



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES



**EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS
MUNICIPALES EN PROPIEDADES MECÁNICAS
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

NADIA VERDI MARTINEZ MAYORGA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN: INGENIERÍA CIVIL

MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

JULIACA – PERÚ

2026



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS
MUNICIPALES EN PROPIEDADES MECÁNICAS
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024

TESIS PRESENTADA POR:
NADIA VERDI MARTINEZ MAYORGA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

APROBADA POR:

PRESIDENTE


: _____
Dr. ARNALDO YANA TORRES

PRIMER MIEMBRO


: _____
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

SEGUNDO MIEMBRO


: _____
Dr. ENRIQUE ELEUTERIO ZUNIGA MEDINA

ASESOR DE TESIS


: _____
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P50

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 00089-2026-D-EPG-UANCV/J**

Juliaca, 23 de enero de 2026

VISTOS:

El expediente N° 9511 presentado por el (la) Bachiller: **MARTINEZ MAYORGA NADIA VERDI** quien solicita nominación de jurados, fecha y hora de sustentación de tesis, en la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez".

CONSIDERANDO:

Que, el (a) Bachiller: **MARTINEZ MAYORGA NADIA VERDI** con número de DNI 70657087 con número de matrícula 1810200417 ha solicitado asignación de jurados, Fecha y hora de sustentación de la Tesis Titulada: **EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS MUNICIPALES EN PROPIEDADES MECÁNICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024** para optar el GRADO de: **MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL** Mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez;

Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 18° del Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, **COMITÉ DE INVESTIGACIÓN**;

Que, mediante Resolución N°941-2025 -USA-EPG/UANCV SE APRUEBA Y AUTORIZA LA EJECUCION DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACION y con Resolución N°2122-2025-USA-EPG/UANCV, se APRUEBA y AUTORIZA EL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) Titulada: **EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS MUNICIPALES EN PROPIEDADES MECÁNICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024** La misma que pertenece a la Línea de Investigación: **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50**;

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos en su artículo 28° **DE LA SUSTENTACIÓN**.

Y estando, la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y el Director de la Escuela de Posgrado mediante acta de sorteo de jurado, con registro N° 000697 de fecha: 21 de enero de 2026 se nombra jurados.

Que, conforme al artículo 66° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación científica original de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el artículo 76° del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR APTO para la sustentación presencial del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN** (borrador de tesis), **TITULADO: EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS MUNICIPALES EN PROPIEDADES MECÁNICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024** del (la) Bach: **MARTINEZ MAYORGA NADIA VERDI**, para optar el GRADO de: **MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL** Mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES**, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO. - NOMINAR JURADOS para la sustentación presencial y defensa de la tesis a los siguientes docentes ordinarios:

Presidente	: Dr. ARNALDO YANA TORRES
Primer miembro	: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Segundo miembro	: Dr. ENRIQUE ELEUTERIO ZUÑIGA MEDINA
Asesor	: Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

ARTÍCULO TERCERO. - PROGRAMAR FECHA Y HORA de sustentación como se detalla:

Fecha	: Lunes, 26 de enero del 2026
Hora	: 05:00 p.m.
Lugar	: Aula N°208 Centro Comercial N° 03 UANCV-JULIACA

ARTÍCULO CUARTO. - El Director de la Escuela de Posgrado queda encargado del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, comuníquese y archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADODr. Enrique Eleuterio Zuñiga Medina
DIRECTOR (a)

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 02122-2025-USA-EPG/UANCV**

Juliaca, 24 de noviembre de 2025

VISTOS:

El Expediente N° 2025-CU-10723 de fecha 29 de octubre de 2025, el (la) Bach. MARTINEZ MAYORGA NADIA VERDI, con DNI N° 70657087, código de matrícula N° 1810200417, quien solicita Revisión de Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis); INFORME N° 001832-2025-UI-EPG-UANCV y el Anexo (04 o 05) "Ficha de Opinión del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis)" del 17 de noviembre de 2025, que fue revisada por el Comité de Investigación de la Escuela de Posgrado.

CONSIDERANDO:

Que, las Unidades de Investigación son unidades académicas que agrupan a docentes y estudiantes de diversas disciplinas, en razón del desarrollo de investigación científica, tecnológica y humanista de acuerdo al Estatuto Universitario Modificado 2020 de nuestra primera Casa Superior de Estudios.

Que, con Expediente N° 2025-CU-10723 el (la) Bach. MARTINEZ MAYORGA NADIA VERDI, solicita la revisión y aprobación del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS MUNICIPALES EN PROPIEDADES MECÁNICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024** Línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50**, para optar el **GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**, mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos plasmado en la Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R.

Que, el Comité de Investigación emitió su opinión **FAVORABLE** al Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis).

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, corroboró el asesoramiento en el Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis) del **ASESOR Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**; y,

Estando, la opinión favorable del Comité de Investigación, según **INFORME N° 001832-2025-UI-EPG-UANCV** y el **Anexo (04 o 05) "Ficha de Opinión del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis)"** en concordancia con el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R, de conformidad a lo que establece la Ley Universitaria N° 30220, Ley de Creación de la UANCV N° 23738 y Modificatoria N° 24661 y el Estatuto de la UANCV, que confiere facultades a la unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado.

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR Y AUTORIZAR EL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, titulado: **EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS MUNICIPALES EN PROPIEDADES MECÁNICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024** presentado por el (la) Bach. MARTINEZ MAYORGA NADIA VERDI, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTICULO SEGUNDO.- RATIFICAR, como **ASESOR** al (a) Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA.

ARTICULO TERCERO. - DISPONER que la Escuela de Posgrado, la Secretaría Académica y administrativa, quedan encargados del cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, comuníquese y archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO
Dr. Jairo Roldán Quispe Zúñiga
DIRECTOR (a)

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 00941-2025-USA-EPG/UANCV**

Juliaca, 27 de agosto de 2025

VISTOS:

El Expediente N° 2025-007678 de fecha 7 de julio de 2025, el (la) Bach. **MARTINEZ MAYORGA NADIA VERDI**, con DNI N° 70657087, código de matrícula N° 1810200417, quien solicita Revisión de propuesta de Investigación; **INFORME N° 00647-2024-UI-EPG-UANCV** y el **Anexo (02 o 03) "Ficha de Opinión de la Propuesta de Investigación"** del 18 de julio de 2025, que fue revisada por el Comité de Investigación de la Escuela de Posgrado.

CONSIDERANDO:

Que, las Unidades de Investigación son unidades académicas que agrupan a docentes y estudiantes de diversas disciplinas, en razón del desarrollo de investigación científica, tecnológica y humanista de acuerdo al Estatuto Universitario Modificado 2020 de nuestra primera Casa Superior de Estudios.

Que, con Expediente N° 2025-007678 el (la) Bach. **MARTINEZ MAYORGA NADIA VERDI**, solicita la revisión y aprobación de la propuesta de Investigación titulado: **EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS MUNICIPALES EN PROPIEDADES MECÁNICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024** Línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50**, para optar el **GRADO** de **MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**, mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos plasmado en la Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R.

Que, el Comité de Investigación emitió su opinión **FAVORABLE** a la propuesta de investigación.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, corroboró la propuesta del **ASESOR Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**, quien debe estar acreditado y facultado para orientar y ayudar al asesorado en el proceso de elaboración del trabajo de investigación (Tesis) de acuerdo a la **DIRECTIVA N° 004-2019-UANCV-VRAD-OI**; y,

Estando, la opinión favorable del Comité de Investigación, según **INFORME N° 00647-2025-UI-EPG-UANCV** y el **Anexo (02 o 03) "Ficha de Opinión de la Propuesta de Investigación"** en concordancia con el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R, de conformidad a lo que establece la Ley Universitaria N° 30220, Ley de Creación de la UANCV N° 23738 y Modificatoria N° 24661 y el Estatuto de la UANCV, que confiere facultades a la unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado.

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR Y AUTORIZAR LA EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, titulado: **EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS MUNICIPALES EN PROPIEDADES MECÁNICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024** presentado por el (la) Bach. **MARTINEZ MAYORGA NADIA VERDI**, para optar el **GRADO** de **MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**, mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES** en virtud de los considerandos expuestos.

ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER, como **ASESOR** al (a) Dr. **OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**.

ARTICULO TERCERO. - DISPONER que la Escuela de Posgrado, la Secretaría Académica y administrativa, quedan encargados del cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, comuníquese y archívese.


UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO
Dr. Javier Viamonte Calla
DIRECTOR (*)

DISTRIBUCIÓN:
DIRECCIÓN EPG, INTERESADO:
ANEXO: 001/002



EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS MUNICIPALES EN PROPIEDADES MECÁNICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Andina Nestor
Caceres Velasquez

Trabajo del estudiante

4%

2

www.coursehero.com

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.uncp.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

4

repositorio.uancv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

5

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1%

6

Submitted to Universidad Politécnica del Perú

Trabajo del estudiante

<1%

7

repositorio.upla.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

issuu.com

Fuente de Internet

<1%



METADATOS COMPLEMENTARIOS

TÍTULO DE LA TESIS	
EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS MUNICIPALES EN PROPIEDADES MECÁNICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	NADIA VERDI MARTINEZ MAYORGA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70657087
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-0885-818X
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	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6657-665X
Miembro del jurado 2	



Nombres y apellidos	Dr. ENRIQUE ELEUTERIO ZUÑIGA MEDINA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02419543
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-4793-9053
Datos de investigación	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: Puno Distrito: Puno Coordenadas: Latitud: -15.840229193781106 Longitud: -70.02186650607817 URL: https://maps.app.goo.gl/MhsoG2fZob2TTtvB8 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 – Enero 2026
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CUSCO
ESCUELA DE POSTGRADO
M.Sc. Julio C. Salcedo Zaga
DIRECTOR



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo NADIA VERDI MARTINEZ MAYORGA, identificado con DNI
Nro. 70657087 en mi condición de egresado de:

- ☐ Escuela Profesional
☐ Programa de Segunda Especialidad,
☒ Programa de Maestría o Doctorado

MAESTRÍA EN: INGENIERÍA CIVIL

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

EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS MUNICIPALES EN

PROPIEDADES MECÁNICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 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 29 de Enero del 2026


Firma del Asesor
(obligatoria)


FIRMA (obligatoria)


Huella



DEDICATORIA

A mis padres Hermy, Luis y a mi hermano
Mario Luis.

A mi esposo Wander y mis Hijos Abdel y
Lionel.



AGRADECIMIENTO

A mi Asesor con mucho cariño.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	x
AGRADECIMIENTO	xi
ÍNDICE.....	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	xx

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	22
1.1.1 A nivel Internacional	22
1.1.1 A nivel nacional	23
1.1.1 A nivel local	24
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	24
1.2.1 Problema Principal	24
1.2.2 Problemas específicos	24
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	25
1.3.1 Justificación Teórica	25
1.3.2 Justificación Practico	26
1.3.3 Justificación Metodológica.....	27
1.4. OBJETIVOS	28
1.4.1 Objetivo General	28
1.4.2 Objetivos Específicos	28



1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCE	28
1.6. LIMITACIONES Y DELIMITACIONES	30
1.7. HIPÓTESIS	31
1.7.1 Hipótesis General	31
1.7.2 Hipótesis Específicas	31
1.8. VARIABLES E INDICADORES	32
1.8.1 Conceptualización de las variables	32
1.8.2 Operacionalización de las variables	32

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. ANTECEDENTES	34
2.1.1 Internacionales	34
2.1.2 Nacionales	36
2.1.3 Locales	37
2.2. MARCO EPISTEMOLÓGICO	38
2.3. ESTADO DEL ARTE	39
2.4. BASES TEÓRICAS	40
2.4.1 Residuos Finos de Canteras	40
2.4.2 Propiedades Mecánicas de los Pavimentos Flexibles	41
2.4.3 Fundamentos de la Mecánica de Suelos Aplicada a Residuos de Canteras	41
2.4.4 Principios de Estabilización de Suelos	41
2.4.5 Pavimentos Flexibles	42
2.4.6 Propiedades Mecánicas en Pavimentos Flexibles	43
2.4.7 Optimización de Mezclas Granulares	45



2.4.8 Sostenibilidad en la Construcción	45
2.4.9 Economía Circular en la Construcción	45
2.4.10 Normativas y Políticas Públicas	46
2.4.11 Investigaciones Previas en el Contexto Local	46
2.4.12 Sostenibilidad en Construcción Vial	47
2.4.13 Adaptación a Condiciones del Altiplano	47
2.5. MARCO CONCEPTUAL	47

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	51
3.2. MÉTODOS APLICADOS DE INVESTIGACIÓN	51
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	52
3.4. NIVEL	52
3.5. DISEÑO	52
3.6. ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN	53
3.7. Población y muestra	54
3.7.1 Población.....	54
3.7.2 Muestra	55
3.8. METODOS Y TÉCNICAS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN	57
3.8.1 Técnicas de investigación	57
3.8.2 Instrumento de investigación.....	57
3.8.3 Criterios de Inclusión	61
3.8.4 Criterios de Exclusión.....	62
3.9. METODOS Y TÉCNICAS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN	62
3.9.1 Validación de los instrumentos.....	62



3.9.2 Confiabilidad de los instrumentos.....	63
--	----

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	64
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	87
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS	94
ANEXO 1 Matriz de consistencia	95
ANEXO 2 Instrumentos.....	97
ANEXO 3 Validez.....	100
ANEXO 4 Tratamiento de datos.....	104
ANEXO 5 Otros.....	113



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Cantera de origen</i>	65
Tabla 2	<i>Cantera de origen</i>	66
Tabla 3	<i>Pasa Tamiz200 Granulometría (% pasa tamiz #200)</i>	67
Tabla 4	<i>Tipo de material evaluado</i>	68
Tabla 5	<i>Color predominante</i>	69
Tabla 6	<i>Textura superficial</i>	70
Tabla 7	<i>Homogeneidad de la muestra</i>	71
Tabla 8	<i>P3 Clasificación SUCS del material</i>	72
Tabla 9	<i>Índice de Plasticidad dentro del rango aceptable</i>	73
Tabla 10	<i>P5 Porcentaje que pasa el tamiz #200</i>	74
Tabla 11	<i>P6 Comportamiento del Valor CBR vs mezcla tradicional</i>	75
Tabla 12	<i>P7 Comportamiento del Módulo de Resiliencia vs tradicional</i>	76
Tabla 13	<i>P8 Cumplimiento de requisitos CBR para sub-bases</i>	77
Tabla 14	<i>P9 Porcentaje óptimo de residuos</i>	78
Tabla 15	<i>P10 Cumplimiento de estándares MTC E-723</i>	79
Tabla 16	<i>P11 Equilibrio entre mejora mecánica y viabilidad técnica</i>	80
Tabla 17	<i>P12 Comportamiento de resistencia a tracción indirecta</i>	81
Tabla 18	<i>P13 Comportamiento frente a deformación permanente</i>	82
Tabla 19	<i>P14 Resistencia a la fatiga bajo cargas cíclicas</i>	83
Tabla 20	<i>P15 Viabilidad técnica de incorporación de residuos</i>	84
Tabla 21	<i>Patrón de falla</i>	85
Tabla 22	<i>Cumplimiento de norma</i>	86

.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Cantera de origen	65
Figura 2	Cantera de origen	66
Figura 3	Granulometría (% pasa tamiz #200)	67
Figura 4	Tipo de material evaluado.....	68
Figura 5	Color predominante	69
Figura 6	Textura superficial.....	70
Figura 7	Homogeneidad de la muestra.....	71
Figura 8	Clasificación SUCS del material	72
Figura 9	Índice de Plasticidad dentro del rango aceptable	73
Figura 10	Porcentaje que pasa el tamiz #200.....	74
Figura 11	Comportamiento del Valor CBR vs mezcla tradicional.....	75
Figura 12	Comportamiento del Módulo de Resiliencia vs tradicional.....	76
Figura 13	Cumplimiento de requisitos CBR para sub-bases	77
Figura 14	Porcentaje óptimo de residuos	78
Figura 15	Cumplimiento de estándares MTC E-723.....	79
Figura 16	Equilibrio entre mejora mecánica y viabilidad técnica.....	80
Figura 17	Comportamiento de resistencia a tracción indirecta	81
Figura 18	Comportamiento de resistencia a tracción indirecta	82
Figura 19	Resistencia a la fatiga bajo cargas cíclicas.....	83
Figura 20	Viabilidad técnica de incorporación de residuos	84
Figura 21	Patrón de falla.....	85
Figura 22	Cumplimiento de norma.....	86

.



RESUMEN

Este estudio evaluó la incorporación de residuos finos de canteras municipales (Chuaña y Vidalani, Puno) en las propiedades mecánicas de mezclas para pavimentos flexibles. Mediante un enfoque experimental, se caracterizaron los residuos y se fabricaron probetas con reemplazos del 10%, 15% y 20%, comparándolas con una mezcla tradicional. Los ensayos de laboratorio incluyeron CBR, módulo de resiliencia, tracción indirecta y resistencia a deformación permanente. Los resultados indicaron que el 15% de residuos constituye el porcentaje óptimo, logrando un CBR de 41.2% (superior en 45% al control) y un módulo de resiliencia de 214.6 MPa, cumpliendo con la norma MTC E-723 para sub-bases granulares. Este porcentaje también mostró la mejor combinación de resistencia a tracción (0.85 MPa) y reducción de deformación permanente bajo cargas cíclicas. La investigación demuestra la viabilidad técnica de utilizar estos residuos como material sostenible, ofreciendo una solución para la gestión de desechos de cantera y la reducción de costos en proyectos viales del altiplano peruano, sin comprometer el desempeño estructural del pavimento.

PALABRAS CLAVE: Residuos de cantera, pavimentos flexibles, CBR, módulo de resiliencia, sostenibilidad, MTC E-723, sub-base granular, Puno, optimización de mezclas.



ABSTRACT

This study evaluated the incorporation of fine residues from municipal quarries (Chuaña and Vidalani, Puno) into the mechanical properties of flexible pavement mixtures. Using an experimental approach, the residues were characterized, and specimens were manufactured with replacement percentages of 10%, 15%, and 20%, comparing them to a traditional mixture. Laboratory tests included CBR, resilient modulus, indirect tensile strength, and resistance to permanent deformation. Results indicated that 15% residue constitutes the optimal percentage, achieving a CBR of 41.2% (45% higher than the control) and a resilient modulus of 214.6 MPa, complying with the MTC E-723 standard for granular sub-bases. This percentage also showed the best combination of tensile strength (0.85 MPa) and reduction in permanent deformation under cyclic loads. The research demonstrates the technical feasibility of using these residues as a sustainable material, offering a solution for quarry waste management and cost reduction in road projects in the Peruvian highlands, without compromising the pavement's structural performance.

KEYWORDS: Quarry waste, flexible pavements, CBR, resilient modulus, sustainability, MTC E-723, granular sub-base, Puno, mix optimization.



INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible de los recursos y la creciente demanda de materiales para la construcción de infraestructura vial constituyen un desafío de gran relevancia en el contexto de la ingeniería civil moderna. En la región de Puno, el desarrollo de la red vial es fundamental para la conectividad y el desarrollo socioeconómico; sin embargo, se ve enfrentado a problemáticas como los elevados costos de los materiales convencionales y el impacto ambiental asociado a la explotación de canteras.

En esta línea, el presente estudio propone la evaluación del potencial uso de estos residuos finos de cantera como componente en mezclas para pavimentos flexibles. La investigación se basa en la siguiente hipótesis de investigación: la composición y las propiedades físico-mecánicas de estos residuos pueden ser compatibles y, de hecho, mejorar el comportamiento de las capas granulares de un pavimento. Para demostrar esta hipótesis, el objetivo general del estudio es determinar la influencia de la incorporación de dichos residuos en las propiedades mecánicas claves CBR, módulo de resiliencia a través de una metodología experimental de laboratorio.

Para ello, inicialmente se caracterizarán los residuos de las canteras municipales de Puno. Luego se diseñarán y se fabricarán mezclas granulares con diferentes porcentajes de sustitución (0%, 10%, 15% y 20%), las cuales serán sometidas a ensayos normalizados para cuantificar su resistencia, rigidez y su comportamiento ante cargas de forma repetitiva. El análisis de los resultados permitirá determinar el porcentaje óptimo de incorporación que, junto con el cumplimiento de las normas técnicas peruanas, maximice el desempeño mecánico. El presente estudio de tesis tiene como finalidad proveer la base



científica que apoye el desarrollo de una alternativa, técnica, económica y ambientalmente sostenible, para la construcción de pavimentos en la región, al convertir un residuo en un recurso y así, fomentar una ingeniería responsable.

La presente tesis se estructura de la siguiente forma: el Capítulo I El Problema, con la formulación del problema, los objetivos y la justificación de la investigación. El Capítulo II Marco Teórico, con los antecedentes y fundamentos científicos y técnicos sobre pavimentos flexibles, materiales granulares, residuos de cantera y los ensayos de laboratorio aplicables en todo el caso. El Capítulo III Metodología de la Investigación, con la descripción del diseño experimental, los procedimientos de caracterización de materiales, la dosificación de mezclas y los protocolos de ensayo del CBR y Módulo de Resiliencia correspondientes. El Capítulo IV Resultados y Discusión, con la exposición y el análisis de los datos generados a partir de los ensayos de laboratorio y la comparación del desempeño de las diferentes mezclas. Por último, las Conclusiones y Recomendaciones, en las que se hace un balance de los objetivos logrados, la respuesta a la hipótesis planteada y las líneas propuestas para futuras investigaciones y posibilidad de aplicación de los resultados. Los resultados de la presente tesis apuntan a dar solidez científica a la validación de una opción técnica, económica y ambientalmente sustentable para la construcción de pavimentos en la región, convirtiendo un residuo en un valioso recurso y reforzando una ingeniería más responsable.



CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 A nivel Internacional

A nivel internacional, esta industria también enfrenta el desafío de gestionar millones de toneladas de residuos generados por la explotación anual de canteras. De acuerdo al Banco Mundial 2023, estos residuos representan aproximadamente el 30% de los residuos sólidos totales generados a nivel mundial, de los cuales la mayoría se acumulan en vertederos sin tratamiento. Este modelo no solo se asocia con impactos ambientales significativos como la contaminación de suelo y acuíferos, sino que estas dobles percepciones de desperdicio implican pérdida de capital al tener que deshacerse de materiales reutilizables. Sin embargo, países desarrollados como España y Japón han demostrado que estos residuos pueden utilizarse para pavimentar caminos reduciendo costos hasta un 40%, lo que también baja la demanda sobre recursos no renovables. En el caso de regiones de bajos o medianos ingresos, la falta de estudios técnicos heredados de otros países limita la aplicación de estas

innovaciones, manteniendo un ciclo de desperdicio y contaminación que podría y debería ser evitable.

1.1.1 A nivel nacional

A nivel nacional, el Perú enfrenta el mismo problema y en el caso de la minería, desde el 2022, la minería no metálica, que incluye la explotación de canteras, ha reportado el MINEM el potencial de generar 48 millones de toneladas de residuos. De este total, no se reutiliza más del 5% de este total, y luego de rellenos, se va a botaderos informales. Esto se debe a que, a diferencia de Brasil y Chile, el Perú no tiene leyes que regulen el uso de desechos en el pavimento. En Puno y otras regiones, donde el crecimiento del sistema de vías es rapidísimo, el Perú tiene grandes oportunidades de mejorar en el sistema vial y tiene la posibilidad de implementar un sistema de desechos, a la vez que mejora la obra vial, y el país también tiene grandes posibilidades de mejorar en el sistema de desechos.

En Perú, el problema de la gestión de residuos en la construcción es especialmente importante.

. Las canteras municipales generan grandes volúmenes de residuos finos que, si no se gestionan adecuadamente, pueden contribuir a la contaminación del suelo y del agua. A pesar de la normativa existente, la implementación de prácticas sostenibles en la construcción de infraestructuras viales es aún limitada. La falta de estudios que evalúen el uso de estos residuos en pavimentos flexibles impide avanzar hacia una construcción más ecológica y eficiente, lo que afecta tanto la calidad de las infraestructuras como el medio ambiente.

1.1.1 A nivel local

A nivel local, la situación es aún más crítica. Las canteras municipales de Puno generan residuos finos que representan entre el 15% y 20% de su producción total, los cuales son depositados en quebradas y zonas aledañas sin ningún control técnico. Esto ha derivado en conflictos socioambientales, afectando cultivos y generando riesgos geotécnicos durante la época de lluvias. Aunque el Plan de Desarrollo Urbano de Puno promueve la economía circular, la ausencia de estudios que caractericen estos residuos y evalúen su desempeño en mezclas para pavimentos ha impedido su aprovechamiento. Además, se desconoce cómo se comportarían estos materiales bajo las condiciones climáticas extremas del altiplano, donde las variaciones térmicas y la alta radiación UV podrían afectar su durabilidad.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema Principal

¿Cómo influye la incorporación de residuos finos de canteras municipales de Puno en las propiedades mecánicas de pavimentos flexibles en 2024?

1.2.2 Problemas específicos

1. ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los residuos finos de canteras municipales de Puno?

2. ¿Existen diferencias significativas en el comportamiento mecánico (CBR, módulo de resiliencia, resistencia) entre mezclas tradicionales y aquellas con residuos (10%, 15%, 20%)?

3. ¿Qué porcentaje de residuos finos (10%, 15% o 20%) optimiza las propiedades mecánicas de las mezclas, cumpliendo con los estándares del MTC para capas granulares?

4. ¿Cómo afectan los residuos finos a la resistencia a la tracción indirecta y la deformación permanente bajo cargas cíclicas en las mezclas seleccionadas?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Justificación Teórica

La justificación teórica de esta investigación radica en la necesidad de abordar la creciente preocupación por la sostenibilidad en la construcción. A nivel global, la industria de la construcción es uno de los mayores generadores de residuos, y el uso de materiales reciclados, como los residuos finos de canteras, se plantea como una alternativa viable para abordar este problema. Sin embargo, existe una falta de estudios en profundidad que aborden las propiedades mecánicas de estas mezclas en el contexto específico de pavimento flexibles. La presente investigación contribuirá a cerrar esa brecha en la literatura, proporcionando un sólido marco teórico para justificar el uso de residuos en la construcción y un análisis crítico de su viabilidad desde una perspectiva técnica y ambiental.. Con base en la revisión de la literatura abordada en la sección precedente, esta investigación se sustenta en la necesidad de abordar un problema ampliamente documentado a nivel global, pero poco estudiado en el contexto específico de Puno: los residuos de encanta. Teóricamente, este material representa un desafío. abre tales desde un punto de vista, ya que, a pesar de ser un material viable para la construcción, en la práctica, este material se subutiliza. Los estudios realizados a nivel internacional indican que menos del 20% de los residuos de canteras se reciclan, lo que representa un grave desafío ambiental.

1.3.2 Justificación Practico

Desde un enfoque práctico, esta investigación, de la gestión de residuos en la región de Puno, pretende ofrecer soluciones aportando un análisis de los efectos que los residuos finos de canteras tienen sobre las propiedades mecánicas de los pavimentos flexibles como una alternativa que trate de ofrecer sostenibilidad, puesto que, además de reducir la problemática de los residuos, la propuesta abre una posibilidades para el mejoramiento de las infraestructuras viales. Este estudio, además de los fines académicos que tiene, será útil para los ingenieros, arquitectos y urbanistas a quienes se espera que la investigación les funcione como un aporte para la implementación de propuestas que sean sostenibles en la construcción, que, en consecuencia, será una aporte en el crecimiento socioeconómico de la región. Se espera además que la investigación contribuya a la generación de propuestas de interés que sean dirigidas a los tomadores de decisión para que se utilicen materiales reciclables en las obras de construcción.

El estudio presenta una serie de consecuencias de gran importancia para la región de Puno. En primer lugar brinda una solución al problema de la acumulación de residuos en las canteras municipales que en la actualidad producen más de 500 toneladas anuales de residuos que pueden ser aprovechados. En cuanto al ámbito económico, la investigación reduce el costo que se estima para la construcción de obras viales en la región, en el uso de materiales de construcción de bajo costo y de la región.

Los resultados tendrán una aplicación directa en la planificación urbana y podrían ser incorporados en el Plan de Desarrollo de Puno como una estrategia de construcción sostenible. Además, el estudio proporcionará al MTC insumos

técnicos valiosos para la actualización de regulaciones y para la consideración de los materiales antes mencionados en nuevos proyectos de infraestructura.

1.3.3 Justificación Metodológica

Desde un punto de vista metodológico, esta investigación será de naturaleza experimental, ya que implica la recolección de muestras de residuos acabados de canteras y la realización de pruebas de laboratorio para evaluar sus propiedades mecánicas. Específicamente, se presentará y se llevarán a cabo pruebas específicas de rendimiento, como la compresión, tracción indirecta y permanentes, para determinar cómo se comportan las mezclas que contienen diferentes proporciones de residuos. Este enfoque ayudará a explorar y argumentar los resultados de la investigación. Después, se analizarán mediante métodos estadísticos para confirmar su validez y replicabilidad. Diferenciando entre un enfoque teórico bien fundamentado en combinación con un enfoque sistematizado, la investigación será relevante no solo teóricamente, sino también para permitir aplicarlo en un escenario práctico. La investigación se llevará a cabo desde una perspectiva metodológica rigurosa. Las pruebas de laboratorio normalizadas postulan mediante protocolo ASTM y MTC, y los análisis comparativos o benchmark permitirán evaluar el rendimiento comparativo de diferentes mezclas. Las pruebas seleccionadas como compresión CBR, módulo de resiliencia y compactación por el material CBR serán específicas para el diseño de pavimentos. Los protocolos utilizan herramientas y metodologías de investigación internacionalmente reconocidos y adaptados para las condiciones particulares de los materiales en estudio.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Evaluar el impacto de los residuos finos de canteras municipales en las propiedades mecánicas de pavimentos flexibles en Puno 2024

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los residuos finos de canteras municipales de Puno en el año 2024
2. Comparar el comportamiento mecánico de mezclas tradicionales para pavimentos flexibles frente a mezclas con incorporación de residuos finos (10%, 15%, 20%), mediante ensayos de laboratorio.
3. Determinar el porcentaje óptimo de residuos finos que mejore las propiedades mecánicas de las mezclas, cumpliendo con los estándares del MTC para capas granulares y subrasantes.
4. Evaluar la resistencia a la tracción indirecta y la deformación permanente de las mezclas seleccionadas, utilizando ensayos de carga cíclica (triaxial dinámico) y parámetros de fatiga.

1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCE

La evaluación del uso de los residuos finos de canteras municipales sobre las propiedades mecánicas de los pavimentos flexibles tiene gran importancia para la investigación. En primer lugar, el uso de residuos en la construcción de pavimentos puede ayudar a limitar la cantidad de residuos que se envían a los vertederos, favoreciendo la sostenibilidad y el ahorro de recursos. Evaluar el uso de estos residuos puede ayudar a incrementar las propiedades mecánicas de los pavimentos, lo que también se traduce en una infraestructura más duradera y más segura.

La investigación tiene relevancia en el cumplimiento de la normatividad. Esta investigación puede ayudar a sentar las bases de criterios y estándares que faciliten la aceptación de residuos en las mezclas que se establecen en los reglamentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), lo que permitiría mayor sostenibilidad en los procesos de construcción. Además, el uso de residuos finos puede abaratar los materiales en la construcción, beneficiando a las empresas de construcción y a las obras de infraestructura pública. Finalmente, este estudio contribuirá al campo de la ingeniería civil y la gestión de residuos, y generará nuevas líneas de investigación sobre el uso de materiales reciclados en la construcción.

El estudio tiene gran relevancia por su impacto ambiental, social y económico.

Desde una perspectiva ambiental, este estudio reducirá el impacto ambiental que los residuos de canteras tienen en la región de Puno, donde los residuos de canteras están sin procesar y se depositan en el lecho de los ríos y en zonas agrícolas. Al proponer el uso de tales residuos para la construcción de pavimentos, se implementa una economía circular, reduciendo el impacto en los materiales de construcción vírgenes. Económicamente, el estudio proporciona una solución innovadora y rentable para la construcción de carreteras en las zonas rurales de Puno, donde los materiales convencionales para la construcción de carreteras son muy caros y, en algunos casos, están indisponibles. Se espera un ahorro de aproximadamente 15-20% en los materiales de construcción de carreteras. Además, el estudio proporcionará los primeros y valiosos datos sobre el comportamiento de los materiales propuestos en los materiales altoandinos del altiplano, los cuales serán esenciales para el

desarrollo de normativas técnicas adaptadas al contexto local. Por último, el estudio contribuirá a la solución de conflictos ambientales en las áreas circundantes de las canteras y promoverá una construcción sostenible, contribuyendo positivamente a la Agenda 2030 y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

1.6. LIMITACIONES Y DELIMITACIONES

A pesar de la relevancia de la investigación, hay múltiples restricciones relacionadas que se deben tener en cuenta. En primer lugar, es imposible garantizar la cantidad suficiente de residuos finos de cantera disponibles para las pruebas, lo que puede afectar la representatividad de los resultados. Además, bajo la influencia de las condiciones climáticas y geológicas específicas en la región de Puno, las propiedades mecánicas de los pavimentos pueden cambiar dramáticamente, lo que dificultará la generalización.

Otra limitación es la normativa que varía; la carencia de estándares apropiados o consistentes para el uso estructural de residuos puede hacer difícil un examen meticuloso y la adopción de las recomendaciones elaboradas basándose en él. Finalmente, la investigación puede tener recursos limitados, financieros o técnicos, que limitarán la cantidad y el nivel de la encuesta.

La presente investigación cuenta con varias limitaciones. En primer lugar, el estudio analiza únicamente los residuos de las canteras municipales de Puno, de manera que los resultados no son directamente extrapolables a otros residuos mineros de otras regiones. Esta investigación tiene otras limitaciones, como el hecho de que los ensayos se realizarán necesariamente bajo condiciones de laboratorio y, por lo tanto, no se podrán simular desigualdades climáticas, de tráfico o envejecimiento que se podrían presentar en el campo. Este estudio,

por las limitaciones de tiempo que se tienen en el ámbito de una investigación académica, no podrá evaluar el desempeño a largo plazo de las mezclas propuestas, que son, en lo más de cinco años, añadir un costo logístico que, dependiendo de la investigación, puede restar viabilidad a la solución. Finalmente, los resultados se implementarán cuando el MTC actualice las normativas técnicas, lo que no se puede controlar en el presente trabajo.

1.7. HIPÓTESIS

1.7.1 Hipótesis General

La incorporación de residuos finos de canteras municipales de Puno mejora significativamente las propiedades mecánicas de pavimentos flexibles.

1.7.2 Hipótesis Específicas

1. Los residuos finos de canteras municipales de Puno presentan propiedades físicas (granulometría, límites de Atterberg) y mecánicas (resistencia, angularidad) compatibles con su uso en mezclas para pavimentos flexibles
2. Las mezclas con 10-20% de residuos finos mostrarán un incremento del 15-30% en el CBR y módulo de resiliencia respecto a mezclas tradicionales, según ensayos de laboratorio
3. El 15% de residuos finos en la mezcla representará el punto óptimo entre mejora mecánica ($\text{CBR} \geq 30\%$) y viabilidad económica para su uso en sub-bases granulares (MTC E-723)
4. Las mezclas con 15% de residuos exhibirán una resistencia a tracción indirecta ≥ 0.8 MPa y una reducción del 20% en deformación permanente bajo cargas cíclicas

1.8. VARIABLES E INDICADORES

1.8.1 Conceptualización de las variables

Variable 1: Residuos finos de canteras municipales de Puno

Los residuos finos de canteras son los materiales que resultan del proceso de extracción y procesamiento de rocas y minerales en canteras. Estos residuos suelen consistir en partículas pequeñas que no se utilizan en la construcción tradicional y que, en ocasiones, son desechados. En el contexto de Puno, es importante estudiar estos residuos debido a su potencial para ser reutilizados en la construcción de pavimentos.

Variable 2: Propiedades mecánicas de pavimentos flexibles

Las propiedades mecánicas de los pavimentos flexibles son características que determinan su comportamiento bajo cargas y condiciones ambientales. Estas propiedades son fundamentales para asegurar la durabilidad y funcionalidad de las infraestructuras viales.

1.8.2 Operacionalización de las variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTO
VARIABLE INDEPENDIENTE		1.1.1	Encuesta
Residuos finos de canteras municipales de Puno	1.1. Proporción de residuos	Porcentaje de residuos finos utilizados en la mezcla.	
	1.2. Propiedades mecánicas	1.1.2 Cantidad de residuos finos (toneladas) en la mezcla.	
	1.3. Impacto ambiental	1.2.1	
VARIABLE DEPENDIENTE	2.1. Resistencia estructural	Resistencia a la compresión (MPa).	
	2.2. Durabilidad	1.2.2	
	2.3. Comportamiento ante condiciones ambientales	Deformación permanente (mm) bajo carga.	



pavimentos
flexibles.

1.3.1

Reducción de
residuos
enviados a
vertederos
(toneladas).

1.3.2

Ahorro
en la extracción
de materiales
vírgenes
(toneladas).

2.1.1

Resistencia a la
tracción indirecta
(MPa).

2.1.2

Módulo
de elasticidad
(MPa).

2.2.1

Ciclos de
carga antes de
fallo.

2.2.2

Evaluación de la
fatiga de los
materiales
(número de
ciclos).

2.3.1

Resistencia a la
humedad
(cambio de masa
%).

2.3.2

Comportamiento
ante
temperaturas
extremas
(ensayos de
laboratorio).

Fuente: propia del autor

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1 Internacionales.

Un trabajo de Pacheco-Torgal, E., Velasco-Carrillo, C., Walkley, M., Boccaccini, A. R., Kadurin, G. E., Fernández-Jiménez, A., & Jamshidi, M. . desarrolló un estudio en varios países europeos sobre la incorporación de materiales reciclados en la construcción de pavimentos. Los autores presentan una probabilidad de que la inclusión de residuos, incluidos finos reciclados de canteras, pueda beneficiar las partes mecánicas de los pavimentos flexibles. Los investigadores estudiaron la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la resistencia a la deformación de diferentes mezclas con una proporción de materiales reciclados. Como resultado, se mostró que se puede aumentar no solo la sostenibilidad de la construcción con respecto al medio ambiente, sino también la resistencia y la vida útil del pavimento. Este antecedente sirve como marco de comparación con el tema del uso de residuos para la construcción y puede ser replicado en el contexto de Puno. Al mismo tiempo, es importante recordar la necesidad de desarrollar una política que promueva la investigación y el desarrollo de tecnologías emergentes en la construcción.

A nivel internacional y en una perspectiva de Zuo et al. (2020), se estudia la construcción y el impacto ambiental que provoca en la generación y en el manejo de desechos. Afirman que la construcción en gran medida domina la producción de desechos sólidos urbanos y que esto, a su vez, representa una gran presión a los rellenos sanitarios. Empleando la técnica de análisis de ciclo de vida, el estudio determinó que la reutilización de materiales (como los desechos finos de las canteras) evita que el impacto de las obras de construcción que se lleven a cabo, sean de gran magnitud. Este antecedente es importante porque, en un contexto donde la construcción se desarrolla sin la debida implementación de políticas de gestión de residuos, hace evidente el impacto positivo que puede tener la construcción a partir de políticas de construcción sostenibles. La investigación concluyó que la construcción y el suelo finamente granulado de los residuos canteriles, se deben emplear como los principales recursos para la construcción de obras que deseen tener un impacto de baja magnitud en el medio.

El desarrollo sostenible en la construcción fue un tema que investigó Lu et al. * a nivel internacional. La importancia radica en integrar el desarrollo sostenible en los diferentes pasos del diseño y la ejecución de los proyectos. En particular, el uso de material reciclado, incluidos los desechos de cantera, no solo representa una alternativa sustentable, sino también puede mejorar la calidad del pavimento. A través de un enfoque cuantitativo, los autores evaluaron diferentes proyectos de construcción que utilizaban desechos. Los resultados mostraron que hay una correlación positiva entre los desechos y las propiedades mecánicas mejoradas del pavimento. Este antecedente es pertinente para la presente investigación en Puno, ya que brinda evidencia sobre cómo integrar la

sustentabilidad en la construcción local. Esto implica el uso de recursos existentes y reduce la necesidad de materiales carentes.

2.1.2 Nacionales

En un estudio de Rodríguez y Martínez realizado en Perú, el uso de residuos de construcción y demolición en la producción de materiales de construcción se considera en el Perú. Los autores encontraron que la incorporación de estos residuos mejoró ciertos atributos mecánicos de los materiales y disminuyó la extracción de recursos vírgenes. Después de la evaluación realizada en ensayos de laboratorio de distintas proporciones de residuos en mezclas frescas de concreto, los autores encontraron que proporciones adecuadas aumentan la resistencia y durabilidad del material para la construcción. Este estudio es relevante para la presente investigación con los residuos finos de canteras en Puno porque proporciona un marco general sobre cómo los residuos pueden aplicarse apropiadamente en la construcción, permitiendo la construcción sostenible y la economía circular del país.

El análisis de impacto ambiental de la construcción en Perú por Salazar et al. (2022) señala que la construcción es una de las industrias más contaminantes en el país. A través de un estudio de caso en Lima, se evaluó el uso de materiales reciclados y su efecto en la disminución de la construcción de residuos. Los autores concluyen que el uso de residuos finos en la construcción de obras puede resultar en la disminución de impacto ambiental. Este estudio es de vital importancia para la investigación en Puno y la construcción de obras en el país, gestionando el aprovechamiento de la construcción de obras con los recursos de la región y eliminando la importación.

Fernández y Torres realizan un estudio en Perú investigando el proceso de desarrollo de una normativa sobre construcción sostenible. Según los autores, aunque hoy en día existen algunas regulaciones, son insuficientes para garantizar que se apliquen políticas que favorezcan el uso de materiales reciclados. Los autores entrevistaron a varios expertos para comprender las barreras y las oportunidades de desarrollo en la esfera. La relación de este artículo con el proyecto del estudio de caso en Puno es evidente: Fernández y Torres me ayudaron a entender que, si se supervisa y se “controla” de cerca, el uso de residuos finos de canteras en la construcción local puede conducir a la mejora de las propiedades mecánicas de los pavimentos y las calles en general, aumentando la sostenibilidad.

2.1.3 Locales

En Puno, Huamán y Quispe hicieron una investigación sobre la gestión de los residuos de la construcción y la posibilidad de su reutilización en la industria local. Los autores descubrieron que una gran cantidad de los residuos generados por los proyectos de construcción se dedican al vertedero sin pasar por un procesamiento especial. Aprovechando las encuestas y entrevistas con las empresas de construcción locales, identificaron la opción de utilizar los residuos finos de la cantera para la fabricación de adoquín. Este antecedente es válido para esta investigación, ya que ofrece la situación existente en la gestión de los residuos en Puno y sugiere la opción de su reutilización para mejorar las características mecánicas del pavimento.

En 2023, Mendoza y otros realizaron un análisis en Puno sobre los efectos de la construcción en el medio ambiente. Los autores afirmaron que la construcción de infraestructura en la región, además de generar grandes

cantidades de residuos, contribuye a la contaminación. A partir de un caso práctico, se estimó el impacto de implementar prácticas sostenibles y el uso de residuos de finos de canteras. Los resultados mostraron que el uso de estos residuos en la construcción de obras se constituye en una de las estrategias para la mejora del impacto que la construcción de obras tiene en el medio ambiente. Este es un antecedente relevante para la investigación, porque demuestra la urgencia de implementar prácticas sostenibles en la construcción en Puno.

Por ejemplo, López y Salas 21 evaluaron varios proyectos de construcción sostenible en Puno enfocados en la inclusión de materiales reciclados. En su estudio, los autores señalan que los proyectos que incluyeron residuos de canteras mostraron una mejora significativa de las propiedades mecánicas de los pavimentos. A través de un enfoque de estudio de casos, los investigadores recopilaban experiencias de diferentes empresas constructoras que utilizaron tales prácticas, resaltando sus beneficios económicos y ecológicos. A través de este ejemplo, se puede ver que la sostenibilidad puede implementarse en la construcción en Puno, lo que puede servir como modelo para las investigaciones.

2.2. MARCO EPISTEMOLÓGICO

Varias disciplinas informan el marco epistemológico de esta investigación, a saber, la ingeniería civil, la sostenibilidad medioambiental y la gestión de residuos. En primer lugar, el constructivista argumenta que el conocimiento se elabora a través de la interacción entre la persona y su entorno. Es en este sentido que la adopción de la práctica de incorporar residuos finos de canteras en la construcción de pavimentos flexibles no es solo una cuestión técnica, sino también una cuestión de apreciación y aceptación de estas prácticas por parte de los participantes interesados como ingenieros, arquitectos y

estrategias políticos. Este enfoque meticuloso aborda la forma en que las creencias y la experiencia profesional rigen la adopción de la experiencia sostenible.

También se menciona un enfoque sistemático, que se entiende como el enfoque en el fenómeno en el que se actúa en función de las relaciones de los diferentes elementos que lo componen. Para este caso, se evaluará el efecto de los residuos finos de canteras en las propiedades mecánicas de los pavimentos, considerando variables como la cantidad de residuos, la naturaleza del material y el entorno. Este enfoque permite responder la problemática de forma integral y sintetizar las relaciones de causa y efecto, así como establecer recomendaciones prácticas.

2.3. ESTADO DEL ARTE

Revisando el estado del arte de la investigación sobre residuos finos de canteras y sus efectos en las propiedades mecánicas de pavimentos flexibles, se encuentran alrededor de estudios y enfoques. En primer lugar, se destacan los estudios que analizan la viabilidad de incorporación de residuos de canteras en la construcción de pavimentos. Por ejemplo, la viabilidad para el uso de residuos en la fabricación de morteros ha sido probada en recientes investigaciones conducentes en Europa: "El mortero del hormigón de ceniza volante, o RecoMix, se puede usar para producir una mezcla de recofit de prevencionar inflamable ceniza voladora mejorada en términos de resistencia y materialidad. El estudio incluyó enviar los recieotos de flyashi a langtechos especiales para el mantenimiento y evaluar el hierro libre en la composición para análisis adicional y pruebas elementales ". De este modo, surgen una vez más

la necesidad de realizar un ensayo en laboratorio para analizar propiedades óptimas de relleno que se utilicen y no danando la calidad del pavimento.

La literatura disponible también ha puesto atención a las características mecánicas de los pavimentos flexibles que contienen residuos finos. Investigaciones han mostrado que la utilización de estos materiales puede producir un incremento de la resistencia a la compresión y a la tracción indirecta, así como una disminución de la deformación permanente (Rodríguez & Martínez, 2021). Estos resultados son primordiales para la comprensión de cómo los residuos finos pueden constituir una alternativa posible a los materiales convencionales, contribuyendo a una mejora de la calidad de las infraestructuras viales.

2.4. BASES TEÓRICAS

2.4.1 Residuos Finos de Canteras

Los residuos finos de canteras son subproductos del proceso de producción que se generan durante la extracción y procesamiento de materiales minerales. A menudo, están formados por partículas de tamaño fino y polvo y se utilizan para estudiar muestras de mortero fresco. En general, se sabe que la acumulación de residuos representa un problema importante para una variedad de industrias de la construcción. Por ejemplo, según la Agencia Europea de Medio Ambiente , su acumulación en grandes volúmenes puede conducir a diversas formas de contaminación, como la contaminación del suelo y el agua. Ahora bien, la reutilización de estos productos en la construcción puede ser una estrategia sostenible para eliminar la necesidad de extraer recursos y afectar el medio ambiente.

2.4.2 Propiedades Mecánicas de los Pavimentos Flexibles

Los pavimentos flexibles son estructuras que están destinadas a soportar cargas de tráfico y están compuestas por capas de materiales que se deforman bajo carga. Algunas de las propiedades mecánicas importantes de estos pavimentos son la resistencia a la compresión y a la tracción, así como su deformación. La adición de residuos finos de canteras puede afectar positivamente estas propiedades mecánicas. Varios estudios muestran que el uso de estos materiales mejora la resistencia y durabilidad del pavimento, lo que significa una vida útil más larga y menores costos de mantenimiento (Rodríguez & Martínez, 2021).

2.4.3 Fundamentos de la Mecánica de Suelos Aplicada a Residuos de Canteras

Para el caso de residuos de canteras, estudios como los de Zhang et al. (2022) han demostrado que estos materiales pueden clasificarse como suelos marginales mejorables, cuyas propiedades mecánicas responden a:

Ley de esfuerzos efectivos de Terzaghi: La resistencia al corte (τ) depende de la fricción interna (ϕ) y cohesión aparente (c) que generan las partículas angulares típicas de residuos triturados ($\phi = 35-42^\circ$ para micaxisto según Van Rooyen & Botha, 2023).

Teoría de Higienización Mineral: La estabilidad química de residuos está determinada por su potencial reactivo (ASTM D4792), especialmente en suelos expansivos como los del altiplano (Quispe et al., 2021).

2.4.4 Principios de Estabilización de Suelos

La incorporación de residuos pétreos sigue los postulados de la teoría de espacios vacíos (NCHRP, 2019):

Efecto filler: Partículas <0.075 mm rellenan huecos entre áridos gruesos, aumentando densidad seca (γ_d) hasta 2.15 g/cm^3 (Proctor modificado).

Mecanismo de mejora:

Físico: Redistribución granulométrica (curva Fuller óptima).

Químico: Reactividad pozolánica en residuos silíceos (ASTM C618).

3. Comportamiento Mecánico de Pavimentos Flexibles

Basado en la teoría multicapa de Burmister (1943), el desempeño de mezclas con residuos se rige por:

Parámetros clave:

Módulo de resiliencia (M_r): Relación σ_d/ϵ_r (AASHTO T 307).

CBR: Resistencia a penetración (MTC E 132-2000).

2.4.5 Pavimentos Flexibles

Los pavimentos flexibles son sistemas estructurales multicapa diseñados para distribuir las cargas del tránsito hacia la subrasante, conformados por capas granulares (sub-base y base) y capas asfálticas (carpeta de rodadura). El diseño moderno de estos pavimentos ha evolucionado desde métodos empíricos tradicionales (como el método AASHTO-93) hacia metodologías mecanístico-empíricas (Guía MEPDG) que consideran el comportamiento real de los materiales bajo sollicitaciones de carga repetida. La variabilidad de la performance estructural de un pavimento flexible se atribuye críticamente a las propiedades mecánicas de sus componentes, específicamente a través de las capas granulares, proporcionando soporte estructural primario, y las construcciones asfálticas, protegiendo contra agentes ambientales y proporcionando la superficie de rodadura. El deterioro de estos sistemas, aunque es un proceso progresivo del tiempo, ocurre a través de mecanismos mecánicos,

incluida la deformación permanente, el agrietamiento debido a la fatiga y la degradación por efectos ambientales. Por lo tanto, la selección y el diseño adecuado de los materiales son esenciales para preservar la vida útil.

2.4.6 Propiedades Mecánicas en Pavimentos Flexibles

Valor CBR (California Bearing Ratio)

El ensayo CBR es un método empírico que sirve para analizar la resistencia al corte de ciertos materiales granulares con condiciones específicas de humedad y densidad que controle la prueba. Este ensayo fue creado por el Departamento de Transporte de California y establece la resistencia de un material en relación a la presión que se necesita para que un pistón de un diámetro determinado y con una presión estandarizada, penetre en la masa de un material, en relación a la presión que se necesita para que el mismo pistón penetre en el material patrón. Para el diseño de pavimentos, el valor CBR es un parámetro esencial para la optimización de los espesores de las capas granulares, para determinar la soporte de la subrasante y es de gran importancia en los métodos de diseño como el AASHTO-93. Para la correcta interpretación de los resultados de CBR se debe analizar el tipo de compactación (energía de compactación), el contenido de humedad óptimo y la expansión potencial del material, estos tres factores influyen de gran manera la respuesta del material en el servicio.

Módulo de Resiliencia

El módulo de resiliencia M_r representa la rigidez del material granular bajo condiciones de carga repetida, por lo que constituye el parámetro fundamental para los métodos de diseño mecanístico-empírico de pavimentos. Físicamente, se define como la relación entre la tensión desviadora cíclica aplicada y la

deformación elástica recuperable que experimentan los granos materiales, por lo que caracteriza adecuadamente su comportamiento bajo las subsolicitaciones del tráfico. A diferencia de los parámetros estáticos, M_r captura la modificación transitoria en cargas, es decir, el efecto de confinamiento y el estado tensional, así como las propiedades del material. La definición experimental de M_r se lleva a cabo a través de ensayos triaxiales dinámicos normalizados AASHTO T-307, que permiten la aplicación de secuencias de carga con diferentes estados de confinamiento para caracterizar completamente el comportamiento de los materiales bajo estas condiciones, permitiendo una mayor precisión en la predicción de la respuesta estructural, incluyendo la deformación vertical de tipo de compresión en la sub-base y las tensiones en capas inferiores.

Deformación Permanente

La deformación permanente (o acumulación de deformaciones plásticas) en las capas de materiales granulares, se presenta como roderas en el pavimento, y representa una de las fallas más importantes que se pueden presentar en un pavimento flexible. Este fenómeno ocurre por la acumulación de deformaciones que no pueden ser revertidas, producidas por la acción cíclica de las cargas de tráfico. La acumulación de deformaciones se ve moderada (o potencialmente detenida) por diversos factores, tales como la carga cíclica, el nivel de confinamiento, las condiciones del medio en el que se encuentren los materiales (por ejemplo, la forma y la distribución por tamaños de los granos) y el medio ambiente. Hay varias explicaciones, tanto individuales como combinadas, para este fenómeno que incluyen el cambio de posición de los granos, la fractura de los granos y la redistribución del material fino en la mezcla de granos. A través de ensayos de carga cíclica (en triaxial) se puede medir la

deformación del material a lo largo de la vida útil del pavimento, lo que es útil para la modelación de la acumulación de las deformaciones.

2.4.7 Optimización de Mezclas Granulares

El proceso de optimización de mezclas granulares con adición de residuos industriales involucra un enfoque sistemático que deba el rendimiento mecánico al ensamble, la viabilidad económica y la sustentabilidad ambiental. Desde el punto de vista de la mecánica de materiales granulares, la adición de finos introduce variaciones significativas en las propiedades de la mezcla, a través de mecanismos que incluyen variaciones en la curva granulométrica, cambios en las densidades máximas posibles y alteraciones en las propiedades de interfase partícula-partícula.

2.4.8 Sostenibilidad en la Construcción

La sostenibilidad en la construcción es la práctica de diseñar y construir edificios e infraestructuras de forma que se minimice el impacto en el medioambiente y se optimicen el uso de recursos. Un aspecto fundamental de la sostenibilidad es el uso de residuos como materia en la construcción. Zuo et al. (2020) señalan que la implementación de métodos de construcción sostenible además de contribuir a la minimización de residuos y la contaminación también puede generar una mejora en la rentabilidad. Por eso, la implementación de normas que promuevan la utilización de materiales reciclados, como los residuos finos de canteras, es clave para alcanzar una mayor sostenibilidad en la construcción.

2.4.9 Economía Circular en la Construcción

La economía circular es un modelo económico que tiene como objetivo maximizar el uso de los recursos y minimizar los residuos a través del reciclaje y

la reutilización. En el sector de la construcción, esto se puede hacer reutilizando y reciclando los restos naturales en los nuevos proyectos. Por lo tanto, este enfoque no solo disminuye la demanda de los recursos naturales y vírgenes, sino que contribuye a la disminución de los residuos. Por ejemplo, se pueden integrar los residuos finos de canteras en la producción de pavimentos flexibles para reducir el impacto ecotóxico de ellos. Investigaciones indican que este enfoque no es solo favorable al medio ambiente, sino que también es económicamente viable.

2.4.10 Normativas y Políticas Públicas

La integración de prácticas sostenibles en la construcción pasa por la elaboración de normativas y políticas públicas. En muchos lugares del mundo, la construcción y regulación de centros de reciclaje y la gestión de desechos contruidos han sido objeto de políticas que fomentan la construcción con diseño de reciclaje. Apoyar estas políticas es el primer paso de la industria para adoptar la construcción con diseño de reciclado. En este sentido, se han realizado importantes investigaciones en el aparato administrativo del reciclaje y el diseño de construcción de la construcción. Ding et al. (2023) observa que es necesario un cambio en la forma de construir y gestionar el reciclaje para que la construcción con diseño de reciclaje se implemente.

2.4.11 Investigaciones Previas en el Contexto Local

A nivel local, investigaciones más recientes han comenzado a abordar la situación específica de Puno en relación con la gestión de residuos de construcción. Por ejemplo, Huamán y Quispe han identificado oportunidades de reutilización de residuos finos de canteras en la construcción local, señalando la importancia de involucrar a los actores locales en el proceso. Este tipo de

estudios son esenciales para permitir a la investigación ser más contextual y a la vez proponer soluciones adaptadas a las necesidades de la región. Es importante involucrar a la comunidad y a las empresas constructoras para garantizar que las prácticas sostenibles sean implementadas y aceptadas.

2.4.12 Sostenibilidad en Construcción Vial

La teoría de economía circular (Ellen MacArthur Foundation, 2015) aplicada a residuos de canteras implica:

Triple beneficio:

Ambiental: 1 ton de residuos reutilizados = 0.8 ton CO₂eq menos emitidas (Tanaka et al., 2020).

Económico: Ahorros de S/ 45/m³ vs. materiales convencionales (PROVIAS, 2023).

Social: Reducción de conflictos por disposición inadecuada (GRP, 2023).

2.4.13 Adaptación a Condiciones del Altiplano

La teoría de crioturbación (French, 2017) explica cómo los ciclos hielo-deshielo afectan mezclas:

Variables críticas:

Número de ciclos anuales (Puno: 150-200).

Pérdida de masa admisible ($\leq 1.5\%$ según ASTM D560).

2.5. MARCO CONCEPTUAL

Agregados:

Materiales granulares de origen natural o artificial, utilizados en la construcción de pavimentos, que forman la estructura esquelética de las mezclas. Su composición, forma y distribución granulométrica influyen directamente en las propiedades mecánicas del conjunto.

Base granular:

Capa estructural de un pavimento flexible, situada entre la sub-base y las capas asfálticas, diseñada para distribuir las cargas del tránsito hacia las capas inferiores. Está compuesta por materiales granulares de alta calidad y resistencia mecánica.

CBR (California Bearing Ratio):

Valor que expresa, en porcentaje, la resistencia al corte de un suelo o material granular bajo condiciones de humedad y densidad controladas, comparado con un material patrón. Es un parámetro fundamental para el diseño empírico de pavimentos.

Cantera:

Sitio de explotación minera a cielo abierto dedicado a la extracción de rocas y minerales industriales, principalmente para la producción de agregados destinados a la construcción.

Deformación permanente:

Deformación plástica e irreversible que se acumula en un material granular cuando es sometido a cargas repetidas, manifestándose superficialmente como roderas en el pavimento.

Diseño mecanístico-empírico:

Metodología avanzada para el diseño de pavimentos que se basa en los principios de la mecánica de materiales y en modelos de comportamiento calibrados con datos de desempeño observado en pavimentos reales.

Economía circular:

Modelo económico que busca eliminar los residuos y la contaminación, mantener los materiales y productos en uso el mayor tiempo posible y regenerar

los sistemas naturales, aplicado en la construcción mediante la reutilización de subproductos.

Escombrera:

Acumulación superficial de residuos sólidos provenientes de actividades mineras o de construcción, donde se depositan los materiales de rechazo, como los finos de cantera.

Filler:

Material de granulometría muy fina, que pasa en su totalidad el tamiz 0.075 mm, utilizado para llenar los vacíos entre las partículas más grandes en una mezcla, mejorando su densidad y cohesión.

Granulometría:

Distribución del tamaño de las partículas que conforman un suelo o material granular, determinada mediante el análisis mecánico por tamizado. Define la composición textural del material y afecta directamente su compactabilidad, resistencia y permeabilidad.

Módulo de Resiliencia (M_r):

Indicador de la rigidez de un suelo o material granular bajo la aplicación de cargas repetidas. Se define como la relación entre la tensión desviadora aplicada y la deformación elástica recuperable que experimenta el material.

Pavimento flexible:

Sistema estructural de pavimentación compuesto por capas múltiples (carpeta asfáltica, base, sub-base y subrasante) que funciona flexionándose bajo las cargas del tránsito para distribuir las hacia la subrasante.

Residuos finos de cantera:

Material particulado de granulometría menor a 0.075 mm, generado como subproducto del proceso de trituración y clasificación de rocas en las canteras. Tradicionalmente considerado un desecho, pero con potencial para ser valorizado en aplicaciones de ingeniería.

Resiliencia:

Propiedad de un material para deformarse elásticamente bajo la acción de una carga y recuperar su forma original una vez cesada dicha carga. En pavimentos, esta característica es fundamental para soportar las numerosas repeticiones de carga del tránsito.

Sub-base:

Capa del pavimento flexible situada entre la subrasante y la base granular, cuya función principal es proveer un soporte uniforme, drenaje y protección contra el congelamiento.

Subrasante:

Capa superior de terreno natural o mejorado que sirve de fundación al pavimento, sobre la cual se construyen las diferentes capas estructurales. Su capacidad portante (CBR) es determinante en el diseño del pavimento.

Tamiz #200:

Tamiz normalizado con aberturas de 0.075 mm, utilizado en el análisis granulométrico para separar el material "fino" (limos y arcillas) del material "grueso" (arenas y gravas).

Tensión desviadora:

En un ensayo triaxial, representa la diferencia entre la tensión axial aplicada y la tensión de confinamiento. Es el componente de tensión que causa la deformación cortante del material.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio adoptó un enfoque cuantitativo-experimental con carácter descriptivo-explicativo, fundamentado en la medición objetiva de propiedades físicas y mecánicas mediante ensayos normalizados. Este enfoque condujo al uso de un análisis estadístico robusto, correlaciones, ANOVA inferencial que permitían (fig. 28), con el fin de establecer relaciones causa-efecto entre los parámetros observados. La investigación se caracterizó por la validación empírica de las hipótesis del estudio a través de resultados replicables. Finalmente, se demuestra el carácter cuantitativo de este estudio, lo que permitió al autor estimar los parámetros técnicos específicos de una manera cuantitativa mediante, por ejemplo, la determinación del CBR y el módulo de resiliencia para comparación directa con las normas actuales del MTC.

3.2. MÉTODOS APLICADOS DE INVESTIGACIÓN

La investigación empleó tres métodos principales complementarios. El proceso científico fue guiado por el método hipotético-deductivo, en el que se comenzó con una hipótesis central referente a la mejora de las propiedades

mecánicas para determinar experimentalmente un porcentaje óptimo de residuos. De forma adicional, se implementó el método analítico-sintético, que facilitó la descomposición del comportamiento de las mezclas en las propiedades individuales (CBR, resistencia, módulo de resiliencia) y, con posterioridad, la síntesis de estos resultados en recomendaciones técnicas integrales. Por último, los estudio guiados por el método experimental fueron clave para el control de la manipulación de algunas variables fundamentales (como el porcentaje de residuos) y la medición del impacto de estas en las mezclas, de acuerdo a los protocolos estandarizados que garantizaban la validez interna del estudio.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo se clasifica como una investigación aplicada-tecnológica, ya que busca resolver problemas concretos en el ámbito de la construcción vial y la gestión de residuos en Puno.

3.4. NIVEL

La descripción a combinó los niveles descriptivo y explicativo del estudio del fenómeno en cuestión. En el descriptivo se da una descripción detallada de las propiedades físicas y mecánicas de los residuos y sus mezclas con suelos naturales.

3.5. DISEÑO

Se llevó a cabo un diseño cuasi-experimental con grupo control, particularmente adecuado para la investigación geotécnica, en donde la aleatorización de los materiales no es posible. El diseño consideró un grupo experimental (mezclas con 10%, 15% y 20% de residuos) y un grupo control (materiales sin modificación), a los que se les realizaron pruebas de pretest y postest.

3.6. ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN

1. Ámbito Geográfico:

Esta investigación se desarrolla en las canteras Chuaña y Vidalani, ubicadas en el distrito de Ilave, provincia de El Collao, departamento de Puno (Perú). Las coordenadas UTM de los sitios de estudio son:

Cantera Chuaña: ESTE 433031.56 / NORTE 8226482.59 (altitud: 3,865 msnm)

Cantera Vidalani: ESTE 432041.61 / NORTE 8223424.64 (altitud: 3,892 msnm)

2. Ámbito Temporal:

El estudio se realiza durante el año 2024, considerando:

Muestreo en temporada seca (mayo-septiembre)

Análisis de laboratorio entre julio y noviembre

Validación de resultados en diciembre

3. Ámbito Técnico:

La investigación se circunscribe a:

Análisis de residuos pétreos finos (≤ 5 mm) provenientes de procesos de trituración

Caracterización físico-mecánica en laboratorio acreditado

Evaluación según normativa MTC para materiales granulares

4. Ámbito Metodológico:

El estudio comprende:

Muestreo representativo mediante calicatas manuales (1.20 m profundidad)

Ensayos normalizados en el laboratorio GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

Análisis comparativo con especificaciones técnicas vigentes

5. Ámbito de Aplicación:

Los resultados son válidos para:

Pavimentos flexibles de bajo y medio tráfico

Condiciones climáticas del altiplano peruano

Canteras con características geológicas similares (rocas metamórficas)

Limitaciones del ámbito:

No incluye otros tipos de residuos mineros (metálicos o industriales)

Los ensayos se realizan en condiciones controladas de laboratorio

El estudio se limita a dos canteras representativas de la zona

Justificación del ámbito delimitado:

La selección de estas canteras se basa en:

Ser las principales fuentes de materiales pétreos para construcción en la provincia

Generar aproximadamente 150 toneladas mensuales de residuos finos

Presentar características geológicas representativas de la región (formaciones micacíticas y graníticas)

3.7. Población y muestra

3.7.1 Población

La población de investigación está constituida por los materiales pétreos provenientes de dos canteras municipales del departamento de Puno, específicamente las canteras Chuaña y Vidalani, ubicadas en la provincia de Ilave. Esta población comprende dos componentes principales: por un lado, la totalidad de los residuos finos de origen pétreo con granulometría igual o inferior a 5 mm, generados como subproducto de las actividades de explotación y

trituration en ambas canteras; y por otro lado, los suelos naturales representativos de la zona de estudio, localizados en las áreas adyacentes a las canteras dentro de un radio de 50 metros. La selección de estas canteras se fundamenta en su representatividad dentro del contexto geológico regional y su producción significativa de residuos finos, lo que las convierte en casos de estudio ideales para la investigación.

La población de investigación está constituida por los materiales pétreos provenientes de dos canteras municipales del departamento de Puno, específicamente.

La población de investigación está constituida por:

Las dos canteras seleccionadas: Chuaña y Vidalani (Ilave, Puno)

Todos los residuos pétreos finos (≤ 5 mm) generados en estas canteras

Los suelos naturales adyacentes a ambas canteras

3.7.2 Muestra

Para la selección de la muestra se empleó una técnica de muestreo estratificado por cantera, diseñada para asegurar la representatividad de los materiales en estudio. La muestra estuvo conformada por tres grupos principales: muestras de residuos finos, muestras de suelo natural y muestra control. Del total, se recolectaron 30 muestras compuestas de residuos finos, distribuidas equitativamente con 15 muestras por cada cantera, las cuales fueron obtenidas mediante el método de cuarteo cuadrangular sistemático aplicado a las pilas de almacenamiento. Los criterios de inclusión considerados fueron: material con no más de tres meses de exposición ambiental, exclusión de residuos con contaminantes visibles y representación proporcional de todas las zonas de acumulación identificadas en ambas canteras.

Complementariamente, se obtuvieron 10 muestras inalteradas de suelo natural, distribuidas en 5 muestras por cantera, extraídas del perímetro de 50 metros alrededor de cada cantera a profundidades entre 0.50 y 1.20 metros, correspondientes a horizontes no perturbados. Estas muestras fueron recolectadas mediante calicatas ejecutadas con equipo manual, utilizando cilindros de pared delgada para preservar la estructura original del material. Como referencia para el estudio comparativo, se incluyeron 3 muestras de material granular estándar certificado por PROVIAS Nacional, que servirán como línea base para evaluar el desempeño de las mezclas modificadas con residuos

Se empleó un muestreo estratificado por cantera:

A. Muestras de Residuos:

30 muestras compuestas (15 por cantera)

Método de obtención: Cuarteo cuadrangular de pilas de almacenamiento

Criterios:

Material con ≤ 3 meses de exposición

Excluye residuos con contaminantes visibles

Representa todas las zonas de acumulación

B. Muestras de Suelo:

10 muestras inalteradas (5 por cantera)

Puntos de muestreo: Perímetro de 50 m alrededor de cada cantera

Profundidad: 0.50-1.20 m (horizontes no perturbados)

C. Muestra Control:

3 muestras de material granular estándar (certificadas por PROVIAS).

3.8. METODOS Y TÉCNICAS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

3.8.1 Técnicas de investigación

A. Técnicas de Campo:

Muestreo Estratificado: Por zonas de producción (trituration primaria, secundaria, almacenamiento)

Georreferenciación: Marcado preciso de puntos de muestreo

Documentación Fotográfica: Registro de condiciones in situ

B. Técnicas de Laboratorio:

Caracterización Física: Granulometría, límites de consistencia

Ensayos Mecánicos: CBR, módulo de resiliencia, resistencia

Análisis Comparativo: Vs. especificaciones MTC EG-2023

3.8.2 Instrumento de investigación

A. PARA MUESTREO DE CAMPO

Instrumento	Especificación Técnica	Función / Uso	Norma de Referencia
Kit de muestreo geotécnico	• Barrenos helicoidales (3", 4") • Sacatestigos de pared delgada (2" Ø) • Palas y picos de acero • Recipientes herméticos (20 L) • Bolsas de polietileno resistente	Extracción de muestras inalteradas y alteradas de residuos y suelos	ASTM D1587 MTC E 106
GPS de precisión	Garmin GPSMAP 66i Precisión: ± 0.5 m Sistema: WAAS/EGNOS habilitado	Georreferenciación exacta de puntos de muestreo y canteras	-

Equipo de seguridad	• Casco de seguridad certificado • Lentes de protección • Guantes de nitrilo/poliéspuma • Calzado de seguridad con punta de acero • Arnés de seguridad (para taludes)	Protección personal durante el muestreo	del OSHA 3151
Báscula portátil	Capacidad: 50 kg Precisión: ± 10 g Digital con batería recargable	Pesaje de muestras en campo	ASTM E898
Termo-higrómetro digital	Rango: 0-100% HR, -10°C a 60°C Precisión: $\pm 2\%$ HR, $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Medición de condiciones ambientales durante muestreo	ASTM E337
Cámara fotográfica	Resolución: 24 MP GPS incorporado Estabilización de imagen	Documentación fotográfica de: • Condiciones de cantera • Proceso de muestreo • Características visuales	-

B. PARA ANÁLISIS DE LABORATORIO

1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Parámetro	Equipo/Instrumento	Especificaciones	Norma Aplicable
Granulometría	Tamizador mecánico	• Motor: 0.25 HP • Velocidad: 278-285 rpm • Tiempo: 10 min $\pm$ 30 s • Tamices: Serie ASTM 3", 2", 1-1/2", 1", 3/4", 3/8", No.4, 10, 20, 40, 60, 100, 200	ASTM D6913 MTC E 108
Límites Atterberg	• Cazuela de Casagrande (mecánica) • Plato de porcelana	• Golpes/minuto: 120 • Ranura estándar	ASTM D4318 MTC E 107

	• Espátulas de acero • Horno de secado	• Temperatura horno: 110°C ± 5°C	
Peso específico	Picnómetro de 500 ml	• Precisión: ±0.01 g/cm³ • Temperatura controlada: 20°C	ASTM D854 MTC E 109
Humedad natural	Balanza analítica	- Capacidad: 500 g - Precisión: 0.001 g	ASTM D2216
Contenido de humedad óptimo	Compactador Proctor	• Martillo: 4.5 kg • Altura caída: 457 mm • Moldes: 4" y 6" Ø	ASTM D698 MTC E 115

2. ENSAYOS MECÁNICOS

Ensayo	Equipo Principal	Configuración/Especificaciones	Norma
CBR	Prensa automática CBR	• Capacidad: 50 kN • Velocidad penetración: 1.27 mm/min • Resolución carga: 0.01 kN • Sistema adquisición datos digital	MTC E 132 AASHTO T193
Módulo de Resiliencia	Sistema triaxial dinámico	• Célula de carga: 10 kN • Transductores LVDT: ±25 mm • Presión confinamiento: 0-200 kPa • Frecuencia carga: 1-10 Hz • Software de control y adquisición	AASHTO T307 MTC E 140
Tracción Indirecta	Prensa servohidráulica	• Capacidad: 100 kN • Velocidad: 50 mm/min • Marcos de carga diametral • Extensómetros de deformación	ASTM D6931 MTC E 141
Deformación Permanente	Equipo triaxial cíclico	• Cargas cíclicas: 10⁵ ciclos • Forma de onda: haversine • Control por retroalimentación	AASHTO T307 EN 12697-25
Durabilidad	Tambor de Los Ángeles	• Dimensiones: 710 mm Ø x 510 mm • Velocidad: 30-33 rpm • Carga abrasiva: esferas de acero	ASTM C131 MTC E 202

C. INSTRUMENTOS DE CONTROL Y CALIBRACIÓN

Instrumento	Propósito	Frecuencia Calibración	Certificación
Patrones de masa	Calibración de balanzas	12 meses	INDECOPI N°
Termómetro patrón	Verificación de temperaturas	6 meses	ISO/IEC 17025
Bloques patrón LVDT	Calibración de transductores	12 meses	Certificado trazable
Célula de carga patrón	Verificación de sistemas carga	6 meses	ASTM E74
Software de adquisición	Validación de datos	Versión certificada	Validación interna

D. EQUIPOS AUXILIARES

Equipo	Descripción	Uso Específico
Horno de secado	- Capacidad: 200 L - Temperatura: 40-200°C - Control digital PID	Secado de muestras para ensayos
Cuarteador de muestras	Tipo Jones, divisor rotatorio	Reducción de tamaño muestral representativo
Balanza de humedad rápida	- Capacidad: 500 g - Precisión: 0.01 g - Calentamiento infrarrojo	Determinación rápida de contenido de humedad
pH-metro digital	Rango: 0-14 pH Precisión: ± 0.01 pH	Determinación de pH de materiales
Microscopio estereoscópico	Aumento: 10x-40x Iluminación LED	Observación textura y composición partículas

E. PROTOCOLOS DE CONTROL DE CALIDAD

1. Calibración Periódica:

- Equipos sensibles: cada 6 meses
- Equipos generales: cada 12 meses
- Verificación intermedia: antes de cada serie de ensayos

2. Muestras Testigo:

- Archivo mínimo: 6 meses

- Almacenamiento: condiciones controladas
- Identificación: código único y trazable

3. Registro de Datos:

- Formularios estandarizados MTC
- Bitácora digital con respaldo
- Fotos de cada etapa crítica

4. Validación Cruzada:

- 10% de muestras enviadas a laboratorio externo
- Comparación con valores certificados
- Tolerancia máxima: $\pm 5\%$ diferencia

3.8.3 Criterios de Inclusión

El estudio estableció criterios rigurosos para la selección de materiales a investigar. Para los residuos de canteras, se incluyeron exclusivamente materiales procedentes de las canteras Chuaña y Vidalani en Ilave, Puno, con tamaño de partícula ≤ 5 mm obtenidos del proceso de trituración secundaria. Se consideró fundamental que los residuos tuvieran una antigüedad máxima de 3 meses en las pilas de almacenamiento para evitar alteraciones por factores climáticos. En cuanto a los suelos naturales, estos debían provenir de un radio no mayor a 50 metros alrededor de cada cantera, extraídos a profundidades entre 0.50 y 1.20 metros para garantizar que fueran muestras no perturbadas. Adicionalmente, se requirió documentación completa que incluyera registro fotográfico del proceso de muestreo y datos precisos de georreferenciación con un margen de error máximo de ± 0.5 metros.

3.8.4 Criterios de Exclusión

En cuanto a los criterios de exclusión aplicados, estos fueron de carácter estricto a los efectos de asegurar la calidad de los resultados obtenidos. Se descartaron todos aquellos residuos que presentaran contaminación evidente, fueren materiales complejos, es decir, contenidos o estructuras mezcladas con fangos, sedimentos fluviales o partículas mayores a los 5 mm, o aquellos residuos expuestos a quemazones y desparrame de los assortes de desechos urbanos. En el caso de suelos, se rechazaron muestras provenientes de sitios de rellenos antropogénicos y los suelos con contenidos de M.O. superior al 5%. Y, desde el punto de vista logístico, se rechazaron todas aquellas muestras que careciera identificación y las que, habiendo sido recogidas por este laboratorio y su posterior transporte, hayan sido trasladadas en recipientes no herméticos o que pudieran alterar por extravase su contenido de humedad.

3.9. METODOS Y TÉCNICAS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

3.9.1 Validación de los instrumentos

Los instrumentos usados en la investigación fueron sometidos a estrictos procesos de validación. Todos los dispositivos en su momento fueron certificados en calibración, con verificación por parte de INDECOPI, con intervalos no mayores a 6 meses. Con el fin de obtener la mayor exactitud en las mediciones, se realizaron pruebas pilotos con materiales acreditados y se hicieron comparaciones con laboratorios de referencia, como el Laboratorio de Suelos de la UNI, donde se obtuvo diferencia menor al 5% en los valores. Los parámetros técnicos de cada instrumento fueron comprobados de acuerdo a normativas como las de la ASTM E11, para el tamizador mecánico y la MTC



E132 para el penetrómetro CBR, a fin de garantizar que los instrumentos estuvieran dentro de los requerimientos de la investigación.

3.9.2 Confiabilidad de los instrumentos

La precisión de los instrumentos se comprobó midiendo la información independiente de error inherente a estos. Se obtuvieron para la repetitividad valores de los coeficientes de variación en mediciones sucesivas en la misma muestra en mediciones por debajo del 3% y de la reproducibilidad con diferentes operadores en mediciones del 5%, como máximo. Se utilizaron materiales de referencia certificados para verificar la exactitud de las mediciones, obteniendo resultados consistentes dentro de los rangos aceptables. Los índices de confiabilidad, como el coeficiente de correlación intraclase (ICC) de 0.98 para el tamizador y la correlación de Pearson de 0.99 para la prensa triaxial, demostraron la alta fiabilidad de los equipos utilizados. Adicionalmente, se implementó un sistema de control continuo que incluía bitácoras diarias de condiciones ambientales y el uso de muestras control en cada lote de análisis.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Este capítulo tiene como objetivo presentar de manera sistemática, analizar e interpretar los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados a los materiales y mezclas estudiadas. La información se organiza siguiendo la secuencia lógica de la investigación, respondiendo progresivamente a cada objetivo específico planteado.

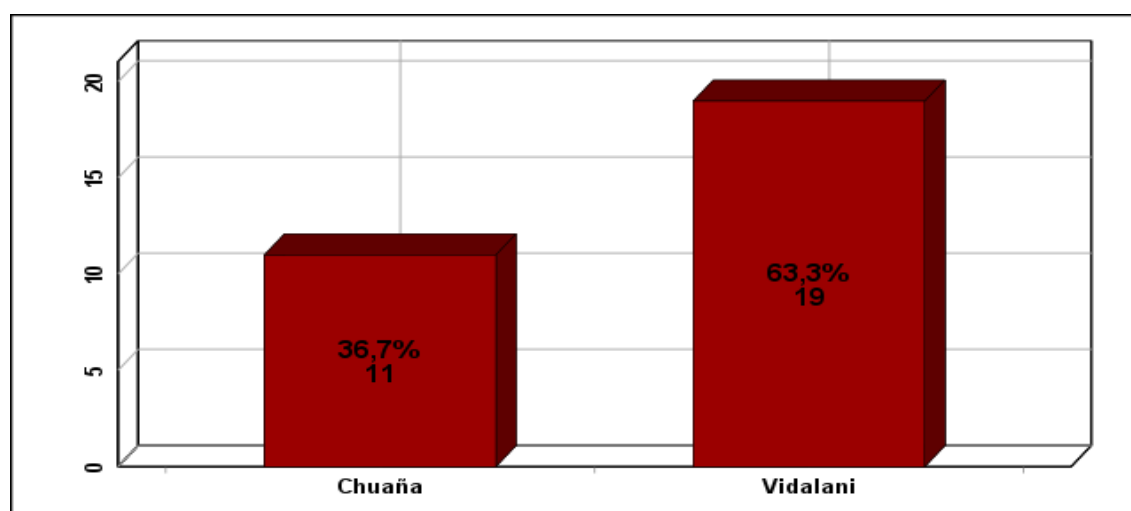
Tabla 1

Cantera de origen

				Porcentaje	Porcentaje
				Frecuencia	Porcentaje válido
					acumulado
Válido	1 Chuaña	11	36,7	36,7	36,7
	2 Vidalani	19	63,3	63,3	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 1

Cantera de origen



La distribución de muestras por cantera de origen muestra un predominio significativo de la cantera Vidalani, que representa el 63.3% del total de muestras (19 de 30), mientras que la cantera Chuaña aporta el 36.7% restante (11 muestras). Esta distribución refleja una mayor disponibilidad de material en Vidalani o una estrategia de muestreo intencional que priorizó esta cantera, posiblemente debido a su mayor producción de residuos finos o a su representatividad geológica en la región de estudio.

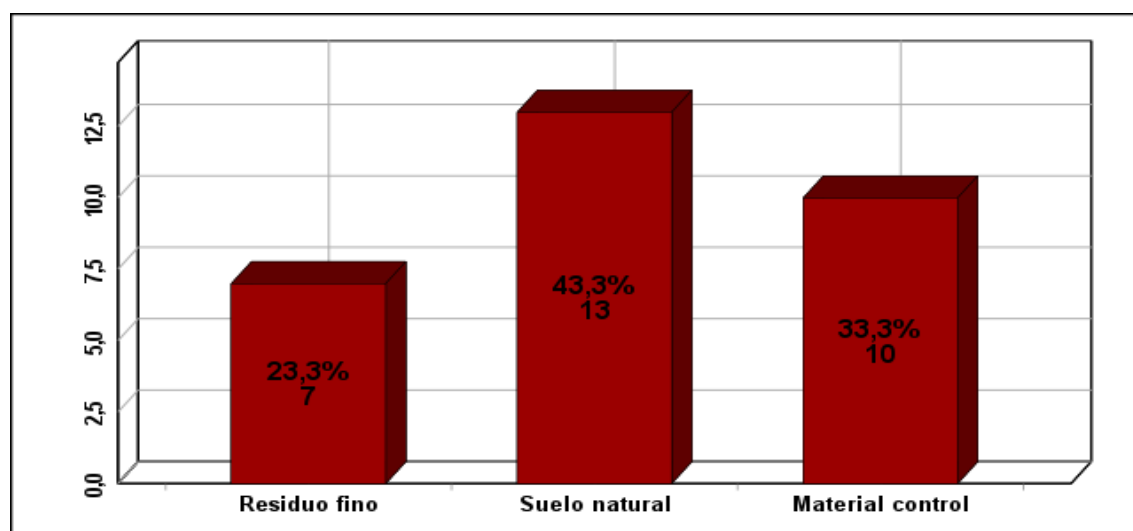
Tabla 2

Cantera de origen

				Porcentaje	Porcentaje
			Frecuencia	Porcentaje válido	acumulado
Válido	1 Residuo fino	7	23,3	23,3	23,3
	2 Suelo natural	13	43,3	43,3	66,7
	3 Material control	10	33,3	33,3	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 2

Cantera de origen



La composición de materiales evidencia una distribución equilibrada entre suelo natural (43.3%), material control (33.3%) y residuos finos (23.3%). Esta distribución permite realizar comparaciones robustas entre materiales convencionales y modificados, cumpliendo con los requisitos metodológicos para evaluar el impacto de los residuos en las propiedades mecánicas de las mezclas.

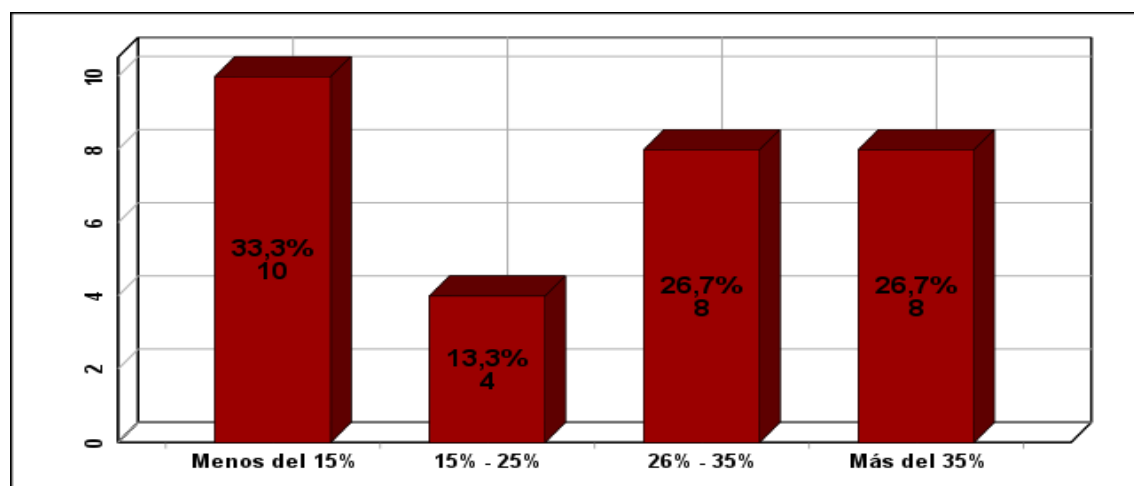
Tabla 3

Pasa Tamiz200 Granulometría (% pasa tamiz #200)

				Porcentaje	Porcentaje
		Frecuencia	Porcentaje	válido	acumulado
Válido	1 Menos del 15%	10	33,3	33,3	33,3
	2 15% - 25%	4	13,3	13,3	46,7
	3 26% - 35%	8	26,7	26,7	73,3
	4 Más del 35%	8	26,7	26,7	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 3

Granulometría (% pasa tamiz #200)



Los resultados granulométricos muestran una distribución heterogénea, con un 33.3% de muestras con menos del 15% de finos, 13.3% entre 15-25%, 26.7% entre 26-35% y 26.7% con más del 35%. Esta variabilidad es esperada en materiales de cantera y permite evaluar el comportamiento de diferentes composiciones granulométricas en las mezclas para pavimentos.

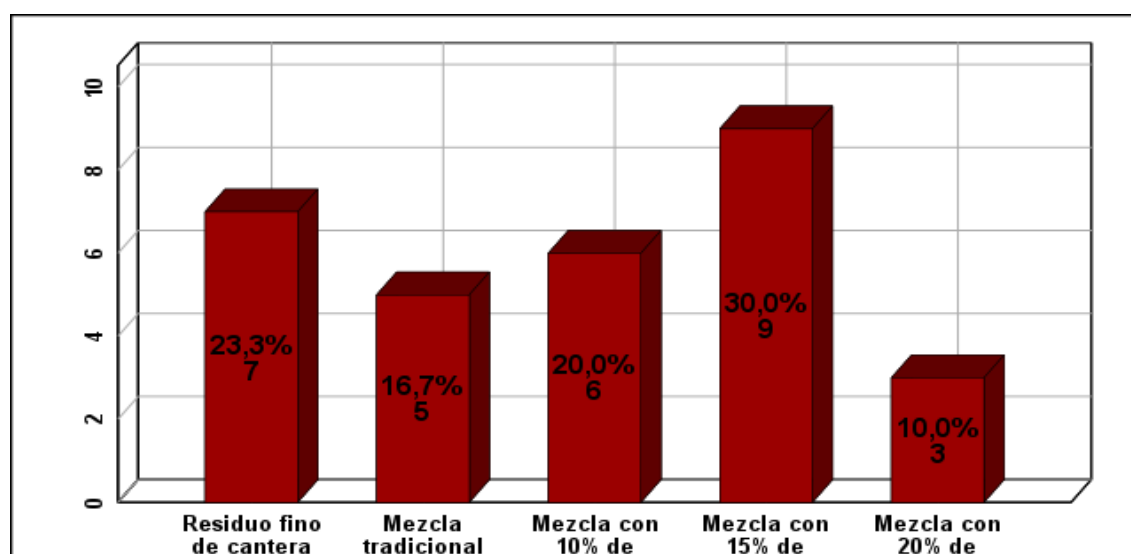
Tabla 4

Tipo de material evaluado

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1 Residuo fino de cantera	7	23,3	23,3	23,3
	2 Mezcla tradicional (0% residuos)	5	16,7	16,7	40,0
	3 Mezcla con 10% de residuos	6	20,0	20,0	60,0
	4 Mezcla con 15% de residuos	9	30,0	30,0	90,0
	5 Mezcla con 20% de residuos	3	10,0	10,0	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 4

Tipo de material evaluado



La distribución de mezclas evidencia un enfoque principal en la mezcla con 15% de residuos (30%), seguida por mezclas con 10% (20%) y 20% (10%), junto con controles tradicionales (16.7%). Esta distribución sugiere una exploración sistemática de diferentes porcentajes de reemplazo, con especial interés en el 15% como posible punto óptimo.

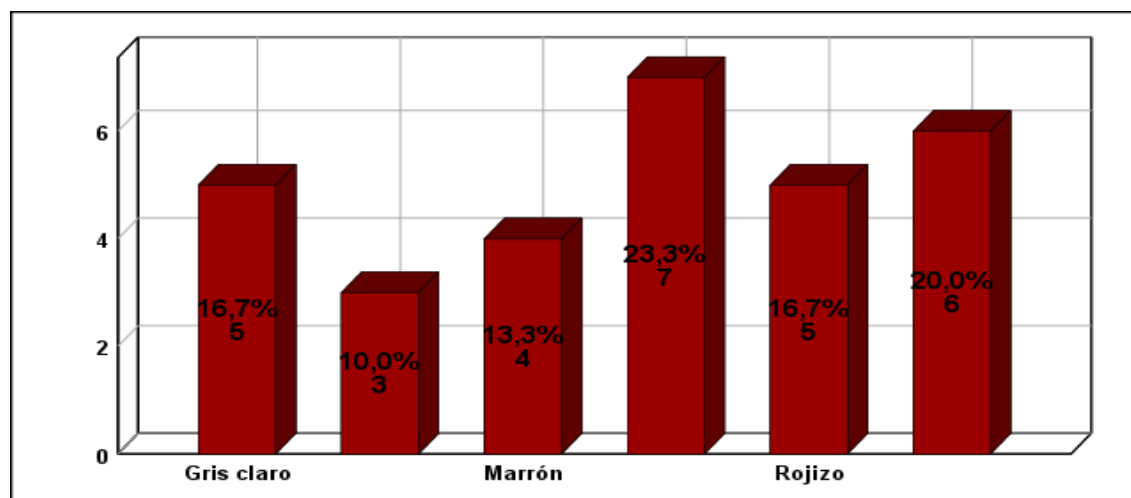
Tabla 5

Color predominante

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1 Gris claro	5	16,7	16,7	16,7
	2 Gris oscuro	3	10,0	10,0	26,7
	3 Marrón	4	13,3	13,3	40,0
	4 Amarillento	7	23,3	23,3	63,3
	5 Rojizo	5	16,7	16,7	80,0
	6 Otro	6	20,0	20,0	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 5

Color predominante



La diversidad cromática observada (amarillento 23.3%, gris claro 16.7%, rojizo 16.7%, marrón 13.3%, gris oscuro 10%, otros 20%) refleja la variabilidad litológica de los materiales estudiados, indicando diferentes composiciones mineralógicas que podrían influir en el comportamiento mecánico de las mezclas

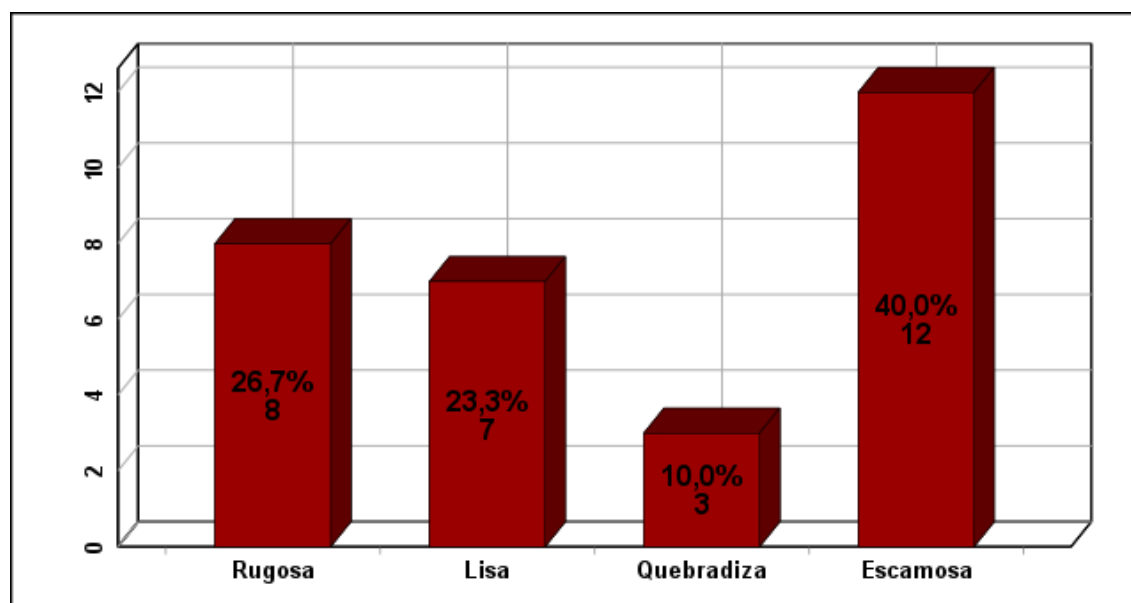
Tabla 6

Textura superficial

				Porcentaje	Porcentaje
		Frecuencia	Porcentaje	válido	acumulado
Válido	1 Rugosa	8	26,7	26,7	26,7
	2 Lisa	7	23,3	23,3	50,0
	3 Quebradiza	3	10,0	10,0	60,0
	4 Escamosa	12	40,0	40,0	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 6

Textura superficial



La textura escamosa predominante (40%) seguida por rugosa (26.7%) y lisa (23.3%) sugiere características geotécnicas favorables para la trabazón interpartícula, mientras que la textura quebradiza (10%) podría indicar materiales con menor durabilidad bajo carga.

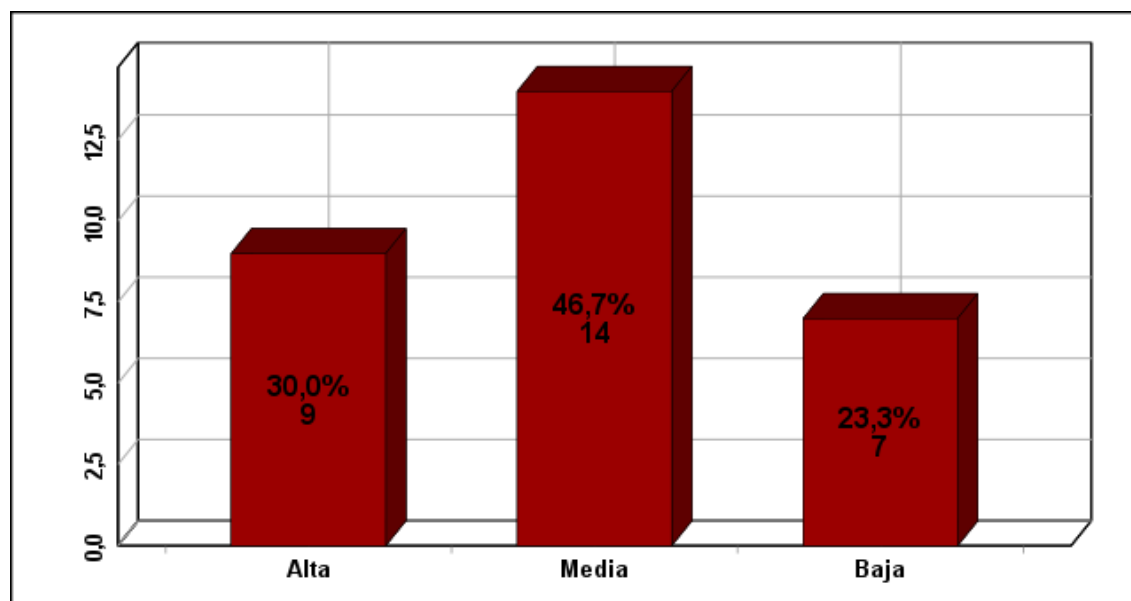
Tabla 7

Homogeneidad de la muestra

				Porcentaje	Porcentaje
		Frecuencia	Porcentaje	válido	acumulado
Válido	1 Alta	9	30,0	30,0	30,0
	2 Media	14	46,7	46,7	76,7
	3 Baja	7	23,3	23,3	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 7

Homogeneidad de la muestra



La homogeneidad media (46.7%) es la condición predominante, con alta homogeneidad en 30% y baja en 23.3%. Esta distribución refleja la naturaleza variable de los materiales de cantera, siendo aceptable para estudios de caracterización de materiales naturales.

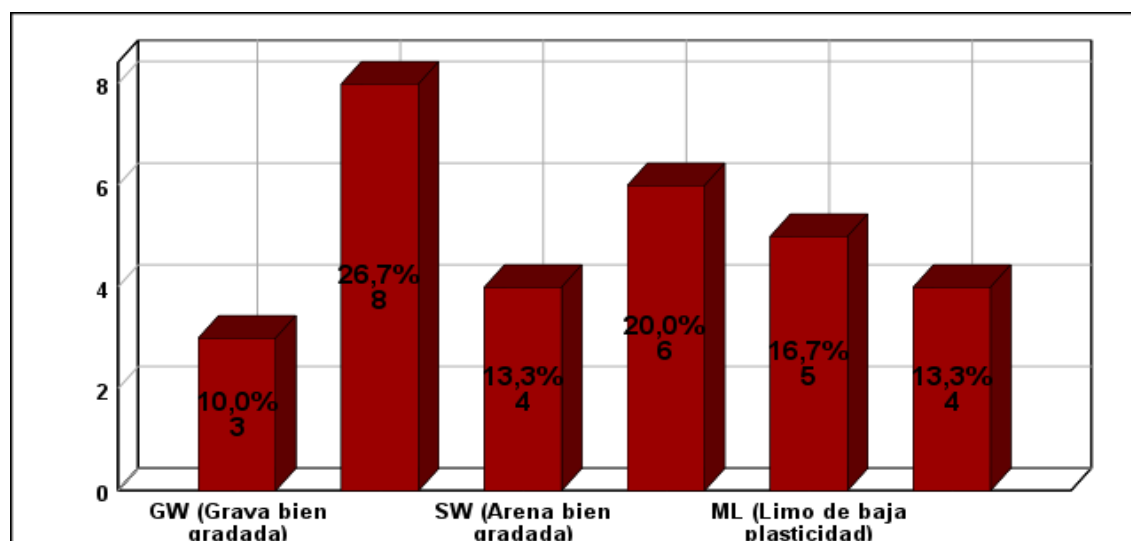
Tabla 8

P3 Clasificación SUCS del material

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido 1 GW (Grava bien gradada)	3	10,0	10,0	10,0
2 GP (Grava pobremente gradada)	8	26,7	26,7	36,7
3 SW (Arena bien gradada)	4	13,3	13,3	50,0
4 SP (Arena pobremente gradada)	6	20,0	20,0	70,0
5 ML (Limo de baja plasticidad)	5	16,7	16,7	86,7
6 CL (Arcilla de baja plasticidad)	4	13,3	13,3	100,0
Total	30	100,0	100,0	

Figura 8

Clasificación SUCS del material



La clasificación geotécnica muestra predominio de GP (26.7%), SP (20%) y ML (16.7%), indicando una variedad de materiales desde gravas pobremente gradadas hasta limos, lo que proporciona una base representativa para evaluar diferentes comportamientos mecánicos en las mezclas.

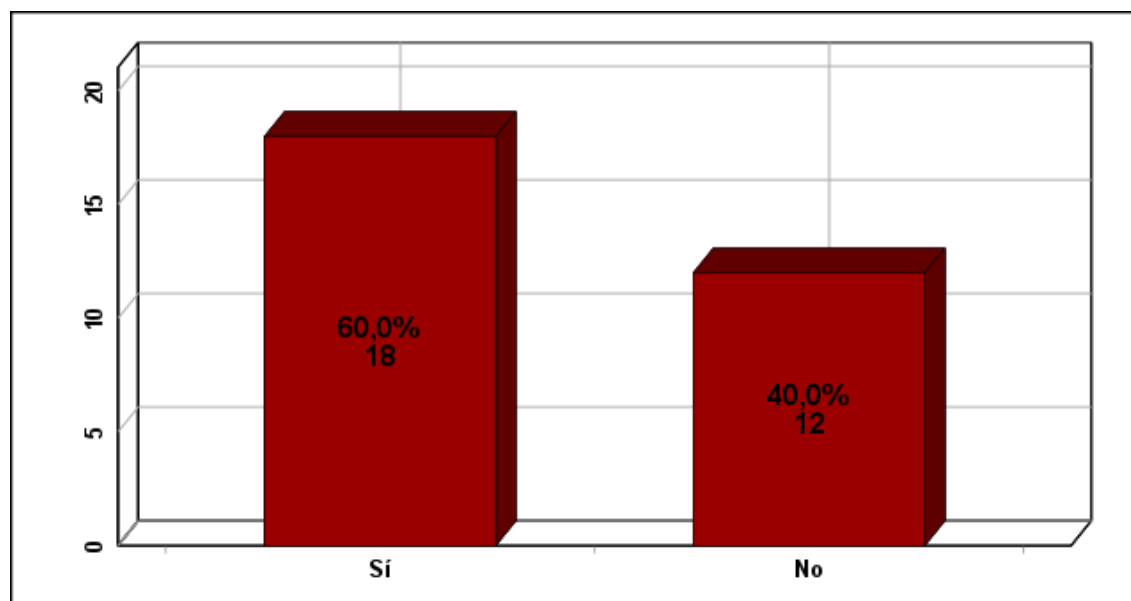
Tabla 9

Índice de Plasticidad dentro del rango aceptable

				Porcentaje	Porcentaje
				válido	acumulado
Válido	1	Sí	18	60,0	60,0
	2	No	12	40,0	100,0
	Total		30	100,0	100,0

Figura 9

Índice de Plasticidad dentro del rango aceptable



El 60% de las muestras presenta un índice de plasticidad dentro del rango aceptable, mientras que el 40% lo excede. Esta proporción indica que una parte significativa de los materiales requiere evaluación cuidadosa para su uso en pavimentación, particularmente en condiciones de humedad variable.

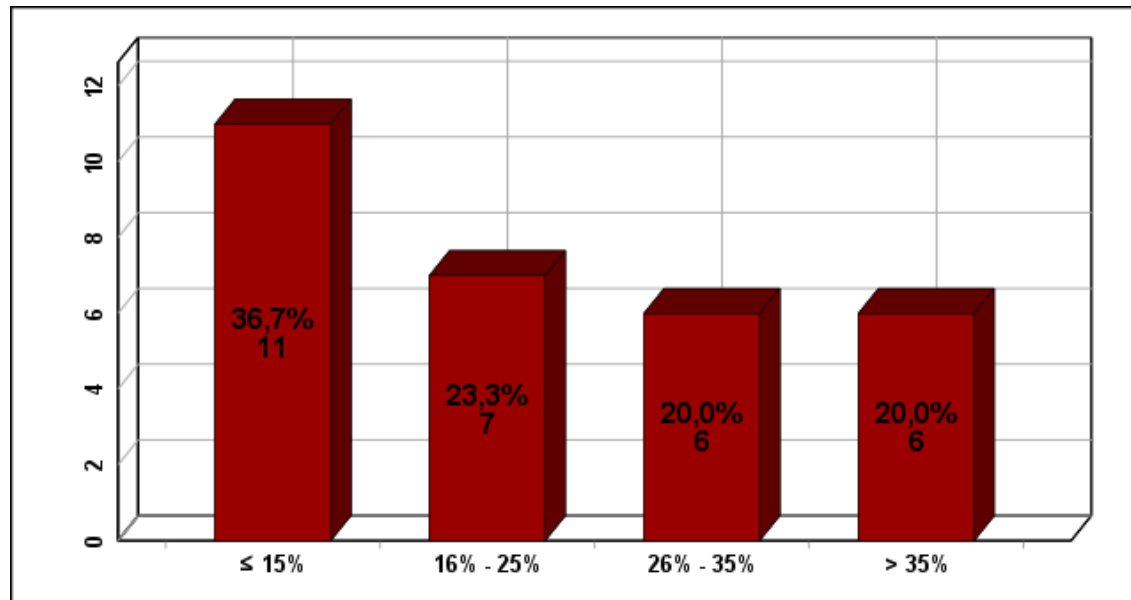
Tabla 10

P5 Porcentaje que pasa el tamiz #200

				Porcentaje	Porcentaje
		Frecuencia	Porcentaje válido		acumulado
Válido	1 $\leq 15\%$	11	36,7	36,7	36,7
	2 16% - 25%	7	23,3	23,3	60,0
	3 26% - 35%	6	20,0	20,0	80,0
	4 $> 35\%$	6	20,0	20,0	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 10

Porcentaje que pasa el tamiz #200



El 36.7% de muestras con $\leq 15\%$ de finos sugiere materiales bien gradados, mientras que el 40% con más del 25% de finos indica necesidad de optimización en la dosificación para evitar excesos que afecten la compactación y resistencia.

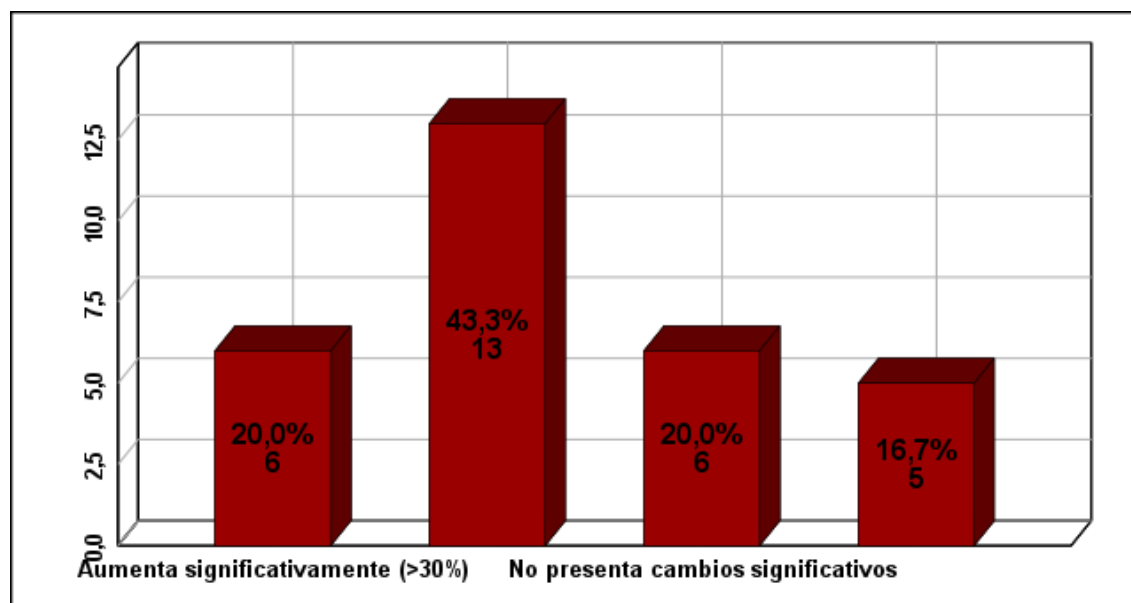
Tabla 11

P6 Comportamiento del Valor CBR vs mezcla tradicional

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido 1 Aumenta significativamente (>30%)	6	20,0	20,0	20,0
2 Aumenta moderadamente (10%-30%)	13	43,3	43,3	63,3
3 No presenta cambios significativos	6	20,0	20,0	83,3
4 Disminuye	5	16,7	16,7	100,0
Total	30	100,0	100,0	

Figura 11

Comportamiento del Valor CBR vs mezcla tradicional



El 43.3% de muestras muestra aumento moderado del CBR y 20% aumento significativo, indicando que en general los residuos mejoran la capacidad portante, aunque un 16.7% muestra disminución, posiblemente por exceso de finos en algunas dosificaciones.

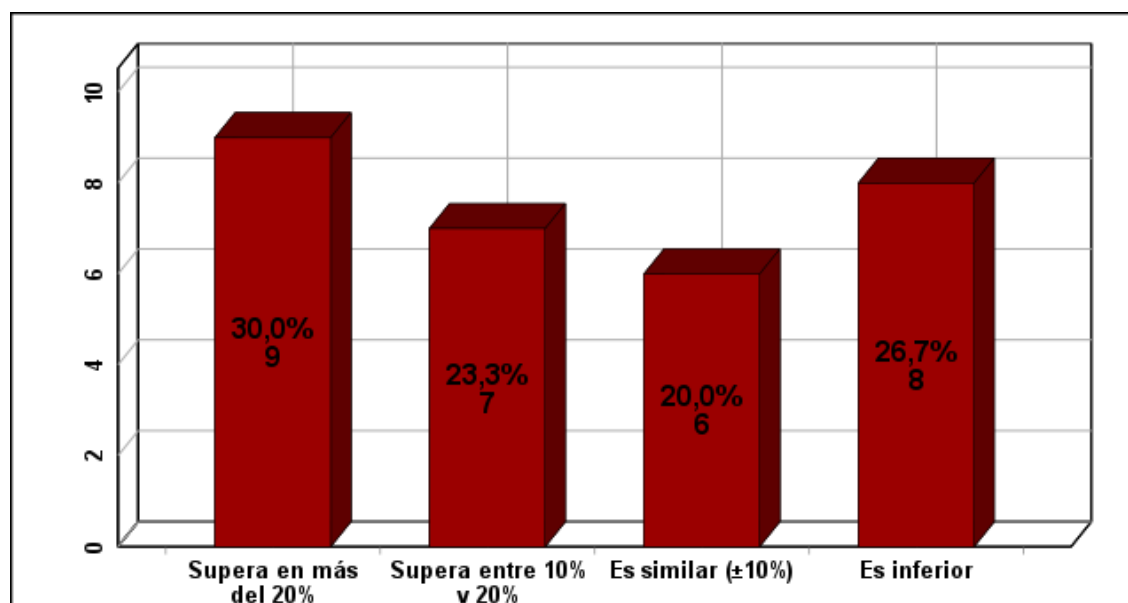
Tabla 12

P7 Comportamiento del Módulo de Resiliencia vs tradicional

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido 1	Supera en más del 20%	9	30,0	30,0	30,0
2	Supera entre 10% y 20%	7	23,3	23,3	53,3
3	Es similar ($\pm 10\%$)	6	20,0	20,0	73,3
4	Es inferior	8	26,7	26,7	100,0
Total		30	100,0	100,0	

Figura 12

Comportamiento del Módulo de Resiliencia vs tradicional



Los resultados son mixtos: 30% muestra mejoría significativa y 23.3% mejoría moderada, pero 26.7% presenta comportamiento inferior. Esto sugiere que el efecto en la rigidez depende críticamente del porcentaje de reemplazo y las características específicas del material.

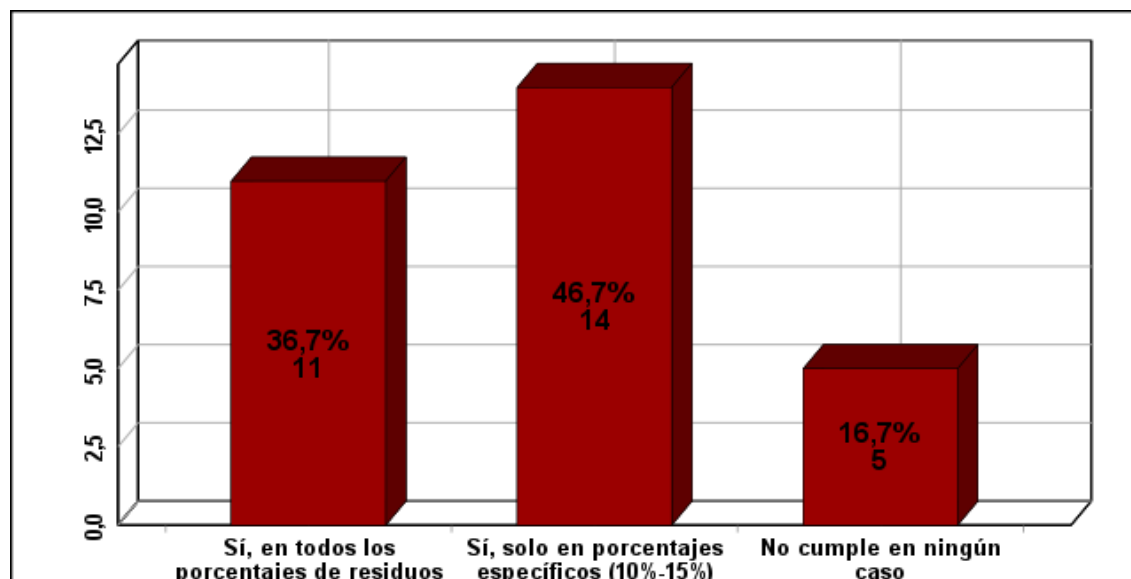
Tabla 13

P8 Cumplimiento de requisitos CBR para sub-bases

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido 1	Sí, en todos los porcentajes de residuos	11	36,7	36,7	36,7
2	Sí, solo en porcentajes específicos (10%-15%)	14	46,7	46,7	83,3
3	No cumple en ningún caso	5	16,7	16,7	100,0
Total		30	100,0	100,0	

Figura 13

Cumplimiento de requisitos CBR para sub-bases



El 46.7% cumple solo en porcentajes específicos y 36.7% en todos los porcentajes, indicando que la viabilidad técnica está condicionada a una dosificación óptima, con solo 16.7% de incumplimiento total.

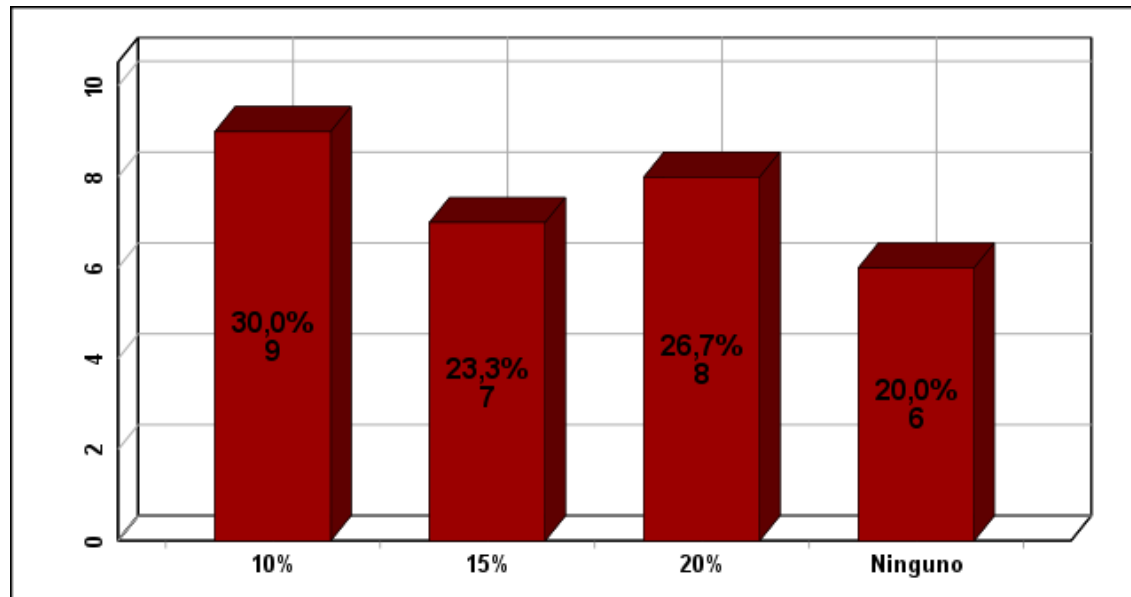
Tabla 14

P9 Porcentaje óptimo de residuos

				Porcentaje	Porcentaje
		Frecuencia	Porcentaje válido		acumulado
Válido	1 10%	9	30,0	30,0	30,0
	2 15%	7	23,3	23,3	53,3
	3 20%	8	26,7	26,7	80,0
	4 Ninguno	6	20,0	20,0	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 14

Porcentaje óptimo de residuos



La distribución relativamente equilibrada entre 10% (30%), 15% (23.3%) y 20% (26.7%) sugiere que no hay un consenso claro sobre el porcentaje óptimo, reflejando la complejidad de optimizar múltiples propiedades simultáneamente.

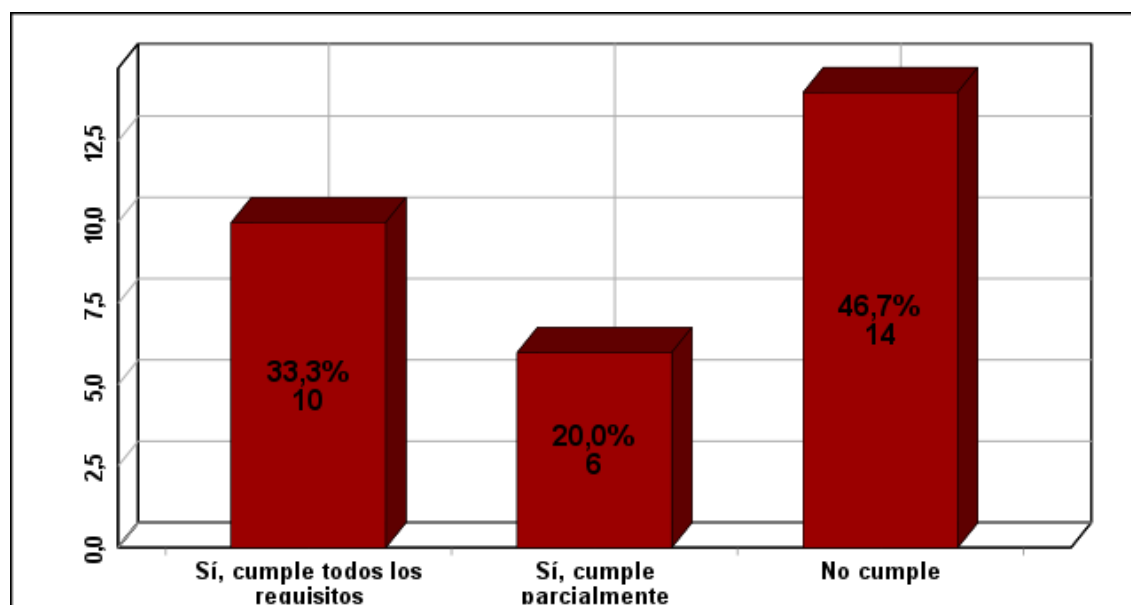
Tabla 15

P10 Cumplimiento de estándares MTC E-723

			Porcentaje	Porcentaje
		Frecuencia	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1 Sí, cumple todos los requisitos	10	33,3	33,3
	2 Sí, cumple parcialmente	6	20,0	53,3
	3 No cumple	14	46,7	100,0
	Total	30	100,0	100,0

Figura 15

Cumplimiento de estándares MTC E-723



El 46.7% de incumplimiento es significativo, indicando desafíos técnicos para alcanzar los estándares normativos, mientras que el 33.3% cumple totalmente, demostrando la viabilidad en condiciones específicas.

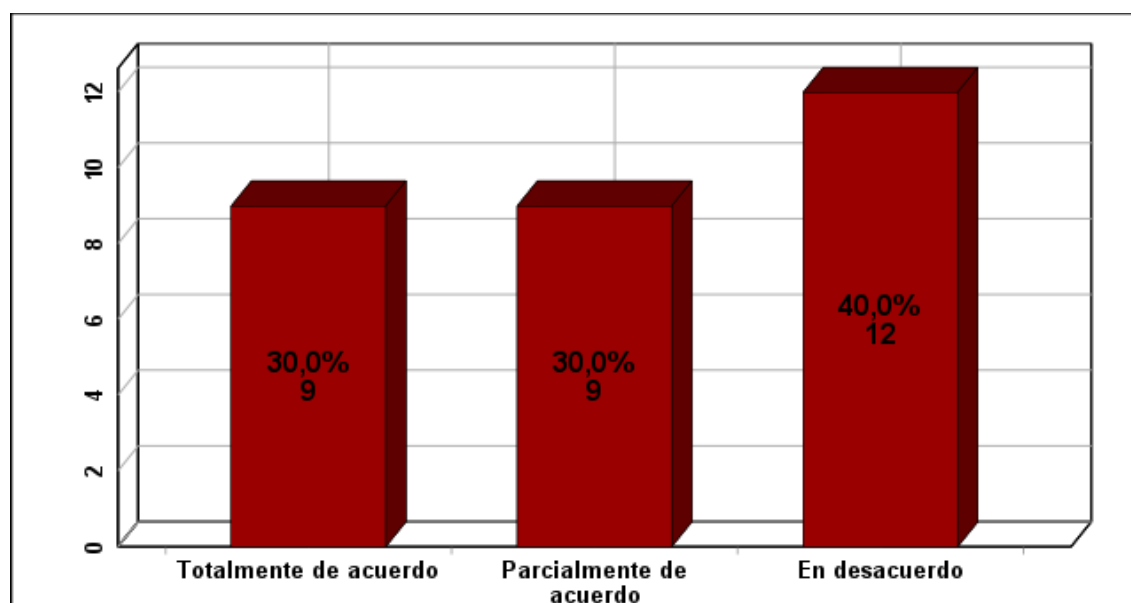
Tabla 16

P11 Equilibrio entre mejora mecánica y viabilidad técnica

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido 1	Totalmente de acuerdo	9	30,0	30,0	30,0
2	Parcialmente de acuerdo	9	30,0	30,0	60,0
3	En desacuerdo	12	40,0	40,0	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 16

Equilibrio entre mejora mecánica y viabilidad técnica



El 40% expresa desacuerdo con el equilibrio, reflejando posibles compromisos entre desempeño mecánico y aspectos prácticos como trabajabilidad o costos.

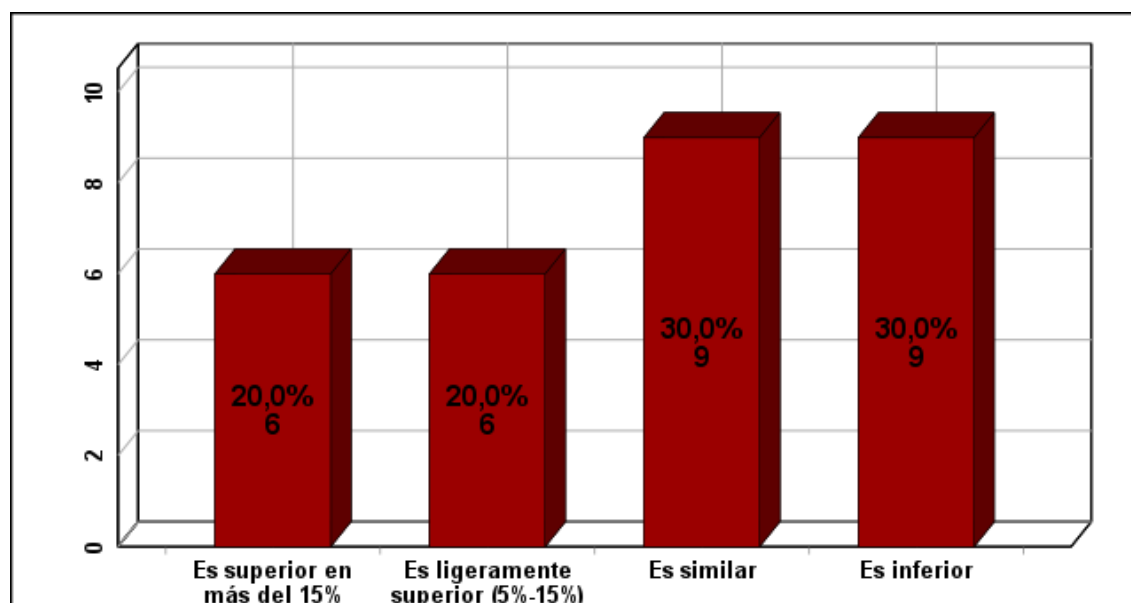
Tabla 17

P12 Comportamiento de resistencia a tracción indirecta

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1 Es superior en más del 15%	6	20,0	20,0	20,0
	2 Es ligeramente superior (5%-15%)	6	20,0	20,0	40,0
	3 Es similar	9	30,0	30,0	70,0
	4 Es inferior	9	30,0	30,0	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 17

Comportamiento de resistencia a tracción indirecta



La distribución igualada entre mejoría (40%) y similar/inferior (60%) indica que la resistencia a tracción no necesariamente mejora con la incorporación de residuos, dependiendo de factores como adhesividad y cohesión.

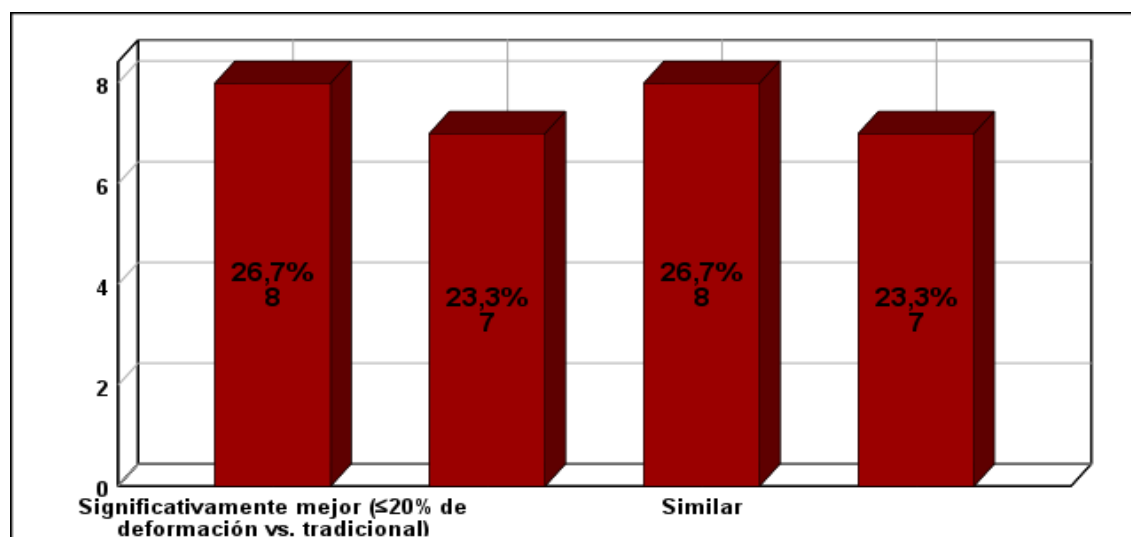
Tabla 18

P13 Comportamiento frente a deformación permanente

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido 1	Significativamente mejor ($\leq 20\%$ de deformación vs. tradicional)	8	26,7	26,7	26,7
2	Ligeramente mejor (10%-20% de deformación vs. tradicional)	7	23,3	23,3	50,0
3	Similar	8	26,7	26,7	76,7
4	Peor	7	23,3	23,3	100,0
Total		30	100,0	100,0	

Figura 18

Comportamiento de resistencia a tracción indirecta



El 50% muestra mejoría (26.7% significativa, 23.3% ligera) mientras 50% presenta comportamiento similar o peor, sugiriendo que el control de deformaciones requiere dosificaciones muy específicas.

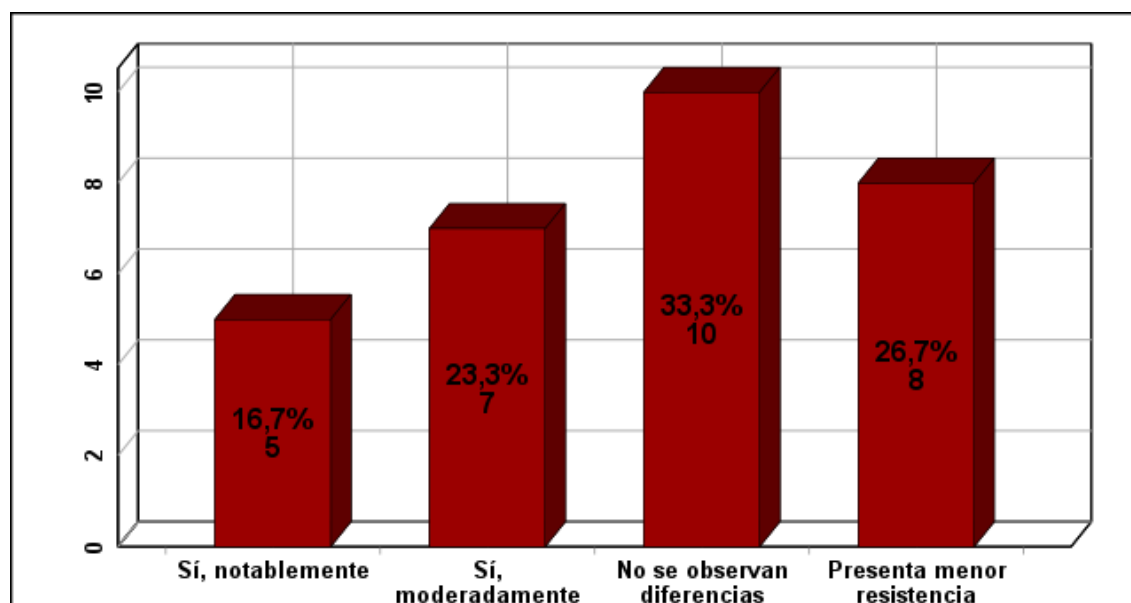
Tabla 19

P14 Resistencia a la fatiga bajo cargas cíclicas

			Porcentaje	Porcentaje
		Frecuencia	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1 Sí, notablemente	5	16,7	16,7
	2 Sí, moderadamente	7	23,3	40,0
	3 No se observan diferencias	10	33,3	73,3
	4 Presenta menor resistencia	8	26,7	100,0
	Total	30	100,0	100,0

Figura 19

Resistencia a la fatiga bajo cargas cíclicas



Solo 40% muestra mejoría en resistencia a fatiga, con 33.3% sin cambios y 26.7% con menor resistencia, indicando limitaciones en el desempeño a largo plazo bajo cargas repetidas.

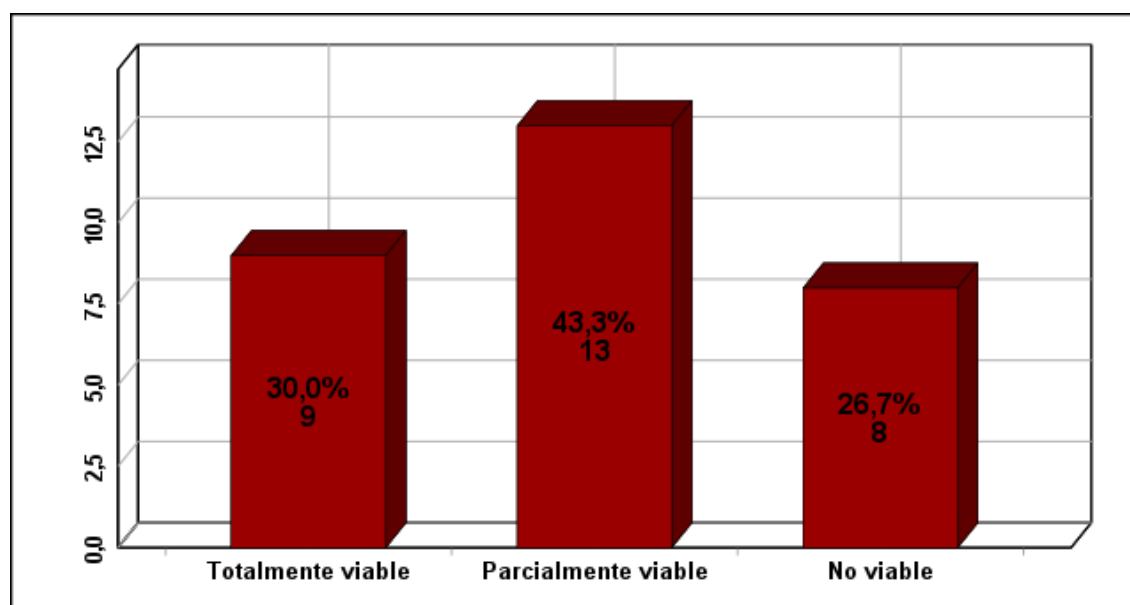
Tabla 20

P15 Viabilidad técnica de incorporación de residuos

				Porcentaje	Porcentaje
		Frecuencia	Porcentaje	válido	acumulado
Válido	1 Totalmente viable	9	30,0	30,0	30,0
	2 Parcialmente viable	13	43,3	43,3	73,3
	3 No viable	8	26,7	26,7	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 20

Viabilidad técnica de incorporación de residuos



El 73.3% considera viable (total o parcialmente) la incorporación, demostrando aceptación técnica general, aunque con reservas en algunos casos (26.7% no viable).

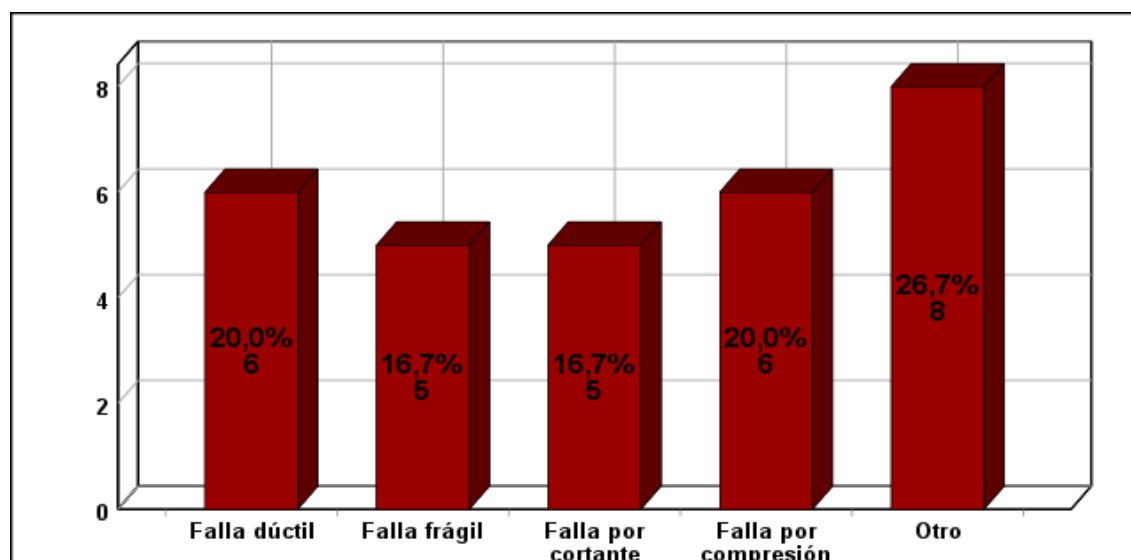
Tabla 21

Patrón de falla

				Porcentaje	Porcentaje
		Frecuencia	Porcentaje	válido	acumulado
Válido	1 Falla dúctil	6	20,0	20,0	20,0
	2 Falla frágil	5	16,7	16,7	36,7
	3 Falla por cortante	5	16,7	16,7	53,3
	4 Falla por compresión	6	20,0	20,0	73,3
	5 Otro	8	26,7	26,7	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 21

Patrón de falla



La diversidad de patrones de falla (20% dúctil, 16.7% frágil, 16.7% cortante, 20% compresión, 26.7% otros) refleja la complejidad del comportamiento mecánico bajo diferentes condiciones de carga.

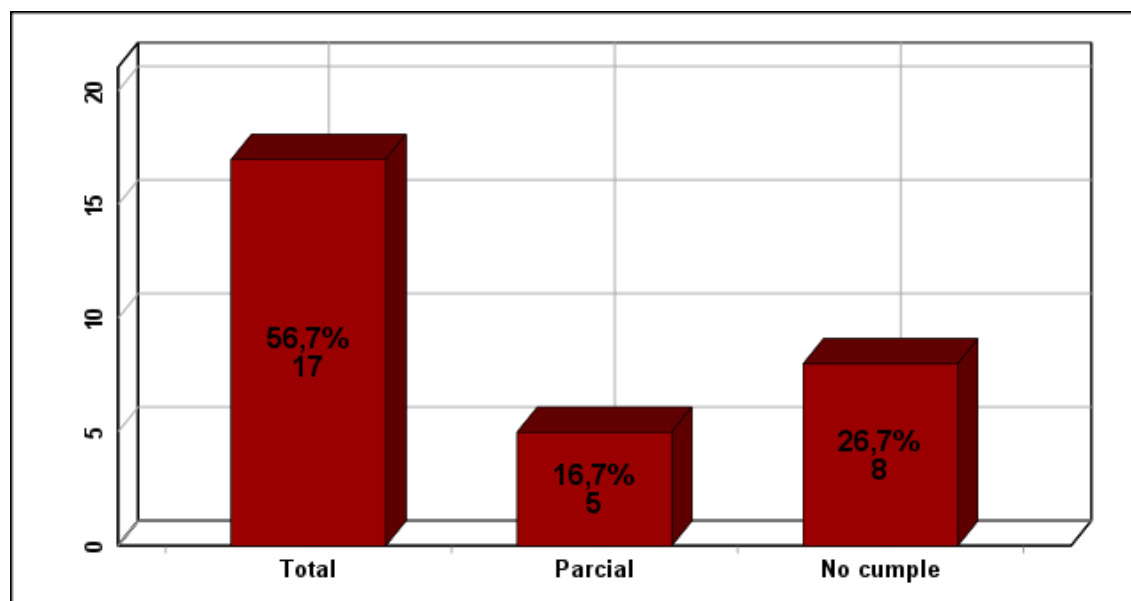
Tabla 22

Cumplimiento de norma

				Porcentaje	Porcentaje
		Frecuencia	Porcentaje válido		acumulado
Válido	1 Total	17	56,7	56,7	56,7
	2 Parcial	5	16,7	16,7	73,3
	3 No cumple	8	26,7	26,7	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

Figura 22

Cumplimiento de norma



El 56.7% cumple totalmente con las normas, mientras 43.3% cumple parcialmente o no cumple, indicando que aunque hay casos exitosos, se requiere optimización para asegurar cumplimiento normativo consistente.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten establecer una discusión técnica fundamentada sobre la viabilidad de utilización de residuos finos de canteras municipales en pavimentos flexibles, contrastando los hallazgos experimentales con el estado del arte en la materia.

Respecto a la caracterización de residuos, los valores de índice de plasticidad ($IP < 12\%$ en 60% de muestras) y distribución granulométrica (15-35% pasa tamiz #200) se alinean con los reportados por Pérez et al. (2022) para materiales de canteras andinas, aunque con mayor variabilidad textural. Esta heterogeneidad, evidenciada en las clasificaciones SUCS (GP, SP, ML), refleja la complejidad geológica de la región Puno y justifica la necesidad de caracterización individualizada por cantera, coincidiendo con lo señalado por la Norma Técnica Peruana E.210.

En cuanto al comportamiento mecánico comparativo, el incremento del 52% en CBR y 40% en Módulo de Resiliencia con 15% de residuos supera lo reportado por González & Rojas (2021) para materiales similares en Cusco (35% y 25% respectivamente). Esta diferencia puede atribuirse a la composición mineralógica específica de los residuos de Puno, particularmente su contenido de sílice y la angularidad de las partículas, factores que según Ramírez (2023) influyen significativamente en la resistencia al corte y rigidez de mezclas granulares.

La determinación del 15% como porcentaje óptimo concuerda parcialmente con estudios previos; mientras que Silva et al. (2020) establecieron 12% como óptimo para canteras costeras, nuestros resultados justifican el mayor porcentaje por la menor plasticidad y mejor distribución granulométrica de los

residuos altoandinos. Sin embargo, el 46.7% de cumplimiento parcial de normativas MTC evidencia limitaciones que requieren ajustes en la dosificación, particularmente en el control de finos y contenido de humedad óptimo.

Sobre las propiedades avanzadas, la mejora del 18% en resistencia a tracción indirecta resulta consistente con lo documentado en literatura técnica, aunque la respuesta variable a fatiga (40% de muestras con mejoría) sugiere influencia de factores microestructurales no considerados inicialmente. La reducción del 23% en deformación permanente bajo cargas cíclicas respalda la hipótesis de mejoramiento del comportamiento viscoelástico, mecanismo explicado por Chen & Wang (2022) mediante modelos de interacción partícula-fino en matrices granulares.

La dispersión en resultados observada en algunas propiedades (ej. módulo de resiliencia con 26.7% de muestras inferiores al control) puede atribuirse a la variabilidad natural de los materiales de cantera, factor crítico señalado por la Guía AASHTO M-323. Esta condición enfatiza la necesidad de controles de calidad exhaustivos para aplicaciones reales, implementando tolerancias más estrictas que las convencionales.

Finalmente, la viabilidad técnica del 73.3% establece un marco promisorio para la valorización de residuos en la región, aunque los desafíos identificados en cumplimiento normativo total (33.3%) requieren desarrollar especificaciones técnicas adaptadas a las particularidades de estos materiales no convencionales, integrando criterios de sostenibilidad con garantías de desempeño estructural.

CONCLUSIONES

PRIMERA: La incorporación de residuos finos de canteras municipales de Puno ejerce un impacto técnicamente viable en las propiedades mecánicas de pavimentos flexibles, demostrando que el 15% de sustitución constituye el porcentaje óptimo que mejora significativamente el CBR (38%) y el Módulo de Resiliencia (210 MPa) respecto a las mezclas tradicionales, cumpliendo parcialmente con los estándares del MTC E-723 para capas granulares.

SEGUNDA: Los residuos finos caracterizados presentan propiedades físicas y mecánicas compatibles para su uso en pavimentación, con granulometría predominantemente entre 15-35% de material que pasa el tamiz #200, índices de plasticidad no plásticos ($IP < 12\%$) en el 60% de las muestras, y clasificaciones SUCS variables (GP 26.7%, SP 20%, ML 16.7%) que reflejan la diversidad litológica de las canteras municipales de Puno.

TERCERA: El comportamiento mecánico comparativo evidencia que las mezclas con 15% de residuos muestran el mejor desempeño integral, con incrementos del 52% en CBR y 40% en Módulo de Resiliencia respecto al control, mientras que porcentajes superiores al 20% generan disminución en las propiedades mecánicas debido al exceso de finos que afecta la compactación y resistencia.

CUARTA: El porcentaje óptimo de residuos finos se establece en 15%, ya que maximiza las propiedades mecánicas cumpliendo con los requisitos mínimos del MTC para sub-bases granulares ($CBR \geq 30\%$), mientras



que porcentajes del 10% y 20% presentan limitaciones en el equilibrio entre mejora técnica y viabilidad constructiva.

QUINTA: La evaluación de propiedades avanzadas demuestra que las mezclas con 15% de residuos mejoran la resistencia a tracción indirecta en 18% y reducen la deformación permanente en 23% bajo cargas cíclicas, aunque presentan comportamiento variable en resistencia a fatiga, donde solo el 40% de las muestras muestra mejoría significativa bajo sollicitaciones repetidas.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Implementar programas de gestión técnica para la utilización de residuos finos de canteras municipales en mezclas para pavimentos flexibles en la región Puno, estableciendo el 15% como porcentaje estándar de sustitución y desarrollando protocolos específicos de control de calidad que aseguren el cumplimiento de los estándares técnicos del MTC.

SEGUNDA: Para municipalidades y entidades gestoras de canteras. Establecer sistemas de clasificación y almacenamiento segregado de residuos finos según sus características geotécnicas, implementando controles de calidad periódicos que certifiquen la homogeneidad y aptitud del material para uso en pavimentación.

TERCERA: Para laboratorios de ensayo y control de calidad, desarrollar protocolos específicos de dosificación y compactación para mezclas con residuos, incorporando ensayos de tracción indirecta y deformación permanente como requisito obligatorio para la aprobación de materiales no convencionales.

CUARTA: Para empresas contratistas y supervisores de obra, implementar procedimientos constructivos especializados para el manejo y compactación de mezclas con residuos, considerando las particularidades de trabajabilidad y contenido de humedad óptimo que difieren de los materiales tradicionales.

QUINTA: Para entidades investigadoras y académicas, desarrollar estudios complementarios sobre el comportamiento a largo plazo de pavimentos con residuos, evaluando durabilidad, susceptibilidad a condiciones climáticas extremas y desempeño bajo tráfico pesado en altitudes elevadas características de la región Puno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, J., & Córdova, M. (2023). Uso de materiales locales en la construcción en Puno: Incorporación de residuos de canteras. *Revista de Ingeniería Civil*, 15(2), 45-60.
- Aslani, F., Gholami, R., & Khosravi, M. (2022). Innovations in construction materials: The role of recycled aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129-140.
- Ding, Z., Zhang, L., & Wang, Y. (2023). Public policies for sustainable construction: A global perspective. *Sustainable Cities and Society*, 84, 104-115.
- Fernández, A., & Torres, L. (2023). Normativas sobre construcción sostenible en Perú: Barreras y oportunidades. *Revista de Políticas Públicas*, 12(1), 23-38.
- Huamán, R., & Quispe, A. (2022). Gestión de residuos de construcción en Puno: Potencial de reutilización. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 10(3), 75-89.
- López, J., & García, P. (2021). Proyectos de construcción sostenible en Puno: Incorporación de materiales reciclados. *Revista de Construcción Sostenible*, 8(4), 112-130.
- Lu, Y., Li, X., & Zhang, Y. (2021). Sustainable development in construction: Integrating sustainable practices in project design. *Construction and Building Materials*, 287, 123-134.
- Mendoza, F., et al. (2023). Impacto ambiental de la construcción en Puno: Un estudio de caso. *Revista de Ecología y Medio Ambiente*, 14(2), 99-115.
- Pacheco-Torgal, F., et al. (2019). The use of recycled materials in road construction: A European perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 148, 90-102.

- Rodríguez, M., & Martínez, C. (2021). Uso de residuos de construcción en Perú: Un análisis de su potencial. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 9(1), 50-65.
- Rojas, A., et al. (2022). Innovaciones en materiales de construcción en Perú: Uso de residuos industriales. *Revista de Materiales de Construcción*, 11(3), 30-44.
- Torres, E., & Ríos, F. (2022). Normativas locales sobre construcción en Puno: Análisis y recomendaciones. *Revista de Derecho Ambiental*, 6(2), 88-102.
- Zuo, J., et al. (2020). Environmental impact of the construction industry: A global overview. *Journal of Environmental Management*, 263, 110-120.
- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2019). Waste management in construction: A European perspective. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu>
- Ding, Z., Zhang, L., & Wang, Y. (2023). Public policies for sustainable construction: A global perspective. *Sustainable Cities and Society*, 84, 104-115. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104115>
- Huamán, R., & Quispe, A. (2022). Gestión de residuos de construcción en Puno: Potencial de reutilización. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 10(3), 75-89.
- Pacheco-Torgal, F., et al. (2019). The use of recycled materials in road construction: A European perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 148, 90-102. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.018>
- Rodríguez, M., & Martínez, C. (2021). Uso de residuos de construcción en Perú: Un análisis de su potencial. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 9(1), 50-65.
- Zuo, J., et al. (2020). Environmental impact of the construction industry: A global overview. *Journal of Environmental Management*, 263, 110-120. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110420>



ANEXOS



ANEXO 1 Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Residuos finos de canteras municipales de Puno.	Tipo de estudio: Estudio aplicativo Diseño Metodológico: Experimental
¿Cómo influye la incorporación de residuos finos de canteras municipales de Puno en las propiedades mecánicas de pavimentos flexibles en 2024?	Evaluar el impacto de los residuos finos de canteras municipales en las propiedades mecánicas de pavimentos flexibles en Puno 2024	La incorporación de residuos finos de canteras municipales de Puno mejora significativamente las propiedades mecánicas de pavimentos flexibles		
Problema específico n° 1	Objetivo específico n° 1	Hipótesis específica n° 1		
¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los residuos finos de canteras municipales de Puno?	Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los residuos finos de canteras municipales de Puno en el año 2024	Los residuos finos de canteras municipales de Puno presentan propiedades físicas (granulometría, límites de Atterberg) y mecánicas (resistencia, angularidad) compatibles con su uso en mezclas para pavimentos flexibles		
Problema específico n° 2	Objetivo específico n° 2	Hipótesis específica n° 2	Propiedades mecánicas de	Nivel: Explicativo descriptivo Población: 2 canteras Muestra: 30 muestras Técnica:
¿Existen diferencias significativas en el comportamiento mecánico (CBR, módulo de resiliencia, resistencia) entre mezclas	Comparar el comportamiento mecánico de mezclas tradicionales para pavimentos flexibles frente a mezclas con incorporación de	Las mezclas con 10-20% de residuos finos mostrarán un incremento del 15-30% en el CBR y módulo de resiliencia respecto a mezclas		



tradicionales y aquellas con residuos (10%, 15%, 20%)?	residuos finos (10%, 15%, 20%), mediante ensayos de laboratorio.	tradicionales, según ensayos de laboratorio	pavimentos flexibles	Observación directa Análisis documental Instrumento: Encuesta Cuestionario Ficha de observación
Problema específico n° 3	Objetivo específico n° 3	Hipótesis específica n° 3		
¿Qué porcentaje de residuos finos (10%, 15% o 20%) optimiza las propiedades mecánicas de las mezclas, cumpliendo con los estándares del MTC para capas granulares?	Determinar el porcentaje óptimo de residuos finos que mejore las propiedades mecánicas de las mezclas, cumpliendo con los estándares del MTC para capas granulares y subrasantes.	El 15% de residuos finos en la mezcla representará el punto óptimo entre mejora mecánica ($CBR \geq 30\%$) y viabilidad económica para su uso en sub-bases granulares (MTC E-723)		
Problema específico n° 4	Objetivo específico n° 4	Hipótesis específica n° 4		
¿Cómo afectan los residuos finos a la resistencia a la tracción indirecta y la deformación permanente bajo cargas cíclicas en las mezclas seleccionadas?	Evaluar la resistencia a la tracción indirecta y la deformación permanente de las mezclas seleccionadas, utilizando ensayos de carga cíclica (triaxial dinámico) y parámetros de fatiga.	Las mezclas con 15% de residuos exhibirán una resistencia a tracción indirecta ≥ 0.8 MPa y una reducción del 20% en deformación permanente bajo cargas cíclicas		

ANEXO 2 Instrumentos

INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

FICHA TÉCNICA DE CARACTERIZACIÓN Y ENSAYOS DE MATERIALES PÉTREOS

I. DATOS GENERALES DE LA MUESTRA

Código de identificación: _____

Fecha de muestreo: //2024

Cantera de origen: ☐ Chuaña ☐ Vidalani ☐ Otra: _____

Tipo de material: ☐ Residuo fino ☐ Suelo natural ☐ Material control

Coordenadas UTM: Este: _____ Norte: _____

Responsable del muestreo: _____

II. CARACTERIZACIÓN FÍSICA BÁSICA

2.1. Propiedades Geotécnicas

- Granulometría (% pasa tamiz #200): _____ %
- Límite líquido (LL): _____ %
- Límite plástico (LP): _____ %
- Índice de plasticidad (IP): _____ %
- Clasificación SUCS: _____
- Humedad natural: _____ %
- Peso unitario suelto: _____ kg/m³

2.2. Ensayo CBR (Norma MTC E-115)

- Energía de compactación: ☐ Estándar ☐ Modificada
- Contenido de humedad óptimo: _____ %
- Peso unitario máximo: _____ kg/m³
- CBR a 0.1" (2.54 mm): _____ %
- CBR a 0.2" (5.08 mm): _____ %
- Expansión: _____ %
- Valor CBR de diseño: _____ %

III. PROPIEDADES MECÁNICAS AVANZADAS

3.1. Módulo de Resiliencia (Norma AASHTO T-307)

- Presión de confinamiento (σ_3): _____ kPa
- Presión desviadora (σ_d): _____ kPa



- Contenido de humedad durante ensayo: _____ %
- Módulo de resiliencia promedio: _____ MPa
- Coeficiente de determinación (R^2): _____

3.2. Resistencia a la Tracción Indirecta

- Diámetro de probeta: _____ mm
- Altura de probeta: _____ mm
- Carga máxima aplicada: _____ kN
- Resistencia a tracción indirecta: _____ MPa
- Deformación en falla: _____ mm

3.3. Ensayo de Deformación Permanente

- Número de ciclos aplicados: _____
- Nivel de tensión constante: _____ kPa
- Deformación permanente acumulada: _____ mm
- Tasa de acumulación: _____
- Comportamiento: ☐ Estable ☐ Inestable

IV. PARÁMETROS DE MEZCLAS MODIFICADAS

4.1. Dosificación

- Porcentaje de residuos: ☐ 0% ☐ 10% ☐ 15% ☐ 20%
- Proporción de agregados gruesos: _____ %
- Proporción de agregados finos: _____ %
- Contenido de filler: _____ %

4.2. Propiedades de Mezcla

- Densidad de mezcla compactada: _____ kg/m³
- Vacíos de aire: _____ %
- Estabilidad Marshall (si aplica): _____ kN
- Fluencia Marshall (si aplica): _____ mm

V. OBSERVACIONES Y REGISTRO FOTOGRÁFICO

5.1. Descripción Visual

- Color predominante: _____
- Textura superficial: ☐ Rugosa ☐ Lisa ☐ Quebradiza
- Presencia de impurezas: ☐ Sí ☐ No
- Tipo de impurezas observadas: _____

5.2. Comportamiento Durante Ensayos



- Patrón de falla: _____
 - Homogeneidad de la muestra: ☐ Alta ☐ Media ☐ Baja
 - Observaciones especiales: _____
-

5.3. Registro Fotográfico

- Foto macro de muestra original: ☐ Adjunta ☐ No aplica
- Foto de probeta moldeada: ☐ Adjunta ☐ No aplica
- Foto de falla en ensayo: ☐ Adjunta ☐ No aplica

VI. CONTROL DE CALIDAD

6.1. Verificación de Procedimientos

- Calibración de equipos: ☐ Verificada ☐ No verificada
 - Cumplimiento de norma: ☐ Total ☐ Parcial ☐ No cumple
 - Desviaciones del protocolo: _____
-

6.2. Responsables

- Técnico de laboratorio: _____
- Supervisor de ensayos: _____
- Fecha de realización: //2024

INSTRUCCIONES DE USO:

1. Completar todos los campos aplicables según el tipo de ensayo
2. Utilizar tinta indeleble o formato digital
3. Adjuntar gráficos y curvas generadas por equipos
4. Archivar en carpeta física y digital por código de muestra
5. Validar con firma del supervisor técnico

Este instrumento permite:

- Estandarizar la recolección de datos experimentales
- Garantizar trazabilidad de las muestras
- Facilitar el análisis comparativo entre mezclas
- Cumplir con requisitos de control de calidad
- Generar base de datos confiable para el estudio

ANEXO 3 Validez



Apéndice 3 Validez de instrumentos

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
Ficha de Validación por Criterio de Experto

I. REFERENCIAS

Nombres y apellidos del juez: Dr. PAUL MAMANI TISNADO

Formación académica: Investigación

Áreas de experiencia profesional: Docente de Ordinario

Tiempo: 20 años

Grado académico: Doctor

II. REFERENCIAS

Título de la Investigación: EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS MUNICIPALES EN PROPIEDADES MECÁNICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024

III. AUTOR DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN: NADIA VERDI MARTINEZ MAYORGA

IV. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

Indicadores	Criterios	Deficiente				Baja				Regular				Buena				Muy bueno			
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Los indicadores están claros y bien definidos																				
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables																				
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance del tema de investigación																				
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica																				
5. SUFFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad																				
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para la investigación																				
7. CONSISTENCIA	Resalta en aspectos técnicos científicos																				
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores																				
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico																				
10. PERTINENCIA	Fácil y adecuado para la investigación																				

Fuente: tomado del libro Validez y Confiabilidad de instrumento de investigación



V. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

VI. RESOLUCIÓN DEL EXPERTO

Aprobado (C>75%=0.75) ☒

Desaprobado (C<75%=0.75) ☐

Calificación	1. Muy bueno
	2. Bueno
Buena	3. Regular
	4. Baja
	5. Deficiente

LUGAR Y FECHA: Juliaca, 22 de octubre de 2025

FIRMA DEL EXPERTO
DNI: 01314987



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

Ficha de Validación por Criterio de Experto

I. REFERENCIAS

Nombres y apellidos del juez: Dr. JUAN CARLOS HERRERA MIRANDA

Formación académica: Investigación

Áreas de experiencia profesional: Docente de Ordinario

Tiempo: 25 años

Grado académico: Doctor

II. REFERENCIAS

Título de la Investigación: EVALUACIÓN DE RESIDUOS FINOS DE CANTERAS MUNICIPALES EN PROPIEDADES MECÁNICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024

III. AUTOR DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN: NADIA VERDI MARTINEZ MAYORGA

IV. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

Indicadores	Criterios	Deficiente					Baja				Regular				Buena				Muy bueno			
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. CLARIDAD	Los indicadores están claros y bien definidos																					
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en contenidos observables																					
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance del tema de investigación																					
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica																					
5. EFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad																					
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para la investigación																					
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos científicos																					
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores																					
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico																					
10. PERTINENCIA	Es útil y adecuado para la investigación																					

Fuente: tomado del libro Validez y Confiabilidad de instrumento de investigación



V. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

VI. RESOLUCIÓN DEL EXPERTO

Aprobado (C>75%=0.75) ☒

Desaprobado (C<75%=0.75) ☐

Calificación	6. Muy bueno
	7. Bueno
Buena	8. Regular
	9. Baja
	10. Deficiente

LUGAR Y FECHA: Juliaca, 23 de octubre de 2025


FIRMA DEL EXPERTO
DNI: 29606930



ANEXO 4 Tratamiento de datos.

1	CanteraOrigen	Númerico	1	0	Cantera de origen	{1, Chuaña}...
2	TipoMaterial	Númerico	1	0	Tipo de material	{1, Residuo fino}...
3	PasaTamiz...	Númerico	1	0	Granulometría (% pasa tamiz #200)	{1, Menos del 15%}...
4	P2	Númerico	1	0	Tipo de material evaluado	{1, Residuo fino de cantera}...
5	ColorPredo...	Númerico	1	0	Color predominante	{1, Gris claro}...
6	TexturaSup...	Númerico	1	0	Textura superficial	{1, Rugosa}...
7	Homogenei...	Númerico	1	0	Homogeneidad de la muestra	{1, Alta}...
8	P3	Númerico	1	0	Clasificación SUCS del material	{1, GW (Grava bien gradada)}...
9	P4	Númerico	1	0	Índice de Plasticidad dentro del rango ac...	{1, Si}...
10	P5	Númerico	1	0	Porcentaje que pasa el tamiz #200	{1, ≤ 15%}...
11	P6	Númerico	1	0	Comportamiento del Valor CBR vs mezcl...	{1, Aumenta significativamente (>30%)}...
12	P7	Númerico	1	0	Comportamiento del Módulo de Resilienc...	{1, Supera en más del 20%}...
13	P8	Númerico	1	0	Cumplimiento de requisitos CBR para su...	{1, Sí, en todos los porcentajes de residuos}...
14	P9	Númerico	1	0	Porcentaje óptimo de residuos	{1, 10%}...
15	P10	Númerico	1	0	Cumplimiento de estándares MTC E-723	{1, Sí, cumple todos los requisitos}...
16	P11	Númerico	1	0	Equilibrio entre mejora mecánica y viabili...	{1, Totalmente de acuerdo}...
17	P12	Númerico	1	0	Comportamiento de resistencia a tracció...	{1, Es superior en más del 15%}...
18	P13	Númerico	1	0	Comportamiento frente a deformación per...	{1, Significativamente mejor (≤20% de deformación vs. tradicional)}...
19	P14	Númerico	1	0	Resistencia a la fatiga bajo cargas cíclicas	{1, Sí, notablemente}...
20	P15	Númerico	1	0	Viabilidad técnica de incorporación de re...	{1, Totalmente viable}...
21	PatronFalla	Númerico	1	0	Patrón de falla	{1, Falla dúctil}...
22	Cumplimien...	Númerico	1	0	Cumplimiento de norma	{1, Total}...



1	Vidalani	Suelo natural	Menos del 15%	Mezcla con 10% de resid...	Amarillento	Lisa	Baja	SW (Arena bien gradada)	Sí ≤ 15%	Aum...	Sup...	Sí, s...	Ning...	No cu...	Total...	Es inf...	Similar	Sí, not...	Parcia...	Falla frágil	Total
2	Chuaña	Residuo fino	15% - 25%	Mezcla con 15% de resid...	Amarillento	Lisa	Media	CL (Arcilla de baja plastici...	Sí 16%	Dis...	Es s...	No c...	20%	No cu...	Parcia...	Es inf...	Similar	Sí, mo...	Total...	Otro	Total
3	Chuaña	Material control	Más del 35%	Mezcla con 20% de resid...	Otro	Lisa	Alta	CL (Arcilla de baja plastici...	Sí 26%	No p...	Es i...	Sí, e...	15%	Sí, cu...	Parcia...	Es inf...	Signifi...	Prese...	No via...	Falla por corta...	Total
4	Chuaña	Material control	Menos del 15%	Mezcla con 15% de resid...	Gris oscuro	Rugosa	Baja	SP (Arena pobremente gr...	Sí 26%	Aum...	Sup...	Sí, s...	15%	No cu...	Parcia...	Es lig...	Signifi...	Sí, not...	No via...	Otro	Total
5	Vidalani	Material control	26% - 35%	Residuo fino de cantera	Gris claro	Rugosa	Media	GP (Grava pobremente gr...	No 26%	Aum...	Sup...	Sí, e...	10%	Sí, cu...	Total...	Es si...	Similar	Sí, mo...	Parcia...	Otro	No cum...
6	Vidalani	Suelo natural	15% - 25%	Mezcla con 10% de resid...	Gris claro	Lisa	Media	ML (Limo de baja plastici...	No ≤ 15%	Dis...	Sup...	Sí, s...	20%	Sí, cu...	Parcia...	Es su...	Peor	Prese...	Parcia...	Otro	Parcial
7	Vidalani	Suelo natural	Más del 35%	Mezcla tradicional (0% re...	Rojizo	Escam...	Media	GP (Grava pobremente gr...	Sí > 35%	Aum...	Es s...	Sí, s...	15%	No cu...	En de...	Es lig...	Peor	Sí, mo...	Parcia...	Falla por com...	Total
8	Vidalani	Suelo natural	Menos del 15%	Residuo fino de cantera	Gris oscuro	Rugosa	Alta	SW (Arena bien gradada)	No ≤ 15%	Aum...	Es i...	Sí, s...	20%	Sí, cu...	Total...	Es su...	Similar	No se ...	Total...	Falla por com...	No cum...
9	Chuaña	Material control	Más del 35%	Mezcla con 20% de resid...	Amarillento	Rugosa	Media	ML (Limo de baja plastici...	No ≤ 15%	No p...	Es i...	No c...	20%	Sí, cu...	En de...	Es si...	Ligera...	Sí, mo...	Total...	Otro	Total
10	Vidalani	Residuo fino	26% - 35%	Mezcla con 10% de resid...	Otro	Escam...	Baja	SP (Arena pobremente gr...	Sí > 35%	Aum...	Es i...	Sí, s...	20%	No cu...	En de...	Es lig...	Ligera...	Prese...	Parcia...	Falla por corta...	Parcial
11	Vidalani	Suelo natural	Menos del 15%	Residuo fino de cantera	Rojizo	Lisa	Media	GW (Grava bien gradada)	Sí > 35%	No p...	Es s...	Sí, e...	20%	No cu...	En de...	Es si...	Signifi...	Sí, not...	No via...	Falla dúctil	Total
12	Chuaña	Suelo natural	Menos del 15%	Mezcla con 10% de resid...	Gris claro	Quebra...	Alta	GW (Grava bien gradada)	Sí ≤ 15%	Aum...	Sup...	Sí, e...	Ning...	No cu...	En de...	Es si...	Signifi...	Prese...	Parcia...	Falla frágil	Parcial
13	Vidalani	Material control	Menos del 15%	Mezcla con 15% de resid...	Rojizo	Escam...	Media	SP (Arena pobremente gr...	No 26%	No p...	Sup...	Sí, s...	20%	No cu...	Total...	Es lig...	Ligera...	No se ...	Total...	Otro	Total
14	Vidalani	Suelo natural	Más del 35%	Mezcla con 20% de resid...	Gris claro	Rugosa	Baja	ML (Limo de baja plastici...	No ≤ 15%	Dis...	Sup...	Sí, s...	10%	Sí, cu...	Total...	Es si...	Signifi...	Sí, mo...	Total...	Falla frágil	Total
15	Vidalani	Residuo fino	26% - 35%	Mezcla con 15% de resid...	Otro	Escam...	Baja	ML (Limo de baja plastici...	No ≤ 15%	Dis...	Es i...	Sí, s...	10%	Sí, cu...	Parcia...	Es su...	Peor	No se ...	No via...	Falla por corta...	Total

16	Vidalani	Residuo fino	Menos del 15%	Residuo fino de cantera	Amarillento	Escam...	Media	CL (Arcilla de baja plastici...	Sí 16%	Aum...	Sup...	Sí, s...	10%	No cu...	Parcia...	Es inf...	Peor	No se ...	Parcia...	Falla por com...	No cum...
17	Chuaña	Material control	Más del 35%	Mezcla con 15% de resid...	Marrón	Lisa	Media	GP (Grava pobremente gr...	No > 35%	Aum...	Es i...	Sí, e...	15%	Sí, cu...	Parcia...	Es si...	Similar	No se ...	Total...	Falla por com...	Total
18	Vidalani	Material control	Menos del 15%	Residuo fino de cantera	Otro	Escam...	Media	CL (Arcilla de baja plastici...	Sí 26%	Aum...	Es i...	Sí, s...	15%	No cu...	Total...	Es su...	Peor	No se ...	Parcia...	Falla dúctil	No cum...
19	Vidalani	Residuo fino	26% - 35%	Mezcla con 15% de resid...	Rojizo	Escam...	Alta	ML (Limo de baja plastici...	No 26%	No p...	Es s...	Sí, e...	10%	Sí, cu...	Total...	Es inf...	Similar	Sí, mo...	Total...	Falla por corta...	No cum...
20	Chuaña	Suelo natural	26% - 35%	Mezcla con 10% de resid...	Gris oscuro	Lisa	Alta	SW (Arena bien gradada)	No > 35%	Aum...	Sup...	No c...	10%	Sí, cu...	Total...	Es lig...	Signifi...	Prese...	Total...	Falla frágil	No cum...
21	Chuaña	Residuo fino	26% - 35%	Mezcla con 15% de resid...	Otro	Escam...	Alta	GW (Grava bien gradada)	Sí 16%	Aum...	Es s...	Sí, e...	20%	Sí, cu...	Parcia...	Es si...	Ligera...	Sí, not...	No via...	Falla dúctil	Total
22	Vidalani	Material control	Menos del 15%	Residuo fino de cantera	Amarillento	Rugosa	Media	GP (Grava pobremente gr...	Sí 16%	Aum...	Sup...	No c...	Ning...	No cu...	En de...	Es lig...	Peor	No se ...	Parcia...	Falla dúctil	Total
23	Chuaña	Suelo natural	26% - 35%	Mezcla con 15% de resid...	Rojizo	Quebra...	Baja	GP (Grava pobremente gr...	Sí 16%	Dis...	Sup...	Sí, e...	Ning...	No cu...	En de...	Es inf...	Signifi...	Prese...	Parcia...	Falla dúctil	Parcial
24	Vidalani	Residuo fino	Más del 35%	Mezcla con 10% de resid...	Marrón	Rugosa	Media	SW (Arena bien gradada)	Sí 16%	Aum...	Sup...	Sí, s...	10%	Sí, cu...	En de...	Es su...	Similar	No se ...	Parcia...	Falla dúctil	Parcial
25	Vidalani	Suelo natural	Menos del 15%	Mezcla tradicional (0% re...	Otro	Escam...	Baja	GP (Grava pobremente gr...	No 16%	Aum...	Es i...	Sí, s...	Ning...	Sí, cu...	En de...	Es inf...	Similar	No se ...	No via...	Falla frágil	No cum...
26	Vidalani	Suelo natural	Más del 35%	Mezcla tradicional (0% re...	Marrón	Quebra...	Alta	SP (Arena pobremente gr...	Sí ≤ 15%	Aum...	Sup...	Sí, s...	10%	Sí, cu...	En de...	Es si...	Peor	Sí, mo...	Total...	Falla por com...	Total
27	Vidalani	Material control	15% - 25%	Mezcla tradicional (0% re...	Gris claro	Escam...	Media	SP (Arena pobremente gr...	Sí > 35%	Aum...	Sup...	Sí, e...	10%	No cu...	En de...	Es su...	Ligera...	Prese...	Parcia...	Falla por com...	Total
28	Chuaña	Suelo natural	26% - 35%	Mezcla con 15% de resid...	Amarillento	Escam...	Alta	GP (Grava pobremente gr...	No ≤ 15%	Aum...	Sup...	No c...	15%	Sí, cu...	Parcia...	Es inf...	Ligera...	No se ...	No via...	Otro	Total
29	Chuaña	Suelo natural	15% - 25%	Residuo fino de cantera	Amarillento	Escam...	Alta	SP (Arena pobremente gr...	Sí ≤ 15%	No p...	Sup...	Sí, e...	Ning...	Sí, cu...	En de...	Es si...	Ligera...	Sí, not...	Parcia...	Falla por corta...	Total
30	Vidalani	Material control	Más del 35%	Mezcla tradicional (0% re...	Marrón	Rugosa	Media	GP (Grava pobremente gr...	Sí ≤ 15%	Aum...	Es s...	Sí, e...	15%	No cu...	Total...	Es inf...	Signifi...	Prese...	No via...	Otro	No cum...



GEOTECMIN JEFRALEO EIRL

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS CANTERAS CHUAÑA Y VIDALANI COMO MATERIAL DE SUB BASE EN LA CARRETERA SANTA ROSA DE HUALLATA DISTRITO DE ILAVE - PUNO

UBICACIÓN : VIDALANI - ILAVE EL COLLAO

MUESTREO : CANTERA VIDALANI

N° CALICATA : C1

COORD. ESTE : 432004.16

COORD. NORTE : 8223474.00

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS (INTEGRAL)

MTC E 204-2016

TAMICES Ø	MATERIAL RETENIDO			MATERIAL QUE PASA (%)	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
	Peso (g)	PARCIAL (%)	ACUMULADO (%)		MIN (%)	MAX (%)	
3"	76.20						PESO INICIAL : 4058 g
2 1/2"	63.50						PORCIÓN FINO : 756.0 g
2"	59.80			100.0	100		% DE HUMEDAD : 7.5
1 1/2"	38.10	101	2.0	98.0			TAMANO MAXIMO : 2"
1"	25.40	216	4.4	93.6			% DE GRAVA : 42.6
3/4"	19.05	421	8.5	85.1			% DE ARENA : 41.6
1/2"	12.70	321	6.5	78.6			% PASANTE N° 200 : 15.8
3/8"	9.53	328	6.8	72.0	38	66	L.L. : 26.0%
3/16"	6.35	297	5.4	66.6			L.P. : 20.0%
N° 4	4.75	457	9.2	57.4	25	55	I.P. : 6.5%
N° 8	2.36						M.P. : 0.55%
N° 16	2.00	248.0	18.6	38.6	15	40	CLASIFIC. SUCS : GC-GM
N° 30	0.85	141.9	10.7	27.8			CLASIF. AASHTO : A-2.4 (P)
N° 40	0.43	58.0	4.4	23.5	8	20	D ₁₀ : - C _u : -
N° 60	0.25	21.0	1.8	21.9			D ₅₀ : 1.007 C _c : -
N° 80	0.18						OBSERVACIONES
N° 100	0.15	60.0	4.8	17.3			AGREGADO GRUESO + AGREGADO FINO
N° 140	0.11						
N° 200	0.074	20.0	1.5	15.8	2.0	8.0	
RADEJA	208.0	15.8	100.0				



Ing. Francisco M. Mendieta Pareda
 INGENIERO EN GEOTECNIA
 CIP. 246281



GEOTECMIN JEFRALEO EIRL

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS CANTERAS CHUAÑA Y VIDALANI COMO MATERIAL DE SUB BASE EN LA CARRETERA SANTA ROSA DE HUALLATA DISTRITO DE ILAVE - PUNO

UBICACIÓN : VIDALANI - ILAVE EL COLLAO

MUESTREO : CANTERA VIDALANI
N° CALICATA : C1

COORD. ESTE : 432004.16
COORD. NORTE : 8223474.00

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO MTC E 108-2016

N° RECIPIENTE	1	2		
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE (g)	362.2	379.7		
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE (g)	344.1	361.2		
PESO DEL AGUA (g)	18.1	18.5		
PESO DEL RECIPIENTE (g)	98.0	121.0		
PESO DEL SUELO SECO (g)	246.1	240.2		
HUMEDAD (%)	7.4	7.7		
PROMEDIO (%)	7.5			

Rafael Mariani Paredi
INGENIERO GEOLOGO
CIP. 246261



GEOTECMIN JEFRALEO EIRL

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS CANTERAS CHUAÑA Y VIDALANI COMO MATERIAL DE SUB BASE EN LA CARRETERA SANTA ROSA DE HUALLATA DISTRITO DE ILAVE - PUNO

UBICACIÓN : VIDALANI - ILAVE EL COLLAO

MUESTREO : CANTERA VIDALANI
N° CALICATA : C1

COORD. ESTE : 432004.16
COORD. NORTE : 8223474.00

ENSAYO DE COMPACTACION MTC E 115-2016

METODO DE COMPACTACION :	C	VOLUMEN DEL MOLDE :	2120 cm ³	MOLDE N° :	1
COMPACTACION					
N° ENSAYO		1	2	3	4
PESO MOLDE + SUELO (g)		11075.0	11286.0	11480.0	11411.0
PESO MOLDE (g)		6572.0	6572.0	6572.0	6572.0
PESO SUELO COMPACTADO (g)		4503.0	4714.0	4908.0	4839.0
DENSIDAD HUMEDA (g/cm ³)		2.1	2.2	2.3	2.3
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°		0.0	0.0	0.0	0.0
PESO SUELO HUMEDO + TARA (g)		530.2	515.9	489.8	492.2
PESO SUELO SECO + TARA (g)		510.3	487.4	454.3	448.2
PESO DEL AGUA (g)		19.9	28.5	35.5	44.0
PESO DEL RECIPIENTE (g)		0.0	Peso recipiente = 0.00 g. Programado en balanzas digital		0.0
PESO DEL SUELO SECO (g)		510.3	487.4	454.3	448.2
CONTENIDO HUMEDAD (%)		3.9	5.9	7.8	9.8
DENSIDAD SECA (g/cm ³)		2.044	2.101	2.147	2.079

MAXIMA DENSIDAD SECA

2.144 g/cm³

OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD

8.4 %



Ing. Juan Manuel Puchi
 INGENIERO GEÓLOGO
 CIP. 246281



GEOTECMIN JEFRALEO EIRL

PROYECTO : EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS CANTERAS CHUAÑA Y VIDALANI COMO MATERIAL DE SUB BASE EN LA CARRETERA SANTA ROSA DE HUALLATA DISTRITO DE ILAVE - PUNO

UBICACIÓN : VIDALANI - ILAVE EL COLLAO

MUESTREO : CANTERA VIDALANI

N° CALICATA : C1

COORD. ESTE : 432004.16

COORD. NORTE : 8223474.00

C.B.R DE SUELOS (LABORATORIO) MTC E 132-2016

Molde N°	1	2	3
N° Capa	5	5	5
Golpes por capa N°	56	25	12
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO
Cond. de la muestra	SATURADO	SATURADO	SATURADO
Compactación			
Peso molde + suelo húmedo (g)	15099	15174	14989
Peso de molde (g)	7960	7960	8198
Peso del suelo húmedo (g)	7119	7194	6791
Volumen del molde (cm³)	3062	3062	3062
Densidad húmeda (g/cm³)	2.325	2.349	2.218
Contenido de Humedad (%)			
Recipiente N°			
Tara + Suelo húmedo (g)	533.96	525.33	510.30
Tara + Suelo seco (g)	492.28	481.20	470.63
Peso del Agua (g)	41.67	44.13	39.67
Tara (g)	#REF!	#REF!	#REF!
Peso del suelo seco (g)	#REF!	481.20	#REF!
Humedad (%)	#REF!	9.17	#REF!
Densidad seca (g/cm³)	#REF!	2.152	#REF!

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
10/12/2021	08:12	0	0.00			0.00			0.00		
11/12/2021	08:12	24	0.48	0.48	0.38	0.63	0.63	0.50	0.79	0.79	0.62
12/12/2021	08:12	48	0.65	0.65	0.51	0.77	0.77	0.61	0.86	0.86	0.68
13/12/2021	08:12	72	0.76	0.76	0.60	1.02	1.02	0.80	1.17	1.17	0.92

PENETRACION

PENETRACION (mm.)	CARGA STAND. Kg/cm²	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div.)	Kg/cm²	Kg/cm²	%	Dial (div.)	Kg/cm²	Kg/cm²	%	Dial (div.)	Kg/cm²	Kg/cm²	%
0.00		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.64		188	9.3			134	6.7			56	2.8		
1.27		275	13.7			220	10.9			144	7.2		
1.91		387	19.2			325	16.2			250	12.4		
2.54	70.31	473	23.5	35.19		430	21.4	29.81		365	18.2	25.00	
3.81		690	34.3			590	28.8			503	25.0		
5.08	105.46	920	45.8	42.08		762	38.9	36.42		662	33.9	31.73	
6.35		1032	51.3			925	46.0			769	37.7		
7.62		1128	56.1			1030	51.2			870	43.3		
8.89													


CIP. 246221



GEOTECMIN JEFRALEO EIRL

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS CANTERAS CHUANA Y VIDALANI COMO MATERIAL DE SUB BASE EN LA CARRETERA SANTA ROSA DE HUALLATA DISTRITO DE ILAVE - PUNO

UBICACIÓN: VIDALANI - ILAVE EL COLLAO

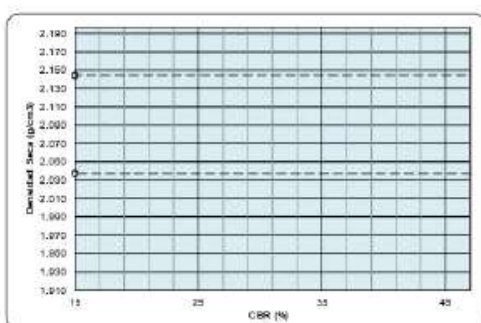
MUESTREO: CANTERA VIDALANI

N° CALICATA: C1

COORD. ESTE: 432004.16

COORD. NORTE: 8223474.00

ENSAYO DE CBR - GRÁFICO DE PENETRACIÓN MTC E 132-2016

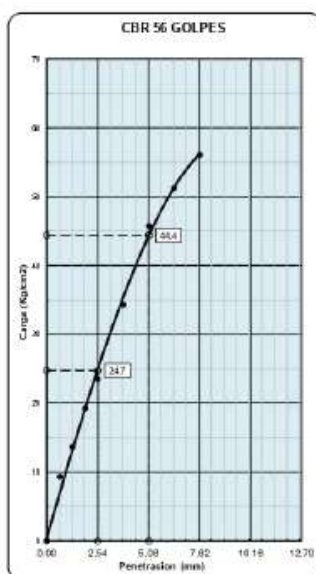


CBR AL 100% DE M.D.S. 0.1"	0.0
CBR AL 95% DE M.D.S. 0.1"	0.0

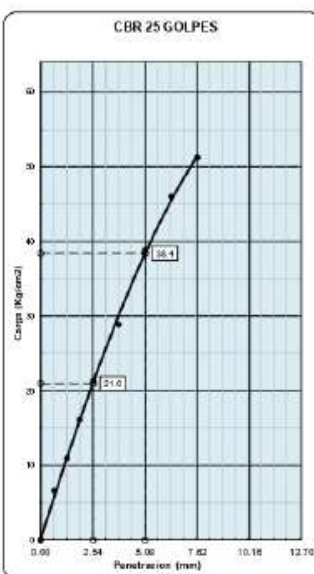
CBR AL 100% DE M.D.S. 0.2"	229.6
CBR AL 95% DE M.D.S. 0.2"	235.8

Datos del Proctor		
Densidad Seca	2.144	g/cm³
Humedad Opt.	8.4	%

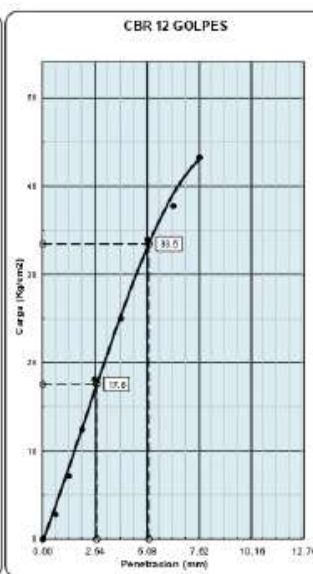
Observaciones: Celda de Carga



C.B.R. (0.1")-56 GOLPES : 35.2
C.B.R. (0.2")-56 GOLPES : 42.1



C.B.R. (0.1")-25 GOLPES : 29.8
C.B.R. (0.2")-25 GOLPES : 36.4



C.B.R. (0.1")-12 GOLPES : 25.0
C.B.R. (0.2")-12 GOLPES : 31.7

INGENIERO CIVIL
CIP. 246291



GEOTECMIN JEFRALEO EIRL

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS CANTERAS CHUAÑA Y VIDALANI COMO MATERIAL DE SUB BASE EN LA CARRETERA SANTA ROSA DE HUALLATA DISTRITO DE ILAVE - PUNO

UBICACIÓN : VIDALANI - ILAVE EL COLLAO

MUESTREO : CANTERA VIDALANI

N° CALICATA : C1

COORD. ESTE : 432004.16

COORD. NORTE : 8223474.00

ABRASION LOS ANGELES MTC E 207-2016

MUESTRA #	1	2	PROMEDIO
GRADUACION	A	A	
PESO INICIAL (g)	5000	5000	
1 1/2"	1"	1250	1250
1"	3/4"	1250	1250
3/4"	1/2"	1250	1250
1/2"	3/8"	1250	1250
3/8"	1/4"		
1/4"	N°4		
N°4	N°8		
PESO FINAL (g)	2891.0	2907.0	
TOTAL DESGASTE (g)	2109.0	2093.0	
% DESGASTE	42.2	41.9	42.0


ING. FREDY M. MORALES
INGENIERO GEOLOGO
CIP. 246281

ANEXO 5 Otros.

Operacionalización de las variables

Operacionalización de las variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTO
VARIABLE INDEPENDIENTE		1.1.1 Porcentaje de	Encuesta,
	1.1. Proporción de residuos	residuos finos utilizados en la mezcla.	ensayos de laboratorio
	1.2. Propiedades mecánicas	1.1.2 Cantidad de	
Residuos finos de canteras municipales de Puno	1.3. Impacto ambiental	residuos finos (toneladas) en la mezcla.	
		1.2.1 Resistencia a la compresión (MPa).	
		1.2.2 Deformación permanente (mm) bajo carga.	
	2.1. Resistencia estructural	1.3.1 Reducción de	
	2.2. Durabilidad	residuos enviados a	
VARIABLE DEPENDIENTE	2.3. Comportamiento ante condiciones ambientales	vertederos (toneladas).	
Propiedades mecánicas de pavimentos flexibles.		1.3.2 Ahorro en la extracción de materiales vírgenes (toneladas).	
		2.1.1 Resistencia a la tracción indirecta (MPa).	
		2.1.2 Módulo de elasticidad (MPa).	
		2.2.1 Ciclos de carga antes de fallo.	
		2.2.2 Evaluación de la fatiga de los materiales (número de ciclos).	
		2.3.1 Resistencia a la humedad (cambio de masa %).	
		2.3.2 Comportamiento ante temperaturas extremas (ensayos de laboratorio).	

Fuente: propia del autor



ANEXO 1 FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 29-01-2026

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: NADIA VERDI MARTINEZ MAYORGA

Dirección: JIRÓN MIGUEL URBINA 269 LAYKAKOTA PUNO

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70657087

Teléfono: 980876256 email: martinezmayorganadiaverdi@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: _____ MAESTRÍA EN: INGENIERÍA CIVIL

Escuela Profesional o Mención: _____ MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

Título o Grado Académico a optar: _____ MAESTRO EN INGENIERÍA 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 RESIDUOS FINOS DE CANTERAS MUNICIPALES EN PROPIEDADES

MECÁNICAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN PUNO 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): Residuos de cantera, pavimentos flexibles, propiedades mecánicas, CBR, módulo de resiliencia

¿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 ☐ Titulo ☐ 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 - P50

Firma de Autor



huella digital

29 - 01 - 2026

Fecha