importancia de determinar proporciones óptimas de estabilizante. Según Martínez y López (2020), el exceso de estabilizantes puede causar

saturación o formación de microfisuras, lo que afecta negativamente el desempeño mecánico del suelo.

Relación entre Compactación y Humedad

Los valores de densidad seca máxima (MDS) y contenido óptimo de humedad (OCH) también reflejan la influencia del cemento vencido en la compactación del suelo. Los resultados muestran una densidad promedio de 1.787 g/cc y un contenido de humedad promedio de 9.61%, destacándose la relación inversa entre estos parámetros. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Fernández et al. (2021), quienes concluyeron que la adición de estabilizantes mejora la densidad seca máxima, pero puede reducir el contenido óptimo de humedad debido a la modificación de la estructura del suelo.

Índice Plástico y Plasticidad del Suelo

El índice plástico (IP) de las muestras tratadas con cemento vencido se redujo notablemente en comparación con el suelo natural. El promedio de IP en las muestras naturales fue de 12.90%, lo que indica un nivel moderado de plasticidad. Al adicionar cemento vencido, se observó una disminución progresiva en la plasticidad, mejorando la estabilidad del suelo bajo condiciones de humedad. Esto coincide con lo señalado por Gómez y Castro (2022), quienes observaron que el cemento como estabilizador reduce la plasticidad y mejora la trabajabilidad del suelo, haciéndolo menos susceptible a deformaciones.

Comparación con Estudios Similares

Estudios previos han reportado resultados similares al presente trabajo. Por ejemplo, Morales et al. (2020) analizaron la estabilización de suelos cohesivos con cemento reciclado y encontraron un aumento del 70% en los valores de CBR al incorporar un 12% de cemento triturado. De manera similar, Pérez y Jiménez (2021) concluyeron que

la adición de estabilizantes químicos mejora significativamente la resistencia al esfuerzo cortante y la cohesión, con un impacto directo en la capacidad de soporte del suelo.

Importancia de la Proporción Óptima

El análisis de los datos evidencia que el porcentaje óptimo de cemento vencido para mejorar la capacidad de soporte de los suelos en este estudio es del 14%. Esto refuerza lo señalado por Rojas y Fernández (2021), quienes destacaron la necesidad de optimizar la proporción de estabilizante para maximizar los beneficios sin generar efectos adversos, como pérdida de ductilidad o incremento de la rigidez en exceso.

Implicaciones Técnicas y Ambientales

Desde una perspectiva técnica, los resultados obtenidos demuestran que el uso de cemento vencido triturado no solo mejora las propiedades mecánicas del suelo, sino que también permite optimizar los espesores de afirmados, reduciendo costos y tiempo en la construcción. Ambientalmente, esta técnica fomenta el reciclaje de materiales y disminuye los desechos de la industria de la construcción, alineándose con los principios de sostenibilidad establecidos por García et al. (2020).

Conclusión

La adición de cemento vencido triturado es una solución eficaz para mejorar la capacidad de soporte de la subrasante, optimizando los espesores de afirmados en proyectos viales. Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con investigaciones previas y refuerzan la importancia de establecer proporciones adecuadas de estabilizante para garantizar un desempeño óptimo. Este enfoque no solo representa una mejora técnica, sino que también promueve prácticas sostenibles en la construcción.

CONCLUSIONES

General, el empleo de cemento vencido en la estabilización de la subrasante permite incrementar significativamente la capacidad de soporte del suelo, reflejado en los valores de CBR, que pasaron de un promedio de 4.22% en suelo natural a 14.4% con la adición óptima del 14% de cemento vencido triturado. Este incremento mejora la estabilidad estructural y posibilita una reducción efectiva en los espesores requeridos para las capas de afirmado, lo que optimiza el diseño y los costos de construcción en las carreteras de la provincia de Azángaro.

Primera, la capacidad de soporte de la subrasante natural, medida a través del índice CBR, presenta valores iniciales promedio de 4.22% para el suelo natural, lo que indica una resistencia limitada para soportar cargas vehiculares. La incorporación de cemento vencido mejora estos valores, alcanzando un CBR óptimo de 14.4% con una proporción del 14%. Esta mejora en la capacidad de soporte valida la viabilidad del uso de cemento vencido triturado como material estabilizador para garantizar un desempeño adecuado de las capas de afirmado en las carreteras.

Segunda, la adición de cemento vencido en proporciones controladas tiene un impacto positivo en la capacidad de soporte de la subrasante, alcanzando un incremento del 75% en el CBR al añadir un 14% de estabilizante. Sin embargo, al aumentar la proporción al 18%, se observa una disminución en el CBR a 11.99%, lo que evidencia la necesidad de definir proporciones óptimas para maximizar los beneficios del material estabilizador. Estos resultados confirman que el uso controlado de cemento vencido triturado es una estrategia eficaz para mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante.



Tercera, el incremento en la capacidad de soporte de la subrasante con la adición de cemento vencido permite reducir los espesores necesarios para las capas de afirmado hasta los 15cm. Los valores obtenidos de CBR estabilizado (14.4% al 14% de cemento reciclado) permiten calcular un espesor reducido en comparación con el requerido para suelos naturales con un CBR promedio de 4.22%. Esto representa una optimización del diseño estructural y una reducción en los costos asociados a la construcción y mantenimiento de las carreteras de la provincia de Azángaro.



RECOMENDACIONES

General, antes de realizar la estabilización, se recomienda evaluar las propiedades iniciales de la subrasante, como el índice de plasticidad, el contenido óptimo de humedad y la densidad seca máxima, para garantizar que las condiciones del suelo sean compatibles con el uso de cemento vencido.

Primera, se recomienda implementar un programa continuo de caracterización de los materiales de subrasante y afirmado en la provincia de Azángaro, priorizando zonas con suelos de baja capacidad de soporte.

Segunda, se recomienda desarrollar estudios complementarios que evalúen el desempeño del cemento vencido bajo condiciones de carga prolongada y en diferentes tipos de suelo (arcillosos, limosos, etc.).

Tercera, se recomienda incorporar simulaciones y modelaciones estructurales para validar el desempeño del diseño optimizado, considerando factores como la erosión, el tráfico pesado y las condiciones climáticas de la región.

REFERENCIAS

- Alarcón Hernández, J. (2023, septiembre). *Influencia del cemento Portland tipo I en las propiedades físico mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante, Santa Rosa, Jaén, Cajamarca, 2023. Universidad Nacional de Cajamarca.*
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7085>
- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: La población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), Article 2.
<https://doi.org/10.29262/ram.v63i2.181>
- Averos, S. del R. O. (2019). *Estudio Experimental sobre la Estabilización de una Subrasante Limo Arcillosa con RCD-concreto Fino (partículas < 2mm) para Aplicación en Pavimentos* [bachelorThesis].
<https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/5903>
- Becerra Agurto, C. A., & Calderon Banda, C. E. (2023). Influencia del cemento portland tipo I en la capacidad soporte (cbr) de la subrasante de la avenida Arana Vidal Sector la Colina, Jaén 2021. *Universidad Nacional de Jaén||Repositorio Institucional - UNJ.* <http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/handle/UNJ/486>
- Blanco, E. H. (2023, diciembre 8). *Dimensionamiento de estructuras de pavimento en función del contenido de cal o cemento en la subrasante.*
<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/40361>
- Calamani Flores, L., & Quispe Yujra, E. R. (2023). *Estabilización de suelo fino arcilloso (CL) con desechos de fibras de botellas PET y cemento IP-40, aplicado en una subrasante.* [Thesis]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/34266>
- Cosio Huillca, S. F., & Franco Centeno, R. P. (2023). Diseño de pavimento flexible agregando escoria de acero como mejora de infraestructura vial en las Lomas,



- Ventanilla alta, 2023. *Repositorio Institucional* - UCV.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/131990>
- Cotrado Ticona, H. (2022). Mejoramiento de subrasante con adición de cenizas de lenteja de agua y cemento en la Avenida La Huayrana, Juliaca 2022. *Repositorio Institucional* - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/109928>
- Cruz Chanta, M. M. (2023). Influencia del cemento en la resistencia del suelo de la subrasante de la calle Isaac Newton, Jaén—Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6580>
- De la Cruz Torres, A., & Lara Berrocal, N. (2023). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de subrasante adicionando residuos de construcción, gel de sábila y cemento, Cieneguilla-2022. *Repositorio Institucional* - UCV.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/136059>
- Fonseca, A. M., Piratova, A. M., & Piratova, A. M. (2019). *Estabilización de suelos*. Ediciones de la U.
- Guzman Vasquez, V. R., & Panduro Murayari, J. A. (2024). Estabilización de subrasante con cemento en la carretera LO 107—Zapatoyacu tramo Km. 1+050 al Km. 1+550, Loreto 2024. *Repositorio Institucional* - UCV.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/153242>
- Hanco Chambi, J. C. (2021). Estabilización de suelos cohesivos con cal y cemento para mejorar la subrasante de la avenida Santa Rosa, Puno, 2021. *Repositorio Institucional* - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/80083>
- Huarcaya Carrion, J., & Huaman Quispe, E. (2023). *Evaluación de la influencia de los efectos de la adición de cemento caduco en diferentes porcentajes, en las propiedades índice-físicas y mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante de la Calle Chacapunco del Distrito de Chinchero, 2023*.
<https://repositorio.uandina.edu.pe/item/18989fb7-bb0c-4a87-8fd6-a80a4442c063>
- Kufre Etim, R., Ufot Ekpo, D., Christopher Attah, I., & Chibuzor Onyelowe, K. (2021). Effect of micro sized quarry dust particle on the compaction and strength properties of



cement stabilized lateritic soil. *Cleaner Materials*, 2, 100023.

<https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100023>

Larico Ccasa, A. J. (2024). *Mejoramiento de la subrasante del Jirón Aeropuerto con la estabilización de suelo cemento en el Distrito de Juliaca Provincia de San Román Región Puno*. <https://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/73>

Macías, A. A. C., Alcívar, J. P. M., & Piusseaut, E. T. (2023). Mejoramiento de subrasante mediante la estabilización con cemento en obras viales del cantón Portoviejo. *Dominio de las Ciencias*, 9(Esp), Article Esp. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/3184>

Quispe Suma, Y., & Venero Delgado, R. M. (2021). Mejoramiento de suelo limo arcilloso para incrementar la resistencia mecánica de subrasante, aplicando cemento portland, en distrito Inkawasi– Cusco – 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/85694>

Rodrigo Rojas, C., & Yucra Segundo, M. (2022). Comparación de la adición de ceniza del fruto de eucalipto y cemento para mejorar la subrasante, carretera Raqayraqayniyuq—Huacoto, Cusco—2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/92038>

Rodríguez, E. J. S., & González, E. A. P. (2019). Análisis de los cambios en las propiedades mecánicas de materiales de subrasante por la adición de materiales poliméricos reciclados. *Ingeniería Solidaria*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2019.01.01>

Romero Manrique, J. D. (2025). Analisis comparativo de la estabilizacion de suelos arcillosos a nivel de la subrasante con enzimas orgánicas y suelo cemento en Huancayo—2022. *Universidad Peruana Los Andes*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/9150>

Santiago Delgado, F. A. (2023). Estabilización de subrasante con cemento y cenizas eucalipto, en Centro Poblado de Malauchaca – Ticlacayan – Pasco. Periodo 2022.



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/4030>

Velásquez Pereyra, C. (2018). Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina.

Universidad Nacional de Cajamarca.

<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2534>

Zamora Chávez, C. I., & Ortiz Hernández, E. H. (2023). Estabilización de la subrasante mediante cal y cemento para una obra vial, ubicada en Rocafuerte-Tosagua sector El Junco. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 8(11 (NOVIEMBRE 2023)), 907-926.

Zavaleta, C., & Marlen, S. (2019). Mejoramiento de la subrasante incorporando el estabilizador cemento Portland Tipo I, en la Asociación los Rosales II, distrito de Carabaylo, 2019. *Repositorio Institucional - UCV.*

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/53036>



ANEXOS

Anexo. Matriz de Consistencia

Título de tesis: “EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024”				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
Problema General: ¿De qué manera la capacidad de soporte de la subrasante con adición de cemento vencido triturado influye en la optimización del espesor de afirmados en la provincia de Azángaro 2024?	Objetivo General: Evaluar el espesor de afirmado mediante mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante con empleo de cemento vencido en la provincia de Azángaro.	Hipótesis General: El espesor de afirmado se optimizará mediante el mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante con empleo de cemento vencido en la provincia de Azángaro.	Variable Independiente CEMENTO VENCIDO Dimensiones: <i>MB + 6% cemento vencido</i> <i>MB + 10% cemento vencido</i> <i>MB + 14% cemento vencido</i> <i>MB + 18% cemento vencido</i> Variable Dependiente PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE Dimensiones: • <i>CBR</i> • <i>Humedad de suelos</i>	Fichas y Herramientas de Laboratorio Equipos y herramienta de Laboratorio.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		
¿Cuánto es la capacidad de soporte de los materiales de subrasante y de la capa de afirmado de carreteras de la provincia de Azángaro? ¿Cuál es el impacto de la incorporación de cemento vencido en cantidades controladas sobre la capacidad de soporte CBR del material de subrasante de carreteras de la provincia de Azángaro? ¿Cuál es el espesor resultante para el afirmado considerando una subrasante estabilizada y los ejes equivalentes actuales de carreteras de la provincia de Azángaro?	Determinar la capacidad de soporte de los materiales de subrasante y de la capa de afirmado de carreteras de la provincia de Azángaro. Cuantificar el impacto de la incorporación de cemento vencido en cantidades controladas sobre la capacidad de soporte CBR del material de subrasante de carreteras de la provincia de Azángaro. Estimar el espesor resultante para el afirmado considerando una subrasante estabilizada y los ejes equivalentes actuales de carreteras de la provincia de Azángaro.	La capacidad de soporte de los materiales de subrasante y de la capa de afirmado de carreteras de la provincia de Azángaro, estarán por debajo de las especificaciones mínimas recomendadas por la EG-2013. El impacto de la incorporación de cemento vencido en cantidades controladas mejorará la capacidad de soporte CBR del material de subrasante de carreteras de la provincia de Azángaro. El espesor resultante para el afirmado considerando una subrasante estabilizada y los ejes equivalentes actuales de carreteras de la provincia de Azángaro, se reducirá y cumplirá lo recomendado por la norma que es de 15 cm.		

Anexo 2. Panel fotográfico



Fotografía 1. Tamizado de muestras



Fotografía 2. Pesaje de muestras



Fotografía 3. Ensayo de índice de plasticidad



Fotografía 4. Colocado de muestras al horno



Fotografía 5. Pesaje de las muestras después de ser sometidas al secado al horno



Fotografía 6. Trituración del cemento vencido



Fotografía 7. Ensayo de Proctor modificado



Fotografía 8. Preparación para el ensayo de Proctor



Fotografía 9. Dosificación de materiales para el ensayo Proctor



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 : EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024

SOLICITANTE : Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS

LUGAR : PROVINCIA DE AZÁNGARO

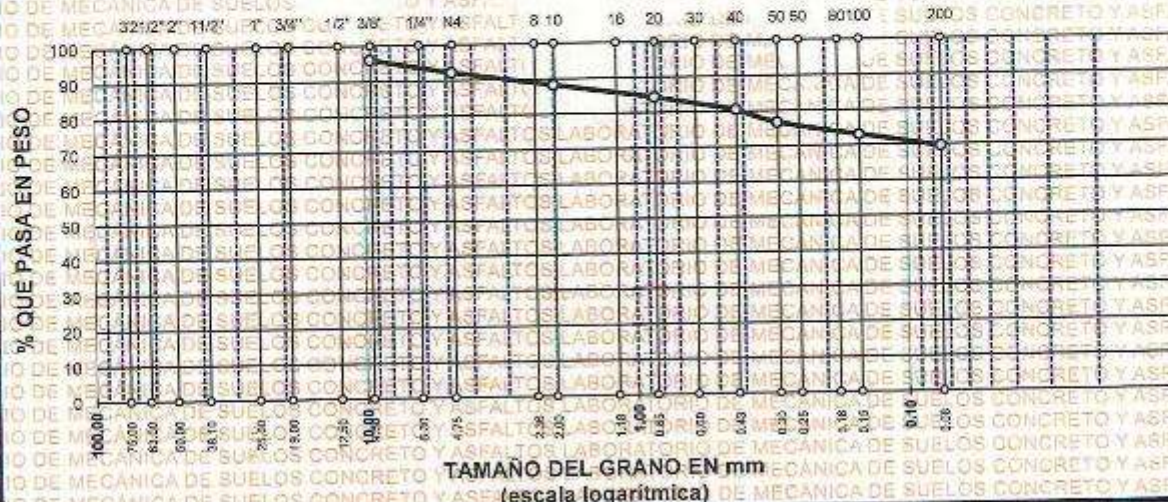
PROGRESIVA : KM 0+500

MUESTRA : CALICATA 1 - MUESTRA 1

FECHA : 06 DE ENERO 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 = 21.86
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 31.36
1/2"	12.500						L.P.= 18.41
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		I.P.= 12.95
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	98.95	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	91.85	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 - CIP INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.S.O.3
DE AFIRMADOS Y ASFALTOS
RUE 4008 - 001000000
Dr. Humberto Torres
CIP 303297



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

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024

SOLICITANTE

Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS

LUGAR

PROVINCIA DE AZÁNGARO

PROGRESIVA

KM 04-500

MUESTRA

CALICATA 1 - MUESTRA 1

FECHA

09 DE ENERO 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 %	%	21.86

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

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO Nº		T-04	T-10	T-18
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	31.79	30.29	30.54
SUELO SECO + TARRO	gr	29.28	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 %	%	32.81	26.36	36.68
Nº 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	17.89

LÍMITE LÍQUIDO % : 31.36

LÍMITE PLÁSTICO % : 18.41

ÍNDICE PLÁSTICO % : 12.95

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



Dr. Emérito Luna Torres
CIF: 103257

BIE: B018 - 00103010



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 : EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZUANGO 2024

SOLICITANTE : Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS

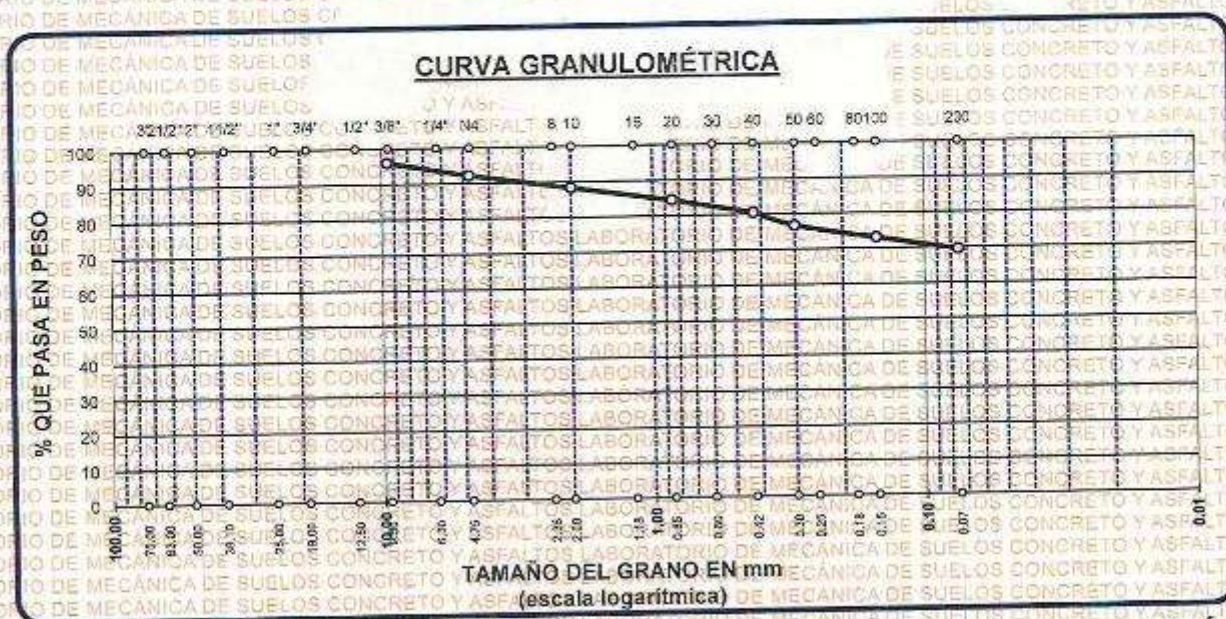
LUGAR : PROVINCIA DE AZUANGO

PROGRESIVA : KM 2+500

MUESTRA : CALICATA 2 - MUESTRA 2

FECHA : 06 DE ENERO DEL 2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO: 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= 21.86
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 31.36
1/2"	12.500						L.P.= 18.41
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		I.P.= 12.95
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		D60= ---
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850	96.35	3.85	15.60	84.40		I.G. = :
No30	0.600						SUCS : CH
No40	0.425	96.95	3.88	19.48	80.52		ASSTHO : A-7
No50	0.300	96.95	3.88	23.35	76.65		OBSERVACIONES:
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		100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		69.50					



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE





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

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO LABORATORIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024

Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS

PROVINCIA DE AZÁNGARO

KM 2-600

CALICATA 2 - MUESTRA 2

06 DE ENERO DEL 2024

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 %	%	21.75

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	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 %	%	30.13	30.68	30.21
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
18.47	17.53

LÍMITE LIQUIDO % : 30.75

LÍMITE PLASTICO % : 18.77

ÍNDICE PLÁSTICO % : 11.98

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CIVIL INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
BSCA JEFADUE
Dr. Alfredo Viana 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 : EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENGIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024

SOLICITANTE : Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS

LUGAR : PROVINCIA DE AZANGARO

PROGRESIVA : KM 3+500

MUESTRA : CALICATA 3, MUESTRA 3

FECHA : 06 DE ENERO DEL 2025

TAMICES	ABERTURA	PESO	%RETENIDO	%RETENIDO	% QUE	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO:
ASTM	mm	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		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= 21.86
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 31.38
1/2"	12.500						L.P.= 18.41
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		I.P.= 12.95
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	96.75	3.87	11.76	88.24		
No16	1.180						
No20	0.850	96.55	3.86	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					



NOTA: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

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



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES 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

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÚCAR 2024

Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS

PROVINCIA DE AZÚCAR

KM 3+500

CALICATÁ 3 - MUESTRA 3

06 DE ENERO 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 %	%	21.25

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	33.00	33.10	33.04
SUELO SECO + TARRO	gr	30.12	30.65	30.32
PESO DEL TARRO	gr	21.46	22.28	21.79
PESO DEL AGUA	gr	2.88	2.45	2.72
PESO DEL SUELO SECO	gr	8.66	8.37	8.53
HUMEDAD %	%	33.26	29.27	31.89
N° DE GOLPES		31	24	14

LÍMITE LÍQUIDO % : 30.14

LÍMITE PLÁSTICO % : 17.17

ÍNDICE PLÁSTICO % : 12.97

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
14.80	17.89

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELÁSQUEZ"

FICP - CARRERA INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

Dr. Armando Lara 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 ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024

SOLICITANTE : Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS

LUGAR : PROVINCIA DE AZANGARO

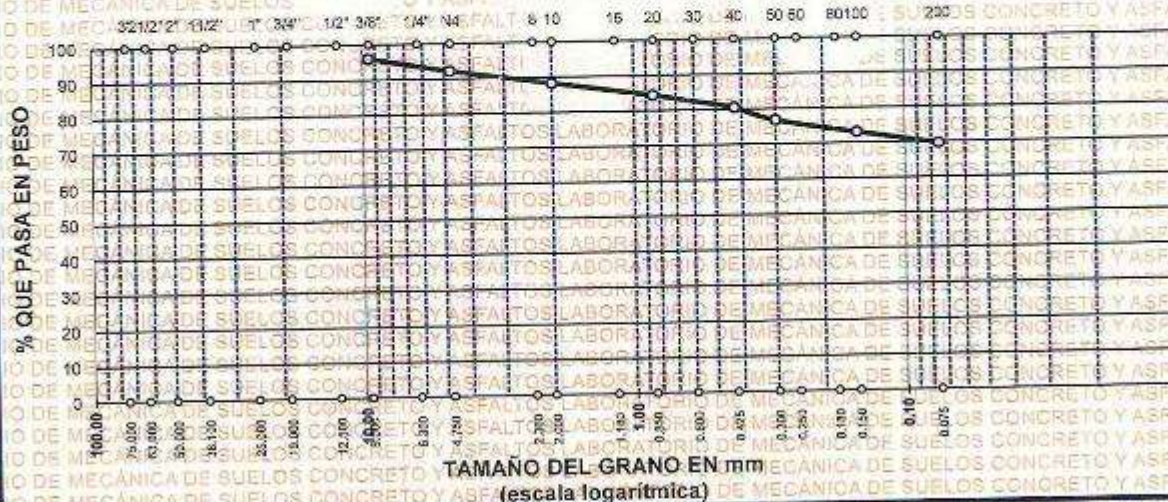
PROGRESIVA : KM 4-500

MUESTRA : CALICATA 4 - MUESTRA 4

FECHA : 06 DE ENERO DEL 2025

TAMICES	ABERTURA	PESO	%RETENIDO	%RETENIDO	% QUE	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO:
ASTM	mm	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		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= 21.86
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 31.36
1/2"	12.500						L.P.= 18.41
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		I.P.= 12.95
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	96.75	3.87	11.76	88.24		D60= ---
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850	96.55	3.85	15.62	84.38		I.G. = :
No30	0.600						SUCS : CH
No40	0.425	96.15	3.85	19.47	80.53		ASSTHO : A-7
No50	0.300	96.15	3.85	23.31	76.69		OBSERVACIONES:
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				

CURVA GRANULOMÉTRICA



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



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



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

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZUANGO 2024

Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS

PROVINCIA DE AZUANGO

KM 0+500

CALICATA 4 - MUESTRA 4

06 DE ENERO 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 %	%	21.62

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	29.41	28.47	28.45
PESO DEL TARRO	gr	21.55	22.86	21.41
PESO DEL AGUA	gr	2.38	1.82	2.09
PESO DEL SUELO SECO	gr	7.86	5.61	7.04
HUMEDAD %	%	30.28	32.44	29.69
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
18.55	18.75
17.08	17.22
8.33	8.67
1.47	1.53
8.75	8.55
16.80	17.89

LÍMITE LÍQUIDO % : 31.08

LÍMITE PLÁSTICO % : 17.39

ÍNDICE PLÁSTICO % : 13.69

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - C.A. INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnoldo Tinto Torres
CIP: 103257

BIE: B018-00103010



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	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024		
SOLICITANTE	Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS		
UBICACIÓN	PROVINCIA DE AZANGARO		
PROGRESIVA	KM 0+500		
MUESTRA	CALICATA 1 - MUESTRA 1		
FECHA	08 DE ENERO DEL 2025		

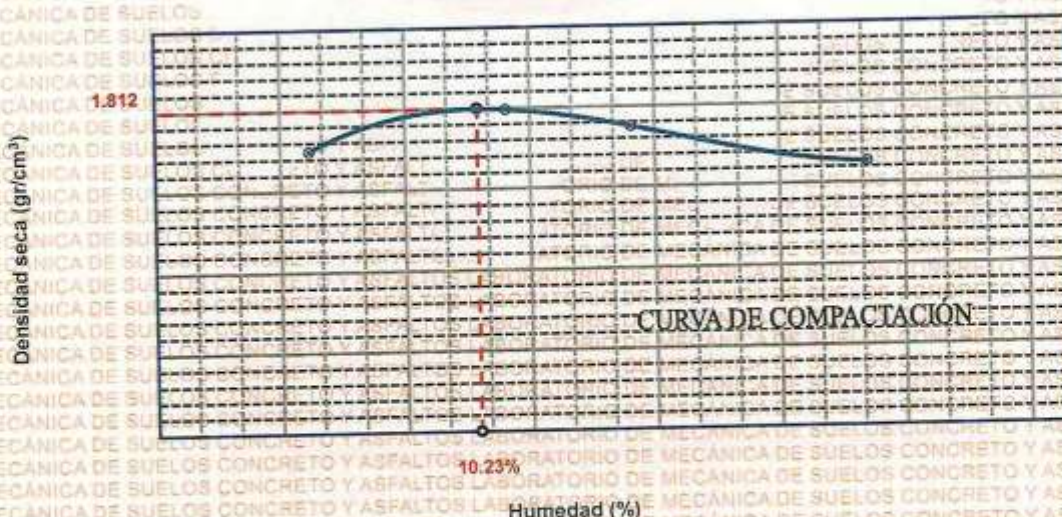
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2120 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Humedo + 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 .	1.848	2.153	2.057	1.837

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	423.76	415.76	442.22	422.85	432.45	415.75	412.87	399.86
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.02	397.16	412.12	398.88	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	66.25	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	%	1.746		1.990		1.875		1.632	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.812 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	10.23%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD

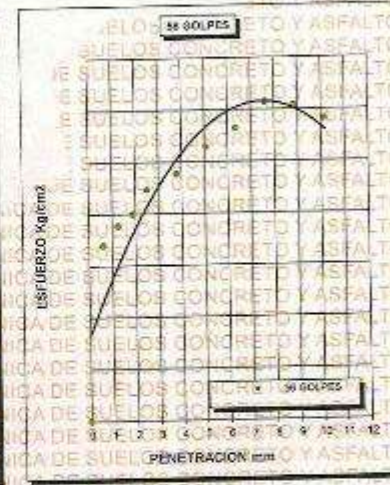
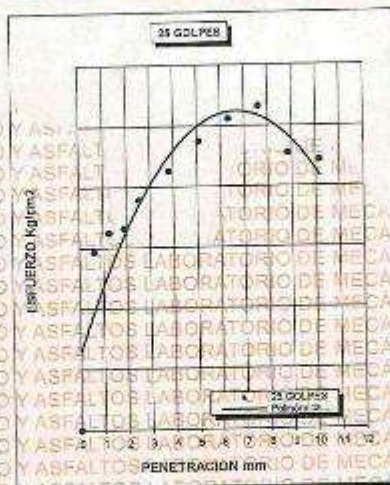
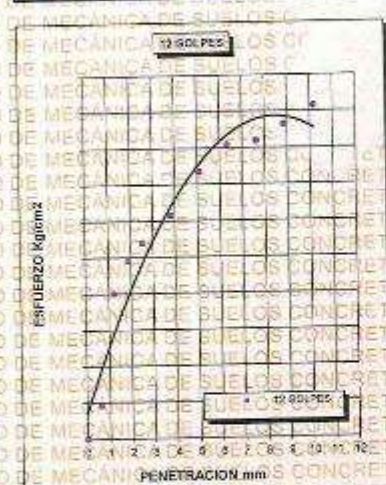
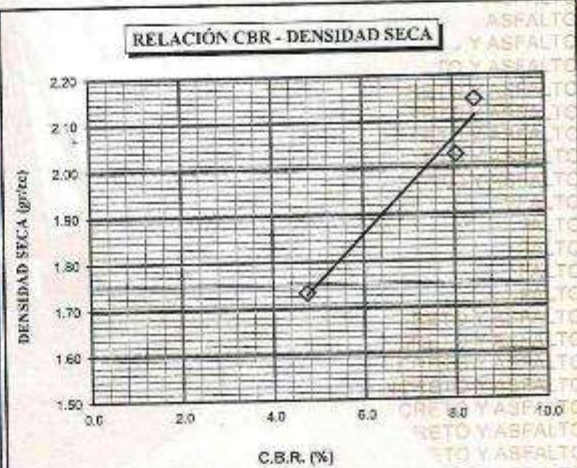
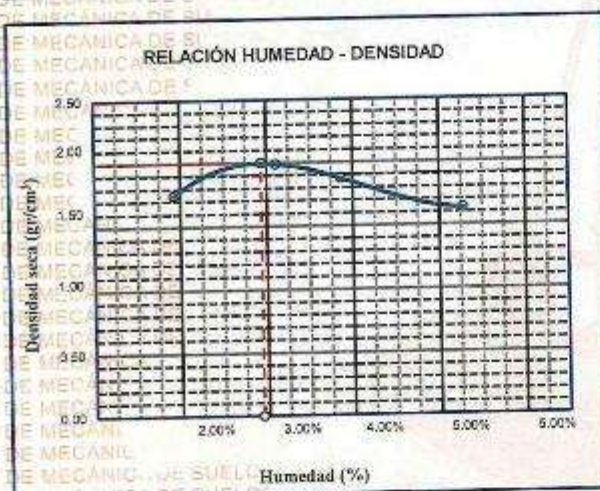




UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO :	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO :	Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.812
UBICACIÓN :	PROVINCIA DE AZANGARO	HUMEDAD OPTIMA (%)	10.23%
PROGRESIVA :	KM 0+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	5.48
MUESTRA :	CALICATA - M1	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	4.06
FECHA :	08 DE ENERO DEL 2025	CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



CBR 2.75

CBR 4.06

CBR 5.48



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	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024		
SOLICITANTE	Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS		
UBICACIÓN	PROVINCIA DE AZANGARO		
PROGRESIVA	KM 0+500		
MUESTRA	CALICATA 1- MUESTRA 1		
FECHA	08 DE ENERO DEL 2025		

MOLDE No.	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2120 cm ³
Nº DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Humedo + 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 Humedo	gr/cm ³ .	1.848	2.153	2.057	1.837

Capsula No.	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	423.76	415.76	442.22	422.85	432.45	415.75	412.87	389.85
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.02	397.16	412.12	396.88	400.21	394.52	367.25	350.15
Peso del Agua	gr.	20.73	18.60	30.10	25.97	32.24	31.23	45.62	26.71
Peso de la Capsula	gr.	62.98	64.78	63.10	64.20	65.36	66.25	64.87	66.85
Peso del Suelo Seco	gr.	340.04	332.38	349.02	332.68	334.85	319.27	302.38	284.30
% de Humedad	%	6.10%	5.80%	8.62%	7.81%	9.63%	9.81%	15.02%	10.10%
Promedio de Humedad	%	5.85%		8.22%		9.72%		12.55%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.746		1.990		1.875		1.632	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.812 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	10.23%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD





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

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024.
Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS
PROVINCIA DE AZÁNGARO
KM 0+500
CALICATA 4 - MUESTRA 4
06 DE ENERO 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 %	%	21.62

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	29.41	28.47	28.45
PESO DEL TARRO	gr	21.55	22.86	21.41
PESO DEL AGUA	gr	2.38	1.82	2.09
PESO DEL SUELO SECO	gr	7.86	5.61	7.04
HUMEDAD %	%	30.28	32.44	29.69
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
18.55	18.75
17.08	17.22
8.33	8.67
1.47	1.53
8.75	8.55
16.80	17.89

LÍMITE LÍQUIDO % : 31.08

LÍMITE PLÁSTICO % : 17.39

ÍNDICE PLÁSTICO % : 13.69

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
CIP: 103257



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



PROYECTO

SOLICITANTE

LUGAR

PROGRESIVA

MUESTRA

FECHA

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO Y CEMENTO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024.
Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS
PROVINCIA DE AZANGARO
KM 3+500
CALICATA 3 - MUESTRA 3
06 DE ENERO 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 %	%	21.25

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	33.10	33.04
SUELO SECO + TARRO	gr	30.12	30.65	30.32
PESO DEL TARRO	gr	21.46	22.28	21.79
PESO DEL AGUA	gr	2.88	2.45	2.72
PESO DEL SUELO SECO	gr	8.66	8.37	8.53
HUMEDAD %	%	33.26	29.27	31.89
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
	14.80	17.89

LÍMITE LIQUIDO % : 30.14

LÍMITE PLASTICO % : 17.17

ÍNDICE PLÁSTICO % : 12.97

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



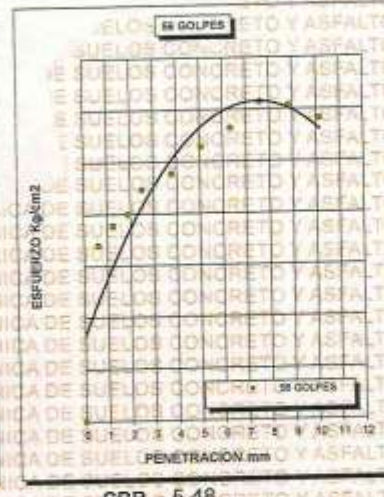
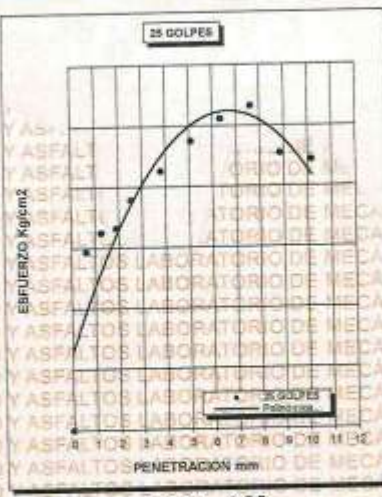
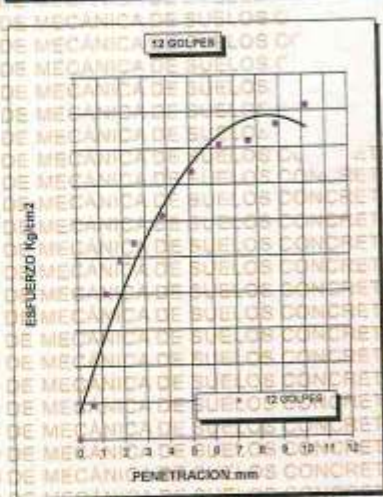
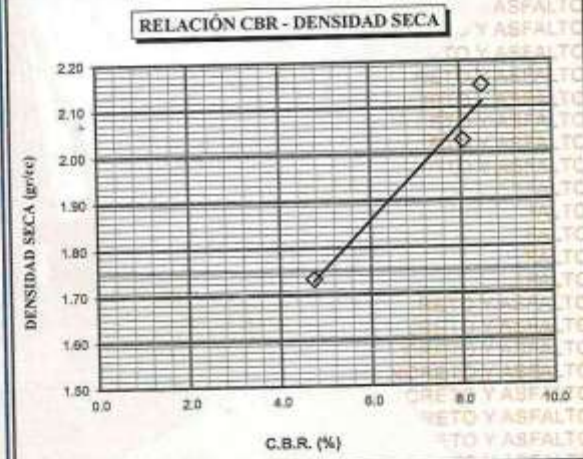
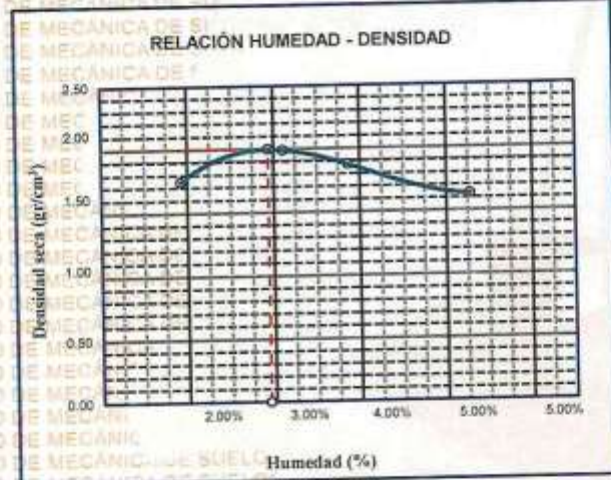
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES MELÁSQUEZ"
FICP - CARRERA INGENIERÍA CIVIL
Ing. Astudillo JORGE LUIS
CIP: 103257



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 : "EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024"		METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO : Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	1.812
UBICACIÓN : PROVINCIA DE AZANGARO		HUMEDAD OPTIMA (%)	10.23%
PROGRESIVA : KM 0+500		CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	5.48
MUESTRA : CALICATA - M1		CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	4.06
FECHA : 08 DE ENERO DEL 2025		CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



CBR 2.75

CBR 4.06

CBR 5.48

BIE: 8018 - 00103010



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	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCICO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÁNGARO 2024		
SOLICITANTE	Bach. JORGE LUIS MAMANI-ROJAS		
UBICACIÓN	PROVINCIA DE AZÁNGARO		
PROGRESIVA	KM 2+500		
MUESTRA	CALICATA 2 - MUESTRA 2		
FECHA	08 DE JULIO DEL 2024		

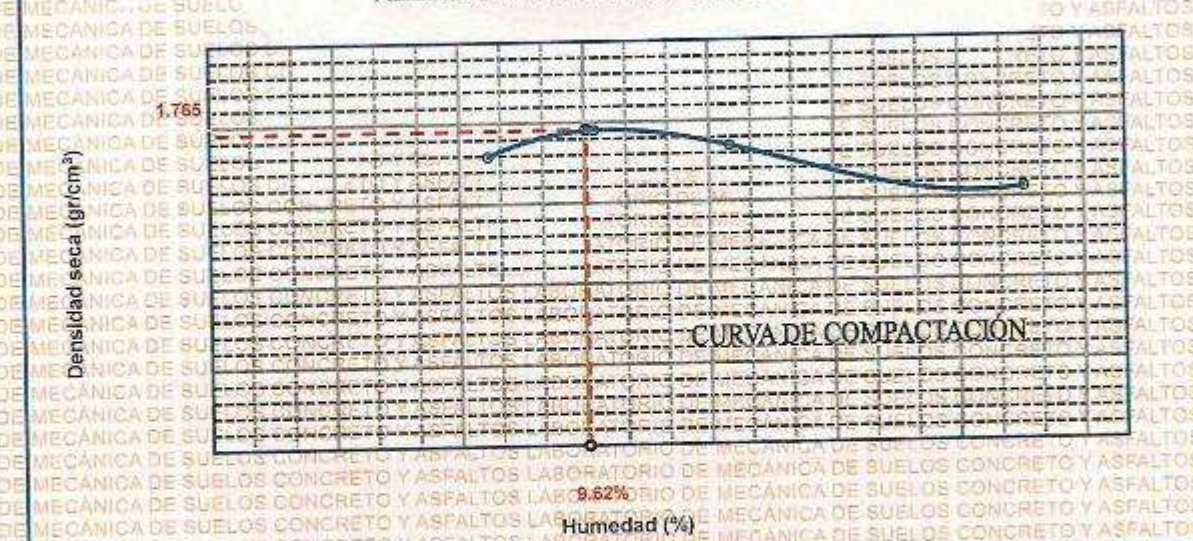
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2120 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10056	10465	10286	8741
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 .	1.925	2.118	2.035	1.777

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	416.85	405.85	390.75
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	395.21	388.25	415.25	392.21	399.64	382.32	364.12	362.12
Peso del Agua	gr.	25.68	22.70	30.62	28.21	33.10	35.53	51.73	28.63
Peso de la Capsula	gr.	52.25	53.21	62.25	53.10	58.12	65.21	65.52	66.21
Peso del Suelo Seco	gr.	332.86	325.04	353.01	329.11	333.52	317.11	298.60	296.91
% de Humedad	%	7.71%	6.98%	8.87%	8.57%	9.92%	10.57%	17.92%	8.64%
Promedio de Humedad	%	7.35%		8.82%		10.25%		13.78%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.794		1.950		1.846		1.562	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.795 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	9.62%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD

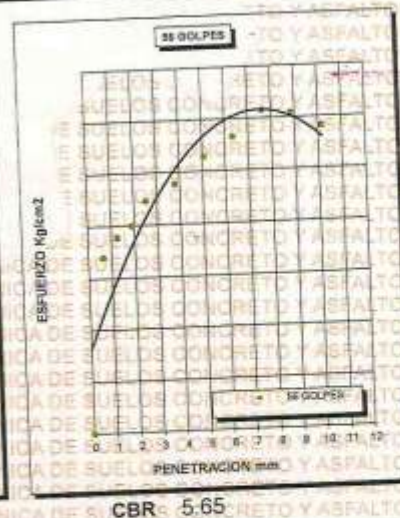
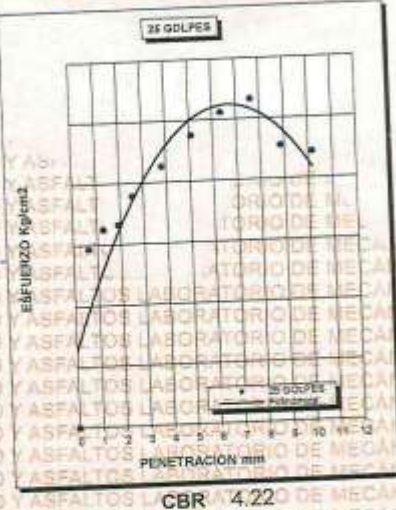
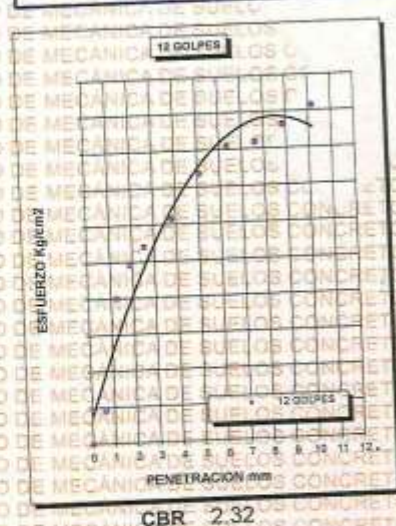




UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENDIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZUANGO 2024"		METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO : Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	1.795
UBICACIÓN : PROVINCIA DE AZUANGO		HUMEDAD OPTIMA (%)	9.62%
PROGRESIVA : KM 2+500		CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	5.65
MUESTRA : CALICATA - M2		CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	4.22
FECHA : 08 DE ENERO DEL 2025		CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS





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	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENDIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZUANGO 2024
SOLICITANTE	Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS
UBICACIÓN	PROVINCIA DE AZUANGO
PROGRESIVA	KM.3+500
MUESTRA	CALICATA 3
FECHA	08 DE ENERO DEL 2025

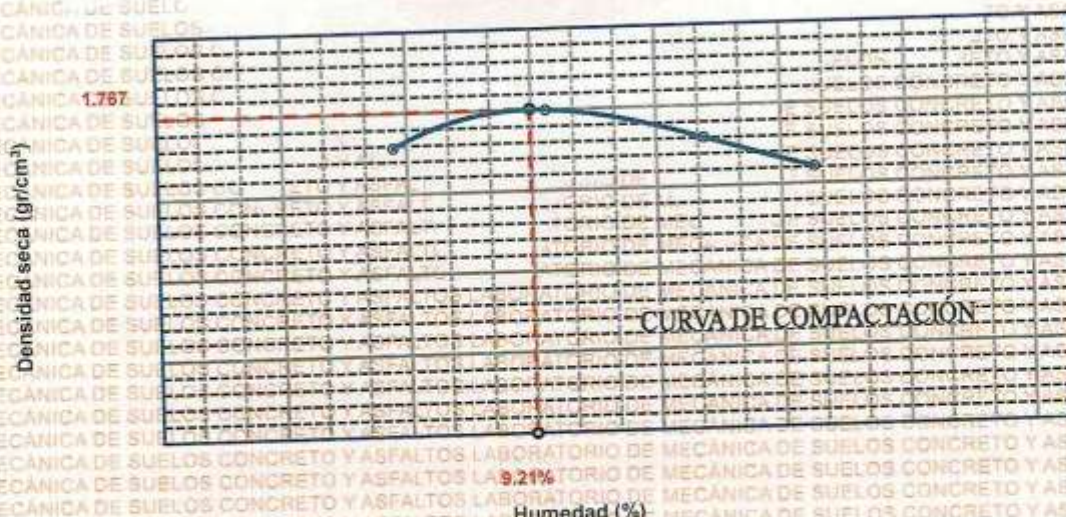
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2120 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

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	1.907	2.172	1.992	1.797

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	425.89	415.89	438.78	420.96	425.85	416.78	406.58	382.72
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	64.65	63.58	64.52	65.36	66.69	65.87	66.74
Peso del Suelo Seco	gr.	341.20	327.77	349.87	323.69	327.09	315.66	297.25	298.58
% de Humedad	%	6.52%	7.16%	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	%	1.785		1.999		1.801		1.606	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.767 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	9.21%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD

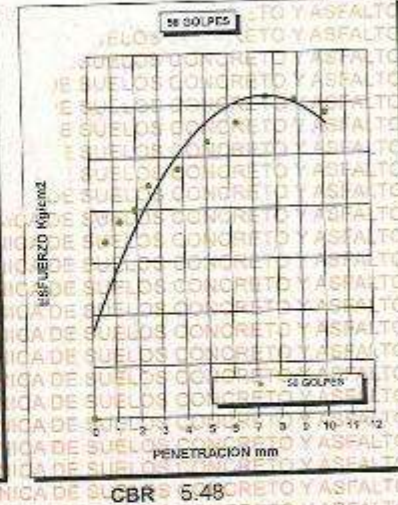
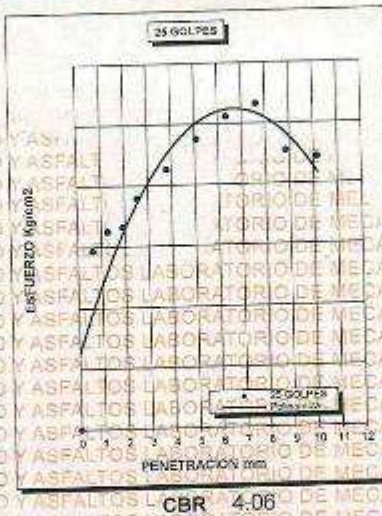
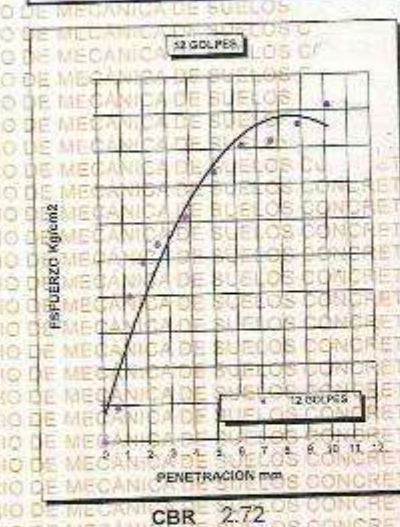
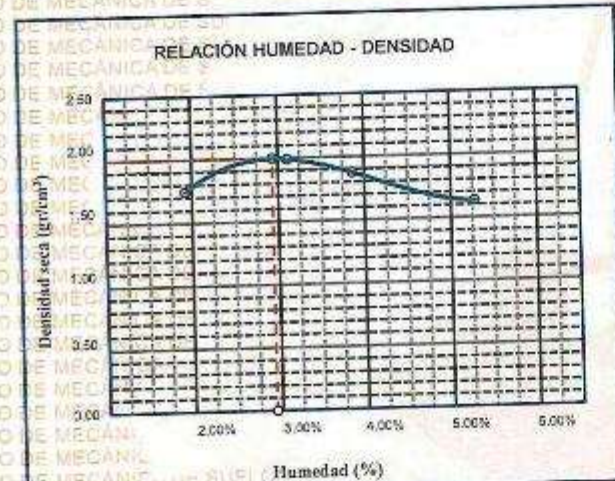




UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024"		METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO : Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.767
UBICACIÓN : PROVINCIA DE AZANGARO		HUMEDAD OPTIMA (%)	9.21%
PROGRESIVA : KM 3+500		CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	5.48
MUESTRA : CALICATA - M3		CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	4.06
FECHA : 08 DE ENERO DEL 2025		CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS





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	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENDIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMANTES EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024
SOLICITANTE	Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS
UBICACIÓN	PROVINCIA DE AZANGARO
PROGRESIVA	KM 4+500
MUESTRA	MUESTRA 4
FECHA	08 DE ENERO DEL 2025

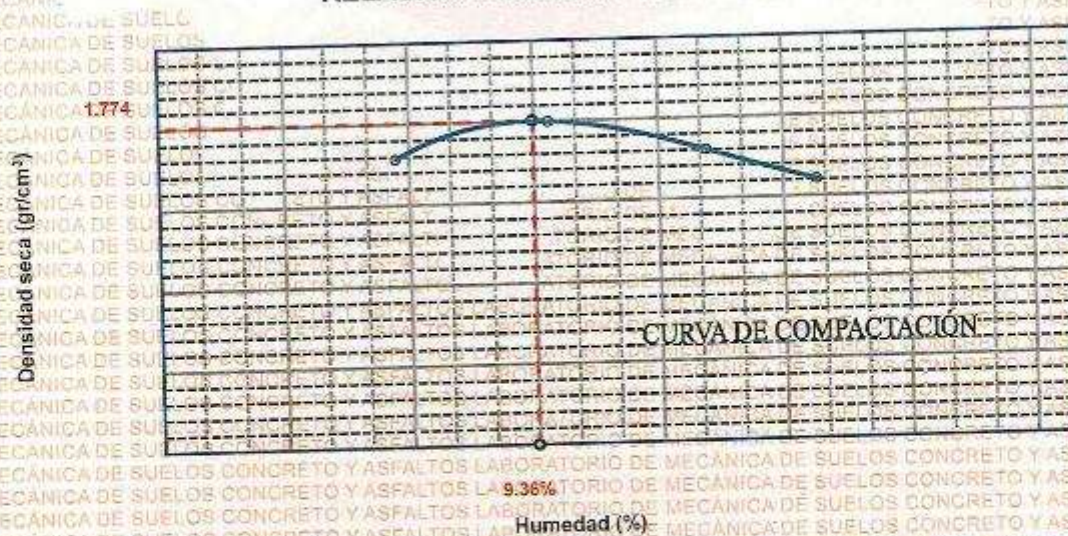
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2120 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10035	10598	10215	9602
Peso del Molde	gr.	5993	5993	5993	5993
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	4042	4605	4222	3609
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.907	2.172	1.992	1.797

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.	403.85	392.42	413.45	388.21	392.45	382.25	363.12	355.32
Peso del Agua	gr.	22.24	23.47	25.33	32.77	33.40	34.53	43.46	37.40
Peso de la Capsula	gr.	62.45	64.85	83.58	64.52	65.38	66.68	65.97	66.74
Peso del Suelo Seco	gr.	341.20	327.77	349.87	323.69	327.09	315.66	297.25	288.58
% de Humedad	%	6.52%	7.16%	7.24%	10.12%	10.21%	10.84%	14.62%	9.18%
Promedio de Humedad	%	6.84%		8.68%		10.58%		11.90%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.785		1.999		1.801		1.606	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.774 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	9.36%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD

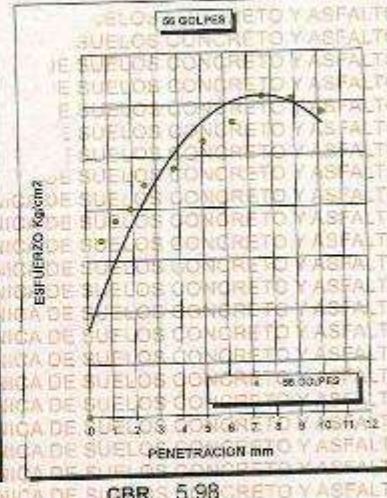
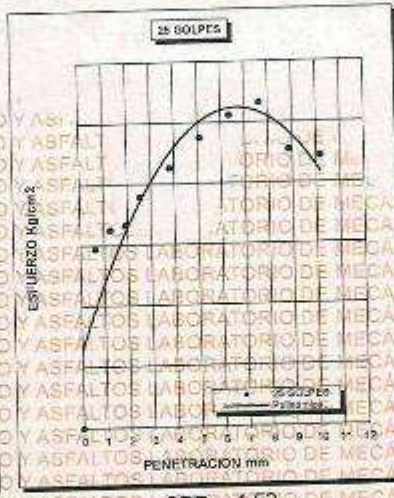
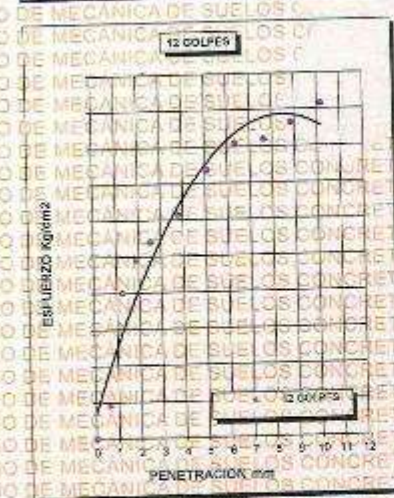
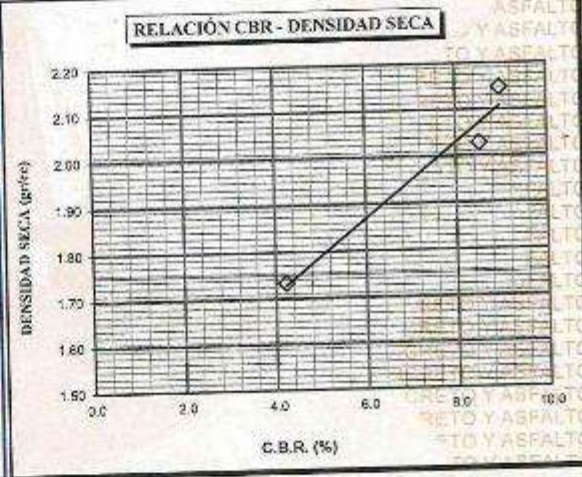
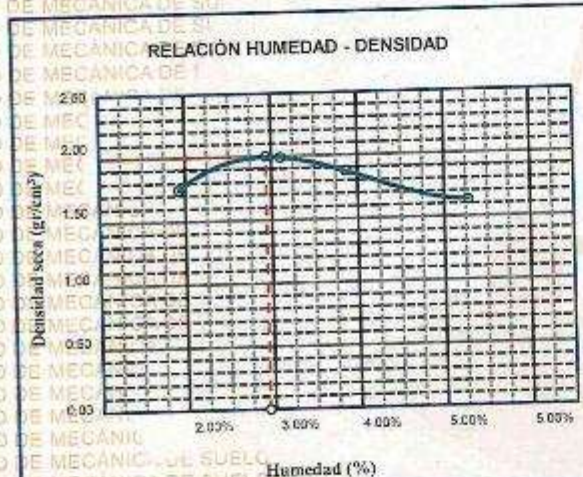




UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENDIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024"	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.774
UBICACIÓN : PROVINCIA DE AZANGARO	HUMEDAD OPTIMA (%) 9.36%
PROGRESIVA : KM 4+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 5.98
MUESTRA : CALICATA - M4	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 4.53
FECHA : 08 DE ENERO DEL 2025	CLASIFICACIÓN : CL
	AASHTO : A-2
	EMBEBIDO : 4 DIAS





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

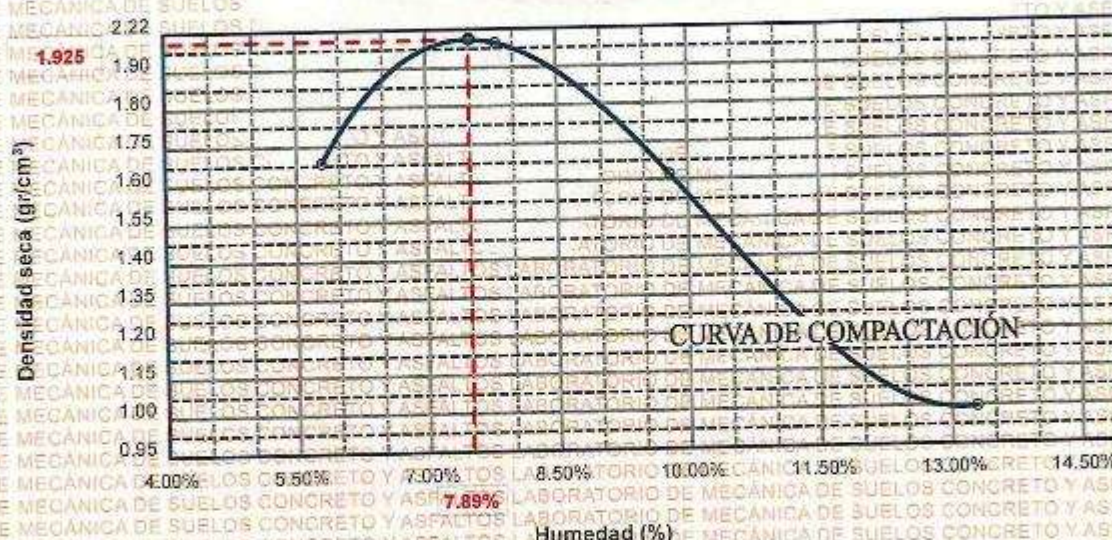
TESIS:	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024		
SOLICITANTE:	Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS		
UBICACIÓN:	PROVINCIA DE AZANGARO		
PROGRESIVA:	KM 0+500		
MUESTRA:	MUESTRA 1+ 6% CEMENTO VENCIDO		
FECHA:	08 DE ENERO DEL 2025		
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	: CONCRETO 2105 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	: CONCRETO 56 golpes

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

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	423.88	412.88	441.89	421.36	433.25	412.36	409.57	388.34
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.74	394.25	415.74	393.42	401.25	380.74	360.33	359.48
Peso del Agua	gr.	20.14	18.63	26.14	27.94	32.00	31.62	49.24	28.85
Peso de la Capsula	gr.	64.96	64.36	63.86	64.36	65.76	65.36	65.55	66.47
Peso del Suelo Seco	gr.	338.78	329.89	352.78	329.06	334.47	315.38	294.78	293.02
% de Humedad	%	5.94%	5.65%	7.13%	8.49%	9.57%	10.03%	15.74%	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	: 1.925 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 7.89%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
RICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.S.C.A.
Dr. Arnaldo Yana Torres

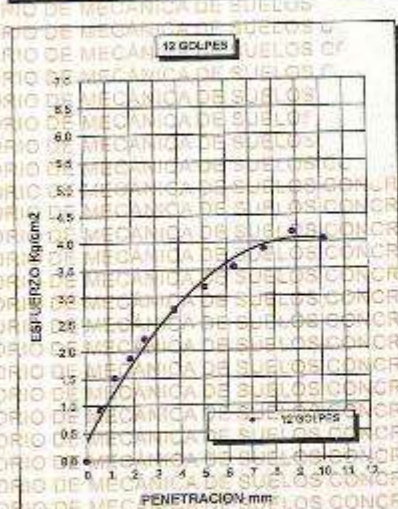
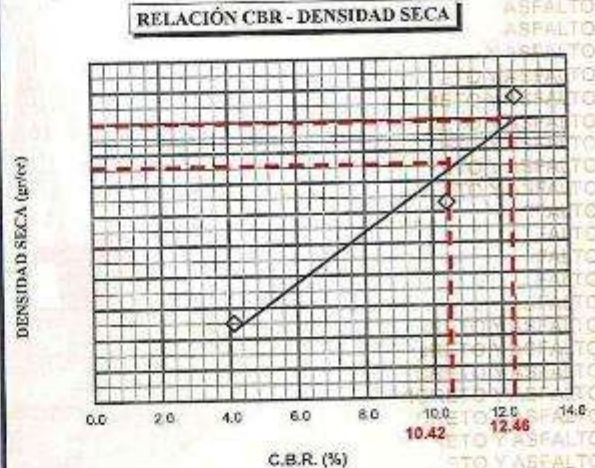
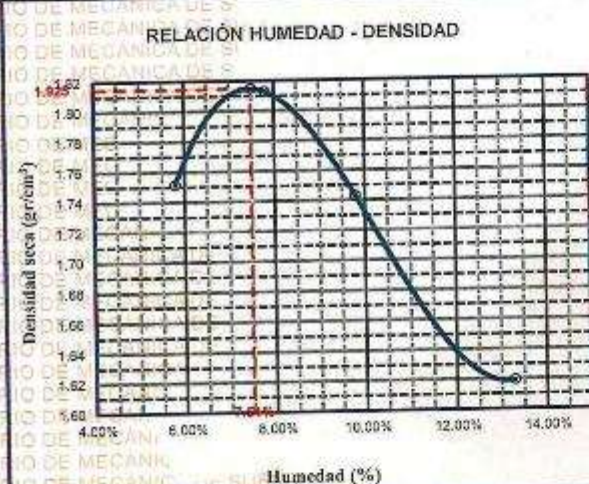
RICP-0018-00103010



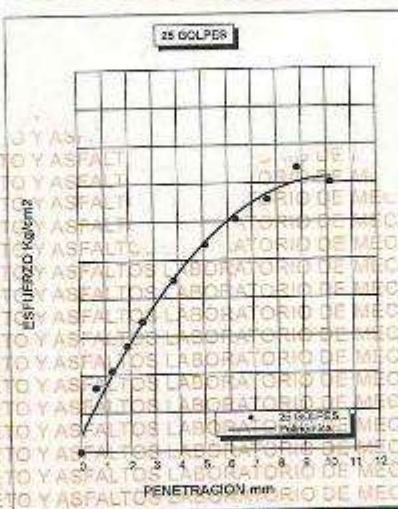
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



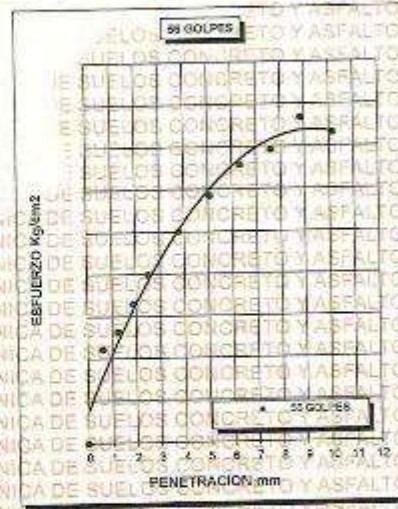
PROYECTO :	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) : 1.925
UBICACIÓN :	PROVINCIA DE AZANGARO	HUMEDAD OPTIMA (%) : 7.89%
PROGRESIVA :	KM 0+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) : 12.46
MUESTRA :	MUESTRA 1 + 6% CEMENTO VENCIDO	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) : 10.42
FECHA :	08 DE ENERO DEL 2025	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-2
		EMBEBIDO : 4 DIAS



CBR 4.12



CBR 10.42



CBR 12.46



LABORATORIO M.S.C.A.
JULIANA
Dr. Fernando Luna Torres
C.P. 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:	EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICION DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024
SOLICITANTE:	Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS
UBICACION:	PROVINCIA DE AZANGARO
PROGRESIVA:	KM 2+500
MUESTRA:	MUESTRA 2 + 10% CEMENTO VENCIDO
FECHA:	08 DE ENERO DEL 2025

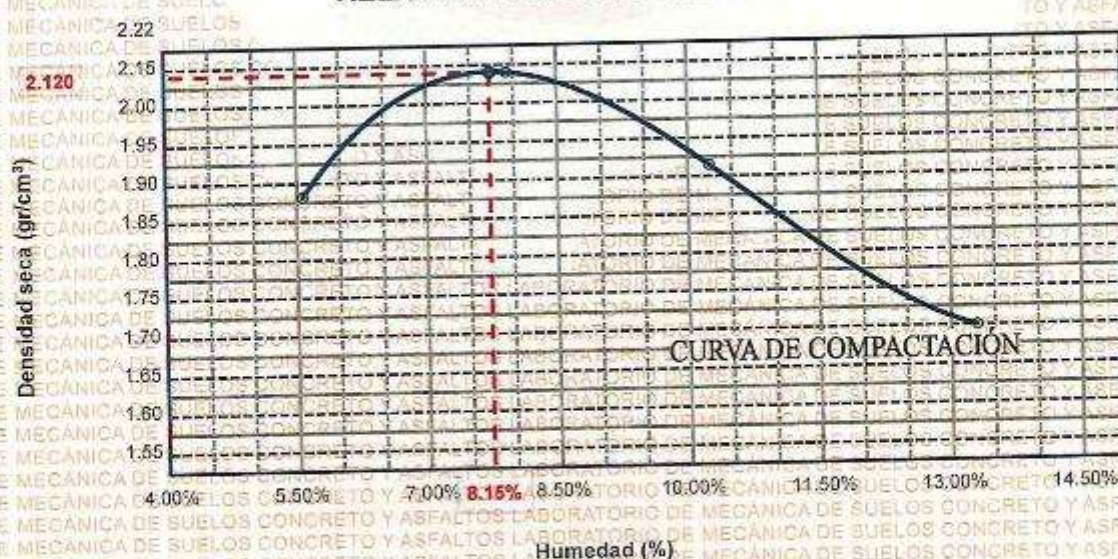
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2105 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

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

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	425.46	412.52	441.73	421.62	434.36	412.63	411.89	390.67
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	405.12	395.43	416.71	392.87	399.81	380.65	351.41	362.35
Peso del Agua	gr.	20.34	17.09	25.02	28.75	34.54	31.98	60.48	28.32
Peso de la Capsula	gr.	64.87	64.79	63.77	64.77	66.25	65.45	65.65	65.37
Peso del Suelo Seco	gr.	340.25	330.64	352.94	328.10	333.56	315.20	285.75	296.98
% de Humedad	%	5.99%	5.17%	7.09%	8.76%	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	2.120 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	8.15%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



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

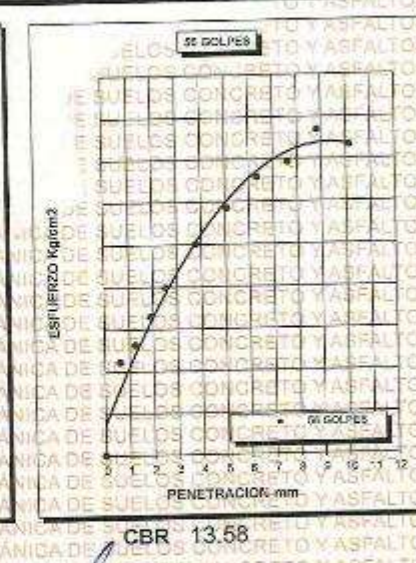
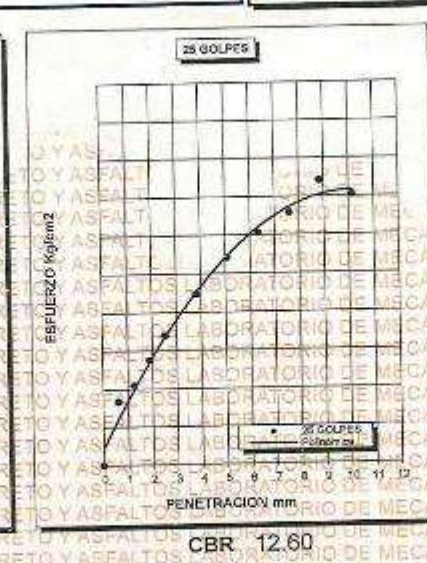
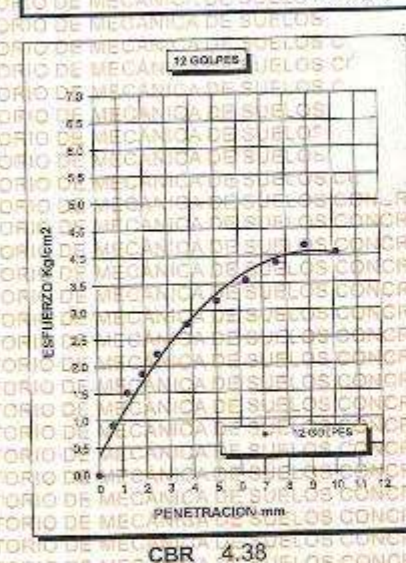
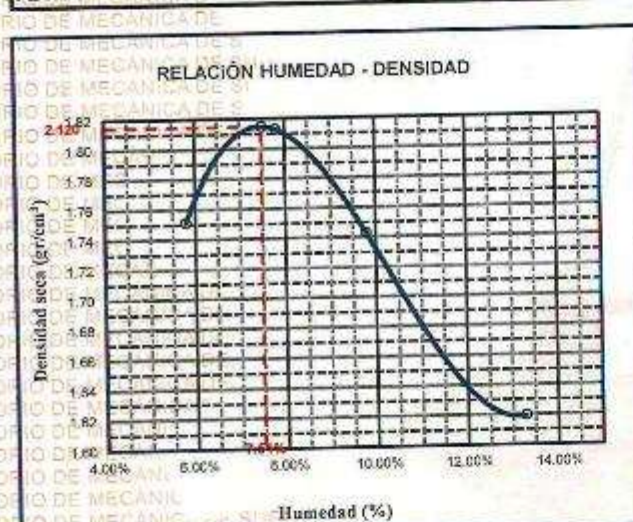
BIE: B018 - 00103010



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 : EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024	
SOLICITADO : Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
UBICACIÓN : PROVINCIA DE AZANGARO	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.): 2.120
PROGRESIVA : KM 2+500	HUMEDAD OPTIMA (%): 8.15%
MUESTRA : MUESTRA 2 + 10% CEMENTO VENCIDO	CBR AL 100 DE M.D.S. (%): 13.58
FECHA : 08 DE ENERO DEL 2025	CBR AL 95% DE M.D.S. (%): 12.60
	CLASIFICACIÓN : CL
	AASHTO : A-2
	EMBEBIDO : 4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
FICP - CIVIL INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnoldo Yara Torres

BIE: B018-00103010



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	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZÚGARO 2024		
SOLICITANTE	Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS		
UBICACIÓN	PROVINCIA DE AZÚGARO		
PROGRESIVA	KM 4+500		
MUESTRA	MUESTRA 3 + CEMENTO VENCIDO 14%		
FECHA	08 DE ENERO DEL 2025		

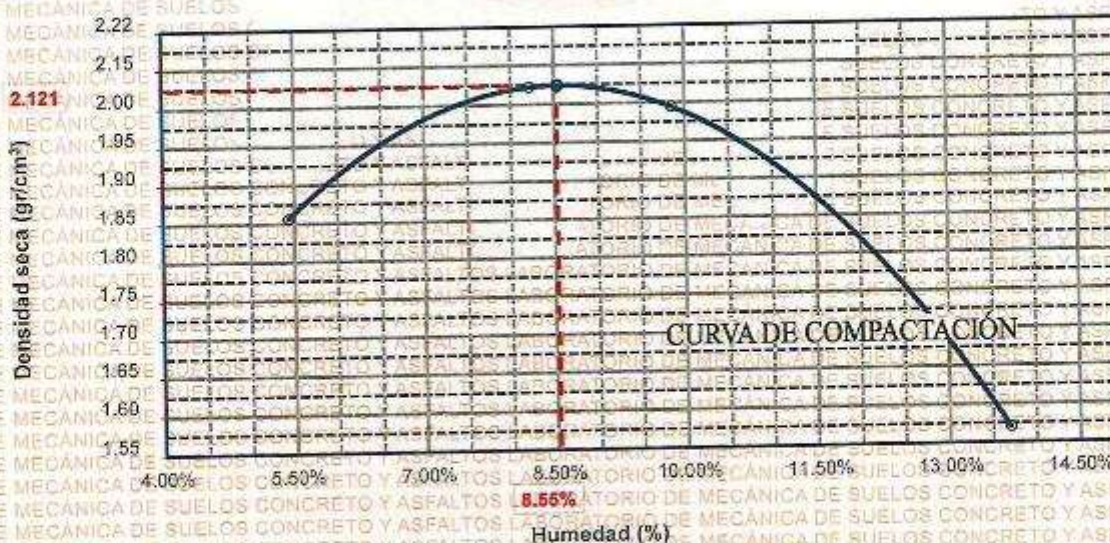
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2105 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

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	418.98	430.26	409.28	426.96	385.78
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	402.24	391.55	413.65	388.35	388.79	377.35	358.49	356.60
Peso del Agua	gr.	18.52	17.81	24.47	30.63	31.47	31.93	53.47	29.16
Peso de la Capsula	gr.	64.85	64.74	63.35	64.45	66.25	65.65	65.74	66.52
Peso del Suelo Seco	gr.	337.39	327.21	350.30	323.90	322.54	311.70	292.75	290.08
% de Humedad	%	5.44%	5.38%	6.99%	9.45%	9.48%	10.24%	17.33%	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	2.121 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	8.55%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
Ing. Ernesto Yana Torres
CIP 100257

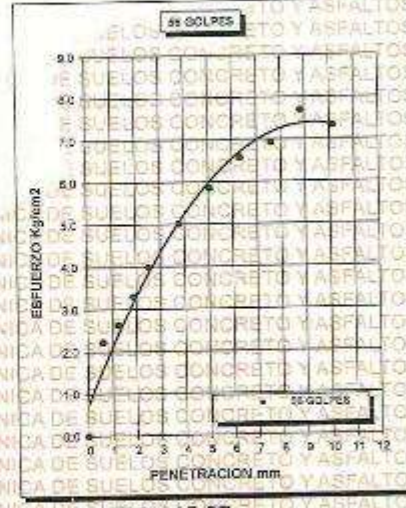
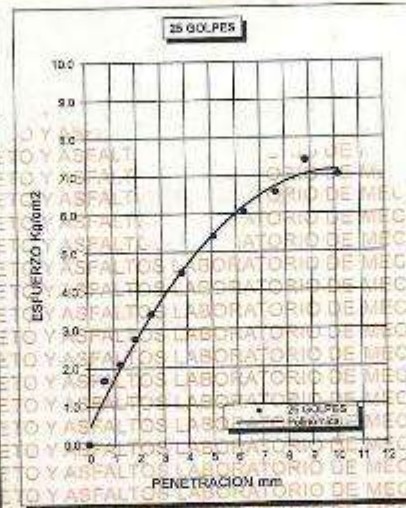
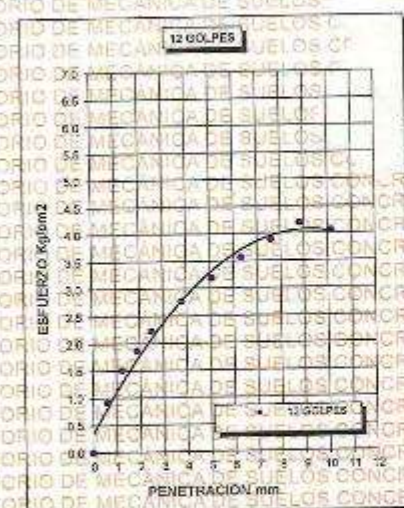
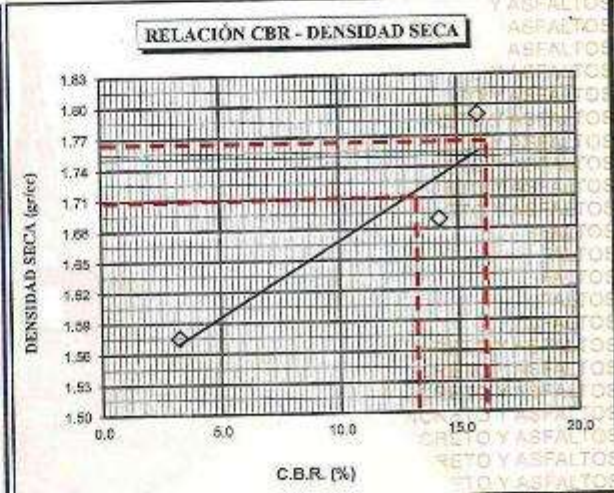
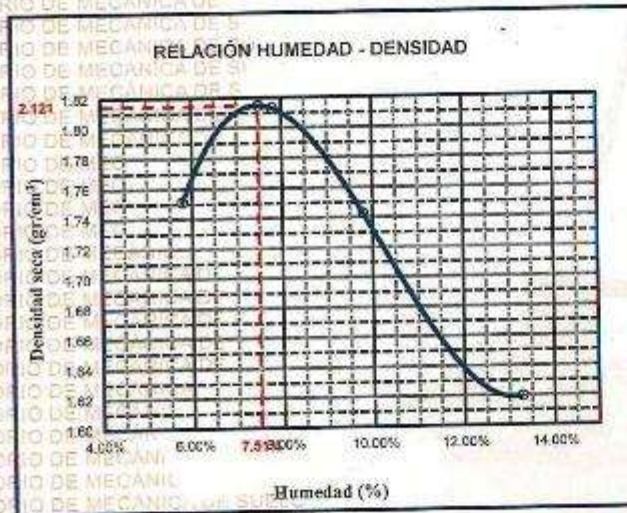
BIE: B015-00103010



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 :	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO :	Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	2.121
UBICACIÓN :	PROVINCIA DE AZANGARO	HUMEDAD OPTIMA (%)	8.55%
PROGRESIVA :	KM 4+500	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	15.87
MUESTRA :	MUESTRA 3 + CEMENTO VENCIDO 14%	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	14.23
FECHA :	08 DE ENERO DEL 2025	CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



Dr. Apolonia Torres
CIP: 102257

BIE: B018 - 00103010



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS:	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENDIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024
SOLICITANTE:	Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS
UBICACIÓN:	PROVINCIA DE AZANGARO
PROGRESIVA:	KM 4+500
MUESTRA:	MUESTRA 4 + 18% CEMENTO VENDIDO
FECHA:	08 DE ENERO DEL 2025

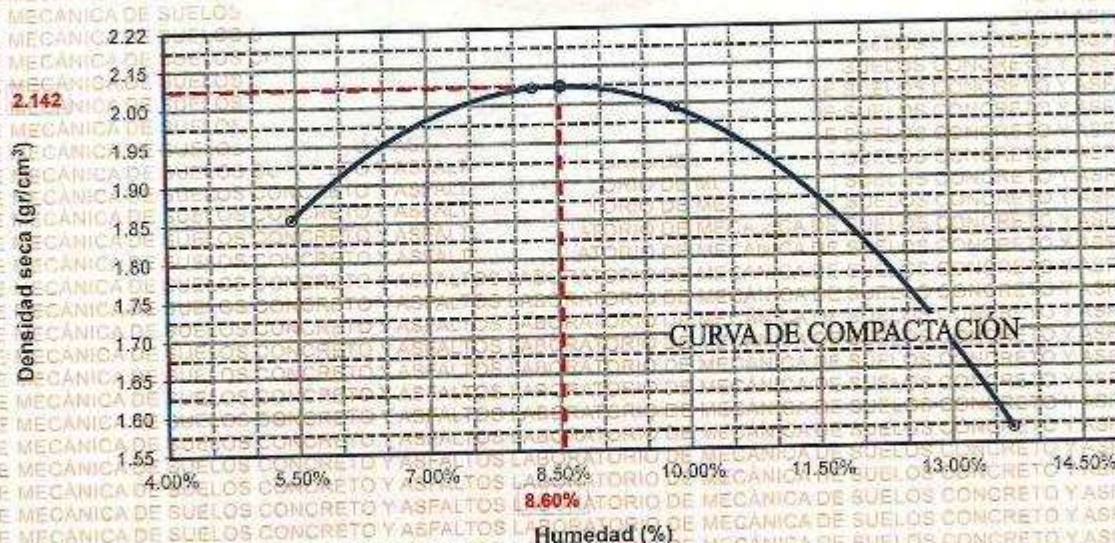
MOLDE No.	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2105 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

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	1.993	1.829

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	420.75	409.53	438.12	418.96	430.26	409.26	406.95	365.76
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	402.24	391.95	413.65	389.35	399.79	377.35	356.49	358.60
Peso del Agua	gr.	18.52	17.81	24.47	32.63	31.47	31.93	50.47	29.16
Peso de la Capsula	gr.	64.85	64.74	83.35	84.45	88.25	85.65	65.74	65.52
Peso del Suelo Seco	gr.	337.39	327.21	350.30	325.50	332.54	311.70	290.75	290.08
% de Humedad	%	5.49%	5.38%	6.95%	9.48%	9.48%	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		1.508	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	2.142 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	8.60%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. JUAN CARLOS TORRES
C.P. 103267

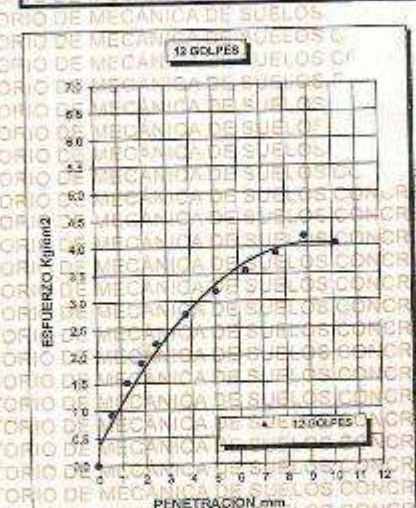
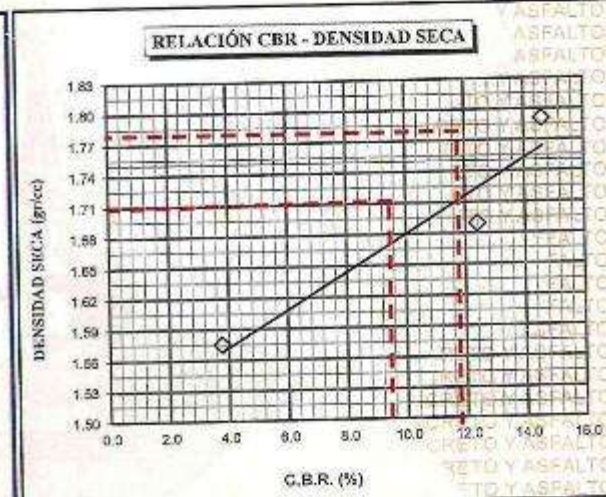
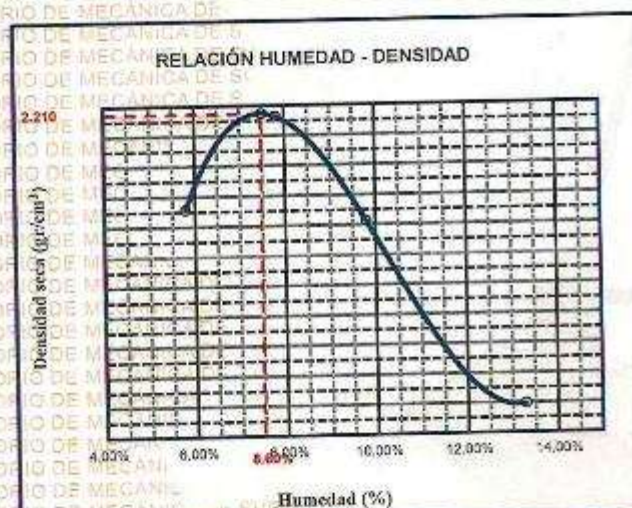
BIE: 8018 - 00103010



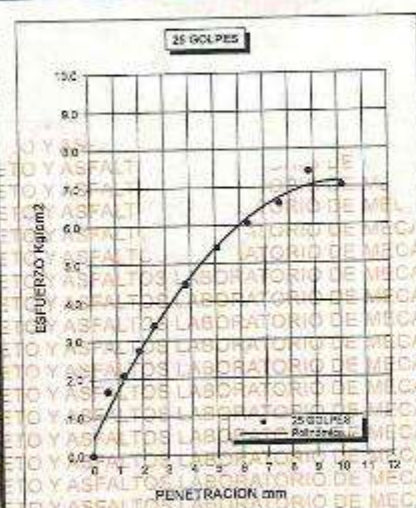
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



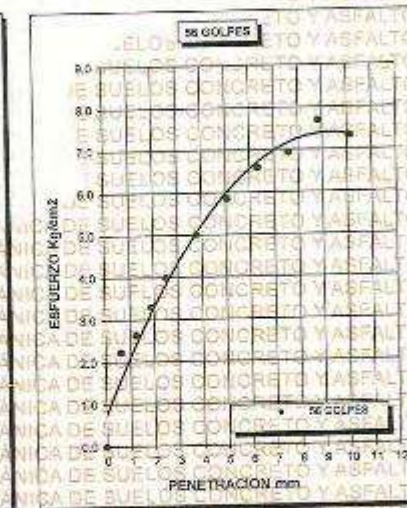
PROYECTO :	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZUANGO 2024	MÉTODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	2.142
SOLICITADO :	Bach. JORGE LUIS MAMANI ROJAS	HUMEDAD OPTIMA (%)	8.60%
UBICACIÓN :	PROVINCIA DE AZUANGO	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	14.62
PROGRESIVA :	KM 4+500	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	12.41
MUESTRA :	MUESTRA 4 + 18% CEMENTO VENCIDO	CLASIFICACIÓN :	CL
FECHA :	08 DE ENERO DEL 2025	AASHTO :	A-2
		EMBEBIDO :	4 DIAS



CBR 3.78



CBR 12.41



CBR 14.62



Dr. Ricardo Yana Torres
CIP 103257

BIE-B018-00103010



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 26-09-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: JORGE LUIS MAMANI ROJAS
Dirección: Jr. CIRO ALEGRIA Mz P Lt. 11 Urb. LAS MERCEDES
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70128941
Teléfono: 955 683 539 email: yojanitk@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: Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

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

Título: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE
CEMENTO VENCIDO TRITURADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR
DE AFIRMADOS EN LA PROVINCIA DE AZANGARO 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): SUBRASANTE, CEMENTO, SOPORTE, 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

26-09-2025

Fecha