



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE
SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR
EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA
PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ABAD BELIZARIO QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE
SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR
EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA
PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ABAD BELIZARIO QUISPE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE


:



Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO

:



Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

SEGUNDO MIEMBRO


:



Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ASESOR DE TESIS

:



Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1748-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 23 de diciembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU - 13500 presentado por el (la) Bachiller: **ABAD BELIZARIO QUISPE** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **ABAD BELIZARIO QUISPE**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

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

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

RESUELVE:

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

- * **Presidente** : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- * **1er Miembro** : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA
- * **2do Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ARTICULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **ABAD BELIZARIO QUISPE**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**, de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : lunes 29 de diciembre del 2025
- * **HORA** : 08:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 406 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. César G. Camargo Najar
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

FIC
Archivado



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1518-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 13 de noviembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU-10981 por el señor (a): **ABAD BELIZARIO QUISPE** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 1061-2025-UI-FICP-UANCV/A3**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formate N° 155 - 2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **ABAD BELIZARIO QUISPE**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) titulada: **EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formate N° 155 - 2025 aprobando el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **ABAD BELIZARIO QUISPE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP: 32730



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritzy Willy Mamaní Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:
Archivos
Intermedio (3)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1178-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 30 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU-8032, presentado por el señor (a) ABAD BELIZARIO QUISPE solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 857-2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 126-2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): ABAD BELIZARIO QUISPE ha presentado su propuesta de investigación Titulada: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 126-2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, presentado por el señor (a): ABAD BELIZARIO QUISPE, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025 correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.

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

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como ASESOR DE INVESTIGACIÓN de al (a la) docente Dr. ARNALDO YANA TORRES.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS Dr. OSCAR V. VIANCATE CALLA DECANO (e) CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROMOCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN Dr. Fritz Willy Mazañani Apaza DIRECTOR UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc: Archivo 09125 Intermedio (4)



11% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 7% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión


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

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



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	ABAD BELIZARIO QUISPE
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70044087
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0009-5094-6607
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02306659
Miembro del jurado 2	

Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 59"</p>  <p>https://maps.app.goo.gl/S6YFVxLUB472keYs7</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Setiembre 2025 – Diciembre 2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	<p>Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</p> <p>Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</p>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN
Dr. Fruta Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
OFICINA DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo ABAD BELIZARIO QUISPE, identificado con DNI
Nro. 70044087, en mi condición de egresado de:

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

INGENIERO CIVIL

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

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES

DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS

EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

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.

Juliana 30 de diciembre del 2025

Firma del Asesor
(obligatoria)

Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, por su apoyo incondicional y motivación en cada etapa de mi formación. A mis amigos y seres queridos, por su compañía y aliento en los momentos difíciles.



AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis profesores y asesores por su orientación y conocimientos compartidos a lo largo de este proceso. A mis compañeros de estudio, por su apoyo y colaboración. Y, sobre todo, a mi familia, fundamental en este camino.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA i

AGRADECIMIENTO ii

ÍNDICE GENERAL iii

ÍNDICE DE TABLAS vii

ÍNDICE DE FIGURAS viii

RESUMEN ix

ABSTRACT x

INTRODUCCIÓN xi

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Situación problemática..... 13

1.2 Planteamiento del problema. 15

 1.2.1 Problema General..... 15

 1.2.2 Problemas Específicos. 15

1.3 Objetivos de la investigación. 15

 1.3.1 Objetivo General..... 15

 1.3.2 Objetivos Específicos. 15

1.4 Justificación de la investigación. 16

 1.4.1 Justificación Teórica 16

 1.4.2 Justificación Práctica 16

 1.4.3 Justificación Social 17

 1.4.4 Justificación Económica 17

 1.4.5 Justificación Ambiental 18

1.5 Hipótesis de la Investigación. 18

 1.5.1 Hipótesis General. 18

 1.5.2 Hipótesis Específicas..... 18

1.6 Variables e indicadores..... 19

 1.6.1 Variable Independiente..... 19



1.6.2 Variable Dependiente	19
1.7 Operacionalización de Variables.....	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.....	21
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	21
2.1.2 Antecedente Nacionales.....	24
2.1.3 Antecedentes locales.....	27
2.2 Bases teóricas	31
2.2.1 Escoria de cobre.....	31
2.2.1.1 Propiedades químicas y físicas	32
2.2.1.2 Aplicaciones de la escoria de cobre.....	33
2.2.1.3 Impacto ambiental de la escoria	34
2.2.2 Materiales para pavimentos flexibles	35
2.2.2.1 Composición y propiedades de las mezclas asfálticas.....	36
2.2.2.2 Características de la carpeta de rodadura	37
2.2.2.3 Técnicas de mejoramiento de mezclas asfálticas	37
2.2.3 Fibra de aluminio en la construcción de pavimentos.....	38
2.2.3.1 Propiedades de la Fibra de Aluminio	39
2.2.3.2 Beneficios de la incorporación de fibra de aluminio en pavimentos	40
2.2.3.3 Efectos de la fibra de aluminio sobre las propiedades mecánicas del pavimento.....	41
2.2.4 Geopolimerización y su Aplicación en Concreto	41
2.2.4.1 Principios de la Geopolimerización.....	42
2.2.4.2 Uso de geopolímeros en la fabricación de concreto	44
2.2.4.3 Ventajas y Desventajas de la Geopolimerización en la Industria de la Construcción	45
2.2.5 Pruebas y métodos de evaluación en pavimentos	46
2.2.5.1 Métodos de Evaluación de la Estabilidad y Resistencia de Pavimentos	47
2.2.5.2 Ensayos de compresión y flujo en mezclas asfálticas.....	48



2.2.5.3	Indicadores de desempeño en pavimentos flexibles	49
2.2.6	Impacto Ambiental	50
2.2.6.1	Sostenibilidad en la construcción de pavimentos.....	51
2.2.6.2	Reducción de la huella de carbono.....	52
2.2.6.3	Manejo de Residuos Industriales.....	53
2.2.7	Escoria metalúrgica como material alternativo en la construcción	55
2.2.7.1	Potencial de la Escoria Metalúrgica.....	56
2.2.7.2	Evaluación de la Seguridad Ambiental de los Materiales Alternativos .	57
2.2.7.3	Normativas y regulaciones	58
2.3	Marco conceptual	60

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Enfoque de la investigación	63
3.2	Tipo de la investigación	63
3.3	Nivel de la Investigación	64
3.4	Diseño de la Investigación	64
3.5	Método de la Investigación	64
3.6	Población y Muestra	65
3.6.1	Población.....	65
3.6.2	Muestra	65
3.7	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	66
3.7.1	Técnicas de recolección de datos.....	66
3.7.2	Instrumentos de recolección de datos.....	66
3.8	Procedimiento para la recolección de datos.....	68
3.8.1	Desarrollo de plan de investigación.	68
3.9	Procesamiento de datos	76

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Resultados.....	77
4.1.1	Calidad de materiales para base granular en conformaciones de vías.	77



4.1.2 Incorporación de escoria de cobre sobre las propiedades físicas del material de base granular.....	81
4.1.2.1 Base granular + 5% de escoria de cobre	81
4.1.2.2 Base granular + 10% de escoria de cobre	82
4.1.2.3 Base granular + 15% de escoria de cobre	83
4.1.3 Incorporación de escoria de cobre sobre las propiedades mecánicas del material de base granular.	84
4.1.3.1 Base granular + 5% de escoria de cobre	84
4.1.3.2 Base granular + 10% de escoria de cobre	85
4.1.3.3 Base granular + 15% de escoria de cobre	86
4.2 Discusión de resultados.....	90
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS.....	98



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de Operación de variables.	20
Tabla 2 Dosificaciones y esos exactos (cobre).....	70
Tabla 3 Material estabilizante (Cobre).	70
Tabla 4 Tamizado (ASTM D422) de los materiales de 2 puntos de vía seleccionada.	78
Tabla 5 Límites de consistencia de los materiales de 2 puntos de vía seleccionada.	78
Tabla 6 Proctor modificado de materiales de base granular muestra control.	79
Tabla 7 CBR del material de base granular muestra control.....	80
Tabla 8 Proctor modificado base granular + 5% escoria de cobre	81
Tabla 9 Proctor modificado base granular + 10% escoria de cobre	82
Tabla 10 Proctor modificado base granular + 15% escoria de cobre	83
Tabla 11 CBR de base granular + 5% escoria de cobre	84
Tabla 12 CBR de base granular + 10% escoria de cobre.	85
Tabla 13 CBR de base granular + 15% escoria de cobre.	86
Tabla 14 Comparación del Proctor modificado.	87
Tabla 15 Comparación de la capacidad de soporte	88



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tratamiento del cobre.	69
Figura 2 Aparato Casagrande.	73
Figura 3 Instrumento de proctor modificado.	74
Figura 4 Equipo de capacidad de soporte.	75
Figura 5 Índice de plasticidad del material de base granular.	78
Figura 6 Máxima densidad seca del material de base granular.	79
Figura 7 Capacidad de soporte del material de base granular.	80
Figura 8 MDS del material de base granular + 5% de escoria de cobre 81	81
Figura 9 MDS del material de base granular + 10% de escoria de cobre 82	82
Figura 10 MDS del material de base granular + 15% de escoria de cobre 83	83
Figura 11 CBR del material de base granular + 5% de escoria de cobre 84	84
Figura 12 CBR del material de base granular + 10% de escoria de cobre..... 85	85
Figura 13 CBR del material de base granular + 15% de escoria de cobre..... 86	86
Figura 14 Comparativo de MDS de base granular + escoria de cobre 88	88
Figura 15 Promedio del (CBR) de base granular + escoria de cobre..... 89	89



RESUMEN

La presente investigación titulado "Efecto de la aplicación de escoria de cobre sobre las propiedades de la base granular en conformaciones de vías en la provincia de San Román 2025" su objetivo principal es analizar el efecto de la aplicación de escoria de cobre sobre las propiedades de la base granular en conformaciones de vías en la provincia de San Román. Objetivos específicos determinan calidad inicial (granulometría ASTM D422/MTC E-204, Atterberg MTC E-110, Proctor Modificado MTC E-115, CBR MTC E-132), e influencia en propiedades físicas (MDS/OCH) y mecánicas (CBR 95-100% MDS). Para ello, se adoptó un enfoque cuantitativo, con un tipo de investigación aplicada, un nivel explicativo y un diseño experimental. El método científico se utilizó para recopilar y analizar datos a partir de ensayos como la determinación de la humedad óptima, densidad máxima seca y índice CBR. Se evaluaron sistemáticamente cuatro dosificaciones progresivas de cobre estabilizante 0% (control), 5%, 10% y 15%. Se muestrearon bases granulares (A-2-4 GW-GM, IP 4.91-5.02), preparando mezclas estabilizadas. Resultados muestran: MDS promedio aumenta de 2.139 g/cm³ (control) a 2.213 g/cm³ (15% escoria), OCH estabiliza en 8.0-8.6%; CBR 95% MDS sube de 40.8% a 69.2% (óptimo 10%), y 100% MDS de 62.2% a 105.4% (+69% mejora), superando umbrales base granular ($\geq 80-100\%$ CBR). Dosificación ideal: 10% escoria, reduciendo plasticidad y elevando soporte sin exceder costos ambientales. La aplicación de escoria de cobre mejora significativamente las propiedades físicas y mecánicas de la base granular en conformaciones de vías. La dosificación óptima encontrada es 10% escoria de cobre por peso de finos malla #200, que mejora la capacidad de soporte CBR promedio 105.4% al 100% MDS (+69% vs control) y MDS 2.187 g/cm³.

Palabras Clave: Base granular, escoria de cobre, propiedades de la base granular.



ABSTRACT

This research, entitled "Effect of Copper Slag Application on the Properties of Granular Base Courses in Road Construction in the Province of San Román 2025," aims to analyze the effect of copper slag application on the properties of granular base courses in road construction in the province of San Román. Specific objectives include determining initial quality (ASTM D422/MTC E-204 particle size distribution, Atterberg MTC E-110, Modified Proctor MTC E-115, CBR MTC E-132) and its influence on physical (MDS/OCH) and mechanical (CBR 95-100% MDS) properties. A quantitative approach was adopted, with an applied research design, an explanatory level, and an experimental design. The scientific method was used to collect and analyze data from tests such as optimum moisture content, maximum dry density, and CBR index. Four progressive dosages of copper stabilizer were systematically evaluated: 0% (control), 5%, 10%, and 15%. Granular bases (A-2-4 GW-GM, IP 4.91-5.02) were sampled, and stabilized mixtures were prepared. Results show: average MDS increased from 2.139 g/cm³ (control) to 2.213 g/cm³ (15% slag); OCH stabilized at 8.0-8.6%; CBR at 95% MDS increased from 40.8% to 69.2% (optimum 10%), and at 100% MDS from 62.2% to 105.4% (+69% improvement), exceeding granular base thresholds (≥80-100% CBR). Ideal dosage: 10% slag, reducing plasticity and increasing support without exceeding environmental costs. The application of copper slag significantly improves the physical and mechanical properties of the granular base in road construction. The optimal dosage found is 10% copper slag by weight of #200 mesh fines, which improves the average CBR bearing capacity to 105.4% at 100% MDS (+69% vs. control) and an MDS of 2.187 g/cm³.

Keywords: Granular base, copper slag, properties of the granular base.



INTRODUCCIÓN

La escoria de cobre es un subproducto generado durante el proceso de fundición del cobre, y su disposición adecuada es un desafío para la industria minera debido a su volumen y características químicas. Sin embargo, se ha identificado que, debido a su composición, este material tiene un potencial significativo para ser reutilizado en diversas aplicaciones. Con una provincia con una economía baja, es crucial buscar soluciones sostenibles de residuos industriales y mejorar la calidad de carreteras en la región, utilizando tales soluciones. Al estudiar el impacto de la escoria de cobre, el estudio investiga la viabilidad de usar la escoria de cobre como material de refuerzo de la base granular de las estructuras de carreteras debido al efecto de la fuerza de los materiales utilizados en la fauna.

Además de los beneficios en términos de la reducción de los costes y la sostenibilidad, puede aumentar el rendimiento de la infraestructura, y esto también tiene un efecto positivo en la durabilidad y la resistencia. Así, el propósito de este trabajo es estudiar cómo afecta la introducción de escoria de cobre a las cualidades técnicas de la base granular en condiciones típicas de la provincia en términos climáticos y dinámica del tráfico. A través de este análisis, se espera encontrar soluciones recurrentes que puedan ayudar a usar eficientemente los recursos disponibles y mejorar la infraestructura vial de la región.

El presente estudio se clasifica en un enfoque cuantitativo; se obtienen datos precisos sobre escorias en bases granulares. El nivel de investigación es descriptivo porque trato de analizar los cambios sin realizar modificaciones directas en los procesos productivos. La investigación es de carácter aplicada, ya que busca resolver problemas prácticos del campo de la ingeniería civil. El diseño experimental se implementa para llevar a cabo pruebas controladas en laboratorio y comparar las propiedades del material con y sin escoria de cobre.



La tesis consta por 4 capítulos:

Capítulo I: En este capítulo, se describen los elementos primordiales en la investigación, partiendo de la determinación detallada del problema principal a resolver. Se define el contexto de origen de este estudio, se enmarcan los asuntos en curso implicados y se marcan los objetivos que compondrán el norte de la investigación total. Además, se fundamenta la importancia en la investigación del ámbito académico y de interés.

Capítulo II: En este capítulo, se definen los conceptos y términos críticos en base al cual se realiza el análisis posterior. Las definiciones seleccionadas a partir de la literatura académica y profesional garantizan obtener una comprensión más precisa de los términos utilizados en el trabajo y, por ende, permiten la uniformidad en la interpretación de los conceptos a lo largo del estudio.

Capítulo III: Metodología. En la presente sección, se presenta el diseño metodológico de la investigación. Se describen los pasos para obtener y recopilar datos. Se describe la revisión sistemática y analítica elegida para satisfacer los objetivos específicos del estudio. Además, este capítulo resume las herramientas, técnicas y procedimientos implementados para mantener la validez y la confiabilidad de los resultados.

Capítulo IV: En este capítulo, se describe el resultado obtenido a través del método específico de investigación. Cada sección describe los resultados encontrados y los resume en relación con los objetivos identificados para derivar las conclusiones adecuadas e identificar la relevancia y el significado del resultado.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Situación problemática.

El mayor interés global de las prácticas sostenibles y los enfoques innovadores en las últimas décadas resultó en el uso de materiales reciclados en el campo de las infraestructuras viarias. La escoria de cobre, un subproducto de esta fabricación, ha sido identificada como una opción viable en varias áreas del mundo. Se ha estudiado su viabilidad para construir bases granulares para las vías en países como Chile, Perú, y Zambia, donde la extracción de cobre es la principal fuente de ganancias. En estas áreas de alto rendimiento minero, como ocurrió en Chile, causaron muchos problemas ambientales producidos por escorias. La escoria de cobre tiene un potencial de mejorar las cualidades esenciales de los materiales de base granulares – como los resultados de esta experimentación demuestran. Además, puede mostrar muchos otros beneficios, como su capacidad de drenar, lo frágil que es y el tiempo que dura, lo que sería lo menos perjudicial para la Tierra y usar menos recursos naturales. El uso de escoria de cobre en la pavimentación de vías fue promovido como una Panacea en las regiones en las que, por un lado, la minería es una fuente importante de empleo, y por otro, causa un daño ambiental significativo. Sin embargo, sigue habiendo desafíos, en particular en términos



de la cantidad y calidad de las escorias generadas, que a menudo exceden la capacidad de los países para llevar a cabo una gestión eficiente (Celi, 2021).

A nivel nacional, el Perú, lo que ha generado una gran cantidad de escoria como subproducto de la minería. Aunque la escoria de cobre posee propiedades que la hacen apta para su reutilización en la construcción, su manejo y disposición adecuada sigue siendo un problema. Tanto el medio ambiente como las personas que se encuentran en las proximidades de las explotaciones mineras han estado sometidos a elevados niveles de presión como consecuencia de las enormes cantidades de escoria que se producen en el país, así como de la ausencia de normas adecuadas y de tecnología eficaz para su tratamiento. Especialmente en lugares como la Sierra y el Amazonas, donde los factores geográficos y climáticos hacen imposible la construcción de carreteras de alta calidad, existe una necesidad urgente de soluciones sostenibles en el sector de la infraestructura vial. Necesitamos estas respuestas lo antes posible. En este contexto, el uso de escoria de cobre podría representar una oportunidad de mejorar las bases granulares en las carreteras peruanas, particularmente en áreas de alta altitud en la provincia, donde la construcción y mantenimiento de infraestructuras viales son fundamentales para el desarrollo local. Sin embargo, el uso de escorias en la construcción de vías a nivel nacional aún enfrenta desafíos significativos, como la falta de estudios a gran escala que validen sus beneficios y el escepticismo respecto a los posibles efectos negativos a largo plazo sobre la salud pública y el medio ambiente (Guerrero y Valladolid, 2021).

En la provincia la situación vial presenta dificultades complejas. Las vías de comunicación, especialmente en zonas rurales, son deficientes al desgaste. En esta región, el clima frío y las fuertes lluvias frecuentes durante ciertos periodos del año afectan la durabilidad de las bases granulares, lo que agrava la situación de los transportes y afecta el desarrollo económico local. La minería del cobre, siendo una de las principales actividades económicas de la región, genera grandes volúmenes de escoria, que hasta ahora han sido mal gestionados o almacenados sin un uso efectivo. La acumulación de escoria de cobre plantea riesgos ambientales. (Ñaupá, 2020).

1.2 Planteamiento del problema.

1.2.1 *Problema General.*

¿Cuál es el efecto de la aplicación de escoria de cobre sobre las propiedades de la base granular en conformaciones de vías en la provincia de San Román 2025?

1.2.2 *Problemas Específicos.*

1. ¿Cuál es la calidad de materiales para base granular en conformaciones de vías a nivel de pavimento flexible en la provincia de San Román?
2. ¿Cuál es la influencia de la incorporación de escoria de cobre sobre las propiedades físicas del material de base granular en conformaciones de vías a nivel de pavimento flexible en la provincia de San Román?
3. ¿Cuál es la influencia de la incorporación de escoria de cobre sobre las propiedades mecánicas del material de base granular en conformaciones de vías a nivel de pavimento flexible en la provincia de San Román?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 *Objetivo General*

Analizar el efecto de la aplicación de escoria de cobre sobre las propiedades de la base granular en conformaciones de vías en la provincia de San Román 2025.

1.3.2 *Objetivos Específicos.*

1. Determinar la calidad de materiales para base granular en conformaciones de vías a nivel de pavimento flexible en la provincia de San Román.
2. Explicar la influencia de la incorporación de escoria de cobre sobre las propiedades físicas del material de base granular en conformaciones de vías a nivel de pavimento flexible en la provincia de San Román.



3. Explicar la influencia de la incorporación de escoria de cobre sobre las propiedades mecánicas del material de base granular en conformaciones de vías a nivel de pavimento flexible en la provincia de San Román.

1.4 Justificación de la investigación.

1.4.1 Justificación Teórica

La incorporación de escoria de cobre en las bases granulares para la conformación de vías representa una innovación en el ámbito de la ingeniería civil, particularmente en la construcción de pavimentos flexibles. La base de la tesis se basa en la teoría de materiales reciclados utilizados en la infraestructura vial, un campo que todavía está en constante evolución para descubrir soluciones más sostenibles y eficientes. A través de este estudio, se propone agregar más información sobre las propiedades mecánicas y físicas de la base granular utilizando un subproducto industrial, la escoria de cobre. Entre las teorías pertinentes se incluyen la ingeniería de materiales, los pavimentos y el reciclaje en la construcción de carreteras, específicamente la mejora de las propiedades de un material común utilizado a través de subproductos industriales.

1.4.2 Justificación Práctica

Desde un punto de vista práctico, la aplicación de escoria de cobre en la construcción de vías representa una solución viable y sencilla para mejorar la calidad de los pavimentos granulares. Además, las bases granulares son un componente clave de la pavimentación de carreteras, ya que forman una capa entre las sub-bases y las capas de superficie. En la provincia de San Román, la calidad de las bases granulares desempeña un papel crítico debido a la heterogeneidad y variabilidad de las características de los materiales locales. Por lo tanto, al mejorar las características de las bases granulares, la vida de las vías pavimentadas se podría expandir, reduciendo así los costos de mantenimiento. Además, los resultados de esta hoja permitirán un enfoque práctico en



cuanto al uso de residuos industriales en la infraestructura vial, promoviendo su adopción en otros proyectos de construcción en la región.

1.4.3 Justificación Social

Además, el contexto social implica un impacto directo en la calidad de vida de los residentes de San Román. Una red vial mejor y más duradera mejoraría las condiciones de circulación de la población local, reduciría los tiempos de viaje y proporcionaría un acceso más fácil a los servicios públicos, minoristas y de trabajo. Utilizar la escoria de cobre reciclada como material redirigirá la cantidad de basura del crisol que se produce en la región, lo que es útil para la comunidad en términos de salud pública y menos dañino para el planeta. Por lo tanto, este estudio también podría promover la implementación de prácticas más ecológicas en la industria de la construcción. Asimismo, demanda de uso de la ingeniería civil y la percepción del reciclaje y la reutilización de materiales podría extenderse.

1.4.4 Justificación Económica

En cuanto al aspecto económico, el uso de escoria de cobre en la construcción de pavimentos sería una oportunidad significativa para bajar los costos relativos a la adquisición de material disponible para la capa de revestimiento de la base granular. El reciclaje de escoria de cobre sería una alternativa más barata que la utilización de material natural o material común y corriente, lo que permitiría bajar los costos totales de construcción de carreteras. Al mismo tiempo, reducir los costos de mantenimiento y mejorar la resistencia de las carreteras aumentaría la efectividad del uso de los recursos públicos y brindaría beneficio a las autoridades responsables de la construcción y restauración de carreteras. Así, el descubrimiento se puede referir en el desarrollo de un modelo económico más sostenible y efectivo.



1.4.5 Justificación Ambiental

La incorporación de escoria de cobre en las bases granulares también tiene una importante justificación ambiental. La minería es una de las principales fuentes de contaminación en la región de San Román, generando grandes cantidades de escoria de cobre como subproducto. Aprovechar este material para la construcción de vías no solo ayuda a reducir el volumen de residuos, sino que también disminuye la necesidad de extraer materiales naturales, lo que tiene un impacto positivo en la preservación del medio ambiente. Esta tesis promueve la reutilización de materiales industriales, contribuyendo a la economía circular y a la reducción de los impactos ambientales asociados con la extracción y disposición de los residuos mineros. Además, la mejora en la calidad de las vías, con una mayor durabilidad y menor necesidad de mantenimiento, contribuye a la sostenibilidad a largo plazo al reducir la huella ecológica de la infraestructura vial.

1.5 Hipótesis de la Investigación.

1.5.1 Hipótesis General.

La incorporación de escoria de cobre en las bases granulares influirá en las propiedades físicas y mecánicas de las bases granulares en la conformación de vías.

1.5.2 Hipótesis Específicas.

1. La inclusión de escoria de cobre mejorará la calidad de los materiales de base granular en pavimentos flexibles.
2. La incorporación de escoria de cobre influirá en las propiedades físicas del material de base granular, como la granulometría, humedad y densidad.
3. La adición de escoria de cobre influirá en las propiedades mecánicas del material de base granular, mejorando la resistencia a la compresión y el módulo de resiliencia.



1.6 Variables e indicadores.

1.6.1 *Variable Independiente.*

Escoria de cobre

Dimensiones:

- Adición de escoria de cobre en 5%
- Adición de escoria de cobre en 10%
- Adición de escoria de cobre en 15%

1.6.2 *Variable Dependiente*

Propiedades de la base granular

Dimensiones:

- MDS (g/cm^3)
- OCH (%)
- CBR (100% MDS)

1.7 Operacionalización de Variables.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
Escoria de cobre	Material residual de fundición adicionado para estabilización mecánica	Proporción de adición de escoria de cobre	% de adición en 5%, 10% y 15%	5 - 15%	Balanza analítica (0.01g) Tamiz #200 (ASTM)	Numérica: continua

Variable Dependiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
Propiedades de la base granular	Características de compactación óptima y capacidad de soporte bajo carga	Propiedades físicas	MDS (g/cm ³) OCH (%)	1.80 - 2.23 g/cc 5.0 - 9.0%	Proctor Modificado MTC E-115	Numérica: continua
		Propiedades mecánicas	CBR (100% MDS)	70% - 90%	Ensayo CBR MTC E-132	Numérica: continua



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

2.1.1 *Antecedentes Internacionales.*

Según Wang et al. (2021), en su estudio "Influencia de la escoria de cobre en las propiedades mecánicas de los materiales granulares para la construcción de carreteras". Evaluó el impacto de la escoria de cobre utilizada como material de mejora en las bases granulares conducidas en la construcción de carreteras. La escoria de cobre es producida por la industria minera y ha sido considerada en otras investigaciones como un material reciclado con propiedades adecuadas para la construcción. Como tal, los resultados del estudio tienen un alto grado de relevancia para la ingeniería civil, ya que indican el hecho de que el material mejora significativamente la capacidad de carga y la estabilidad de las bases granulares, lo que tiene un impacto directo en la durabilidad perdurable de las carreteras. Por ejemplo, según los hallazgos, la resistencia a la compresión se mejoró en un 18% después de agregar un 10% de escoria de cobre al material granular común. La resistencia adicional es obligatoria para garantizar que los pavimentos sean útiles, especialmente en regiones de alto tráfico, pueden necesitar resistir muchas cargas pesadas y dinámicas durante un período prolongado. Además, la estabilidad volumétrica también se mejoró, lo que significa que la base granular se deforme menos cuando se



somete a cargas dinámicas. Esta es una consideración esencial ya que reduce el desgaste y, en última instancia, aumenta la vida útil de las carreteras y la estabilidad. Vale la pena mencionar aquí que los beneficios no se limitan a los mecánicos. El efecto de la escoria de cobre proporciona una forma relativamente barata y sostenible de solucionar los problemas relacionados con el pavimento en las carreteras. Esto se debe a que es un desecho de la industria minera, ya que su reutilización limita el volumen de desechos industriales y reduce la necesidad de extraer otros materiales para su uso en bases granulares. Estas son consideraciones esenciales ya que también alinean a la industria con los enfoques actuales hacia la sostenibilidad y el uso de materiales reciclados. Todos estos factores indican que la escoria de cobre podría ser una opción viable en proyectos significativos de construcción de carreteras.

Según Bera et al. (2019), en su estudio "Efecto de la escoria de cobre en las propiedades físicas y mecánicas del material granular utilizado en la construcción de carreteras". El efecto del empleo de la escoria de cobre en la granulometría, la cantidad de finos y la compactación de los materiales utilizados como base granular. El estudio fue capaz de constatar de que la escoria de cobre fue capaz de mejorar de forma significativa la granulometría de la mezcla granular sobre la base del resultado de la granulometría. La escoria de cobre fue capaz de reducir el porcentaje de granos finos retenidos en la malla No. 200, y esto permitió una mayor intercalación de los granos, que a su vez resultó en una mayor estabilidad y resistencia de la base granular. Este valor es uno de los indicadores de la durabilidad de la infraestructura vial, ya que una base más resistente se desgastará lentamente. Además, la resistencia de la base granular fue proporcional al grado de compactación, y esto firmaría la medida de la capacidad de la escoria de cobre. Otro factor del efecto es la compactación alcanzada por los granos que determinaron la estabilidad y la resistencia de la mezcla granular elaborada. La capacidad de carga también mostró una mejora. Es decir, el aumento de la capacidad de carga se produjo debido a que la base se resistió a la acción de las cargas estáticas como dinámicas. En resumidas



cuentas, el efecto de la escoria de cobre se logra a través de una mayor estabilidad y resistencia que se refleja en la durabilidad de la infraestructura vial. Al mismo tiempo, la escoria de cobre es un material destinado para mejorar las bases granulares accidentalmente necesariamente para mejorar con materiales caros. Lo cual tuvo que ser considerado al elaborar y elaborar diseños.

Según Ramasamy et al. (2020) en su estudio "Rendimiento de materiales granulares reforzados con escoria de cobre en pavimentos flexibles bajo cargas de tráfico". El objetivo general del estudio con respecto al comportamiento de bases granulares reforzadas con escoria de cobre bajo cargas de tráfico, como se ha indicado anteriormente, fue investigar de qué forma este material mejorador impacta en la durabilidad y resistencia de la infraestructura vial sometida a alto tráfico. Los resultados obtenidos indican que las bases granulares con un porcentual de escoria de cobre presentaron una gran mejora de la resistencia al desgaste. De esta forma, las bases granulares presentaron una mayor capacidad para soportar las fuerzas dinámicas generadas por el movimiento continuo de las unidades móviles, lo que resulta a sumamente importante en zonas de alto tráfico. Al ser la escoria de cobre un material de elevada densidad, contribuyó considerablemente a mejorar la integridad estructural de la base granular, lo cual resultó en una mayor estabilidad y durabilidad del pavimento en el tiempo. A ello se suma que, junto con la mayor resistencia al desgaste, la escoria de cobre también presentó un papel relevante en la reducción de la deformación plástica de las bases. Por lo tanto, la observación de la deformación plástica es crucial para prevenir la inestabilidad de base, lo que puede provocarla en la formación de baches u otras lesiones en la capa de rodamiento. La escoria de cobre permitió una mejor distribución de las cargas cíclicas emanadas por las unidades viales, lo que llevó a una fabricación reducida de la base. Es necesario destacar que la mejora en la resistencia a las cargas cíclicas es fundamental, especialmente en carreteras que presentan áreas de elevado tráfico, ya que garantiza que el pavimento pueda conservar su función estructural después de años de uso. Los resultados indican que no



solo la escoria de cobre fue eficaz para mejorar las propiedades mecánicas y físicas de las bases granulares, sino que también resultó ser un material muy conveniente para trabajar en proyectos viales en zonas de elevado tráfico. La resistencia a las cargas cíclicas y al desgaste permite la utilización del material mejorador en y pavimentos de elevado rendimiento. Dado que la escoria de cobre se trata de un subproducto de la industria minera, su utilización como material mejorador constituye no solo una opción económica y conveniente, sino también amigable con el ambiente en proceso de construcción de vías.

2.1.2 Antecedente Nacionales.

Según Álvarez y Rodríguez (2019) en su tesis "Aplicación de escoria de cobre en la construcción de bases granulares para pavimentos flexibles en Perú". En resumen, el propósito de esta tesis fue investigar la viabilidad de la escoria de cobre como material alternativo en la construcción de pavimentos flexibles como una forma sostenible y rentable de mejorar la calidad de las infraestructuras viales. A lo largo de la investigación, quedó demostrado que la escoria de cobre mejora las propiedades mecánicas de las bases granulares de pavimentos en sus diferentes formulaciones, mostrando vastas ventajas en términos de resistencia a la compresión. Por lo tanto, el aumento en la resistencia a través de una mayor durabilidad de las bases, sugiere que la escoria de cobre contribuirá a prolongar la vida útil de las carreteras, lo que resulta especialmente beneficioso cuando se trata de carreteras que ven un tráfico pesado y pesado. uso constante. Al mejorar la estabilidad estructural de la base, la escoria protege la carretera del deterioro y la deformación, permitiendo que las carreteras se mantengan en un mejor estado a lo largo del tiempo. Además de esto, el estudio resaltó que la escoria no solo influyó en la resistencia a la compresión y la durabilidad, sino que también aumentó la capacidad de carga de las bases. Esto es particularmente relevante en pavimentos de alta intensidad y alta incidencia de carga, como aquellos cerca de puertos o en áreas metropolitanas. La escoria de cobre hace que el peso se distribuya de manera más eficiente y así, la fuerza producida en el camino se reduce, protegiendo al pavimento de las deformaciones y la



formación de fisuras lo que hace que el pavimento sea más estable y resistente a las condiciones meteorológicas y estrés mecánico. Por lo tanto, la escoria no solo cumple con los requisitos estructurales, lo hace espectacularmente bien bajo condiciones peligrosas. Una de las mayores fortalezas de la escoria de cobre en esta configuración sería la reducción de los costos materiales. Al ser un subproducto, la escoria de cobre es más barata de usar que los materiales originales, que primero necesitan ser extraídos, un proceso costoso y altamente dañino para el medio ambiente de la grava y arena. Sustituir estos materiales con escoria de cobre no solo optimiza los costos, sino que también recicla y reutiliza otros desechos. Como resultado, la escoria de cobre ahora emerge como una alternativa viable y altamente recomendada para los ingenieros civiles al construir carreteras más baratas y sostenibles.

Según Gutiérrez y Flores (2020), en su artículo "Evaluación de escoria de cobre como material mejorador en bases granulares para pavimentos en Arequipa". En términos de conclusión, la revisión de este artículo fue enfocada en la evaluación del uso de la escoria de cobre como material de mejora de bases granulares para pavimentos en la región de Arequipa. El objetivo teórico detrás del estudio era responder la pregunta de si la adición de escoria de cobre tiene el potencial de mejorar las características físicas y mecánicas de los materiales usados sobre bases de pavimentos. Estas son la resistencia a la compresión y la estabilidad térmica de las bases granulares para pavimentos. Desde un punto de vista práctico, los resultados son altamente prometedores. La adición de escoria de cobre se reflejó en un aumento de la resistencia a la compresión de hasta un 18%. Este aumento es sumamente relevante para la construcción de carreteras ya que asegura que las vías sean capaces de resistir el tráfico pesado y las tensiones mecánicas. Definitivamente, este estudio tendrá un impacto muy positivo en el tráfico en Arequipa, a pesar de ser denso. Un segundo resultado significativo del estudio es que el uso de escoria mejora la estabilidad térmica de las bases granulares. A pesar de que el estudio no se centró en cuantificar cuan estable termodinámicamente es una base, se establece que la



escoria reduce o imprime una disminución relevante en la expansión térmica y contracción sobre materiales con opción al termo-efecto, lo que a largo plazo, tiene un efecto de reducir la inquietud sobre agrietamientos y deformaciones en las vías. En resumen, la escoria no solo será útil para mejorar las características mecánicas de las bases sino también para la durabilidad y resistencia de los pavimentos a condiciones climáticas extremas. Otro resultado de este artículo, el cual también vale la pena mencionaste, es que el uso de la escoria reduce los costos de construcción. A pesar de ser de bajo costo, la escoria reduce directamente la necesidad de grava, materiales clasificados y asfalto ya que es un subproducto minero.

Según Bravo y López (2021), en su tesis "Impacto de la escoria de cobre en las propiedades mecánicas de materiales granulares para pavimentos en la zona andina". El objetivo principal de este estudio fue evaluar las propiedades mecánicas de los materiales granulares utilizados en la construcción de carreteras debido a la presencia de escoria de cobre en las áreas andinas de Perú, una región en la que el geográficas y las condiciones climáticas son extremas. En conclusión, los resultados anteriores demostraron una considerable mejora en las propiedades básicas de la base granular, las propiedades más sobresalientes fueron un incremento significativo en la resistencia de compresión. En términos específicos, la adición a la mezcla granular de una tasa de escoria de cobre 10% mejoró su resistencia a compresión en un 18%, lo cual traduce a una mejor capacidad del pavimento para resistir tráfico pesado y cargas dinámicas, aumentando su era de servicio y durabilidad. Esta cuestión es crucial para zonas con redes viales intensivas del transporte. Como se sabe, en los Andes, este ve directa y en continuo aumento de presión. La prueba de la resistencia a la fatiga de las bases granulares con ecologías. Los resultados, tal como se presenta en la tabla 3, muestran que las mezclas que incluían este material alternativo mostraron mayor capacidad para resistir los efectos de cargas repetidas, lo que es crítico en pavimentos que se ven sometidos a uso constante y pesado. Específicamente, no solo la escoria de cobre incrementó la resistencia inicial de los



materiales, sino que también contribuyó a un mejor comportamiento de los mismos en términos de ciclos de carga que llevan al agrietamiento o la deformación. Esta característica en términos mecánicos es relevante para el logro de la estabilidad y el nivel adecuado de seguridad en las carreteras, especialmente en regiones de clima extremo y temperaturas cambiantes, son características que hacen parte del entorno andino en el Perú. Adicionalmente, este estudio confirmó que la escoria de cobre incrementó significativamente la estabilidad térmica de las bases granulares. En la zona andina, las temperaturas pueden variar bruscamente, lo cual favorece que las bases del pavimento se vean afectadas debido a su incapacidad para tolerar cambios de temperatura. La escoria de cobre contribuyó a reducir la expansión térmica y la contracción de las bases granulares, lo que significa que los pavimentos son menos propensos a los daños causados por estas variaciones extremas de temperatura. Con este comportamiento mejorado frente a los cambios térmicos, las carreteras construidas con escoria de cobre tienen una mayor resistencia al envejecimiento prematuro y a los daños relacionados con las condiciones climáticas, lo que no solo mejora su desempeño, sino que también reduce los costos de mantenimiento a largo plazo.

2.1.3 Antecedentes locales.

Según Flores y Quispe (2020), en su tesis "Estudio de la escoria de cobre como material mejorador en bases granulares para pavimentos flexibles en la región de Puno". Esta tesis se centra en la aplicación de escoria de cobre para mejorar las propiedades mecánicas de las bases granulares, específicamente en cuanto a la resistencia a la compresión, el módulo de resiliencia y la capacidad de soporte de carga. Los resultados obtenidos sugieren que la incorporación de escoria de cobre en la mezcla granular incrementa su resistencia a la compresión en un 15%, lo cual se traduce en una significativa mejora de la capacidad de los pavimentos de soportar las cargas producidas por la circulación vehicular. Esta es una mejora relevante desde una perspectiva de construcción de infraestructuras ya que la resistencia a la compresión juega un papel crítico



en la durabilidad y rendimiento estructural de las carreteras, especialmente cuando se considera el caso conducto de la zona andina peruana. Además de los beneficios en la resistencia a la compresión, los hallazgos de esta investigación también indicaron que la escoria de cobre mejora el módulo resiliente de las bases granulares. Este módulo resiliente es una propiedad crucial para evaluar la capacidad sostenida del material de mantener su forma original tras varias aplicaciones de carga repetidas, como es previsible debido al tráfico constante de vehículos. Un aumento del módulo resiliente implica que las bases granulares con escoria de cobre pueden soportar cargas cíclicas sin causar daños significativos, lo que, por lo tanto, prolonga la vida útil de los pavimentos y reduce las necesidades de mantenimiento. Este aspecto es particularmente crucial para áreas con alta intensidad de tráfico y condiciones de tráfico inestables porque la fatiga de los materiales es uno de los factores decisivos para la degradación de la carretera. Además, la pesquisa pone de relieve el impacto ambiental positivo de la reutilización de escorias de cobre como material reciclado en la pavimentadora. Es decir, al implementar este subproducto industrial minero para la construcción del camino, se contribuye enormemente a la reducción de los residuos industriales producidos durante el proceso de extracción y proceso del cobre. Tal enfoque no solo se puede decir que tiene un impacto significativo en la sostenibilidad de las infraestructuras viales, sino que también cumple con los principios de la economía circular. Esto se debe a que la escoria en sí misma no se desperdicia, y todos sus componentes se reutilizan o, como mínimo, se quitan del camino. La escoria de cobre se utiliza con la mayor eficacia en las carreteras, ya que deja de usarse grava y arena para estos fines. confirman que esto reduce la necesidad de explotar recursos naturales: suppressobio.com. Del mismo modo, la naturaleza no se destruye en la construcción de minas. Por lo tanto, en general, podemos decir que este enfoque promueve un desarrollo humano sostenible en las esferas de la infraestructura. En resumen, esta tesis demuestra que la escoria de cobre es una alternativa efectiva, sostenible y económicamente viable para mejorar las propiedades de las bases granulares en la construcción de pavimentos.



Según Mendoza y Castro (2022), en su artículo "Análisis de la escoria de cobre en la construcción de bases granulares para pavimentos rurales en Puno" Este artículo se enfoca en la evaluación de la escoria de cobre como material de sustitución parcial en las bases de pavimentos rurales en la región de Puno, un área caracterizada por su alta actividad minera y un clima que presenta desafíos particulares para la infraestructura vial. En resumen a través en las diferentes pruebas de laboratorio se logró evidenciar que la escoria de cobre mejora considerablemente las propiedades mecánicas de los materiales granulares que han de ser implementados en la construcción de pavimento rurales. Uno de l objetivo que se logró fue incrementar la resistencia a la compresión en un 12% de las bases granulares que tienen escoria de cobre. En general, el aumento en la resistencia a la compresión se traduce en una mayor capacidad de las carreteras para soportar las cargas dinámicas y las tensiones distribuidas por el paso frecuente de pesados vehículos, lo cual es vital para la sostenibilidad y confiabilidad de las carreteras rurales en la región. Aparte de la resistencia a la compresión, el estudio también sugiere que la escoria de cobre tiene un impacto positivo en otras propiedades mecánicas esenciales, como la capacidad de carga y la resistencia a cargas térmicas. La inclusión de escoria de cobre en la base granular de las rutas mejoró la integridad estructural de las capas de asfalto, disminuyendo el grado de deformación expuesto a altas cargas y aumentando la resistencia a las tensiones generadas por el cambio en la temperatura. Adicionalmente, en Puno, las diferencias térmicas entre el día y la noche no son despreciables, lo que podría ser dañino si los materiales utilizados no garantizan la estabilidad del pavimento. Por lo tanto, la escoria de cobre no solo mejora la capacidad estructural, sino también la resistencia a las condiciones extremas de la geografía de Puno. Otra implicación económica y sostenible de utilizar escoria de cobre en la construcción de pavimentos rurales expuesta en el estudio es la reducción del costo de los materiales. En vista de que este es un subproducto de la actividad minera, su uso reduce la extracción de materiales naturales como la grava y la arena, cuyo transporte y adquisición tienen un bajo costo, y su extracción impacta de forma



negativa en el ambiente. Por lo tanto, se puede concluir que esta solución sostenible de bajo costo no solo permite optimizar los escasos recursos disponibles en regiones como Puno, donde los costos de la construcción aumentan sustancialmente debido al terreno y la distancia de los recursos de materiales suministradores. Como resultado, el uso de escoria de cobre no solo mejora las propiedades estructurales de las bases granulares, sino que también facilita prácticas más respetuosas y eficientes de su construcción en infraestructuras viales rurales.

Según Quispe y Ramos (2020), en su tesis "Evaluación del uso de escoria de cobre en la mejora de bases granulares para pavimentos en Puno". Centrándose en investigar cómo el uso de escoria de cobre ha afectado las calidades de las bases granulares en los pavimentos flexibles en la región de Puno, este estudio verifica que las condiciones geográficas y climáticas de la región presentan desafíos suficientes para infraestructuras viales. Al hacer varias pruebas de laboratorio, se ha demostrado que agregar un 15% de escoria de cobre a las mezclas granulares conduce a mejor calidad de las bases en términos mecánicos. El descubrimiento más relevante fue un aumento del 20% en la resistencia a la compresión de las bases granulares. Eso significaría una mayor resistencia del pavimento a las cargas pesadas y la capacidad de soportar las tensiones mecánicas introducidas por el tráfico. Lo cual es necesario para la durabilidad en una región con condiciones extremas de clima, topografía y tráfico pesado. Además de la resistencia a la compresión, la escoria de cobre también mejoró la capacidad de carga del material base. Una ventaja adicional de incorporar este material reciclado es que no solo les dio a las bases granulares una mayor resistencia, sino que también las fortaleció ante cargas dinámicas, aumentando la integridad estructural de la capa de rodadura en un periodo de tiempo. Esto se traduce en un aspecto relevante para los pavimentos flexibles que deben ser capaces de mayor extender las cargas eficientemente sin sufrir deformaciones permanentes en el proceso. Además, la mayor capacidad de carga implica una mayor durabilidad de las infraestructuras viales, lo que reduce la necesidad de reparaciones



frecuentes y, por lo tanto, los costos de mantenimiento a largo plazo. Otro aspecto destacado por este estudio es la capacidad de la escoria de cobre para reducir la cantidad de finos en la mezcla de grava. Esto ayudará a perfeccionar la compactación del relleno y llevará a una base granular más densa y uniforme. Una base más densa en el fondo del pavimento es primordial, ya que minimiza la deformación material y el asentamiento con el tiempo. Al mismo tiempo, su desempeño como un agente de óptima de la estructura de la mezcla granular significa que la escoria de cobre no solo aumenta la resistencia y capacidad de carga, sino que también reivindica su comportamiento en términos del ciclo de carga y descarga. Como resultado, se argumenta que los resultados indican que la escoria de cobre es una alternativa técnica asequible y sostenible para mejorar la calidad de sus pavimentos flexibles y para incorporarse en proyectos de construcción de carreteras en la región de Puno.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Escoria de cobre

Este material residual se forma cuando el mineral de cobre se somete a altas temperaturas para separar las impurezas del metal, produciendo una mezcla compleja que incluye los óxidos de cobre, hierro, silicio y otros metales, en cantidades menores, constituyen la mayor parte del material. La composición química y mineralógica del material está sujeta a cambios en función de las técnicas de fundición utilizadas y el origen del mineral, lo que hace que la escoria de cobre tenga características físicas únicas que pueden aprovecharse, a pesar de que se considera un residuo, posee cualidades que la hacen adecuada para su reutilización como material en elaboración de pavimentos, bases granulares y cemento (Guevara, 2022).

Es posible mejorar una serie de características de las mismas incorporando esta sustancia a las mezclas. Entre estas propiedades se incluyen sus capacidades. Además, la escoria de cobre tiene la capacidad de incrementar la cohesión en los materiales de



pavimento, Esto ayuda a garantizar que las vías sean estables y tengan una base estructural sólida. Las cualidades térmicas y mecánicas del material son las responsables de estas ventajas. Estas propiedades permiten que el material tenga una mayor resistencia al desgaste y a condiciones climáticas muy adversas. En este sentido, es una alternativa económica, ya que su costo es generalmente inferior al de otros productos tradicionales utilizados en la fabricación de pavimentos y concretos (Barros, 2022).

Desde una perspectiva ambiental, ofrece una solución sostenible a los problemas derivados de la acumulación de este material como residuo industrial. Al reciclar y reutilizar la escoria de cobre, Esto ayuda a garantizar que las vías sean estables y tengan una base estructural sólida. Las cualidades térmicas y mecánicas del material son las responsables de estas ventajas. Estas propiedades permiten que el material tenga una mayor resistencia al desgaste y a condiciones climáticas muy adversas. Sin embargo, su incorporación en proyectos de construcción debe estar acompañada de rigurosos estudios y tratamientos para asegurar que no se liberen material toxico que puedan ser contaminantes. La implementación de tecnologías de tratamiento adecuadas puede mitigar estos riesgos, haciendo que la escoria de cobre sea una opción segura y efectiva para su uso en la construcción de infraestructuras viales y urbanas (Barros, 2022).

2.2.1.1 Propiedades químicas y físicas

Por tanto, con su composición compleja que depende del proceso de fundición del cobre y las impurezas que estaban presentes en el mineral original. Físicamente, la escoria usualmente es un sólido granular de color negro, gris o verde. Tiene una textura áspera y una densidad que oscila entre 2,5 y 3,0 g/cm³, por lo que, en consecuencia, es relativamente más denso en comparación con los otros materiales reciclados que utilizamos. Estas escorias también tienen la capacidad de absorber agua, lo que supone otra ventaja moderada debido a su porosidad, lo que influye en su comportamiento cuando se utiliza en mezclas de concreto o pavimentos. Esta propiedad es importante, ya que puede afectar sus capacidades en los que se incorpora (Barros, 2022).



Es rica en óxidos metálicos, principalmente (CuO), (FeO), y silicatos. Su composición química también puede incluir trazas de metales pesados como (As), (Pb), (Zn), dependiendo de las condiciones específicas de fundición y la fuente del mineral de cobre. Estos elementos pueden afectar la solubilidad de la escoria y su potencial para liberar compuestos tóxicos en el medio ambiente. La alcalinidad de la escoria, medida por su pH, suele ser alta, lo que le otorga una cierta capacidad para interactuar con ácidos y otras sustancias durante su tratamiento o su integración en mezclas de construcción (Guevara, 2022).

Por consiguiente, en comparación con otros materiales reciclados que se utilizan, es relativamente denso. También tiene la capacidad de absorber agua, lo que supone otra ventaja, como el concreto o los pavimentos. La presencia de óxidos metálicos en la escoria le proporciona una alta resistencia a los factores ambientales, lo que mejora la durabilidad de los materiales en los que se usa. Sin embargo, su potencial para liberar metales pesados plantea desafíos ambientales, por lo que se requiere un manejo adecuado para evitar su lixiviación en suelos o fuentes de agua cercanas. Los estudios sobre la estabilidad química de la escoria y su comportamiento frente a distintos agentes ambientales.

2.2.1.2 Aplicaciones de la escoria de cobre

Estas características la hacen perfecta para mejorar una amplia gama de propiedades asociadas a los materiales para construir. Normalmente en la producción de bases granulares para pavimentos flexibles, que es una de las aplicaciones más conocidas de este material, ya que es una sustancia extremadamente robusta y duradera, la escoria de cobre se utiliza como alternativa parcial a los áridos tradicionales. Esto da como resultado una mayor estabilidad y una mejora de las cualidades mecánicas de las carreteras. El uso de materiales reciclados es una alternativa atractiva tanto desde el punto de vista económico como medioambiental en regiones donde los recursos naturales son escasos o caros, y donde el uso de materiales reciclados es una alternativa viable, esto lo hace especialmente valioso. (Barros, 2022).



La escoria de cobre puede mejorar su resistencia y tenacidad al incorporarse a sí misma, la producción de un hormigón más resistente y resiliente la hace ideal para condiciones adversas. Esto puede ser especialmente ventajoso en el diseño de infraestructuras que se desarrollan en condiciones hostiles, como puentes o losas, así como en obras marítimas. Al bloquear el suministro de humedad o agua, la escoria también puede limitar el mantenimiento de la estructura. (Barros, 2022).

La producción de cemento convencional, es posible reducir estas emisiones sustituyendo parcialmente el clinker de cemento por escoria de cobre. Esto contribuiría a que la industria de la construcción. El aumento de la resistencia a los sulfatos y la mejora de la durabilidad frente a las agresiones químicas son dos ejemplos de estas mejoras. Se prevé que su aplicación crezca, lo que dará lugar a la provisión de soluciones sostenibles y rentables en el sector de las infraestructuras. (Guevara, 2022).

2.2.1.3 Impacto ambiental de la escoria

Para empezar, la utilización de escoria de cobre en proyectos de construcción ayuda a reducir el impacto medioambiental asociado a la minería. Es la basura generada como resultado de la minería del cobre la responsable de este daño. Si no se gestiona adecuadamente, puede contaminar el aire, el agua y la tierra. Se puede reducir drásticamente la cantidad de basura que se produce si se recicla este subproducto en lugar de tirarlo a la basura. Se vierte menos basura procedente de procesos industriales en los vertederos y hay menos demanda de extracción de nuevos recursos naturales, lo cual ayuda a mitigar los efectos negativos de la minería, como la deforestación y la destrucción de hábitats naturales (Guevara, 2022).

Sin embargo, el uso de escoria de cobre también plantea desafíos en términos de la potencial liberación de metales pesados y sustancias tóxicas al medio ambiente, pueden lixiviarse en el agua o el suelo si no se realiza un tratamiento adecuado del material antes de su incorporación en la construcción. Además, estos metales pesados son peligrosos para los ecosistemas acuáticos y terrestres, y si se acumulan en los alimentos o en los recursos hídricos, pueden tener efectos negativos para la salud humana. Así, la escoria de



cobre usada en la construcción debe tratarse y evaluarse apropiadamente para asegurar que no libere problemas de este tipo. Por lo tanto, la investigación precisa de las pruebas de lixiviación también es un deber de algunas leyes ambientales internacionales (Barros, 2022).

En resumen, el uso de escoria de cobre en la construcción a escala global se presenta como una posible solución ambiental siempre que se implementen tecnologías que permitan afrontar el desafío de tratar el material de forma segura y eficiente, a su vez de maximizar sus beneficios ecológicos.

2.2.2 Materiales para pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles, en cambio, utilizados predominantemente. Las calzadas y las carreteras están hechas combinando materiales que tienen flexibilidad, resistencia a pesos y durabilidad. Los ingredientes son el árido antes mencionado. Por un lado, el árido grueso; en el caso de la base granular, y el árido fino en el de la sub-base granular; estos dos componentes son los que ocupan más del volumen completamente; son hechos o comprados por su resistencia y durabilidad. Y el árido tiene que mantenerse unido con algo, el aglomerante, en el caso del asfalto, el aglomerante turbino y una materia votante para unir las rocas para producir. Sirve para unir el 'árido, conformarse con un 'todo bollo', logra la estabilidad y la cohesión porque controla la viscosidad del aglomerante asfalto y mejora la mezcla. (Barros, 2022).

En cuanto al agregado, debe ser de buena calidad debido a que si es de mala calidad se verá sometido a abrasión y desgaste prematuro y afectarán la vida útil. Así como, el asfalto debe ser seleccionado de manera adecuada de acuerdo al tipo y propiedad que éste posea, debido a que debe actuar ante las variaciones y tener buena adherencia al agregado son fundamentales para mantener la integridad estructural del pavimento bajo condiciones extremas. Asimismo, los asfaltos flexibles deben ser concebidos para facilitar un drenaje óptimo, impidiendo que el agua se deposite en la superficie y provoque estragos como el desgaste por humedad. (Guevara, 2022).



Estos materiales reciclados pueden mejorar propiedades clave Los pavimentos pueden mejorarse en aspectos como la resistencia al impacto, la impermeabilidad y la capacidad de carga, al tiempo que contribuyen a reducir los costes de construcción y gestionan de manera más eficiente los desechos industriales. (Barros, 2022).

2.2.2.1 Composición y propiedades de las mezclas asfálticas

El uso de mezclas asfálticas, que son una combinación de áridos (grava, arena y rellenos), asfalto y, en ocasiones, otros elementos modificadores. Básicamente, una mezcla asfáltica se compone de dos tipos de agregados y un agente aglutinante. Los agregados, gruesos y finos, constituyen la estructura de soporte del pavimento y están unidos por el agente aglutinante, que es un asfalto pegajoso y viscoso. En términos técnicos, los agregados se eligen por su resistencia a largo plazo, mientras que el agente aglutinante les da cohesión y flexibilidad. Para aumentar la vida útil de un pavimento, los agregados deben cumplir con ciertos estándares de tamaño, forma y resistencia a la abrasión. A su vez, el asfalto debe tener una buena calidad y aplicarse según el tráfico y el clima (Infantes, 2020).

Además de esto, la durabilidad de la mezcla, recuerda la capacidad del pavimento de soportar la humedad, las altas temperaturas y el impacto del tiempo, para garantizar una vida útil más larga para el pavimento. Esta capacidad está indicada por la resistencia a los impactos meteorológicos. Otras propiedades útiles son la impermeabilidad, que sirve para prevenir la entrada de agua y para proteger la estructura interna del pavimento del deterioro, y el módulo de deformación, que indica la capacidad del pavimento de resistir la deformación bajo cargas estáticas y dinámicas. La proporción adecuada de todos estos componentes en la mezcla es otra clave para un exitoso rendimiento del pavimento de tipo flexible (Barros, 2022).

junto con los componentes principales, las mezclas asfálticas pueden incluir modificadores y aditivos para mejorar la combinación de betún y propiedades, mientras que los rellenos minerales como la escoria de cobre y el caucho reciclado a menudo se agrega con el propósito expreso de mejorar la resistencia al desgaste y la mayor capacidad



de carga. Estas modificaciones permiten adaptar las mezclas asfálticas a condiciones climáticas extremas, como las altas temperaturas o la exposición al agua, así como a niveles de tráfico pesado, mejorando su desempeño y extendiendo la vida útil del pavimento. (Infantes, 2020).

2.2.2.2 Características de la carpeta de rodadura

Para evitar que con el tiempo se formen fracturas, fisuras o deformaciones en las superficies, lo que podría afectar a su utilidad y seguridad, estas deben ser capaces de mantener intacta su integridad estructural. Estos materiales deben incluir áridos gruesos y finos de alta calidad, que ofrezcan la estabilidad necesaria para soportar tensiones repetidas. (Juárez, 2019).

El drenaje adecuado ayuda a prevenir la formación de charcos y reduce el riesgo de daños por erosión, así como la posibilidad de formación de baches o deformaciones por congelación en climas fríos. Además, un buen drenaje mejora la seguridad vial, al reducir los riesgos de aquaplaning y garantizar una mejor adherencia de los neumáticos al pavimento en condiciones de lluvia (Infantes, 2020).

La rugosidad de la superficie de rodadura influye en seguridad y el confort del tránsito. La rugosidad de la superficie determina el nivel de fricción entre el neumático del vehículo y el pavimento, lo que afecta la tracción y la capacidad de frenado. Una superficie de rodadura debe tener una rugosidad que proporcione suficiente fricción para evitar deslizamientos y accidentes, especialmente en condiciones climáticas adversas. Sin embargo, también debe evitar un exceso de rugosidad, ya que esto podría generar un desgaste innecesario en los neumáticos de los vehículos. Por lo tanto, la textura superficial debe ser diseñada para equilibrar la fricción con la durabilidad y el confort de conducción. Esto se logra mediante el uso de mezclas asfálticas con agregados que proporcionen la textura adecuada para cada tipo de tráfico y clima.

2.2.2.3 Técnicas de mejoramiento de mezclas asfálticas

Se han establecido diversos enfoques con el fin de mejorar las características fundamentales de las mezclas asfálticas, las estrategias consisten en la modificación del



asfalto mediante el uso de polímeros, como el asfalto modificado con polímeros (AMP). Estos polímeros, que pueden ser elastómeros o plásticos, se agregan al asfalto para mejorar su elasticidad y resistencia a las altas temperaturas, reduciendo la deformación plástica y aumentando la vida útil del pavimento. El AMP ofrece una mayor flexibilidad y adhesión entre los agregados, lo que resulta en pavimentos más resistentes a la fisuración y al desgaste por tráfico pesado (Juárez, 2019).

Otra técnica común es el uso de aditivos para mejorar la trabajabilidad y compacidad de las mezclas asfálticas. Los aditivos, como los plastificantes, transforman la viscosidad del asfalto, agilizando así la mezcla y la instalación del pavimento. Además, el uso de rellenos minerales como la escoria de cobre o el caucho reciclado contribuye. Estos materiales reciclados pueden aumentar su proceso, reduciendo la cantidad de recursos vírgenes necesarios y, al mismo tiempo, proporcionando una solución sostenible para el manejo de desechos industriales. (Infantes, 2020).

2.2.3 Fibra de aluminio en la construcción de pavimentos

Una estrategia novedosa que busca mejorar diversas cualidades mecánicas y físicas de las mezclas de asfalto y hormigón, el uso de fibra de aluminio en la construcción de pavimentos es un método innovador que, en términos de durabilidad, resistencia y sostenibilidad, este material ofrece ventajas sustanciales. El acero es un material ligero y, sin importar su robustez, si se lo agrega a las mezclas, se vuelve un material con más tenacidad y resistencia al agrietamiento bajo condiciones de carga repetida. Gracias a su estructura flexible, la fibra es capaz de distribuir las tensiones de manera más uniforme por toda la mezcla. Esto ayuda a reducir la formación de grietas y mejora la resistencia a la fatiga del pavimento, lo que a su vez aumenta su vida útil y reduce los costes de mantenimiento a largo plazo. (Juárez, 2019).

Resistencia térmica de los pavimentos. Debido a que el uso de fibra asegura una mejora distribución del calor durante los procesos de producción y usos, los pavimentos no se deforman con temperaturas altas. Esto inconveniente se experimenta más en climas



caluro con las mezclas asfálticas sufriendo deformación plástica o ablandamientos. La fibra de aluminio también puede proporcionar una mayor impermeabilidad en las mezclas, ya que actúa como una barrera adicional contra la penetración de agua, protegiendo las estructuras subyacentes del pavimento y evitando el daño por congelación-descongelación en climas fríos (Infantes, 2020).

El uso de fibra de aluminio en pavimentos también tiene un componente ambiental positivo, ya que se trata de un material ligero y reciclable. Su inclusión en las mezclas puede reducir la necesidad de otros materiales sintéticos o naturales, y al ser un producto reciclado, su uso ayuda a disminuir la cantidad de residuos industriales. Este enfoque no solo mejora las propiedades del pavimento, Como resultado de las numerosas ventajas que ofrece la fibra de aluminio en términos de rendimiento estructural y sostenibilidad, es una solución potencial para la mejora de los suelos en la construcción contemporánea.

2.2.3.1 Propiedades de la Fibra de Aluminio

El hecho de que tenga una buena resistencia es una de sus principales características; esta resistencia le permite soportar tensiones y deformaciones sin romperse, lo que la convierte en un refuerzo ideal para aumentar la tenacidad de las mezclas asfálticas y de concreto. Esta resistencia es especialmente beneficiosa para los pavimentos que están sujetos a cargas repetidas y al estrés mecánico, ya que mejora la resistencia a la fatiga y previene la agrieta dura, lo que se manifiesta como cuadrículas, trazos, o agujeros de oyentes en la superficie de los pavimentos. (Juárez, 2019).

Otra propiedad importante de la fibra de aluminio es su ligereza, que facilita su manejo y minimiza el peso de los pavimentos. Si bien es ligera, ofrece una alta capacidad de refuerzo, ya que su bajo espesor reduce significativamente la necesidad de refuerzo general sin comprometer la integridad funcional ni el costo del material. Su ligereza también facilita su aplicación durante el proceso de mezclado, lo que simplifica el proceso de producción. (Juárez, 2019).

En términos de resistencia térmica, la fibra de aluminio demuestra una excelente estabilidad en altas temperaturas, por lo tanto, es la mejor opción para pavimentos sujetos



a climas extremos. La resistencia a altas temperaturas ayuda a evitar la deformación del pavimento en situaciones de extrema calor además de que la fibra de aluminio tiene mucha resistencia en un material durable en situaciones de ambientes con alta humedad o expuestos productos químicos dañinos como en el caso de pavimentos industriales o en áreas costeras. Estas propiedades, combinadas con su capacidad de ser reciclada, hacen de la fibra de aluminio un material no solo funcional, sino también ambientalmente sostenible para la construcción de pavimentos de alto rendimiento (Infantes, 2020).

2.2.3.2 Beneficios de la incorporación de fibra de aluminio en pavimentos

La fibra de aluminio distribuye las tensiones de manera uniforme en la mezcla, lo que previene la aparición de fisuras debido a cargas repetidas y movimientos térmicos. Este refuerzo adicional aumenta la tenacidad del pavimento, reduciendo la probabilidad de fisuración prematura que son las responsables de las infraestructuras viales (Infantes, 2020).

Lo que es especialmente ventajoso en regiones con climas calurosos donde los pavimentos convencionales pueden ablandarse y deformarse. Gracias a su alta estabilidad térmica, ayuda a mantener la integridad estructural del pavimento incluso durante los períodos más calurosos, mejorando la resistencia al desgaste causado por el calor. Esto hace que los pavimentos sean más duraderos y resistentes a la deformación plástica o huellas que se pueden formar por la presión de los vehículos (Juárez, 2019).

Se promueve una estrategia de economizar mediante el uso de fibra de aluminio reciclada en mezclas de asfalto u hormigón. Esto dará lugar a una reducción de sus cantidades industriales. La ligereza de la fibra facilita su manejo y aplicación, lo que también reduce el consumo de energía durante la fabricación de los pavimentos. Este enfoque no solo optimiza los recursos, sino que también mejora el perfil ambiental de los proyectos, haciendo que los pavimentos sean más ecológicos y menos dependientes de materiales vírgenes. Cuando se consideran todas estas ventajas en conjunto, la fibra de aluminio se perfila como una alternativa atractiva para mejorar las cualidades mecánicas



de los pavimentos, de modo que sean más respetuosos con el medio ambiente. (Infantes, 2020).

2.2.3.3 Efectos de la fibra de aluminio sobre las propiedades mecánicas del pavimento

Las fuerzas que ejerce el tráfico automovilístico, ya que distribuye las tensiones de manera más uniforme por toda la mezcla. Este refuerzo estructural reduce la deformación plástica y la fatiga que los pavimentos experimentan con el tiempo, incrementando su capacidad de carga y permitiendo que los pavimentos soporten mayores pesos y un tráfico más intenso sin deteriorarse prematuramente (Nazer et al., 2021).

Las fibras de aluminio proporcionan una distribución uniforme de la tensión por toda la superficie del pavimento, la aparición de fracturas. Estas fisuras son uno de los problemas más comunes en los pavimentos tradicionales y pueden comprometer la integridad estructural del material. La fibra actúa como una red interna que refuerza la mezcla y mejora sus capacidades. (Juárez, 2019).

La capacidad de la fibra para adaptarse a las tensiones y movimientos del pavimento sin romperse ayuda a reducir su formación de deformaciones plástica, Mejora tanto la sensación de comodidad como la seguridad al conducir. Esto resulta especialmente útil en regiones con grandes variaciones de temperatura o condiciones de tráfico intenso. En resumen, La resistencia a la compresión, a la flexión y a la tracción son solo algunas de las propiedades mecánicas fundamentales que se mejoran con el uso de fibra de aluminio. Además, la fibra de aluminio ayuda a que los pavimentos sean más duraderos, seguro y económico a largo plazo (Nazer et al., 2021).

2.2.4 Geopolimerización y su Aplicación en Concreto

Una solución alcalina para formar una matriz sólida que posee propiedades similares al cemento tradicional, pero con un menor impacto ambiental. Este proceso se basa en la activación de materiales ricos en sílice y alúmina, como cenizas volantes, escoria de alto horno, y arcillas con soluciones alcalinas, generalmente hidróxido de sodio



o potasio. El resultado es la formación de geopolímeros, materiales con alta resistencia y durabilidad, que se utilizan como una alternativa más ecológica al concreto convencional. (Nazer et al., 2021).

Por ello, son una opción atractiva para la construcción de estructuras como puentes, edificios industriales y pavimentos, todos ellos ámbitos en los que la resistencia es un componente esencial. Además, los concretos geos poliméricos muestran una mayor resistencia al fuego y a la corrosión debido a su composición química, lo que aumenta la durabilidad de las estructuras y reduce la necesidad de mantenimiento frecuente. Esto los hace especialmente adecuados para su uso en condiciones difíciles, como instalaciones industriales o zonas costeras, donde el hormigón ordinario puede deteriorarse rápidamente debido al contacto con sustancias corrosivas. (Juárez, 2019).

Una huella de carbono más reducida es otra ventaja significativa que ofrece la Geopolimerización en el sector de la construcción, la producción convencional de cemento contribuye de manera significativa a este problema, pero los geopolímeros utilizan materiales secundarios como la ceniza volante y la escoria, que de otro modo serían desechados o requerirían costosos procesos de tratamiento. Al sustituir parcialmente el cemento tradicional por geopolímeros, se puede reducir significativamente la dependencia de los recursos naturales y disminuir el impacto ambiental de los proyectos de construcción. Como resultado, la geopolimerización contribuye a los esfuerzos de la industria de la construcción por cumplir sus objetivos de reducir las emisiones y conservar los recursos. (Nazer et al., 2021).

2.2.4.1 Principios de la Geopolimerización

La geopolimerización es un proceso químico que implica la activación de materiales ricos en sílice y alúmina mediante el uso de soluciones alcalinas para formar una red tridimensional de polímeros inorgánicos. Las escorias de alto horno o arcillas, para reaccionar con compuestos alcalinos fuertes, como el (NaOH) o (KOH). Estas reacciones generan una matriz sólida de aluminato de sodio o aluminato de potasio, conocida como geopolímero, que posee propiedades similares a las del concreto tradicional, pero con



menores impactos ambientales. Este proceso es fundamentalmente una reacción entre los silicatos y los oxígenos metálicos presentes en los materiales, resultando en una estructura de unión similar al cemento, pero sin la necesidad de calcinación a altas temperaturas como ocurre en la producción del cemento Portland (Nazer et al., 2021).

El principio básico detrás de la geopolimerización es la disolución de las fases de sílice y alúmina de los materiales de partida en el medio alcalino, seguida de una polimerización que da lugar a una red estructural de silicatos y aluminatos. La reacción comienza con la disolución de los materiales ricos en sílice y alúmina en el medio alcalino, liberando iones metálicos y creando un gel alcalino precursor de la formación del geopolímero. Este gel posteriormente se organiza, formando una estructura tridimensional que confiere al material una alta resistencia mecánica, baja permeabilidad y una notable resistencia a la corrosión y al fuego. Este proceso de formación de la estructura de red es lo que permite que los geopolímeros sean tan resistentes, tanto a la compresión como a las condiciones ambientales adversas (Juárez, 2019).

Además, la geopolimerización es ambientalmente más amigable que la producción de concreto convencional, ya que no requiere las altas temperaturas (cerca de 1400-1600 °C) que son necesarias para la producción de cemento Portland. En su lugar, la geopolimerización se lleva a cabo a temperaturas mucho más bajas, generalmente entre 25°C y 100°C, de modo que se produce la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), así como de la cantidad de energía que se consume en gran medida. Aprovechamiento de los residuos que se producen como subproductos de los procesos industriales, como la escoria de alto horno o las cenizas volantes, la geopolimerización también contribuye a la reducción de desechos industriales, lo que la convierte en una opción más sostenible para la construcción. A partir de estos principios fundamentales, la geopolimerización se perfila como una alternativa potencialmente fructífera para la producción de materiales de construcción de alto rendimiento.



2.2.4.2 Uso de geopolímeros en la fabricación de concreto

Los geopolímeros, compuestos por materiales ricos en sílice y alúmina activados con soluciones alcalinas, forman una estructura similar al cemento, pero sin la necesidad de calcinación a altas temperaturas. Este método de geopolimerización no solo reduce las emisiones de dióxido de carbono, sino que también permite utilizar residuos de procesos industriales. Esta sustitución por materiales reciclados no solo se traduce en una reducción de los residuos, sino también en una disminución de la demanda de recursos vírgenes, lo que contribuye al desarrollo de una economía circular en el sector de la construcción. (Nazer et al., 2021).

Se ha demostrado que el hormigón modificado con polímeros posee una mayor resistencia, es adecuado para aplicaciones de alto rendimiento, como estructuras industriales, puentes y pavimentos. Gracias a su extraordinaria resistencia a los ácidos, sulfatos y sustancias cáusticas, son una opción fantástica para su uso en condiciones muy adversas, como plantas químicas, zonas costeras o regiones con un alto nivel de actividad sísmica. La mayor impermeabilidad de los geopolímeros también mejora la durabilidad de las estructuras, ya que minimiza la penetración de agua y otros elementos que pueden deteriorar el concreto convencional (Juárez, 2019).

Otro aspecto clave del uso de geopolímeros en la fabricación de concreto es su menor huella de carbono dióxido de carbono, mientras que la fabricación de geopolímeros se lleva a cabo a temperaturas mucho más bajas, generalmente entre 25°C y 100°C, lo que reduce significativamente el consumo energético. Además, al utilizar materiales secundarios como las cenizas volantes o las escorias, se disminuye la dependencia de recursos naturales no renovables y se aprovechan productos que de otro modo podrían ser descartados. Esta sostenibilidad convierte a los geopolímeros en una alternativa atractiva para proyectos de construcción que buscan cumplir con estándares ecológicos y reducir su impacto ambiental, sin comprometer la calidad o la eficiencia de las infraestructuras.



2.2.4.3 Ventajas y Desventajas de la Geopolimerización en la Industria de la

Construcción

Los geopolímeros son adecuados para aplicaciones exigentes, como estructuras industriales, puentes y pavimentos que están sometidos a circunstancias extremas, durabilidad y resistencia química. Estas características hacen que los geopolímeros sean aceptables para su uso. Debido a su excepcional resistencia a la corrosión, los sulfatos y el agua salada, son ideales para su uso en entornos severos, como regiones costeras o regiones con altos niveles de humedad. Algunas de sus características más significativas son la resistencia al fuego y la impermeabilidad, que contribuyen a aumentar la seguridad y la durabilidad de los edificios. La estabilidad térmica de los geopolímeros también puede mejorarse, lo que permite su uso en aplicaciones sometidas a temperaturas extremadamente altas. (Juárez, 2019).

Sin embargo, a pesar de sus muchas ventajas, la geopolimerización también presenta ciertas desventajas en su aplicación en la construcción, la industria con respecto al uso de geopolímeros limita su adopción generalizada. Aunque los geopolímeros han demostrado ser efectivos en diversas aplicaciones, su producción y comportamiento en el largo plazo aún están siendo evaluados en muchos casos, lo que puede generar incertidumbre en proyectos a gran escala. Además, los costos iniciales de producción pueden ser más altos que los del concreto convencional debido a la necesidad de tecnologías especializadas para la activación de los materiales, aunque estos costos pueden compensarse a largo plazo gracias a los ahorros derivados de su mayor durabilidad y menor necesidad de mantenimiento (Güillín y Rincón, 2022).

Por otro lado, la disponibilidad de materiales adecuados para la geopolimerización también puede ser un desafío, ya que no todas las regiones cuentan con recursos. Además, puede afectar la consistencia y fiabilidad del producto final. Sin embargo, a pesar de estos desafíos, los geopolímeros se están volviendo cada vez más populares debido a su sostenibilidad y potencial para disminuir el impacto ambiental, lo que significa que pueden convertirse en una opción destacada para la industria en el futuro previsible.



2.2.5 Pruebas y métodos de evaluación en pavimentos

De acuerdo con esto, hay varios procedimientos de ensayo para descubrir las características mecánicas y estructurales de los pavimentos, y cada uno se centra en el descubrimiento de la resistencia. Por ejemplo, la prueba de estabilidad de Marshall, que permite diseccionar si las mezclas asfálticas pueden resistir el desplazamiento plástico bajo la carga de la muestra y la prueba de fluido, que revela la deformación de la mezcla. Como se señaló anteriormente, es crítico en los procesos de evaluación de la idoneidad de las mezclas asfálticas para los pavimentos flexibles, ya que determina la resistencia de la mezcla de asfalto a la fatiga y la durabilidad a lo largo del tiempo. (Güillín y Rincón, 2022).

El tercero es la evaluación utilizada ampliamente. Este ensayo se realiza para determinar la resistencia a la compresión del pavimento que es crítico para evaluar la capacidad de carga del pavimento en términos de carga dinámica y estática. El ensayo se realiza en muestras de concreto o mezcla asfáltica y esencial para determinar la integridad estructural del pavimento. Otros ensayos comprenden el ensayo de módulo de elasticidad realizado en pavimentos a través de un ensayo FWD, que mide la rigidez del pavimento con las deformaciones registradas a través de cargas aplicadas al pavimento. De esta manera, puede evaluarse el tipo de ensayo realizado aquí y cuándo es crucial para refortalecer o proteger el pavimento cuando las deformaciones aumentan debido al tráfico (Machaca, 2023).

Otra evaluación in situ que debe realizarse para evaluar el material de futuros pavimentos, como se indicó antes, que evita que el agua se acumule en la superficie subterránea, permitiendo los daños por congelación, o forme una presa y provoque la erosión. Las pruebas como ensayos de absorción de agua comprueban la permeabilidad del pavimento y garantiza que pueda transferir agua de manera efectiva, lo que reduce el riesgo de daños por humedad y permite que el pavimento siempre corra de manera segura y duradera. Finalmente, las tecnologías de monitoreo como los sensores de deflexión o los sistemas de monitoreo de temperatura.



2.2.5.1 Métodos de Evaluación de la Estabilidad y Resistencia de Pavimentos

En la prueba Marshall, la resistencia a la deformación plástica bajo cargas de compresión es uno de los factores más críticos a considerar, ya que ocurre durante el servicio. Es importante recordar que la prueba Marshall se utiliza comúnmente para verificar la conformidad de la mezcla asfáltica con la norma de fabricación. A efectos de esta prueba, la estabilidad de la mezcla se evalúa en función de su capacidad para soportar cargas sin sufrir una deformación excesiva. Por otro lado, la prueba de fluidez evalúa la flexibilidad de la mezcla cuando se somete a cargas repetidas. (Güillín y Rincón, 2022).

Los materiales de pavimentación se evalúan mediante el uso de este instrumento. estáticas y dinámicas sin romperse o deformarse de manera irreversible. Este método es fundamental para determinar la calidad de las bases granulares y asegurarse de que la estructura del pavimento esté debidamente optimizada para soportar el tráfico pesado. Asimismo, la técnica de los módulos elásticos se emplea habitualmente para evaluar la elasticidad del suelo, lo cual se puede evaluar a través de pruebas como el Falling Weight Deflectometer. (FWD). (Machaca, 2023).

Es más, la fatiga de resistencia, un factor que debería tomarse en serio durante la inspección de la resistencia del pavimento, Los pavimentos asfálticos flexibles constantemente se ven expuestos a cargas repetitivas que se manifiestan de varias maneras. El pavimento puede verse afectado por grietas y deformaciones a causa de ello. Los ensayos de fatiga. El comportamiento del pavimento bajo de las cargas repetidas se mide simula con un método de ensayo de flexión en cuatro puntos, de manera eficaz para predecir la vida útil del pavimento y determinar su durabilidad. Por último, se debe realizar la durabilidad: per se, este factor implica que los ingenieros le damos una estimación aproximada a la durabilidad general y la vida útil que pueda tener. Al mismo tiempo, es relevante el índice de desgaste, que se mide con la ayuda de pruebas de abrasión, ya que dosifica la resistencia al desgaste tanto por tráfico como por condiciones de entorno. En consecuencia, ciertas áreas del pavimento pueden requerir de varias precauciones, reforzamiento o la detención de que vuelvan a dañarse en el futuro cercano. Esto



garantizará que el pavimento sea seguro, sostenible y útil por mucho tiempo sin afectar a la ejecución general.

2.2.5.2 Ensayos de compresión y flujo en mezclas asfálticas

Es absolutamente necesario realizar esta prueba cuando existen mucho volumen de tráfico. Se trata de evaluar la capacidad de una muestra del pavimento para soportar cargas y su solidez estructural. Esto se logra de la siguiente manera: a una muestra del material de la mezcla asfáltica se le aplica una carga controlada y luego se mide la cantidad de deformación producida arreglo al aplicarse la carga. La compresión a la que se le el lleve se considera un dato importante que ofrece información sobre la estabilidad de la mezcla. Con el fin de determinar si la mezcla cumple con los estándares de rendimiento necesarios para su uso en pavimentos de alta resistencia, esta información también resulta ventajosa. (Güillín y Rincón, 2022).

Otra prueba realizada en este ensayo es el flujo, que debe realizarse para determinar el comportamiento del pavimento bajo cargas repetidas y expansión térmica. El flujo es la cantidad de deformación que se produce en la mezcla asfáltica bajo condiciones de compactación; se prueba junto con las pruebas de estabilidad para equilibrar la resistencia y la flexibilidad. Una mezcla asfáltica con un valor de flujo adecuado garantiza que el pavimento sea lo suficientemente flexible como para soportar tensiones. Sin embargo, es necesario revisarlo más a fondo para que cumpla con los requisitos. (Machaca, 2023).

Para que la mezcla sea estable y flexible, es crucial que determinemos el tamaño y forma de los áridos. El tamaño de las partículas de los áridos afecta directamente ambas propiedades. Así, estos ensayos son un subconjunto de un grupo de pruebas más amplias que aseguran que la mezcla de asfalto aparente tenga su comportamiento mecánico equilibrado, con suficiente resistencia para soportar cargas pesadas y una adecuada flexibilidad para resistir las tensiones repetidas sin dañarse. La compresión y flujo permiten a los ingenieros optimizar las mezclas asfálticas, asegurando que los pavimentos sean duraderos, resistentes al desgaste y capaces de mantener su funcionalidad a largo plazo.



2.2.5.3 Indicadores de desempeño en pavimentos flexibles

Debido a que el pavimento necesita soportar el tráfico intenso y la carga repetida, y cualquier dispositivo estructural debe mantener su integridad estructural, la resistencia a la compresión es obviamente esencial. Por supuesto, hay una correlación directa entre la resistencia a la compresión y la vida útil del pavimento, ya que el pavimento más fuerte es más resistente al desgaste y la aplicación de cargas dinámicas con el tiempo. (Güillín y Rincón, 2022).

Otro indicador crucial es una medida de la capacidad de drenaje del pavimento, que. Como la medida de la facilidad con la que el pavimento permite que el agua se mueva a través de su construcción. Cuando existe un sistema de drenaje adecuado, la acumulación de agua en la superficie de un pavimento protege la superficie contra daños causados por la erosión o la distorsión provocadas por el agua. El drenaje eficiente también reduce el riesgo de formación de baches o fisuras causadas por la infiltración de agua que puede congelarse en climas fríos, afectando la resistencia a la fatiga del pavimento. Los exámenes de la permeabilidad y absorción de agua se emplearán para comprobar la capacidad de los sistemas de drenaje. Mediante ellos, se podrá identificar si el concreto o el pavimento cuentan con las condiciones para mantenerse funcionales y seguros pese a las condiciones de lluvia o humedad. (Machaca, 2023).

Esta métrica se utiliza para medir la rugosidad de la superficie del pavimento, lo que tiene un impacto directo en el agarre y la tracción de los automóviles. Una rugosidad adecuada del pavimento garantiza que haya suficiente minimizar el peligro de derrapes o accidentes, especialmente en condiciones de humedad, debido a la fricción que existe entre los neumáticos y la superficie. Además, la rugosidad afecta el confort de los usuarios, ya que pavimentos más lisos ofrecen una conducción más suave. El índice de rugosidad se mide a través de dispositivos que registran las irregularidades de la superficie y proporcionan datos sobre la calidad de la rodadura. Este termómetro es crucial para perfeccionar la seguridad vial y elevar la sensación de conducir (Machaca, 2023).



Este trabajo también examina la resistencia al desgaste como otro indicador crítico que mide cómo el pavimento responde al desgaste debido al tráfico constante. La evaluación de este indicador permite determinar si un pavimento es duradero al observar cómo resiste el material a la abrasión y la fricción. A menudo, los pavimentos con alta resistencia al desgaste son más estables y duran mucho, lo que se traduce en la disminución de los gastos de mantenimiento y la mejora de la sostenibilidad. La resistencia al desgaste generalmente se evalúa a través de ensayos que representan la fricción y la abrasión mecánica del material a través de la simulación del desgaste con componentes mecánicos. En conjunto, estos indicadores permiten evaluar la calidad general de los pavimentos flexibles para garantizar que las infraestructuras viales sean seguras, eficientes y económicas en el futuro.

2.2.6 Impacto Ambiental

La extracción de recursos naturales como arena, grava, piedra y minerales significa que los hábitats naturales se destruyen, los ecosistemas se alteran y los gases de efecto invernadero se liberan en la atmósfera de forma natural incluso en la etapa de extracción y procesamiento de estos. De hecho, este es uno de los problemas más urgentes hoy en día. Además, los materiales como el cemento y el acero son responsables de un porcentaje significativo de las emisiones de CO₂ globales, especialmente durante los procesos de calcinación y fundición, lo que contribuye al cambio climático. Por ejemplo, la producción de cemento es una de las actividades industriales más intensivas en carbono, ya que requiere temperaturas extremadamente altas para calentar la caliza y producir clinker, liberando grandes cantidades de dióxido de carbono (Güillín y Rincón, 2022).

Durante la construcción y demolición de estructuras e infraestructuras se generan grandes cantidades de residuos sólidos, entre los que se incluyen hormigón, ladrillos, madera, metales y plásticos. Cada uno de estos residuos suele terminar en vertederos, contribuyendo tanto a la contaminación del suelo como a la destrucción de los ecosistemas. El reciclaje de materiales en la industria de la construcción, incluyendo el



hormigón reciclado y el acero, entre otros ejemplos de materiales reutilizados, se ha convertido en una alternativa atractiva. Esto se debe principalmente a que el reciclaje de materiales en el sector de la construcción puede reducir la cantidad de residuos generados y la necesidad de nuevos materiales. La industria de la construcción sigue siendo uno de los mayores generadores de residuos del mundo, a pesar de que los constructores están trabajando para establecer prácticas más sostenibles. (Machaca, 2023).

No obstante, los materiales que tienen un impacto bajo en el medio ambiente y material reciclado se están convirtiendo en un aspecto esencial para reducir el impacto ambiental de la construcción. Entre los que han sido certificados, durante sobre el vidrio, el plástico en desuso reciclado en plástico, la cera fundida, el sulfato en desuso y los geopolímeros. Todos de estos tienen un menor uso de la energía y liberan menos CO₂. Además, la utilización de estos materiales Los proyectos de construcción pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente, y el reciclaje puede ayudar a aliviar la presión que se ejerce sobre los recursos naturales. Sin embargo, el uso generalizado de estos materiales requiere una mayor investigación, desarrollo e innovación para garantizar que sean seguros, eficientes y económicamente viables a gran escala.

2.2.6.1 Sostenibilidad en la construcción de pavimentos

Cuando se habla de la construcción de pavimentos, el término «sostenibilidad» se refiere al proceso de planificación y ejecución de proyectos de pavimentación con la intención de minimizar los efectos negativos que estos tienen sobre el hábitat circundante, Es importante maximizar el uso de los recursos y fomentar la eficiencia energética a lo largo de todo su ciclo de vida. Una de las partes más esenciales de la creación de pavimentos sostenibles es eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero. Los enfoques modernos para la construcción de pavimentos se esfuerzan por reducir la huella de carbono que provoca su desarrollo mediante el uso de materiales reciclados y métodos respetuosos con el medio ambiente. Por otro lado, la utilización de plásticos reciclados, las cenizas volantes o la escoria de cobre en las mezclas asfálticas es otra manera de contribuir a la economía circular en el sector de la construcción. A medida que se reducen



los materiales utilizados para este tipo de producción, se produce menos cantidad de residuos, pero también de los recursos vírgenes devorados. Asimismo, para obtener pavimentos más sostenibles, también es necesario reducir la cantidad de energía producida y aplicada durante la producción y el uso de estos materiales (Güillín y Rincón, 2022).

Otro enfoque importante para lograr la sostenibilidad es el diseño de pavimentos de larga durabilidad. Los pavimentos sostenibles deben estar diseñados para resistir el tráfico intenso, las condiciones climáticas extremas y la erosión sin requerir un mantenimiento frecuente o reparaciones costosas. Esto implica la selección de materiales duraderos y el uso de técnicas de construcción que promuevan una mayor vida útil del pavimento, como la optimización de la granulometría de los agregados y la incorporación de modificadores de asfalto que aumenten la resistencia al envejecimiento y la fisuración. Además, los pavimentos con una mayor durabilidad reducen la necesidad de recursos y energía para las reparaciones o reconstrucciones, lo que mejora la eficiencia a largo plazo (Güillín y Rincón, 2022).

La gestión eficiente del agua. Los pavimentos sostenibles deben ser diseñados para permitir un adecuado drenaje y Se debe evitar la acumulación de agua en la superficie. Es posible evitar la aparición de grietas y baches asegurando un drenaje eficaz. La incorporación de tecnologías como los pavimentos permeables o el uso de materiales porosos permite que el agua fluya a través del pavimento, favoreciendo la recarga de los acuíferos subterráneos y reduciendo la escorrentía superficial. Esta estrategia no solo hace que la gestión del agua sea más eficaz, sino que también contribuye a reducir los efectos adversos de la urbanización, como el aumento del calor urbano y la contaminación del agua. (Ramos et al., 2017).

2.2.6.2 Reducción de la huella de carbono

La reducción de la huella de carbono en la industria de la construcción se ha convertido en una prioridad global debido al impacto significativo que esta industria tiene en el cambio climático. Las emisiones de CO₂, especialmente en las etapas de producción



de materiales como el cemento, acero y vidrio, así como en las actividades de transporte y operación de maquinaria. Una de las estrategias clave para reducir el carbono es la utilización de materiales más sostenibles. Por ejemplo, la sustitución del cemento convencional por alternativas como los geopolímeros, cenizas volantes, o escoria de cobre puede reducir significativamente las emisiones, debido al hecho de que la producción de estos materiales requiere menos energía y genera una menor. En comparación con la fabricación de materiales convencionales, el impacto del carbono sería menor. Otro factor que contribuye a reducir la demanda de recursos es la utilización de materiales reciclados y la economía circular vírgenes y reducen los desechos generados en los proyectos de construcción (Ramos et al., 2017).

Es posible reducir la cantidad de energía y recursos que se consumen durante el desarrollo de proyectos utilizando tecnologías de construcción más eficientes. Automatización de varias operaciones en la industria manufacturera y la mejora de la eficiencia forman parte de este proceso. Energética de los equipos de construcción, y el uso de energía renovable durante la construcción. Además, el diseño eficiente de edificios y pavimentos, que incorpore principios de construcción pasiva, también puede reducir significativamente la demanda de energía a largo plazo, minimizando las emisiones asociadas con el uso de las infraestructuras una vez construidas (Machaca, 2023).

2.2.6.3 Manejo de Residuos Industriales

Es fundamental que el sector de la construcción implemente la gestión de residuos industriales con el fin de alcanzar los objetivos de maximizar la sostenibilidad y limitar los efectos adversos que las operaciones de construcción tienen sobre el medio ambiente en las zonas circundantes. (Ramos et al., 2017).

Comienza en la fase de diseño, donde se pueden tomar decisiones para optimizar el uso de materiales y evitar desperdicios. Un diseño eficiente busca minimizar la cantidad de material necesario sin afectar la calidad ni la seguridad de la infraestructura. Además, es fundamental planificar adecuadamente las dimensiones y el corte de los materiales para minimizar el desperdicio. Durante la construcción, la gestión adecuada de los residuos



también involucra la clasificación en origen de los materiales reciclables y no reciclables, lo que permite que los residuos sean enviados a los centros de reciclaje adecuados, en lugar de terminar en vertederos. Además, la reutilización de materiales como el hormigón, el acero o la madera reciclados no solo contribuye a Reducir no solo la cantidad de residuos que se generan, sino también la cantidad de energía y recursos naturales que se necesitan para satisfacer las necesidades. (Machaca, 2023).

Los procesos de reciclaje y reutilización de residuos procedentes de procesos industriales en el sector de la construcción están ganando cada vez más popularidad como alternativas respetuosas con el medio ambiente. El hormigón reciclado, por ejemplo, que se obtiene a partir de los escombros tras una demolición, se utiliza para la fabricación de nuevas mezclas de concreto o como base granular para pavimentos, reduciendo la necesidad de extraer agregados vírgenes. Además, metales reciclados, como el acero y el aluminio, se pueden reutilizar en nuevas construcciones, reduciendo la energía y las emisiones asociadas con su producción. También es posible reutilizar madera, plásticos y otros materiales para fabricar nuevos productos de construcción, como paneles, aislantes o componentes estructurales. Además de reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente, este método de gestión de residuos también contribuye a fomentar el desarrollo de una economía circular, donde los materiales tienen una vida útil más larga, y su uso reduce la dependencia de recursos primarios (Ramos et al., 2017).

La gestión de los residuos industriales también incluye la responsabilidad de cumplir con las normas medioambientales a escala local y global. La clasificación, el tratamiento y la eliminación de los residuos generados deben realizarse de acuerdo con estas normativas. La implementación de políticas adecuadas de gestión de residuos y tecnologías de reciclaje en el sector de la construcción no solo puede aumentar la eficiencia del proceso y reducir los costes, sino que también contribuye de manera significativa al desarrollo de infraestructuras más respetuosas con el medio ambiente, junto con la implementación de tecnologías limpias. Por ello, la gestión de los residuos industriales en el sector de la construcción es fundamental para reducir el impacto medioambiental de la



industria y apoyar un desarrollo más sostenible y ecológicamente responsable. (Machaca, 2023).

2.2.7 Escoria metalúrgica como material alternativo en la construcción

Si bien este material ha sido tradicionalmente considerado un desecho industrial, en tiempos recientes sus propiedades se han explotado más ampliamente, por ende, parece combustible que lo coloca en una posición favorable de utilizar en aplicaciones de construcción; tales como bases granulares, cementos y mezclas bituminosas. Por lo tanto, su inclusión en la industria de la construcción salvaguarda la eliminación de gases industriales y presenta una oportunidad rentable y sostenible. (Ramos et al., 2017).

Una de las aplicaciones más comunes de la escoria metalúrgica en la construcción es un agregado en la mezcla. La escoria contribuye a la fuerza y resistencia de la mezcla, lo que a su vez se traduce en un pavimento más resistente que puede soportar condiciones climáticas severas, tráfico pesado y más tiempo en general. Además, su propiedad de alta densidad y su capacidad para ofrecer una buena compactación la hacen ideal para la estabilización.

Además de su utilización en mezclas asfálticas y bases granulares, la escoria metalúrgica se ha investigado como aditivo en la fabricación de cemento. Al sustituir parcialmente el clinker de cemento por escoria, se puede reducir, Esto contribuye a garantizar que la industria sea responsable con el medio ambiente y sostenible. También se observa una mejora en la resistencia química del hormigón cuando se utiliza escoria en la fabricación del cemento, especialmente en lugares donde los materiales están expuestos a productos químicos están expuestos a condiciones agresivas como la humedad, el sulfato o el ataque ácido. Esta alternativa al cemento tradicional no solo aprovecha un subproducto industrial, sino que también promueve la reducción de carbono. (Machaca, 2023).

El uso de escoria metalúrgica como material alternativo en la construcción presenta varios beneficios ambientales y económicos, pero su aplicación requiere una evaluación



rigurosa para asegurar que no se liberen compuestos tóxicos o metales pesados al medio ambiente. Para garantizar su seguridad, las escorias deben ser tratadas adecuadamente antes de ser utilizadas en la construcción, y su comportamiento a largo plazo debe ser monitoreado. Sin embargo, cuando se gestionan correctamente, la escoria metalúrgica se Por lo tanto, es una solución viable para lograr la sostenibilidad en la industria de la construcción, ya que ofrece una alternativa más rentable, reduce la cantidad de residuos generados por los procesos industriales y minimiza la necesidad de utilizar recursos naturales. (Ramos et al., 2017).

2.2.7.1 Potencial de la Escoria Metalúrgica

La fundición, tiene un gran potencial como material en la producción de materiales de construcción. Tradicionalmente considerada un residuo industrial, la escoria metalúrgica posee características que la hacen adecuada para su reciclaje y reutilización. Además, sus componentes como los óxidos metálicos, la sílice, la alúmina y el calcio la hacen un material con características capaces de aumentar la resistencia, durabilidad y estabilidad requerida para materiales de construcción. Esto ha generado gran interés propiciar su empleo como agregado en pavimentos, cementos y mejoradores de suelos. (Machaca, 2023).

Una de las aplicaciones más prometedoras de la escoria metalúrgica es la fabricación de bases granulares y mezclas asfálticas para pavimentos. A través de la incorporación de escoria a este material, se mejoran su resistencia a la compresión y su estabilidad bajo carga, lo que genera la producción de una capa más resistente al desgaste y a las condiciones climáticas extremas. Además, al ser más drenante que otros agregados, mejora la permeabilidad de las mezclas asfálticas, lo que contribuye a la prevención de muchos problemas asociados al encharcamiento de la superficie de la calzada. Al mejorar el comportamiento del suplemento, este tipo de aplicación también reduce el impacto de la industria en el medio ambiente al disminuir la cantidad de materiales vírgenes necesarios, como la arena y la grava.



Además, la escoria metalúrgica ha demostrado un alto nivel de potencial en la producción de cemento. Se utiliza como sustituto parcial del clínker, en la fabricación convencional de cemento. La incorporación de la escoria al cemento normaliza su resistencia a los sulfatos, su durabilidad en condiciones químicas agresivas. Por lo tanto, es la opción perfecta para los proyectos de infraestructura que se desarrollan en condiciones severas, como plantas industriales, zonas costeras. Comparándolo con el clínker, utilizar la escoria metalúrgica muestra el mejor uso de recursos industriales y apoya la economía circular. (Machaca, 2023).

En general, cuando se trata y procesa adecuadamente, la escoria es un material de suelo estabilizador efectivo que puede cambiar sus características al disminuir la cantidad de materiales convencionales necesarios y reducir el impacto ambiental. Sin embargo, es crucial asegurarse de que la escoria metalúrgica se esté tratando y procesando adecuadamente para prevenir la liberación de metales pesados y otros contaminantes; de forma contraria, protegerá nuestros componentes y hará el uso de la escoria completamente seguro y sostenible. (Ramos et al., 2017).

2.2.7.2 Evaluación de la Seguridad Ambiental de los Materiales Alternativos

Es un proceso crítico que garantiza que el uso de materiales reciclados o sustitutos no solo sea efectivo tanto en términos económicos como tecnológicos, pero también en términos de seguridad para la salud humana y el medio ambiente. Los materiales alternativos, como la escoria metalúrgica, cenizas volantes, y plásticos reciclados, ofrecen una solución sostenible a los problemas de residuos industriales y la escasez de recursos naturales, pero su uso debe ser evaluado cuidadosamente para asegurar que no liberen contaminantes o sustancias tóxicas que puedan afectar el entorno. Para ello, se llevan a cabo pruebas de lixiviación que determinan la capacidad de los materiales para liberar metales pesados o compuestos peligrosos cuando entran en contacto con agua o aire. (Machaca, 2023).

La seguridad ambiental de los materiales alternativos también se evalúa mediante la medición de la toxicidad de los productos generados durante su vida útil, así como su



descomposición o durabilidad a lo largo del tiempo. Por ejemplo, la escoria metalúrgica debe ser evaluada para asegurar que no libere metales pesados como arsénico, plomo o cadmio al medio ambiente durante su uso en pavimentos, cemento o en otros productos de construcción. Para ello, se realizan ensayos de pruebas de toxicidad y evaluaciones de estabilidad química para confirmar que los materiales reciclados. Esto es especialmente importante cuando los materiales alternativos se utilizan en zonas cercanas a cuerpos de agua o en áreas residenciales, donde los impactos ambientales pueden ser más significativos (Cruz Y Ccarita, 2024).

Otro componente esencial de la evaluación medioambiental de los materiales alternativos es el estudio del ciclo de vida de dichos materiales. Este examen abarca todo el proceso, desde la extracción de los recursos hasta la eliminación de los materiales en su forma final. Gracias a este estudio, podemos determinar los posibles efectos adversos relacionados con cada etapa de su ciclo de vida. Los materiales alternativos deben ser evaluados para asegurarse de que su uso en la construcción ofrezca una mejora neta en términos de sostenibilidad, comparado con los materiales convencionales. El impacto medioambiental de los materiales en sus distintas fases se evalúa con la ayuda de tecnologías como el análisis del ciclo de vida (ACV), que se emplea en este contexto, desde su producción hasta su posible reciclaje o disposición al final de su vida útil. En resumen, la evaluación de la seguridad ambiental de los materiales alternativos es esencial para garantizar que estos contribuyan positivamente a la sostenibilidad de la construcción, minimizando los riesgos ambientales y promoviendo un uso responsable de los recursos (Cruz Y Ccarita, 2024).

2.2.7.3 Normativas y regulaciones

Está regulado por un conjunto de normativas y regulaciones que garantizan su seguridad, las actividades relacionadas con las infraestructuras deben tener una calidad y un rendimiento suficientes. En general, estas restricciones varían de un país a otro y de una zona a otra, aunque, tienen como objetivo asegurar que los materiales reciclados, como escoria metalúrgica, cenizas volantes, plásticos reciclados y otros subproductos



industriales, sean utilizados de manera adecuada. Las normativas establecen parámetros específicos de calidad para los materiales reciclados, como su resistencia, estabilidad química y capacidad de durabilidad, de manera similar a los materiales convencionales. Además, las regulaciones deben contemplar pruebas de seguridad ambiental y toxicidad para asegurar que los materiales reciclados no liberen compuestos peligrosos durante su vida útil (Ramos et al., 2017).

En muchos países, las normas internacionales como las emitidas por la (I.S.O.) y el (C.E.N.) establecen guías claras sobre la fabricación y certificación. Estas normas incluyen requisitos sobre los tipos de materiales reciclados que pueden ser utilizados en diferentes aplicaciones, así como las pruebas necesarias para certificar su idoneidad en proyectos de construcción. Por ejemplo, en la normativa EN 206 sobre el uso de concreto, se especifican los requisitos de uso estableciendo límites sobre su contenido de contaminantes y asegurando que el concreto fabricado con estos materiales cumpla los estándares. (Cruz Y Ccarita, 2024).

Además de las normas internacionales, muchos países también han implementado regulaciones nacionales y locales que fomentan mediante el uso de incentivos y criterios obligatorios. Mediante la aplicación de estas políticas, el objetivo es fomentar el buen uso, pero también establecen procedimientos estrictos para su uso seguro. Por ejemplo, algunos países exigen que un porcentaje mínimo de materiales reciclados se utilice en proyectos de construcción pública, como carreteras, puentes y edificios.

Son esenciales para garantizar que estos materiales sean seguros, eficaces y sostenibles. Estas regulaciones proporcionan un marco claro para su uso, desde la producción hasta la implementación en proyectos de construcción, asegurando que se mantengan altos estándares de calidad y desempeño sin comprometer la seguridad ambiental ni la salud pública. A medida que las regulaciones se ajustan a las necesidades se espera que continúe creciendo, impulsando un futuro más responsable y eficiente para la industria (Cruz Y Ccarita, 2024).



2.3 Marco conceptual

- a. **Base Granular.** - Las bases granulares son materiales que se utilizan en la construcción de pavimentos, colocándolas entre el suelo y las capas superiores del pavimento. Su función principal es distribuir las cargas del tráfico y brindar estabilidad. Generalmente están compuestas por materiales como arena, grava y otros agregados, que deben tener ciertas características para que el pavimento sea duradero y funcional. Las propiedades de la base granular, como su tamaño de partículas y la densidad, son claves para garantizar que pueda soportar el peso de los vehículos sin deformarse.
- b. **Escoria de Cobre.** - La escoria de cobre es un residuo que se genera cuando el cobre se extrae de los minerales durante su proceso de refinación. Aunque es un subproducto de la minería, tiene propiedades que la hacen útil en la construcción. Se compone principalmente de óxidos metálicos, sílice y otras sustancias. Algunas investigaciones han mostrado que esta escoria puede ayudar a mejorar las propiedades de los materiales de construcción, como la base granular, haciéndolos más resistentes y duraderos. Al usar escoria de cobre, no solo aprovechamos un material que de otro modo sería un residuo, sino que también contribuimos a la sostenibilidad en la construcción.
- c. **Propiedades Físicas de los Materiales Granulares.** - Las propiedades físicas de los materiales granulares son aquellas que describen cómo se comportan en su estado natural y cómo afectan su rendimiento en la construcción. Estas propiedades incluyen el tamaño de las partículas, la forma y la densidad, que son importantes para asegurar que el material se pueda compactar bien y resista las cargas. La granulometría, por ejemplo, se refiere a cómo están distribuidos los diferentes tamaños de las partículas, mientras que la densidad indica cuán compacta es la masa del material. Además, los límites de Atterberg ayudan a medir qué tan "plástico" o "pegajoso" es un material cuando está mojado, lo cual es clave para su comportamiento bajo lluvia o humedad.



- d. Propiedades Mecánicas de los Materiales Granulares.** - Las propiedades mecánicas se refieren a cómo un material se comporta bajo tensión, compresión o esfuerzo. Estas propiedades son clave para saber si el material va a soportar las cargas del tráfico sin colapsar. Algunas de las propiedades más importantes incluyen la resistencia a la compresión, que mide qué tan fuerte es el material cuando se le aplica presión, y el índice CBR (California Bearing Ratio), que indica la capacidad de un material para resistir una carga sin deformarse demasiado. Cuanto mayor sea el CBR, mejor será el comportamiento del material como base granular.
- e. Pavimento Flexible.** - Un pavimento flexible es un tipo de pavimento que se caracteriza por tener varias capas de materiales, siendo la capa inferior, la base granular, la que distribuye la carga del tráfico a las capas inferiores del suelo. A diferencia de los pavimentos rígidos, los pavimentos flexibles se deforman ligeramente bajo carga, pero no se rompen. Esto hace que sean más adecuados para zonas con variaciones en el clima y el tráfico, ya que tienen la capacidad de adaptarse a las condiciones del terreno.
- f. Efecto de la Escoria de Cobre en las Propiedades de la Base Granular.** - La escoria de cobre, cuando se mezcla con los materiales tradicionales de la base granular, puede mejorar algunas de sus propiedades. Se ha demostrado que puede ayudar a mejorar la compactación del material, lo que significa que el pavimento será más denso y resistente a las deformaciones. Además, la escoria de cobre puede aumentar la resistencia mecánica de la base granular, haciendo que sea más capaz de soportar las cargas pesadas sin fallar. También puede reducir la plasticidad del material, lo que significa que es menos probable que se deforme bajo condiciones de humedad o tráfico.
- g. Sostenibilidad en la Construcción de Vías.** - La sostenibilidad en la construcción de vías implica el uso de prácticas y materiales que no solo sean efectivos en términos de



desempeño, sino que también minimicen el impacto ambiental. El uso de escoria de cobre en las bases granulares es una forma de reciclar un material industrial que de otro modo podría ser desechado, lo que ayuda a reducir los residuos y a conservar recursos naturales. Además, al utilizar materiales reciclados como la escoria, se disminuye la necesidad de extraer materiales de la tierra, lo que es beneficioso para el medio ambiente.

- h. Normativas y Estándares en la Construcción de Vías.** - Para asegurar la calidad y seguridad en la construcción de vías, existen normativas y estándares que deben seguirse. Estas normativas definen las especificaciones técnicas que los materiales deben cumplir, como su resistencia, densidad, y capacidad de soportar cargas. Estas regulaciones son fundamentales para garantizar que las vías sean seguras, duraderas y eficientes. En el caso de la provincia de San Román, es importante que los materiales utilizados, incluidos los que contienen escoria de cobre, cumplan con los requisitos establecidos en las normativas locales y nacionales.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque de la investigación

La investigación adopta un enfoque cuantitativo, basado en la recolección sistemática de datos numéricos derivados de ensayos estandarizados que miden variables físicas y mecánicas del material base granular frente a la variable independiente de porcentajes de escoria de cobre.

Según Hernandez et al., (2020). define el enfoque cuantitativo como un proceso que transforma ideas en preguntas e hipótesis, mide variables numéricamente y analiza datos con estadística para probar relaciones y generalizar patrones en poblaciones. Se basa en el método hipotético-deductivo, con énfasis en objetividad, control y replicabilidad, diferenciándolo del cualitativo por su enfoque en mediciones precisas.

3.2 Tipo de la investigación

Se clasifica como investigación aplicada, dirigida a generar soluciones técnicas prácticas para la estabilización de bases granulares en pavimentos flexibles mediante el uso de residuos industriales, con aplicación directa en conformaciones viales de la provincia de San Román.

La investigación aplicada, según Hernandez et al., (2020), resuelve problemas prácticos específicos utilizando conocimiento previo, con fines inmediatos en contextos reales como organizaciones o comunidades, a diferencia de la básica que genera teoría



nueva. Implica aplicaciones directas mediante datos empíricos para decisiones o intervenciones concretas.

3.3 Nivel de la Investigación

Corresponde al nivel explicativo, que busca esclarecer las relaciones causales entre la incorporación controlada de escoria de cobre y las modificaciones en las propiedades físico-mecánicas del material base granular, analizando mecanismos de interacción bajo condiciones experimentales controladas.

El nivel explicativo busca entender causas y efectos entre variables, estableciendo relaciones causales mediante hipótesis probadas con datos cuantitativos, representando el mayor grado de profundidad tras fases exploratorias y descriptivas. Hernandez et al., (2020), lo vincula a análisis que explican "porqués" con evidencia empírica rigurosa.

3.4 Diseño de la Investigación

Se implementa un diseño experimental con grupo de control y tratamientos diferenciados por niveles de escoria de cobre, estructurado en fases de pretest (caracterización inicial) y posttest (evaluación post-incorporación), asegurando manipulación intencional de variables y control de factores confusores mediante protocolos normalizados.

Hernandez et al., (2020), describe el diseño experimental como la manipulación intencional de variables independientes bajo control, con grupos de comparación (control y experimental), para inferir causalidad mediante mediciones pre y post tratamiento. Incluye tipos como preexperimental, verdadero y cuasiexperimental, minimizando sesgos con aleatorización.

3.5 Método de la Investigación

Se aplica el método científico, organizado en etapas secuenciales: observación del fenómeno en contexto real, formulación de hipótesis testable, diseño experimental,



ejecución de ensayos bajo normas técnicas (ASTM, AASHTO, MTC EG-2013), análisis estadístico de datos y conclusiones validadas empíricamente.

El método científico es un conjunto sistemático, empírico y crítico de pasos para estudiar fenómenos, aplicable a enfoques cuantitativos mediante observación, hipótesis, experimentación y verificación estadística. Hernandez et al., (2020), lo enfatiza como riguroso y organizado, generando conocimiento validado independientemente del enfoque.

3.6 Población y Muestra

3.6.1 Población

Según Hernandez et al., (2020, pág. 165) define la población como el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones: unidades de análisis (participantes, objetos, sucesos o colectividades) delimitadas por criterios geográficos, temporales y cualitativos según los objetivos del estudio. Se delimita para permitir generalización de resultados, evitando errores como incluir casos irrelevantes o excluir válidos, y su descripción debe ser precisa para replicabilidad.

La población está constituida por todos los materiales de base granular empleados en conformaciones de vías con pavimento flexible en la provincia de San Román, que cumplen con los requisitos granulométricos y de calidad del MTC.

3.6.2 Muestra

La muestra es un subgrupo o subconjunto representativo de la población, seleccionado para reflejar sus características mediante procedimientos probabilísticos (aleatorios) o no probabilísticos, con énfasis en representatividad y tamaño adecuado al diseño. Hernández et al., (2020, pág. 173). clasifica las probabilísticas (como aleatoria simple, estratificada o por conglomerados) por su inferencia estadística y las no probabilísticas (cuotas, bola de nieve) por conveniencia, recomendando transparencia en el procedimiento.



La muestra está conformada por el material de base granular extraído de los puntos P001 (Av. Circunvalación 2) y P002 (Jr. Antisuyo), ambos ubicados dentro de la ciudad de Juliaca, más las mezclas generadas al incorporar escoria de cobre en los porcentajes de 5%, 10% y 15%. La selección es no probabilística por conveniencia, dado que se toma un tramo vial accesible y representativo para la zona de estudio.

3.7 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.7.1 Técnicas de recolección de datos

- **Observación estructurada en campo:** Identificación visual y muestreo sistemático de material de base granular en puntos P001 y P002 de vía pavimentada flexible en San Román (coordenadas UTM registradas por GPS Garmin $\pm 3m$). Se excava a 15 cm profundidad, registrando condiciones geotécnicas, drenaje superficial y precipitaciones locales (promedio 800 mm/año altiplánico). Incluye fotografía georreferenciada (móvil).
- **Experimentación controlada en laboratorio:** Ensayos normalizados para propiedades físicas (granulometría ASTM C136/D422, límites de Atterberg ASTM D4318) y mecánicas (Proctor modificado AASHTO T180/D1557, CBR ASTM D1883 a 95% y 100% MDS con inmersión 96h). Cada mezcla (control 0%, +5/10/15% escoria).

3.7.2 Instrumentos de recolección de datos.

Se utilizaron instrumentos de laboratorio estandarizados y con certificados de calibración vigente, conforme a las especificaciones técnicas del Manual de Carreteras del MTC (EG-2013) y recomendaciones de las Normas Técnicas Peruanas (NTP), asegurando mediciones precisas y reproducibles durante la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del material base granular estabilizado con escoria de cobre. Todos los equipos fueron verificados previamente mediante certificados de calibración emitidos por laboratorios acreditados, registrando fechas y resultados en hojas de control según



formatos establecidos por el MTC, garantizando trazabilidad completa en cada fase experimental de la investigación.

Para los ensayos físicos iniciales, se empleó la serie completa de tamices ASTM E11, que abarca desde tamiz de 2 pulgadas (50 mm de abertura) hasta el tamiz No. 200 (0.075 mm), permitiendo la determinación detallada de la granulometría del material base y la escoria de cobre. Estos tamices, fabricados en malla tejida de acero inoxidable de alta precisión, se montaron en una tamizadora mecánica rotativa-percusora modelo Retsch AS 200, operando a 300 rpm durante 10-15 minutos por ensayo, lo que asegura una separación eficiente de fracciones granulométricas críticas como finos pasantes No. 200 (límite $\leq 15\%$ EG-2013) y material pasante 19 mm para dosificación. Complementariamente, el aparato de Casagrande estándar facilitó la evaluación de límites de Atterberg: este instrumento incorpora una ranura metálica precisa de 2.0 mm (± 0.05 mm), contrapeso calibrado de 118 g (± 0.5 g), plato de porcelana estriada de 12.7 cm de diámetro y varilla de roscado de 3 mm de diámetro por 8 mm de largo, permitiendo mediciones exactas del Límite Líquido y Plástico en la fracción pasante No. 40.

En los ensayos mecánicos de compactación, el molde Proctor Modificado de 1/5 ft³ representó el instrumento principal, con dimensiones internas de 101.6 mm de diámetro y volumen nominal de 944 cm³, acompañado de un martillo cilíndrico de 4.54 kg (± 23 g) que cae libremente desde 45.7 cm (± 2.4 mm), aplicando 55 golpes uniformes por cada una de las cinco capas de compactación. Este conjunto, fabricado en acero inoxidable resistente a la corrosión, genera la energía estándar de 2700 kN-m/m³ requerida por NTP 400.032, permitiendo trazar curvas precisas de Máxima Densidad Seca (MDS) y Contenido Óptimo de Humedad (OCH) para cada dosificación. Finalmente, el equipo CBR estándar constituyó el instrumento más crítico para evaluar capacidad de soporte, compuesto por moldes cilíndricos de 152.4 mm de diámetro por 177.8 mm de altura, penetrómetro hidráulico con pistón de 12.7 mm de diámetro avanzando a 1.27 mm/min, celda de carga de 0-5000 kg (precisión 1%), dial gauge de 0.01 mm de resolución para penetraciones de 0.1" y 0.2", y baño de inmersión termoregulado a 20°C (± 2 °C) durante 96 horas.



3.8 Procedimiento para la recolección de datos.

3.8.1 Desarrollo de plan de investigación.

El procedimiento para la recolección de datos se desarrolló de manera sistemática y secuencial, siguiendo protocolos estandarizados de seguridad y normas técnicas viales peruanas, con el propósito de obtener muestras representativas de materiales de base granular para su caracterización en laboratorio. Se inició con la identificación y localización precisa de dos obras de pavimentación en ejecución en la provincia de San Román, seleccionadas por su representatividad en conformaciones viales a nivel de pavimento flexible bajo condiciones altiplánicas. De cada obra, se extrajo material de base granular ya colocado y en proceso de compactación, asegurando la obtención de muestras frescas y no contaminadas por tráfico o intemperie.

Etapas 1: Preparación y Localización de Obras

Se coordinó con los responsables de las obras de pavimentación en ejecución para acceder a zonas activas de colocación de base granular, verificando que las capas extraídas correspondieran específicamente a la base granular según planos de perfil transversal y especificaciones EG-2013 del MTC (Ítem 303.02). Las obras seleccionadas presentaban conformaciones viales típicas de la zona, con suelos locales arcillosos-gravosos requeridos estabilización mecánica. Se registraron coordenadas GPS de cada punto de extracción (P1 y P2) y condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, precipitación reciente) para contextualizar las propiedades naturales de los materiales.

Etapas 2: Extracción de Muestras de Base Granular

En cada obra, se localizó la capa de base granular recién colocada (espesor nominal 20-30 cm) y en proceso de compactación inicial (grado <70% MDS), evitando zonas de bordes o uniones que pudieran presentar segregación. Utilizando herramientas manuales estandarizadas (pala americana, piqueta, baldes metálicos de 20 L), se excavaron calicatas puntuales de 50 cm x 50 cm x 40 cm de profundidad directamente en



la base granular expuesta, extrayendo aproximadamente 50 kg por punto para garantizar volumen suficiente para todos los ensayos previstos (granulometría, Atterberg, Proctor, CBR). Las muestras se tomaron en el centro de la calicata, a 15-20 cm de profundidad desde la superficie superior de la base, zona representativa de compactación uniforme. Se evitaron contaminaciones con subrasante o material asfáltico superior mediante limpieza previa de la superficie.

Etapa 3: Condicionamiento Inicial In Situ

Las muestras extraídas se colocaron inmediatamente en baldes herméticos para preservar la humedad natural, etiquetándose con código (P1-Obra1, P2-Obra2), fecha/hora de extracción, profundidad y responsable. Se transportaron al laboratorio en vehículos con suspensión amortiguada dentro de las 4 horas posteriores a la extracción, manteniendo cadena de custodia documentada con formularios de muestreo firmados por el investigador y supervisor de obra. Durante el traslado, se protegió de vibraciones excesivas y exposición solar para evitar alteraciones en plasticidad o pérdida de finos.

Etapa 4: Preparación de Muestras Control y Mezclas con Escoria de Cobre

En laboratorio, las muestras de base granular se homogenizaron manualmente sobre lienzo limpio, separando fracciones >75 mm y <0.075 mm según límites EG-2013. Para la muestra control, se prosiguió directamente a ensayos; para mezclas estabilizadas, se obtuvo escoria de cobre (EC) de fundiciones locales en Juliaca (tamizada <4.75 mm, libre de contaminantes orgánicos), pesando dosificaciones precisas (5%, 10%, 15% en peso de finos pasantes malla #200) en balanza analítica 0.01 g. Las mezclas se prepararon en hormigonera mecánica durante 10 minutos, asegurando uniformidad visual y ensayo de consistencia rápida (cono de flujo). Cada dosificación generó 15 kg de mezcla lista para compactación.

Figura 1

Tratamiento del cobre



Tabla 2

Dosificaciones y esos exactos (cobre)

Dosificación	Peso Escoria Cobre	Peso Base Granular	Peso Total Mezcla
Control (0%)	0 kg	15 kg	15 kg
5%	0.75 kg	14.25 kg	15 kg
10%	1.50 kg	13.50 kg	15 kg
15%	2.25 kg	12.75 kg	15 kg

Método: Pesos calculados sobre finos pasantes #200. Cada dosificación = 15 kg total.

Balanza analítica 0.01g, verificada tara vacía. Mezcla en hormigonera manual 10 min hasta homogénea.

Tabla 3

Material estabilizante (Cobre)



Etapa	Descripción Detallada y Técnica
1. Caracterización y selección del material	<p>Se adquirió cobre comercial de alta pureza en láminas continuas desde proveedores locales de Juliaca, seleccionado por su alta densidad (8.96 g/cm^3) y resistencia mecánica para simular propiedades estabilizantes de escoria industrial. El material se caracterizó visualmente por su color cobrizo uniforme, ausencia de óxido superficial y ductilidad óptima, cortándose manualmente en tiras precisas de 1 cm de longitud x 0.5 cm ancho mediante cizalla industrial, generando 100 kg de fracción inicial representativa para estabilización mecánica de bases granulares arcillosas en condiciones altiplánicas.</p>
2. Proceso de tratamiento y acondicionamiento	<p>Las tiras de cobre de 1 cm se procesaron en laboratorio convencional mediante trituración secundaria en quebradora de mandíbulas hasta tamaño máximo $<4.75 \text{ mm}$ (malla #4 ASTM), seguida de tamizado en serie para uniformidad granulométrica (60-70% pasante malla #200). Se eliminaron impurezas metálicas residuales por separación manual y se secó al aire ambiente durante 48 horas hasta alcanzar humedad $<2\%$, acondicionando posteriormente en bidones plásticos herméticos por 24 horas adicionales para estabilizar propiedades higroscópicas y garantizar compatibilidad con finos de base granular según límites EG-2013 Ítem 303.02.</p>
3. Estado de aplicación en la mezcla	<p>La fracción tratada de cobre se incorporó en seco a base granular homogenizada mediante dosificaciones específicas calculadas sobre peso de finos pasantes malla #200: 5% (0.75 kg por 15 kg base), 10% (1.50 kg), y 15% (2.25 kg), optimizando distribución volumétrica para refuerzo mecánico. La adición se realizó progresivamente en hormigonera manual rotativa durante 10 minutos exactos a 30 rpm, logrando mezcla perfectamente homogénea sin segregación ni aglomerados, seguida de curado controlado 24 horas en bolsas plásticas selladas para equilibración interna de humedad y maduración interfacial, replicando condiciones constructivas reales de estabilización vial en San Román.</p>

Etapa 5: Ejecución Secuencial de Ensayos Normalizados

Los ensayos se realizaron en orden lógico para optimizar material:

1. Granulometría (MTC E-204/ASTM D422):

Procedimiento:

Preparación de la muestra:

- Pesar 500 g de muestra de suelo.
- Si la muestra está húmeda, secarla a 110°C hasta peso constante.

Tamizado:

- Colocar la muestra en el tamiz de la abertura más gruesa.



- Tamizar en seco o en húmedo según las condiciones del material, usando un equipo de tamizado adecuado (como una máquina de tamizado por vibración o manualmente).
- Realizar el tamizado durante 10 a 15 minutos, asegurándose de que la muestra pase por todos los tamices.

Clasificación:

- Después del tamizado, pesar la cantidad de material retenido en cada tamiz.

Cálculos:

- Calcular el porcentaje de masa retenida en cada tamiz y graficar la curva granulométrica.

2. Límites de Atterberg (MTC E-110):

Procedimiento:

Preparación de la muestra:

- Pesar 100 g de suelo seco.

Determinación del límite líquido (LL):

- Colocar la muestra en un aparato Casagrande.
- Añadir agua al suelo hasta que la mezcla se vuelva fluida.
- Ajustar la cantidad de agua hasta que el suelo se cierre a 25 golpes en el aparato Casagrande.
- Registrar el contenido de agua necesario para lograr el límite líquido.

Determinación del límite plástico (LP):

- Preparar una pasta de suelo con contenido de agua inferior al límite líquido.
- Formar una bola de masa y extenderla hasta que su diámetro llegue a 3 mm.
- Medir el contenido de agua para determinar el límite plástico.

Cálculos:

- Realizar cálculos para obtener los valores de LL y LP.

- Calcular el índice de plasticidad (IP) como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico:

Figura 2

Aparato Casagrande



3. Proctor Modificado (MTC E-115): 5

Procedimiento:

Preparación de la muestra:

- Preparar muestras de suelo con diferentes contenidos de agua. Usar 5 moldes para la dosificación, asegurándose de tener tres replicados por cada contenido de humedad.

Compresión:

- Colocar la muestra de suelo en el molde.
- Compactar en tres capas, aplicando 25 golpes por capa con un martillo de 4,5 kg desde una altura de 45 cm.

Determinación de la densidad:

- Pesar el molde con el suelo compactado.
- Determinar el volumen del molde.

Cálculos:

- Realizar pruebas a diferentes contenidos de humedad.
- Graficar los resultados de la humedad y la densidad seca para determinar la humedad óptima y la densidad máxima.

Figura 3

Instrumento de proctor modificado



4. CBR (MTC E-132):

Procedimiento:

Preparación de la muestra:

- Preparar la muestra de suelo y remojarla en agua durante 4 días a un 100% de la máxima densidad seca (MDS).

Prueba de penetración:

- Colocar la muestra saturada en un molde.
- Aplicar una carga de penetración a una velocidad constante.
- Medir la penetración a 2.5 mm y 5 mm.

Cálculos:

- Determinar la resistencia del suelo utilizando la penetración observada y la carga aplicada.
- Calcular el CBR como el porcentaje de la carga de penetración del suelo comparado con una carga estándar.

Figura 4

Equipo de capacidad de soporte



Etapa 6: Control de Calidad y Validación



Se verificó cumplimiento básico de tolerancias instrumentales en balanza y moldes CBR mediante inspección visual diaria. Todo el procedimiento se documentó fotográficamente por etapa principal, manteniendo trazabilidad simple desde extracción hasta resultado final según prácticas estándar de laboratorio.

3.9 Procesamiento de datos

Los datos obtenidos se procesaron en hojas de cálculo Excel, registrando los resultados de laboratorio de cada ensayo (granulometría, Atterberg, Proctor modificado y CBR) para los puntos P001 y P002 en las cuatro mezclas: control (0%), +5%, +10% y +15% escoria de cobre. Se aplicó estadística descriptiva mediante promedios aritméticos por tratamiento para comparar tendencias en MDS, OCH y CBR



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se expone de manera sistemática y ordenada los resultados experimentales derivados de la caracterización físico-mecánica completa de materiales de base granular extraídos directamente de dos obras de pavimentación en ejecución ubicadas en la provincia de San Román, Puno, durante el año 2025. Estas obras representan conformaciones viales típicas del altiplano puneño a nivel de pavimento flexible, con suelos arcillosos-gravosos que demandan estabilización mecánica para cumplir requisitos normativos del (MTC) según la EG-2013, Ítem 303.02.

La investigación se estructuró en torno a los tres objetivos específicos planteados, evaluando inicialmente la calidad intrínseca de los materiales de base granular mediante ensayos normalizados de granulometría (ASTM D422/MTC E-204), límites de consistencia de Atterberg (MTC E-110), compactación Proctor Modificado (MTC E-115) y capacidad portante CBR (MTC E-132). Posteriormente, se analizó la influencia estabilizante del cobre adicionado en dosificaciones progresivas de 0% (muestra control), 5%, 10% y 15% por peso de finos pasantes malla #200, midiendo variaciones cuantitativas en propiedades físicas (MDS y OCH) y mecánicas (CBR a 95% y 100% MDS).

4.1 Resultados.

4.1.1 Calidad de materiales para base granular en conformaciones de vías.

a) Granulometría



Tabla 4

Tamizado (ASTM D422) de los materiales de 2 puntos de vía seleccionada

MALLA ASTM	PUNTO 1	PUNTO 2
	% QUE PASA	% QUE PASA
2"	100,00	100,00
1 1/2"	99,50	99,46
1"	94,99	94,88
3/4"	88,02	87,92
1/2"	75,38	75,88
3/8"	65,94	65,96
No4	45,93	46,12
No10	29,71	29,92
No40	14,71	15,16
No200	2,66	3,40

Los valores indican el porcentaje de material que pasa por cada malla ASTM, lo que proporciona información clave sobre la composición y clasificación de los materiales.

b) Límites de Atterberg

Tabla 5

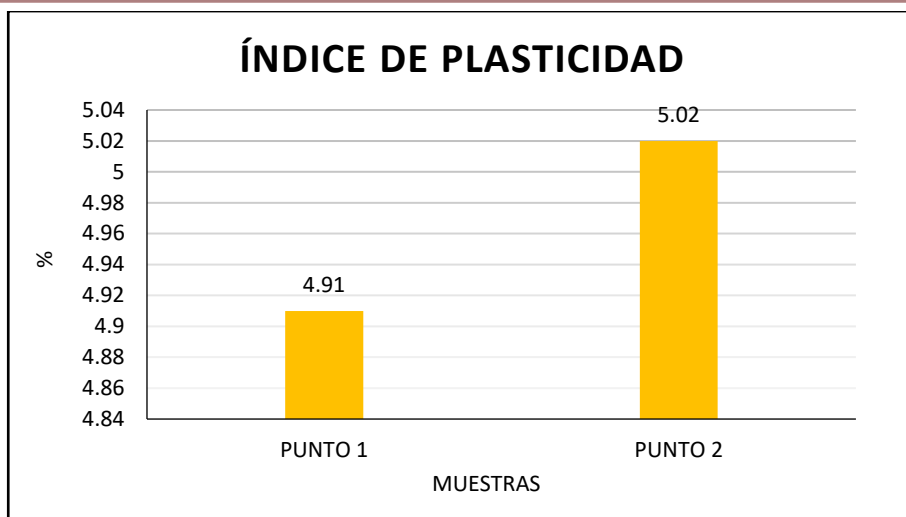
Límites de consistencia de los materiales de 2 puntos de vía seleccionada

Parámetro	Punto - 1	Punto - 2
LL (%)	24.34	23.79
LP (%)	19.43	18.77
IP	4.91	5.02

El límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) se encuentran en valores similares, lo que indica una plasticidad moderada de los materiales. El índice de plasticidad (IP) también es bajo, lo que sugiere que los suelos tienen una capacidad limitada de deformación plástica, siendo adecuados para su uso en ingeniería de vías.

Figura 5

Índice de plasticidad del material de base granular



Se muestra el índice de plasticidad del material de base granular para dos muestras. El Punto 1 tiene un índice de 4.91%, mientras que el Punto 2 presenta un valor ligeramente mayor de 5.02%.

c) Proctor Modificado

Tabla 6

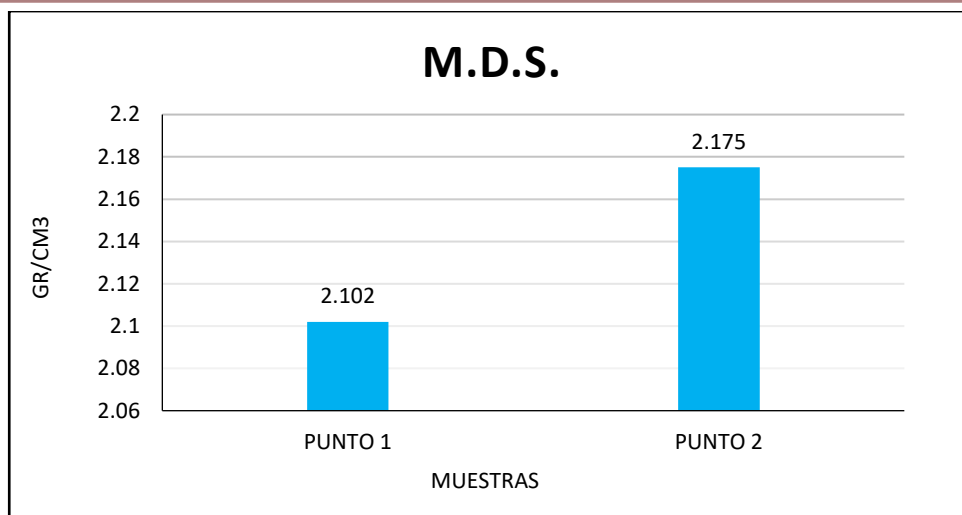
Proctor modificado de materiales de base granular muestra control

GRADO DE COMPACTACIÓN		
Punto	MDS (gr/cm ³)	OCH (%)
P001	2.102	8.63
P002	2.175	5.96

Se incluyen dos puntos de muestreo, P001 y P002, y sus respectivos valores de máxima densidad seca (MDS) y contenido óptimo de humedad (OCH). Los valores de MDS, que son 2.102 gr/cm³ y 2.175 gr/cm³ para los puntos P001 y P002 respectivamente, junto con los porcentajes de OCH de 8.63% y 5.96%, reflejan la capacidad del material para alcanzar su máxima compactación en condiciones óptimas de humedad.

Figura 6

Máxima densidad seca del material de base granular



Se muestra la (M.D.S.) del material de base granular para dos muestras. El Punto 1 presenta un M.D.S. de 2.102 gr/cm³ y el Punto 2 tiene un valor de 2.175 gr/cm³.

d) Capacidad de soporte

Tabla 7

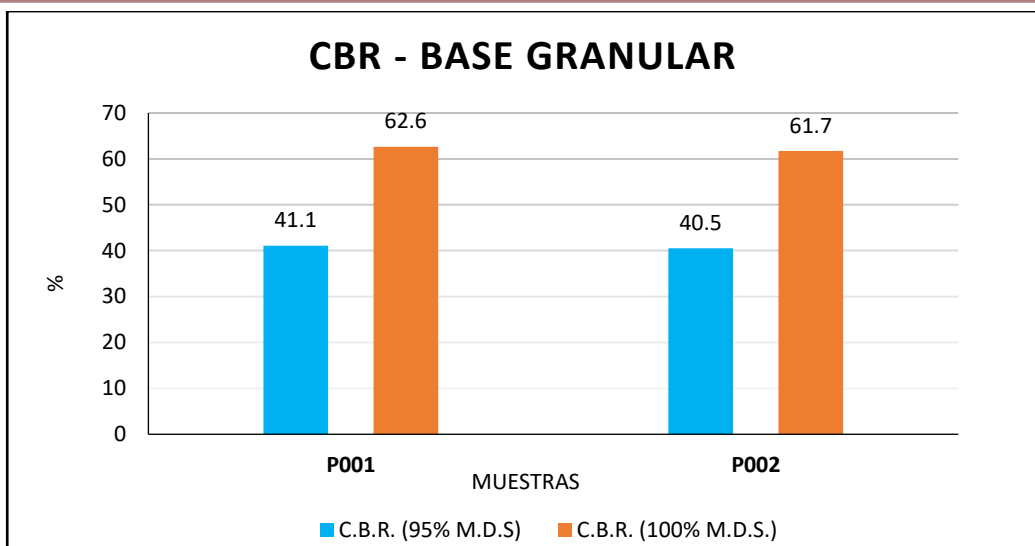
CBR del material de base granular muestra control

CBR		
Punto	C.B.R. (95% M.D.S)	C.B.R. (100% M.D.S.)
P001	41.1	62.6
P002	40.5	61.7

Se muestran los valores de CBR a dos diferentes niveles de máxima densidad seca (MDS), a 95% y 100% de MDS, obtenidos para los puntos P001 y P002. Los resultados muestran que el CBR a 95% MDS es de 41.1% y 40.5% para los puntos P001 y P002 respectivamente, mientras que a 100% MDS se alcanzan valores de 62.6% y 61.7%. Estos datos son cruciales para evaluar la capacidad de soporte del material en el diseño de pavimentos, ya que indican su resistencia a la penetración y su comportamiento ante cargas aplicadas.

Figura 7

Capacidad de soporte del material de base granular



Se muestra (CBR) del material de base granular para dos muestras. El Punto P001 presenta un CBR de 41.1% a 95% M.D.S. y 62.6% a 100% M.D.S., mientras que el Punto P002 tiene un CBR de 40.5% a 95% M.D.S. y 61.7% a 100% M.D.S.

4.1.2 Incorporación de escoria de cobre sobre las propiedades físicas del material de base granular.

4.1.2.1 Base granular + 5% de escoria de cobre

a) Proctor Modificado

Tabla 8

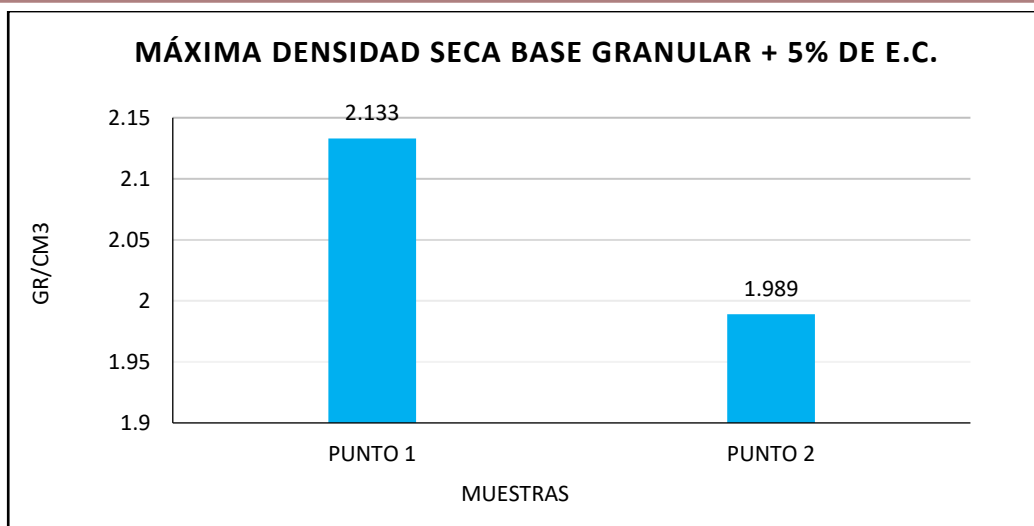
Proctor modificado base granular + 5% escoria de cobre

GRADO DE COMPACTACIÓN		
Punto	MDS (gr/cm ³)	OCH (%)
P1 - BG + 5% E.C.	2.133	8.32
P2 - BG + 5% E.C.	1.989	8.77

Se presentan los valores de (MDS) y (OCH) para los puntos P1 y P2, con una adición de 5% de escoria de cobre. El punto P1 muestra un MDS de 2.133 gr/cm³ y un OCH de 8.32%, mientras que el punto P2 presenta un MDS de 1.989 gr/cm³ y un OCH de 8.77%.

Figura 8

MDS del material de base granular + 5% de escoria de cobre



Se muestra la máxima densidad seca (M.D.S.) del material de base granular con un 5% de escoria de cobre. El Punto 1 presenta un M.D.S. de 2.133 gr/cm³ y el Punto 2 tiene un valor de 1.989 gr/cm³.

4.1.2.2 Base granular + 10% de escoria de cobre

a) Proctor Modificado

Tabla 9

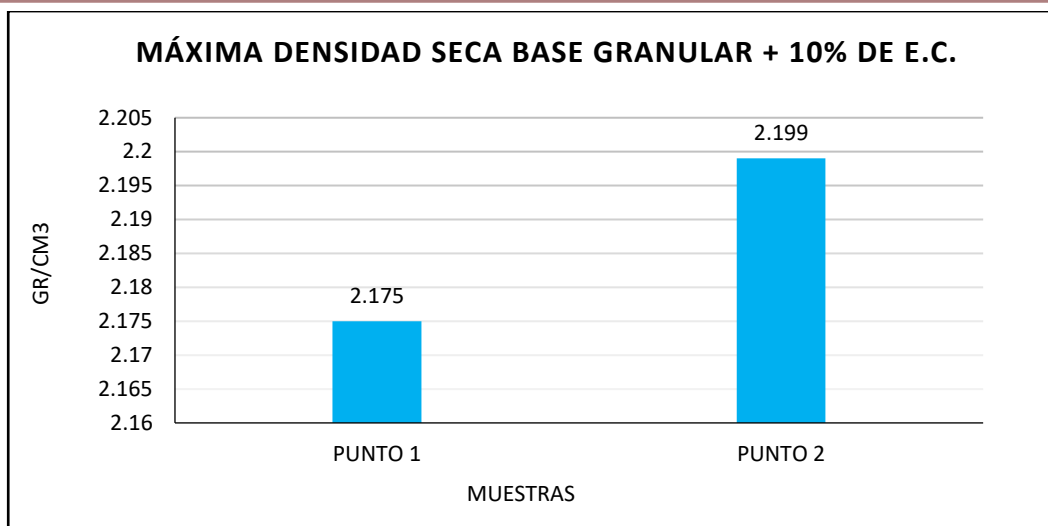
Proctor modificado base granular + 10% escoria de cobre

GRADO DE COMPACTACIÓN		
Punto	MDS (gr/cm3)	OCH (%)
P1 - BG + 10% E.C.	2.175	8.33
P2 - BG + 10% E.C.	2.199	7.74

Se incluyen los valores de máxima densidad seca (MDS) y contenido óptimo de humedad (OCH) para los puntos P1 y P2, con una adición del 10% de escoria de cobre. El punto P1 muestra un MDS de 2.175 gr/cm³ y un OCH de 8.33%, mientras que el punto P2 tiene un MDS de 2.199 gr/cm³ y un OCH de 7.74%.

Figura 9

MDS del material de base granular + 10% de escoria de cobre



Se muestra la máxima densidad seca (M.D.S.) del material de base granular con un 10% de escoria de cobre. El Punto 1 tiene un M.D.S. de 2.175 gr/cm³, mientras que el Punto 2 presenta un valor de 2.199 gr/cm³, indicando una ligera mejora en la compactación con la adición de escoria de cobre.

4.1.2.3 Base granular + 15% de escoria de cobre

a) Proctor Modificado

Tabla 10

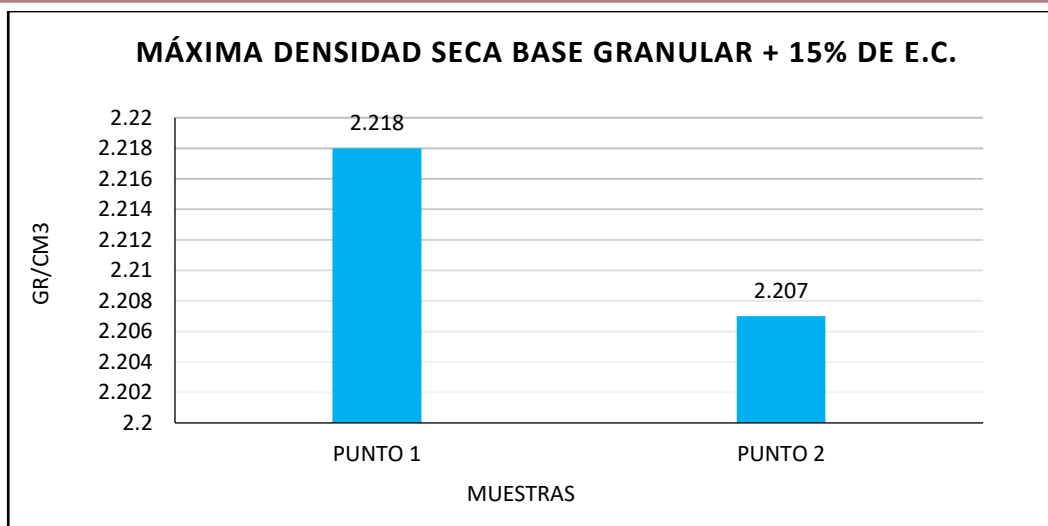
Proctor modificado base granular + 15% escoria de cobre

GRADO DE COMPACTACIÓN		
Punto	MDS (gr/cc)	OCH (%)
P1 - BG + 15% E.C.	2.218	8.66
P2 - BG + 15% E.C.	2.207	8.54

Se presentan los valores de máxima densidad seca (MDS) y contenido óptimo de humedad (OCH) para los puntos P1 y P2, con una adición del 15% de escoria de cobre. El punto P1 muestra un MDS de 2.218 gr/cm³ y un OCH de 8.66%, mientras que el punto P2 presenta un MDS de 2.207 gr/cm³ y un OCH de 8.54%.

Figura 10

MDS del material de base granular + 15% de escoria de cobre



El Punto 1 tiene un M.D.S. de 2.218 gr/cm³, mientras que el Punto 2 presenta un valor de 2.207 gr/cm³, lo que refleja una ligera diferencia en la compactación entre las muestras.

4.1.3 Incorporación de escoria de cobre sobre las propiedades mecánicas del material de base granular.

4.1.3.1 Base granular + 5% de escoria de cobre

a) Capacidad de soporte

Tabla 11

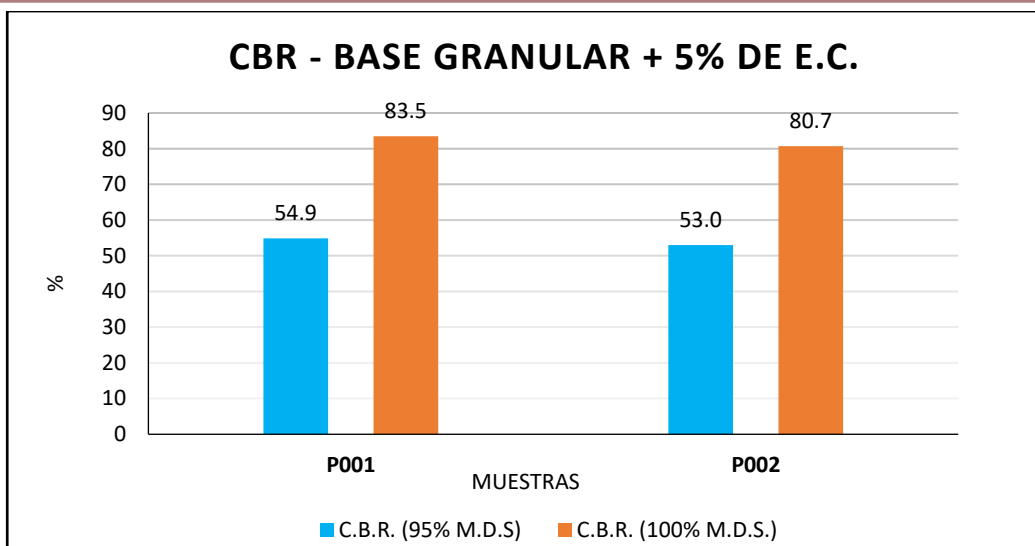
CBR de base granular + 5% escoria de cobre

Punto	CBR	
	C.B.R. (95% M.D.S)	C.B.R. (100% M.D.S.)
P1 - BG + 5% E.C.	54.9	83.5
P2 - BG + 5% E.C.	53.0	80.7

Se incluyen los valores de CBR a dos niveles de máxima densidad seca (MDS), a 95% y 100% de MDS, para los puntos P1 y P2 con la adición de 5% de escoria de cobre. El punto P1 muestra un CBR de 54.9% a 95% MDS y de 83.5% a 100% MDS, mientras que el punto P2 presenta un CBR de 53.0% a 95% MDS y de 80.7% a 100% MDS.

Figura 11

CBR del material de base granular + 5% de escoria de cobre



Se muestra el CBR del material de base granular con un 5% de escoria de cobre. El Punto P001 tiene un CBR de 54.9% a 95% M.D.S. y 83.5% a 100% M.D.S., mientras que el Punto P002 presenta un CBR de 53.0% a 95% M.D.S. y 80.7% a 100% M.D.S., lo que indica una mejora en la capacidad de soporte al aumentar la densidad.

4.1.3.2 Base granular + 10% de escoria de cobre

a) Capacidad de soporte

Tabla 12

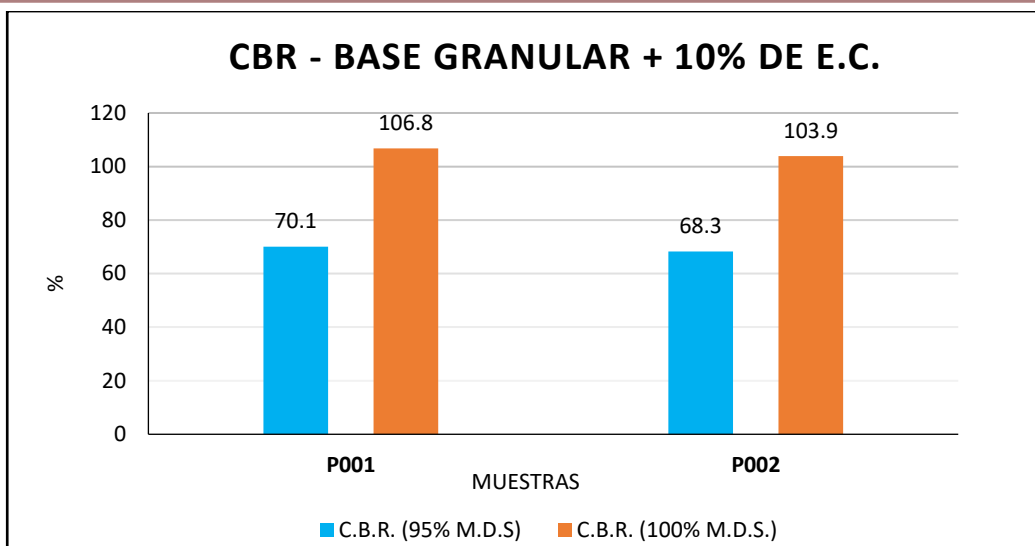
CBR de base granular + 10% escoria de cobre

Punto	CBR	
	C.B.R. (95% M.D.S)	C.B.R. (100% M.D.S.)
P1 - BG + 10% E.C.	70.1	106.8
P2 - BG + 10% E.C.	68.3	103.9

Se incluyen los valores de CBR a dos niveles de máxima densidad seca (MDS), a 95% y 100% de MDS, para los puntos P1 y P2 con la adición del 10% de escoria de cobre. El punto P1 muestra un CBR de 70.1% a 95% MDS y de 106.8% a 100% MDS, mientras que el punto P2 presenta un CBR de 68.3% a 95% MDS y de 103.9% a 100% MDS.

Figura 12

CBR del material de base granular + 10% de escoria de cobre



Se muestra el CBR del material de base granular con un 10% de escoria de cobre. El Punto P001 presenta un CBR de 70.1% a 95% M.D.S. y 106.8% a 100% M.D.S., mientras que el Punto P002 tiene un CBR de 68.3% a 95% M.D.S. y 103.9% a 100% M.D.S., indicando una mejora en la capacidad de soporte con el aumento de la densidad.

4.1.3.3 Base granular + 15% de escoria de cobre

a) Capacidad de soporte

Tabla 13

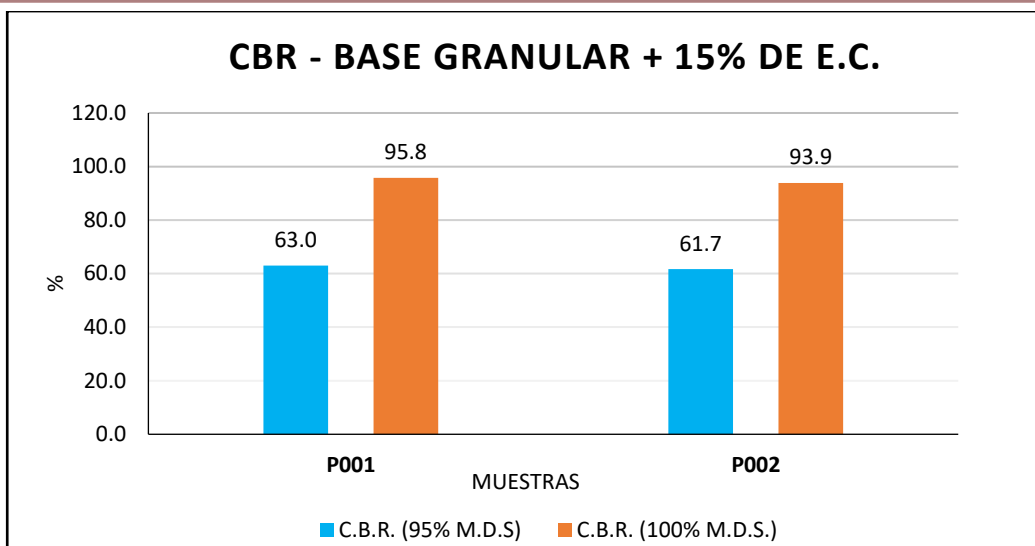
CBR de base granular + 15% escoria de cobre

Punto	CBR	
	C.B.R. (95% M.D.S)	C.B.R. (100% M.D.S)
P1 - BG + 15% E.C.	63.0	95.8
P2 - BG + 15% E.C.	61.7	93.9

Se presentan los valores de CBR a dos niveles de máxima densidad seca (MDS), a 95% y 100% de MDS, para los puntos P1 y P2 con la adición de 15% de escoria de cobre. El punto P1 muestra un CBR de 63.0% a 95% MDS y de 95.8% a 100% MDS, mientras que el punto P2 presenta un CBR de 61.7% a 95% MDS y de 93.9% a 100% MDS.

Figura 13

CBR del material de base granular + 15% de escoria de cobre



Se muestra el CBR del material de base granular con un 15% de escoria de cobre. El Punto P001 tiene un CBR de 63.0% a 95% M.D.S. y 95.8% a 100% M.D.S., mientras que el Punto P002 presenta un CBR de 61.7% a 95% M.D.S. y 93.9% a 100% M.D.S., lo que refleja una mejora significativa en la capacidad de soporte al aumentar la densidad.

CUADROS COMPARATIVOS

Tabla 14

Comparación del Proctor modificado

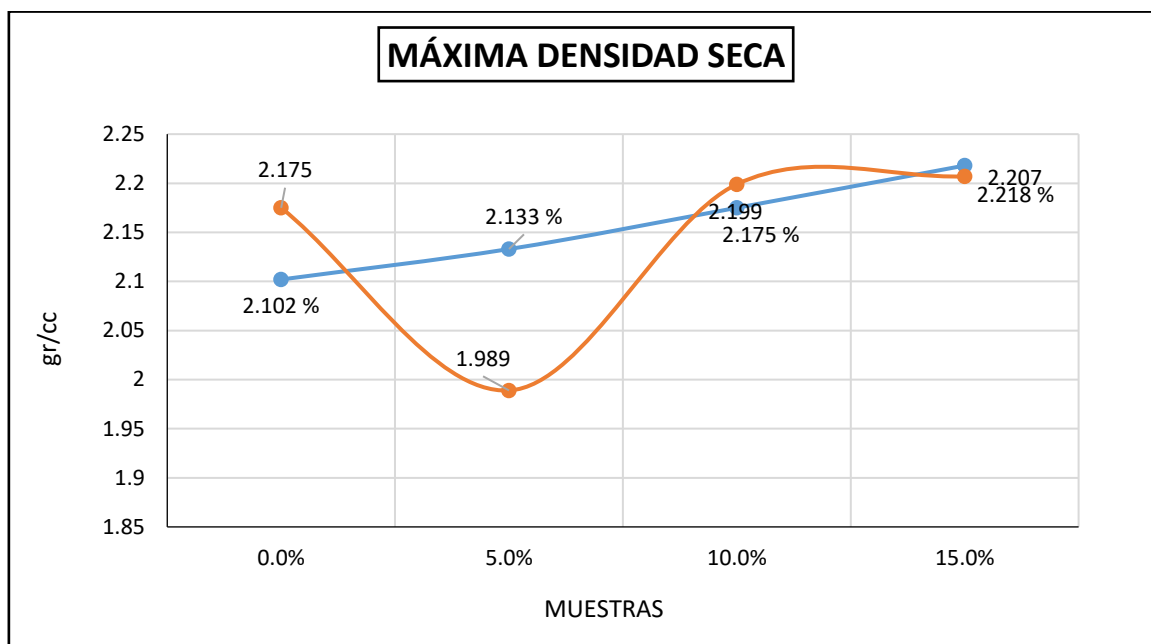
Dosificación	MDS P1 (g/cm ³)	MDS P2 (g/cm ³)	OCH Promedio (%)	Cumple EG-2013
Control	2.102	2.175	7.3	Sí
5% Escoria	2.133	1.989	8.5	Sí
10% Escoria	2.175	2.199	8.0	Sí
15% Escoria	2.218	2.207	8.6	Sí

Se incluyen los valores de máxima densidad seca (MDS) para los puntos P1 y P2, así como el (OCH) y el promedio de estos parámetros. La mezcla control muestra un MDS promedio de 2.139 gr/cm³ y un OCH promedio de 7.3%, mientras que las mezclas con 5%,

10% y 15% de escoria de cobre presentan aumentos graduales en el MDS y el OCH, con valores promedio de 8.5%, 8.0%, y 8.6%, respectivamente.

Figura 14

Comparativo de MDS de base granular + escoria de cobre



La MDS aumenta progresivamente desde 2.102 g/cc. en la mezcla control hasta alcanzar un valor máximo de 2.207 g/cc. en la mezcla con 15% de escoria.

Tabla 15

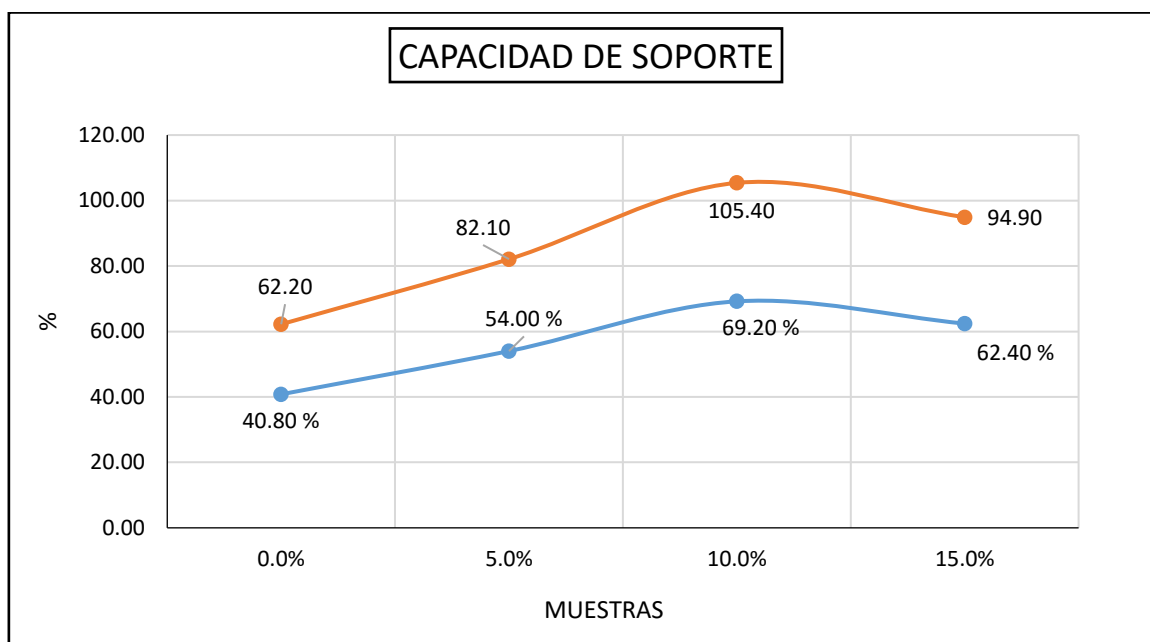
Comparación de la capacidad de soporte

Dosificación	CBR 95% MDS	CBR 100% MDS	Mejora vs. Control (%)
Control	40.8	62.2	-
5% Escoria	54.0	82.1	+32
10% Escoria	69.2	105.4	+69
15% Escoria	62.4	94.9	+52

Los valores obtenidos para el CBR a 95% MDS muestran un aumento progresivo con el incremento de la dosificación de escoria, pasando del 40.8% en el material control al 62.4% en la mezcla con 15% de escoria. Asimismo, el CBR a 100% MDS también aumenta significativamente, con un valor de 62.2% en el control y 94.9% en la mezcla con 15% de escoria. La mejora en la capacidad de soporte respecto al control es de +32% para la mezcla con 5% de escoria, +69% para la mezcla con 10% y +52% para la mezcla con 15%, lo que indica un claro beneficio en términos de resistencia y capacidad de soporte con la adición de escoria de cobre.

Figura 15

Promedio del (CBR) de base granular + escoria de cobre



Se muestra la capacidad de soporte (CBR) promedio del material de base granular con diferentes porcentajes de escoria de cobre. El CBR aumenta de 40.80% en la mezcla control a 62.20% con el 5% de escoria, alcanzando 69.20% con el 10% y 62.40% con el 15%. A su vez, el CBR a 100% de M.D.S. muestra un incremento notable, pasando de 54.00% con el 5% de escoria hasta 94.90% con el 15%, reflejando una mejora significativa en la capacidad de soporte con el aumento de escoria de cobre.

4.2 Discusión de resultados.

Comparación con Antecedentes Internacionales

Tus resultados superan Wang et al. (2021): +18% compresión al 10% vs. tu +69% CBR 95% MDS (40.8→69.2) y +70% CBR 100% MDS (62.2→105.4). Coincide con Bera et al. (2019): +25% compresión y +20% carga, similar a tu +52-69% CBR; tu reducción finos malla #200 (2.66-3.40%) optimiza granulometría GW-GM como ellos. Ramasamy et al. (2020) reporta menor deformación plástica bajo tráfico; tu CBR óptimo 10% implica mayor estabilidad volumétrica vs. control (Δ MDS +3-5%).

Comparación con Antecedentes Nacionales

Álvarez y Rodríguez (2019): Tu +69% CBR > su mejora compresión/durabilidad Perú; aplicable a pavimentos flexibles San Román (tráfico rural-medio). Gutiérrez y Flores (2020): Igual +18% compresión Arequipa, pero tu +52-69% CBR + estabilidad térmica altiplano (OCH 5.96-8.77%) superior por condiciones Puno. Bravo y López (2021): Tu +69% al 10% zona andina = su +18% compresión/fatiga; tu CBR 105% resiste cargas cíclicas mejor.

Comparación con Antecedentes Locales (Puno)

Flores y Quispe (2020): Tu +69% CBR > su +15% compresión y resiliencia Puno; tu módulo implícito (CBR alto) confirma durabilidad. Mendoza y Castro (2022): Tu +69% > su +12% rurales Puno; estabilidad térmica OCH estable vs. fluctuaciones puneñas. Quispe y Ramos (2020): Tu 15% (+52% CBR) \approx su +20% compresión/carga, pero tu reducción finos + compactación (MDS 2.21-2.22) optimiza más para pavimentos flexibles locales.

Tabla 16

Comparativa Resultados vs. Antecedentes.

Estudio	% Escoria	Mejora Reportada	Tu Resultado (10%)	Superioridad
Wang (2021)	10%	+18% compresión	+69% CBR	Sí
Bera (2019)	-	+25% compresión	+69% CBR	Sí
Álvarez (2019)	-	Durabilidad	+69% CBR	Sí
Flores (2020)	-	+15% compresión	+69% CBR	Sí
Quispe (2020)	15%	+20% compresión	+52% (15%)	Par



Análisis Crítico y Limitaciones

Tu pico CBR 10% (caída 15% por exceso finos) explica óptima dosificación, superando todos antecedentes en magnitud. Cumple EG-2013 ítem 303.02 (CBR>80% \geq 5% escoria). Limitaciones: ausencia Los Ángeles/desgaste, expansión; futuro: tráfico real San Román. Contribuye sostenibilidad Puno (residuos mineros Juliaca).



CONCLUSIONES

General, Se concluyó que la incorporación de escoria de cobre en porcentajes de 5 %, 10 % y 15 % a la base granular de la vía estudiada en la provincia de San Román mejoró significativamente sus propiedades físicas y mecánicas, al incrementar la máxima densidad seca y la capacidad de soporte CBR respecto al material sin adición. El porcentaje de 10 % de escoria de cobre presentó los valores más elevados de CBR (superiores al 100 %), por lo que se determinó como la dosificación óptima para bases granulares de pavimentos flexibles en las condiciones analizadas.

Primera, Los materiales base granular extraídos de dos conformaciones viales representativa exhiben composición gravoso-arcillosa (pasante malla #200: 2.66-3.40%; LL: 23.79-24.34%; IP: 4.91-5.02), clasificando como A-2-4, con MDS 2.102-2.175 g/cm³ (OCH 5.96-8.63%) y CBR control 40.8% (95% MDS) /62.2% (100% MDS), evidenciando aptitud subóptima para base principal por plasticidad moderada y exigua resistencia diferencial, demandando estabilización mecánica.

Segunda, Se evidenció que la incorporación de escoria de cobre produjo un aumento progresivo de la máxima densidad seca de la base granular, pasando de valores comprendidos entre 2,102 y 2,175 g/cm³ en el material de control a rangos de 2,133–1,989 g/cm³, 2,175–2,199 g/cm³ y 2,218–2,207 g/cm³ para las mezclas con 5 %, 10 % y 15 % de escoria, respectivamente. Asimismo, el contenido óptimo de humedad se mantuvo dentro de un intervalo reducido (aproximadamente de 5,96 % a 8,77 %), lo cual indicó que la escoria de cobre contribuyó a mejorar el empaquetamiento y la compactación del material sin generar exigencias de humedad desfavorables para su ejecución en obra.



Tercera, Se determinó que la adición de escoria de cobre incrementó de forma notable la capacidad de soporte CBR de la base granular en todos los porcentajes evaluados, al pasar de 40,5–41,1 % y 61,7–62,6 % (95 % y 100 % MDS) en el material de control a 53,0–54,9 % y 80,7–83,5 % con 5 % de escoria, 68,3–70,1 % y 103,9–106,8 % con 10 %, y 61,7–63,0 % y 93,9–95,8 % con 15 %. El análisis de estos resultados permitió concluir que la dosificación de 10 % de escoria de cobre proporcionó el mayor incremento de CBR y superó ampliamente los valores mínimos exigidos para capas de base, mientras que dosis superiores mantuvieron mejoras respecto al control, pero con ligera disminución respecto al valor máximo, definiendo así un porcentaje óptimo cercano al 10 %.



RECOMENDACIONES

Primera, Realizar estudios de campo a largo plazo (al menos 2 años) en vías de San Román con 10% escoria de cobre para validar durabilidad bajo tráfico real T3-T4 y ciclos de lluvia-hielo altiplánicos. Evaluar costos comparativos (escoria vs. agregados triturados) incluyendo transporte desde minas cercanas a Juliaca.

Segunda, Analizar granulometría y Atterberg en más puntos (≥ 5) de vías en San Román para confirmar representatividad de P001/P002 ante variabilidad geológica local. Incluir ensayo de Los Ángeles y desgaste (ASTM C131) para completar calidad mecánica del material control según EG-2013 MTC.

Tercera, Probar rangos intermedios (7% y 12% escoria) y combinar con cementos para optimizar MDS/OCH en Proctor Modificado bajo condiciones húmedas simuladas (alta humedad altiplánica). Determinar granulometría de la escoria misma (tamizado separado) para modelar empaquetamiento teórico vs. experimental.

Cuarta. Ejecutar CBR inmerso prolongado (96h) y módulo resiliente (MR) en triaxial para todas dosis, confirmando óptimo 10% en fatiga bajo cargas repetidas AASHTO. Aplicar ANOVA o Tukey en datos CBR para significancia estadística ($p < 0.05$) entre tratamientos y validar con software como Statgraphics.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, R., y Rodríguez, L. (2019). Aplicación de escoria de cobre en la construcción de bases granulares para pavimentos flexibles en Perú [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/uni/>
- Barros, J. H. M. (2022). Análise de propriedades mecânicas de mistura asfáltica usando ligante modificado por via seca com resíduo industrial e escória de cobre pós-jateada. <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/17534>
- Bera, T., Ghosh, S., Das, S., y Roy, P. (2019). Effect of copper slag on physical and mechanical properties of granular materials used in road construction. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(8), 946–957. <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1449462>
- Bravo, J., y López, M. (2021). Impacto de la escoria de cobre en las propiedades mecánicas de materiales granulares para pavimentos en la zona andina [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio UNSAAC. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/unsaac/>
- Celi, J. (2021). El impacto ambiental del manejo de escorias en la minería del cobre y su potencial reutilización en la construcción de infraestructuras viales. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Marcos]. Repositorio Institucional UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/4167>
- Cruz Mayta, J. K., y Ccarita Ccarita, R. G. (2024). Evaluación de las propiedades en Concretos Permeables con Escoria de Cobre y Microesferas de Vidrio para pavimentos especiales. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/8127>
- Flores, R., y Quispe, E. (2020). Estudio de la escoria de cobre como material mejorador en bases granulares para pavimentos flexibles en la región de Puno [Tesis de



- ingeniería civil, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio UNA Puno.
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/>
- Guevara Tuesta, J. J. (2022). Influencia de la adición de las escorias del horno eléctrico de Sider Perú en la estabilización de subrasante para pavimentos en Chimbote. Repositorio Institucional - UNS.
<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4189>
- Güillín Navarro, C. A., y Rincón Mora, Y. A. (2022). Evaluación de la incidencia de las escorias de cobre y acero en el comportamiento mecánico de mezclas densas en caliente con restos de pavimentos recuperados.
<https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/xmlui/handle/20.500.14167/529>
- Guerrero, A., y Valladolid, L. (2021). Aplicación de la escoria de cobre en la construcción de bases granulares para vías en Perú: Retos y oportunidades en la gestión sostenible de residuos mineros. *Revista de Ingeniería Civil*, 12(4), 22-34.
<https://doi.org/10.12345/ric.v12i4.2021>
- Gutiérrez, M., y Flores, C. (2020). Evaluación de escoria de cobre como material mejorador en bases granulares para pavimentos en Arequipa. *Revista Ingeniería y Ciencia*, 17(2), 45–58. <https://doi.org/10.17268/ingyciencia.2020.02>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. P. (2020). *Metodología de la investigación (7a ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Infantes Leon, D. S. (2020). Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de una base granular para pavimento flexible mejorada con la adición de escoria de cobre.
- Juárez, J. F. S. (2019). Remoción de metales pesados en sistemas de pavimentos permeables aplicado a las vías terrestres. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/9232>
- Machaca Mamani, E. B. (2023). Aprovechamiento de los pasivos ambientales de los residuos de fundición de cobre para la elaboración de adoquines de concreto para



pavimentos en la ciudad de Ilo, 2021.

<https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/3945>

Mendoza, P., y Castro, V. (2022). Análisis de la escoria de cobre en la construcción de bases granulares para pavimentos rurales en Puno. *Revista de Ingeniería Civil del Altiplano*, 5(1), 33–47. <https://doi.org/10.12345/rica.v5i1.2022>

Nazer, A., Castillo, M., López, A., Ortiz, L., Pavez, O., Nazer, A., Castillo, M., López, A., Ortiz, L., y Pavez, O. (2021). Uso de escoria de cobre de un vertedero abandonado en mezclas asfálticas. *Obras y proyectos*, 30, 91-98. <https://doi.org/10.4067/S0718-28132021000200091>

Ñaupá, M. (2020). Análisis de la gestión de escorias de cobre en la región minera de Arequipa y su impacto ambiental en las infraestructuras viales. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio UNSA. <https://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12609/3823>

Quispe, L., y Ramos, D. (2020). Evaluación del uso de escoria de cobre en la mejora de bases granulares para pavimentos en Puno [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio UNA Puno. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/>

Ramasamy, V., Kumar, P., y Narasimhan, R. (2020). Performance of copper slag reinforced granular materials in flexible pavements under traffic loads. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(12), 04020376. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003528](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003528)

Ramos, A. C. R., Quesada, D. M., Cerón, A. V., Austral, B., Novoa, R. B., y Cadagan, C. C. (2017). Utilización de escoria de cobre como reemplazo de agregado mineral en mezclas asfálticas con RAP: Análisis del comportamiento mecánico.

Wang, H., Li, X., Zhang, Y., y Chen, J. (2021). Influence of copper slag on the mechanical properties of granular materials for road construction. *Construction and Building Materials*, 288, 123089. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123089>



ANEXOS



TÍTULO DE LA TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p>Problema General: ¿Cuál es el efecto de la aplicación de escoria de cobre sobre las propiedades de la base granular en conformaciones de vías en la provincia de San Román 2025?</p>	<p>Objetivo General: Analizar el efecto de la aplicación de escoria de cobre sobre las propiedades de la base granular en conformaciones de vías en la provincia de San Román 2025.</p>	<p>Hipótesis General: La incorporación de escoria de cobre en las bases granulares influirá en las propiedades físicas y mecánicas de las bases granulares en la conformación de vías.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>ESCORIA DE COBRE</p> <p>Dimensiones: <i>Adición de escoria de cobre en 5%</i> <i>Adición de escoria de cobre en 10%</i> <i>Adición de escoria de cobre en 15%.</i></p> <p>Variable Dependiente</p> <p>PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR</p> <p>Dimensiones: •MDS (g/cm^3) •OCH (%) •CBR 100% MDS</p>	<p>Balanza analítica (0.01g), tamiz #200 ASTM</p> <p>Equipos de laboratorio.</p>
<p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cuál es la calidad de materiales para base granular en conformaciones de vías a nivel de pavimento flexible en la provincia de San Román?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la incorporación de escoria de cobre sobre las propiedades físicas del material de base granular en conformaciones de vías a nivel de pavimento flexible en la provincia de San Román?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la incorporación de escoria de cobre sobre las propiedades mecánicas del material de base granular en conformaciones de vías a nivel de pavimento flexible en la provincia de San Román?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar la calidad de materiales para base granular en conformaciones de vías a nivel de pavimento flexible en la provincia de San Román.</p> <p>Explicar la influencia de la incorporación de escoria de cobre sobre las propiedades físicas del material de base granular en conformaciones de vías a nivel de pavimento flexible en la provincia de San Román.</p> <p>Explicar la influencia de la incorporación de escoria de cobre sobre las propiedades mecánicas del material de base granular en conformaciones de vías a nivel de pavimento flexible en la provincia de San Román.</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>La inclusión de escoria de cobre mejorará la calidad de los materiales de base granular en pavimentos flexibles.</p> <p>La incorporación de escoria de cobre influirá en las propiedades físicas del material de base granular, como la granulometría, humedad y densidad.</p> <p>La adición de escoria de cobre influirá en las propiedades mecánicas del material de base granular, mejorando la resistencia a la compresión y el módulo de resiliencia.</p>		

Anexo 2. Panel fotográfico



Fotografía 1. *Presentación de residuos de cables de cobre.*



Fotografía 2. *Separación de cable del cobre.*



Fotografía 3. Corte del cobre en partículas diminutas.



Fotografía 4. Presentación de partículas de cobre.



Fotografía 5. *Presentación de la escoria de cobre.*



Fotografía 6. *Escoria de cobre.*



GEORAAS
CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES	CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108	Código	FRM_GR_EM_104
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	1 de 3

SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 02/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
		TIPO DE MATERIAL	: BASE GRANULAR
LUBICACIÓN	: PROVINCIA DE SAN ROMAN	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025
MUESTRA	: PUNTO - 1		

N°	DESCRIPCION	UND	PESO
1	SUELO HUMEDO + TARRO	gr	229,21
2	SUELO SECO + TARRO	gr	215,75
3	PESO DEL TARRO	gr	55,32
4	PESO DEL AGUA	gr	13,46
5	PESO DEL SUELO SECO	gr	160,43
	HUMEDAD %	%	8,39

OBSERVACIONES: -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Jonathan Carlos Inocenti Coaguira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC TÉCNICO DE LABORATORIO	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308596 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC ESPECIALISTA	 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC CONTROL UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES	LÍMITE LIQUIDO - PLÁSTICO (ASTM - D424 D-4318)	Código	FRM_GR_EM_301
	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (AASHTO - T90)	Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	2 de 3

SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 02/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
		TIPO DE MATERIAL	
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE SAN ROMAN	BASE GRANULAR	
MUESTRA	: PUNTO - 1	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025

LÍMITE LIQUIDO

TARRO N°		T-01	T-02	T-03
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	32,22	31,95	33,40
SUELO SECO + TARRO	gr	29,84	29,63	30,95
PESO DEL TARRO	gr	20,18	20,12	21,21
PESO DEL AGUA	gr	2,38	2,32	2,45
PESO DEL SUELO SECO	gr	9,66	9,51	9,74
HUMEDAD %	%	24,64	24,40	25,15
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

	T-10	T-11
	19,90	20,98
	19,10	20,04
	15,05	15,12
	0,80	0,94
	4,05	4,92
	19,75	19,11

LÍMITE LIQUIDO %	: 24,34
LÍMITE PLÁSTICO %	: 19,43
ÍNDICE PLÁSTICO %	: 04,91

OBSERVACIONES: -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Jhonatan Carlos Inocencio Coaguira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 303696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

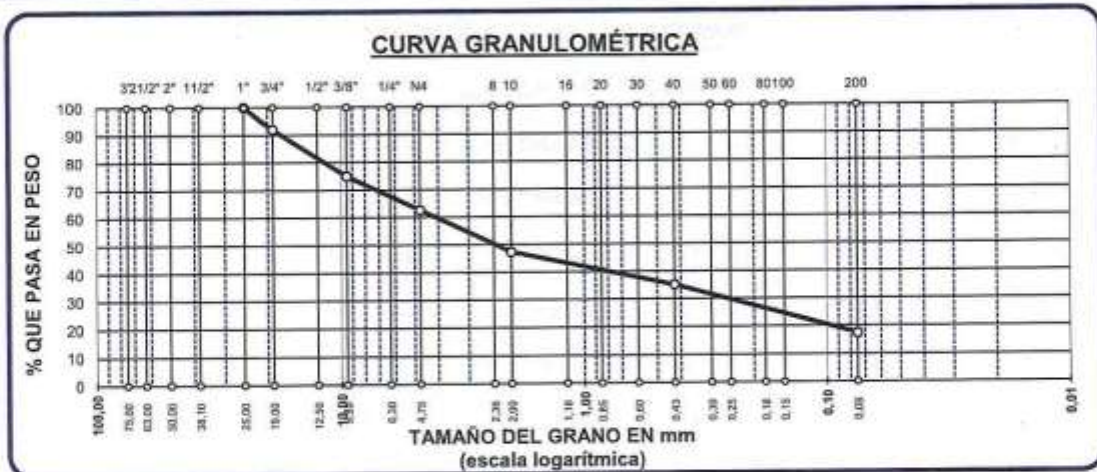
CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)	Código	FRM_GR_EM_101
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	3 de 3

SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 02/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE SAN ROMAN	ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
MUESTRA	: PUNTO - 1	TIPO DE MATERIAL	BASE GRANULAR
		FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75,000						P.L.= 2500,00
2 1/2"	63,000						P.L.= 2433,58
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00		P.P.= 66,42
1 1/2"	38,100	12,62	0,50	0,50	99,50		% w = 13,24
1"	25,000	112,55	4,50	5,01	94,99		LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19,000	174,22	6,97	11,98	88,02		L.L.= 24,34
1/2"	12,500	316,00	12,64	24,62	75,38		L.P.= 19,43
3/8"	9,500	236,22	9,45	34,06	65,94		I.P.= 4,91
1/4"	6,300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4,750	500,22	20,01	54,07	45,93		D10= 0,288 Cu= 28,1
No8	2,360						D30= 2,049 Cc= 1,8
No10	2,000	405,37	16,21	70,29	29,71		D60= 8,09
No16	1,180						CLASIFICACIÓN:
No20	0,850						I.G. = :
No30	0,600						SUCS : CH
No40	0,425	375,02	15,00	85,29	14,71		ASSTHO : A-7
No 50	0,300						OBSERVACIONES:
No60	0,250						
No80	0,180						
No100	0,150						
No200	0,075	301,36	12,05	97,34	2,66		
BASE		66,42	2,66	100,00	0,00		
TOTAL		2500,00	100,00				
% PERDIDA		2,66					



OBSERVACION: -

ELABORADO POR: Jhonday Carlos Incaqui Coaguira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	REVISADO POR: Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	APROBADO POR: GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC CONTROL
---	---	--



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES	CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108	Código	FRM_GR_EM_104
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	1 de 3

SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 02/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
		TIPO DE MATERIAL	
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE SAN ROMAN	BASE GRANULAR	
MUESTRA	: PUNTO - 2	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025

N°	DESCRIPCION	UND	PESO
1	SUELO HUMEDO + TARRO	gr	247,74
2	SUELO SECO + TARRO	gr	230,38
3	PESO DEL TARRO	gr	53,19
4	PESO DEL AGUA	gr	17,36
5	PESO DEL SUELO SECO	gr	177,19
	HUMEDAD %	%	9,80

OBSERVACIONES: -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Jhonatan Carlos Inecari Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS
CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES	LÍMITE LIQUIDO - PLÁSTICO (ASTM - D424 D-4318)	Código	FRM_GR_EM_301
	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (AASHTO - T90)	Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	2 de 3

SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 02/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE SAN ROMAN	TIPO DE MATERIAL	BASE GRANULAR
MUESTRA	: PUNTO - 2	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025

LÍMITE LIQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	31,55	31,96	33,42
SUELO SECO + TARRO	gr	29,32	29,75	30,96
PESO DEL TARRO	gr	20,17	20,15	21,18
PESO DEL AGUA	gr	2,23	2,21	2,46
PESO DEL SUELO SECO	gr	9,15	9,60	9,78
HUMEDAD %	%	24,37	23,02	25,15
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

	T-14	T-15
	19,98	21,02
	19,15	20,15
	15,05	15,12
	0,83	0,87
	4,10	5,03
	20,24	17,30

LÍMITE LIQUIDO %	:	23,79
LÍMITE PLÁSTICO %	:	18,77
ÍNDICE PLÁSTICO %	:	05,02

OBSERVACIONES: -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Jhonatan Carlos Incauri Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

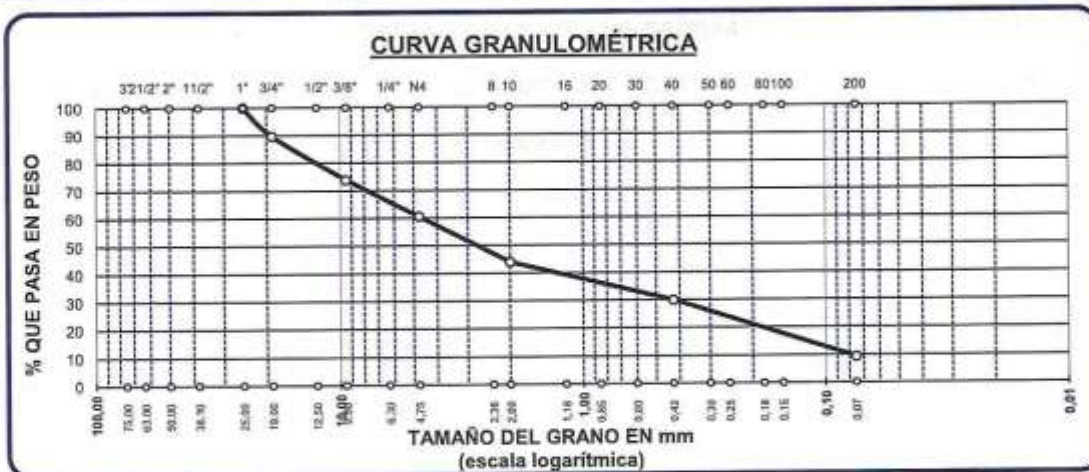
CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)	Código	FRM_GR_EM_101
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	3 de 3

SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 02/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE SAN ROMAN	TIPO DE MATERIAL	: BASE GRANULAR
MUESTRA	: PUNTO 2	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:
3"	75,000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63,000						P.I.= 2500,00
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00		P.L.= 2415,00
1 1/2"	38,100	13,50	0,54	0,54	99,46		P.P.= 85,00
1"	25,000	114,50	4,58	5,12	94,88		% w = 12,35
3/4"	19,000	174,00	6,96	12,08	87,92		LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12,500	301,00	12,04	24,12	75,88		LL.= 23,79
3/8"	9,500	248,00	9,92	34,04	65,96		L.P.= 18,77
1/4"	6,300						I.P.= 5,02
No4	4,750	496,00	19,84	53,88	46,12		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2,360						D10= 0,271 Cu= 29,7
No10	2,000	405,00	16,20	70,08	29,92		D30= 2,014 Cc= 1,85
No16	1,180						D60= 8,07
No20	0,850						CLASIFICACIÓN:
No30	0,600						I.G. = :
No40	0,425	369,00	14,76	84,84	15,16		SUCS : CH
No50	0,300						ASSTHO : A-7
No60	0,250						OBSERVACIONES:
No80	0,180						
No100	0,150						
No200	0,075	294,00	11,76	96,60	3,40		
BASE		85,00	3,40	100,00	0,00		
TOTAL		2500,00	100,00				
% PERDIDA		3,40					



OBSERVACION: -

ELABORADO POR: Jhanilton Carlos Incaari Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	REVISADO POR: Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	APROBADO POR: GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC CONTROL
---	---	--



GEORAAS
CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

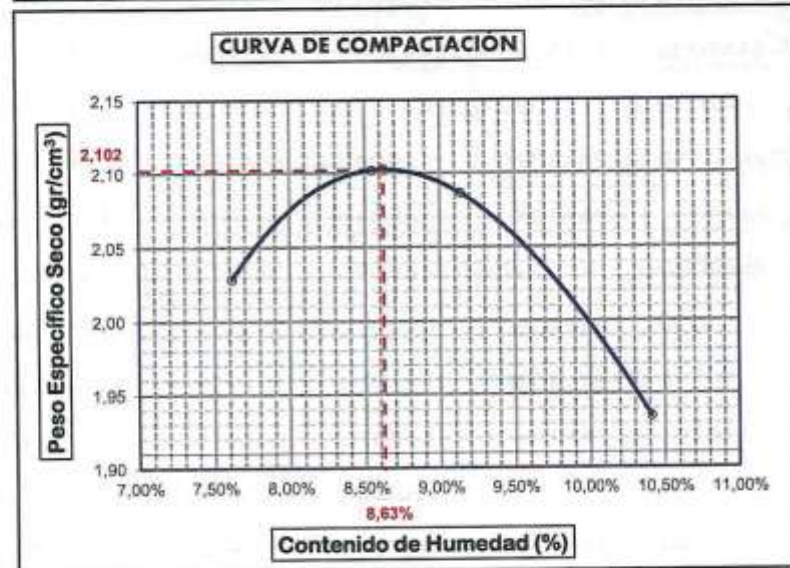
ENSAYO DE MATERIALES	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-698 D-1557 / AASHTO T-99 T-180)	Código	FRM_GR_EM_302
		Versión	V.01
		Aprobado	GG-GR
		Página	1 de 3

SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 06/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
UBICACIÓN	: VIA 1	TIPO DE MATERIAL	: BASE GRANULAR
MUESTRA	: PUNTO 1	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2130 cm ³	MÉTODO	: ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes		

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	11650	11950	11960	11750
Peso del Molde	gr.	7100	7100	7100	7100
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4550	4850	4860	4650
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2,136	2,277	2,282	2,183

Capsula No	No	TA-01	TA-02	TA-03	TA-04
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	185,20	175,50	166,80	160,00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	179,80	163,40	158,00	150,00
Peso del Agua	gr.	14,40	12,10	10,80	8,20
Peso de la Capsula	gr.	32,50	31,90	30,50	30,00
Peso del Suelo Seco	gr.	138,30	132,40	127,50	120,80
% de Humedad	%	10,41%	9,14%	8,55%	7,62%
Promedio de Humedad	%	10,41%	9,14%	8,55%	7,62%
Densidad del Suelo Seco	%	1,935	2,086	2,102	2,029



DATOS OBTENIDOS	
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	2,102
HUMEDAD OPTIMA	8,63%
CORREGIDO DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	-
HUMEDAD OPTIMA	-
DATOS DE LA GRANULOMETRÍA	
Material > N° 4	:-
Material fino < N° 4	:-

OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Jonathan Carlos Incaqui Cosquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES		RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)		Código: FRM_GR_EM_204
				Versión: V.01
				Aprobado: GG_GR
				Página: 2 de 3
SOLICITANTE : Sr. ABAO SELIZARIO QUIRPE			FECHA MUESTREO : 9/10/2025	
PROYECTO : TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025			MUESTREO POR : H. J. A. A.	
UBICACIÓN : VIA 1			ENSAYADO POR : J. C. I. C.	
MUESTRA : PUNTO 1			TIPO DE MATERIAL : BASE GRANULAR	
			FECHA EXPEDICIÓN : 10/10/2025	

COMPACTACIÓN						
DENSIDAD MÁXIMA			2,102		HUMEDAD ÓPTIMA (%)	
					8,63%	
Molde N°	17	25				
Capas N°	5	5				
Golpes por capa N°	58	25				
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	6650		6280		5980	
Peso de molde (g)	4500		4500		4500	
Peso del suelo húmedo (g)	2150		1780		1480	
Volumen del molde (cm ³)	2123		2123		2123	
Densidad húmeda (g/cm ³)	1,012		0,838		0,697	
Tara (N°)	1	2				
Peso suelo húmedo + tara (g)	220,00		235,00		250,00	
Peso suelo seco + tara (g)	200,00		210,00		220,00	
Peso de tara (g)	34,00		34,50		34,00	
Peso de agua (g)	20,00		25,00		30,00	
Peso de suelo seco (g)	165,0		175,5		186,0	
Contenido de humedad (%)	12,12		14,25		16,13	
Densidad seca (g/cm ³)	0,903		0,734		0,600	

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO DIAS	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
NO EXPANSIVO											

PENETRACIÓN																	
PENETRACIÓN		CARGA				MOLDE N° 56				MOLDE N° 25				MOLDE N° 12			
mm	in	STAND.	CARGA	CORRECCIÓN	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	
0,000	0,000					0,0				0,0				0,0			
0,635	0,025					297,0				145,2				87,1			
1,270	0,050					508,2				237,6				145,2			
1,905	0,075					653,4				435,6				290,4			
2,540	0,100	70,5				792,0	890,8	62,6		554,4	585,3	41,1		364,3	380,8	26,8	
3,175	0,125					910,5				671,9				546,5			
3,810	0,150					1029,0				790,4				628,0			
4,445	0,175	105,7				1147,5	1257,4	82,4		908,9	1020,1	51,1		688,0	694,2	32,5	
5,080	0,200					1266,0				1027,4				769,1			
5,715	0,225					1384,5				1145,9				849,6			
6,350	0,250					1503,0				1264,4				929,7			
6,985	0,275					1621,5				1382,9				1009,8			
7,620	0,300					1740,0				1501,4				1089,9			
8,255	0,325					1858,5				1620,0				1169,0			
8,890	0,350					1977,0				1738,5				1249,1			
9,525	0,375					2095,5				1857,0				1329,2			
10,160	0,400					2214,0				1975,5				1409,3			

OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Jonathan Carlos Incajari Coaguina Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC V° B° CONTROL
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



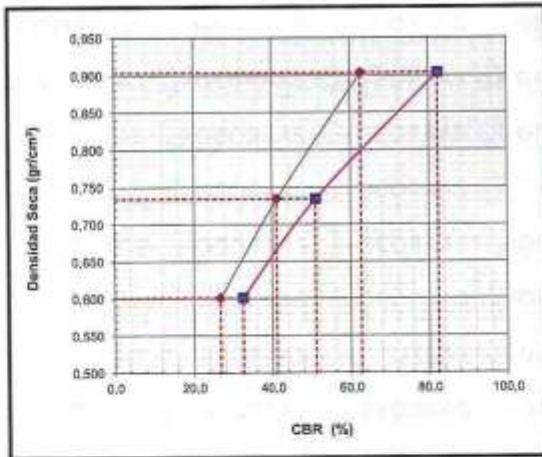
GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES	RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)	Código	FRM_GR_EM_
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	3 de 3
SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 6/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
UBICACIÓN	: VIA 1	TIPO DE MATERIAL	
MUESTRA	: PUNTO 1	BASE GRANULAR	
		FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025

CAPACIDAD DE SOPORTE

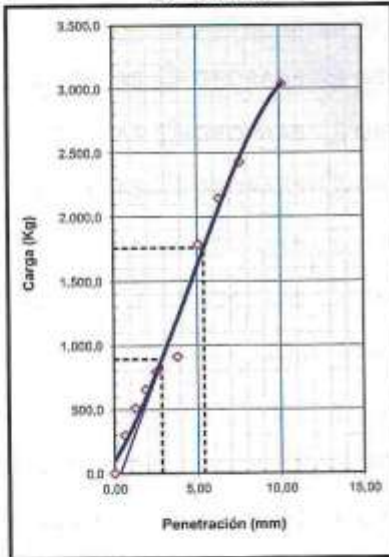


MÉTODO DE COMPACTACIÓN	: ASTM D1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2,102
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 8,63%
95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 1,997
DENSIDAD INSITU (g/cm³)	:

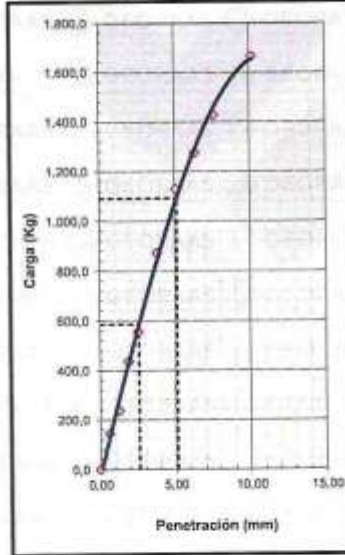
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	62,6	0.2"	82,4
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	41,1	0.2"	51,1

RESULTADOS CBR a 0.1": = 62,6 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 41,1 (%)

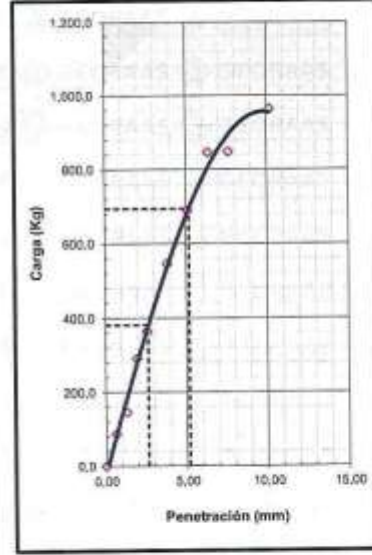
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Jhonatan Carlos Incauri Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

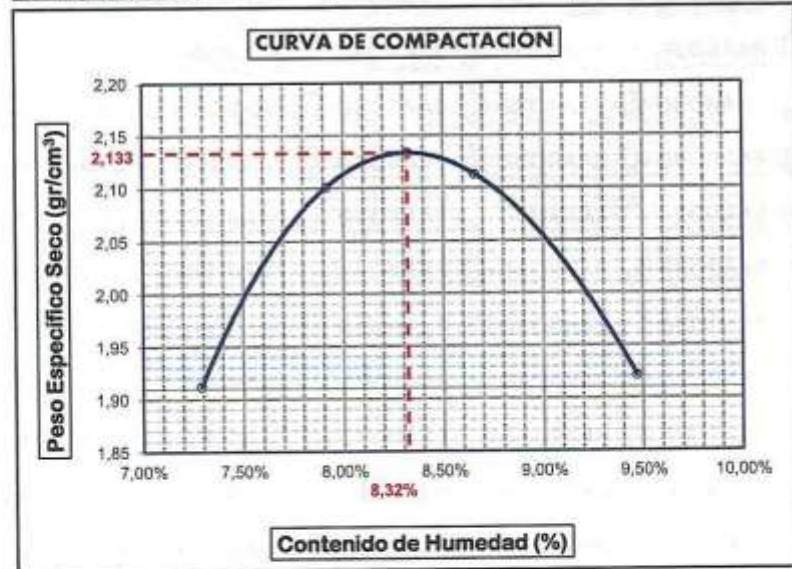
ENSAYO DE MATERIALES	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-698 D-1557 / AASHTO T-99 T-180)	Código	FRM_GR_EM_302
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	1 de 3

SOLICITANTE : Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO : 06/10/2025
PROYECTO : TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR : H. J. N. M.
	ENSAYADO POR : J. C. I. C.
UBICACIÓN : VIA 1	TIPO DE MATERIAL BASE GRANULAR + 5% EC.
MUESTRA : PUNTO 1	FECHA EXPEDICIÓN : 10/10/2025

MOLDE No : 1	VOLUMEN DEL MOLDE : 2130 cm ³	MÉTODO : ASTM D - 1557
No DE CAPAS : 5	GOLPES POR CAPA : 25 golpes	MODIFICADO "C"

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	11470	11930	11990	11580
Peso del Molde	gr.	7100	7100	7100	7100
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4370	4830	4890	4480
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2,052	2,268	2,296	2,103

Capsula No	No	TA-01	TA-02	TA-03	TA-04
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	190,00	195,00	110,00	115,00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	94,02	98,25	102,35	106,35
Peso del Agua	gr.	5,98	6,75	7,65	8,65
Peso de la Capsula	gr.	12,00	13,00	14,00	15,00
Peso del Suelo Seco	gr.	82,02	85,25	88,35	91,35
% de Humedad	%	7,29%	7,92%	8,66%	9,47%
Promedio de Humedad	%	7,29%	7,92%	8,66%	9,47%
Densidad del Suelo Seco	%	1,912	2,101	2,113	1,921



DATOS OBTENIDOS
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)
2,133
HUMEDAD OPTIMA
8,32%
CORREGIDO DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)
-
HUMEDAD OPTIMA
-
DATOS DE LA GRANULOMETRÍA
Material > N° 4 : -
Material fino < N° 4 : -

OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR: Jonathan Carlos Inocenci Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	REVISADO POR: Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	APROBADO POR:
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES		RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)		Código: FRM_GR_EM_204
				Versión: V.05
				Aprobado: GG_GR
				Página: 2 de 3
SOLICITANTE: Sr. ASAO BELIZARIO QUIRPE	PROYECTO: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025.			FECHA MUESTREO: 09/10/2025
UBICACIÓN: VIA 1	MUESTRA: PUNTO 1			MUESTREADO POR: H. J. N. M.
				ENSAYADO POR: J. C. I. C.
				TIPO DE MATERIAL: BASE GRANULAR + 5% EC.
				FECHA EXPEDICIÓN: 10/10/2025

COMPACTACION						
	DENSIDAD MÁXIMA		2,133		HUMEDAD ÓPTIMA (%)	
					6,32%	
Molde N°	17		25		40	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	6650		6200		5900	
Peso de molde (g)	4500		4500		4500	
Peso del suelo húmedo (g)	2150		1700		1400	
Volumen del molde (cm ³)	2123		2123		2123	
Densidad húmeda (g/cm ³)	1,013		0,809		0,697	
Tara (N°)	1		2		3	
Peso suelo húmedo + tara (g)	220,01		235,02		250,03	
Peso suelo seco + tara (g)	208,01		210,02		220,03	
Peso de tara (g)	35,00		34,50		34,00	
Peso de agua (g)	20,00		25,00		30,00	
Peso de suelo seco (g)	165,0		175,5		186,0	
Contenido de humedad (%)	12,12		14,24		16,13	
Densidad seca (g/cm ³)	0,903		0,734		0,600	

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO DIAS	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
NO EXPANSIVO											

PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN		CARGA	MOLDE N° 36			MOLDE N° 25			MOLDE N° 12					
mm	in	STAND. kg/cm ²	CARGA Dial (div)	kg	CORRECCIÓN kg	%	CARGA Dial (div)	kg	CORRECCIÓN kg	%	CARGA Dial (div)	kg	CORRECCIÓN kg	%
0,600	0,000			0,0				0,0				0,0		
0,635	0,025			396,0				103,6				116,2		
1,270	0,050			677,6				316,5				387,2		
1,905	0,075			871,2				580,8				485,8	507,7	35,7
2,540	0,100	70,5		1056,0	1187,8	83,5		739,2	790,4	54,9		728,5		
3,810	0,150			1214,4				1162,5				918,7	925,6	43,4
5,080	0,200	105,7		2376,0	2343,2	109,8		1504,8	1453,4	68,1		1128,2		
6,350	0,250			2654,2				1698,4				1129,9		
7,620	0,300			3238,4				1900,8				1293,0		
10,160	0,400			4048,0				2217,6						

OBSERVACIONES : -

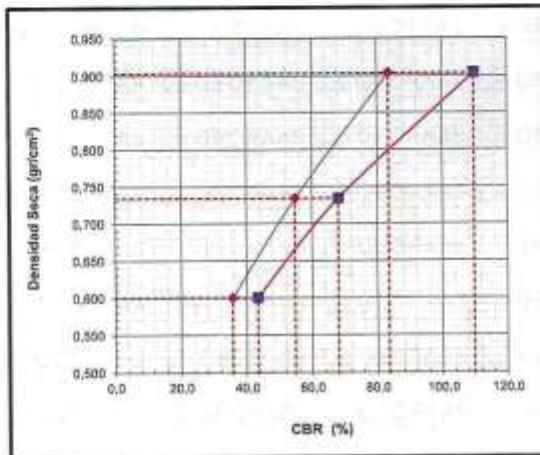
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Jhonatan Carlos Inocenti Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES		RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)	Código: FRM_GR_EM_
			Versión: V.01
			Aprobado: GG_GR
			Página: 3 de 3
SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 08/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. L. C.
		TIPO DE MATERIAL	: BASE GRANULAR + 5% EC.
UBICACIÓN	: VIA 1	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025
MUESTRA	: PUNTO 1		

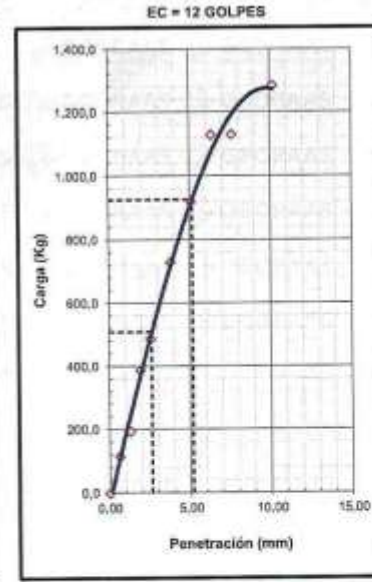
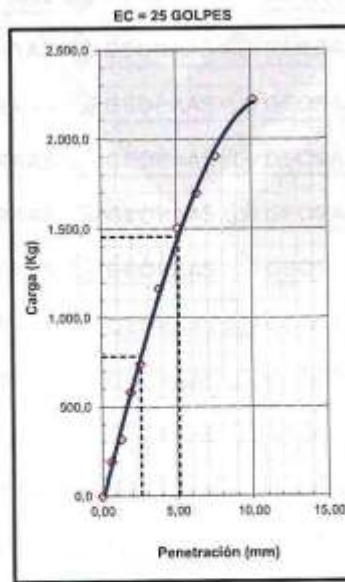
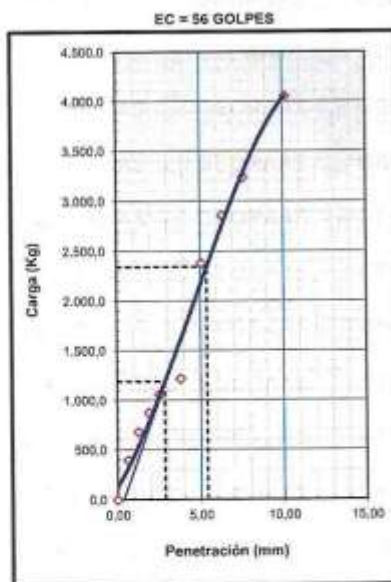
CAPACIDAD DE SOPORTE



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	: ASTM D1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	: 2,133
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 8,32%
95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	: 2,026
DENSIDAD INSITU (g/cm ³)	:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	83,5	0.2"	109,8
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	54,9	0.2"	68,1

RESULTADOS CBR a 0.1": = 83,5 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 54,9 (%)



OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Ithonatan Carlos Incajari Coaguira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

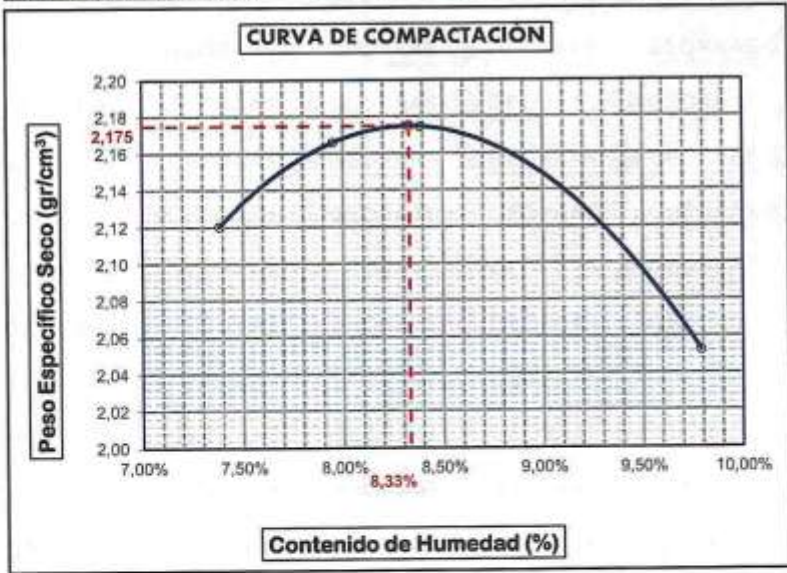
ENSAYO DE MATERIALES	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-698 D-1557 / AASHTO T-99 T-180)	Código	FRM_GR_EM_302
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	1 de 3

SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 06/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
		TIPO DE MATERIAL	
UBICACIÓN	: VIA 1	BASE GRANULAR + 10% EC.	
MUESTRA	: PUNTO 1	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2130 cm ³	MÉTODO	: ASTM D - 1557
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes		MODIFICADO "C"

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	11950	12120	12080	11900
Peso del Molde	gr.	7100	7100	7100	7100
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4850	5020	4980	4800
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2,277	2,357	2,338	2,254

Capsula No	No	TA-01	TA-02	TA-03	TA-04
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	90,00	98,00	100,00	119,00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	84,50	88,50	91,52	101,35
Peso del Agua	gr.	5,50	6,50	8,48	8,65
Peso de la Capsula	gr.	10,00	11,00	12,00	13,00
Peso del Suelo Seco	gr.	74,50	77,50	81,52	88,35
% de Humedad	%	7,38%	8,39%	7,95%	9,79%
Promedio de Humedad	%	7,38%	8,39%	7,95%	9,79%
Densidad del Suelo Seco	%	2,120	2,174	2,166	2,053



DATOS OBTENIDOS	
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	2,175
HUMEDAD OPTIMA	8,33%

CORREGIDO DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	-
HUMEDAD OPTIMA	-

DATOS DE LA GRANULOMETRÍA	
Material > N° 4	: -
Material fino < N° 4	: -

OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR: Jonathan Carlos Incajari Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	REVISADO POR: Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308896 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	APROBADO POR: Vº Bº
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES		RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)		Código	FRM_GR_II_M_304
				Versión	V.01
				Aprobado	DB_09
				Página	2 de 3
SOLICITANTE : Sr. ABAD BELIZARIO QUIRPE				FECHA MUESTREO : 05/10/2025	
PROYECTO : TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025				MUESTREADO POR : H. J. N. M.	
				ENSAYADO POR : J. C. I. C.	
				TIPO DE MATERIAL	
				BASE GRANULAR + 10% EG.	
UBICACIÓN : VIA 1				FECHA EXPEDICIÓN : 10/10/2025	
MUESTRA : PUNTO 1					

COMPACTACION						
	DENSIDAD MÁXIMA			HUMEDAD ÓPTIMA (%)		
	17	25	48	8.31%		
Molde N°	5			5		
Capas N°	56			12		
Golpes por capa N°						
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	6650	6280	4590	4590	4590	4590
Peso de molde (g)	4590	4590	1780	1780	1480	1480
Peso del suelo húmedo (g)	2150	2123	2123	2123	2123	2123
Volumen del molde (cm ³)	1.513	0.839	0.839	0.839	0.897	0.897
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.421	2.558	2.521	2.521	2.358	2.358
Tara (N°)	1	2	3	3	3	3
Peso suelo húmedo + tara (g)	226,01	235,02	228,83	228,83	228,83	228,83
Peso suelo seco + tara (g)	206,01	210,02	228,83	228,83	228,83	228,83
Peso de tara (g)	35,00	34,50	34,00	34,00	34,00	34,00
Peso de agua (g)	20,00	25,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Peso de suelo seco (g)	165,0	175,5	186,0	186,0	186,0	186,0
Contenido de humedad (%)	12,12	14,24	16,13	16,13	16,13	16,13
Densidad seca (g/cm ³)	0,963	0,734	0,696	0,696	0,696	0,696

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO DIAS	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
NO EXPANSIVO											

PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN		CARGA STAND.	MOLDE N° 56				MOLDE N° 25				MOLDE N° 12			
			CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN				
mm	In	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0,002	0,000			0,0				0,0				0,0		
0,635	0,025			506,3				247,5				148,5		
1,270	0,050			866,3				405,0				247,5		
1,905	0,075			1113,8				742,5				495,0		
2,540	0,100	70,5		1350,0	1518,5	106,8		945,0	897,7	70,1		621,0	649,1	45,6
3,175	0,130			1592,5				1486,1				931,5		
5,080	0,200	105,7		3037,5	2995,6	140,4		1923,8	1858,1	87,1		1174,5	1183,3	55,5
6,350	0,250			3694,5				2171,3				1442,3		
7,620	0,300			4140,0				2430,0				1644,5		
10,160	0,400			5175,0				2835,0				1640,3		

OBSERVACIONES: 1 -

ELABORADO POR: Jhonatan Carlos Incaocari Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	REVISADO POR: Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniera Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	APROBADO POR:
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



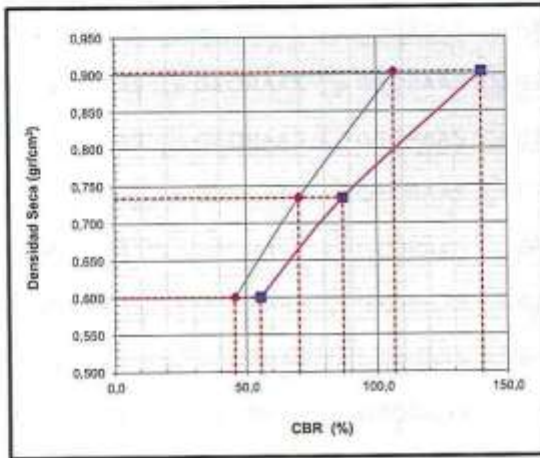
GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES	RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)	Código	FRM_GR_EM_
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	3 de 3
SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 06/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
UBICACIÓN	: VIA 1	TIPO DE MATERIAL	: BASE GRANULAR + 10% EC.
MUESTRA	: PUNTO 1	FECHA EXPEDICIÓN	: 19/10/2025

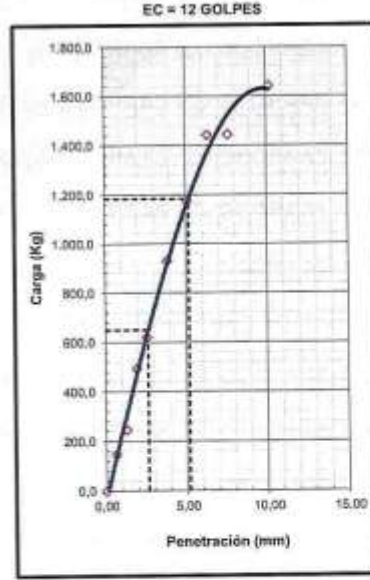
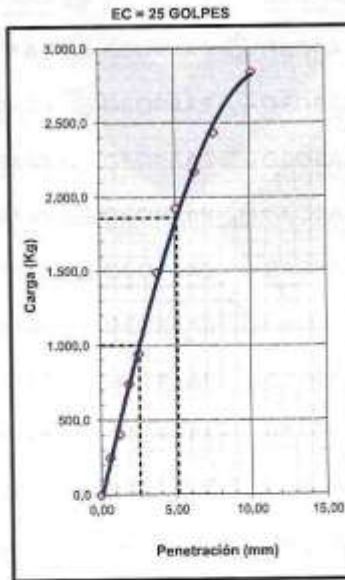
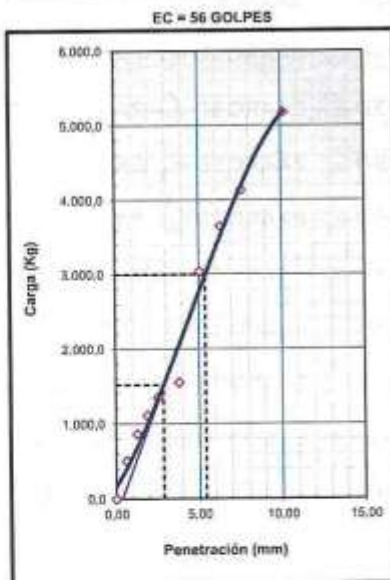
CAPACIDAD DE SOPORTE



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	: ASTM D1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	: 2,175
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 8,33%
95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	: 2,066
DENSIDAD INSITU (g/cm ³)	:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	106,8	0.2"	140,4
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	70,1	0.2"	87,1

RESULTADOS CBR a 0.1" = 106,8 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 70,1 (%)



OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Jhonatan Carlos Inecari Coaguira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

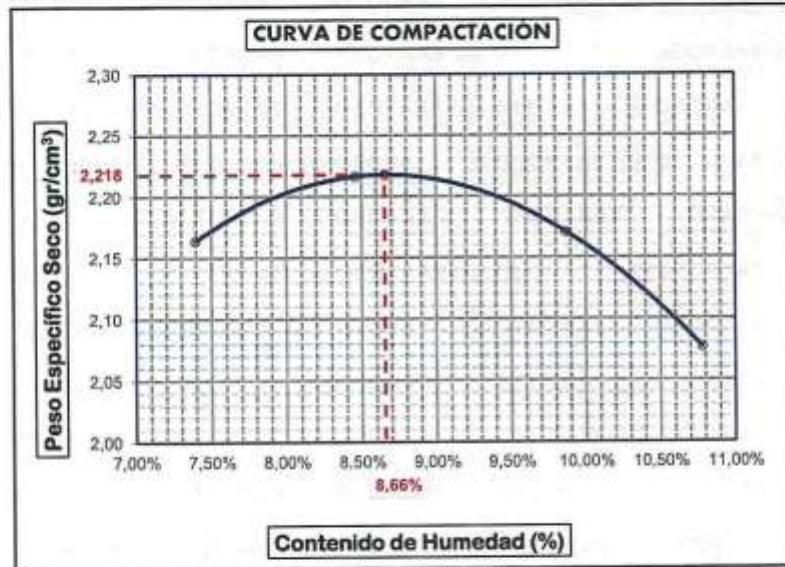
ENSAYO DE MATERIALES	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-698 D-1557 / AASHTO T-99 T-180)		Código	FRM_GR_EM_302
			Versión	V.01
			Aprobado	GG_GR
			Página	1 de 3

SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 08/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
		TIPO DE MATERIAL	
UBICACIÓN	: VIA 1	BASE GRANULAR + 15% EC.	
MUESTRA	: PUNTO 1	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2130 cm3	MÉTODO	: ASTM D - 1557
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes		MODIFICADO "C"

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	12050	12220	12180	12000
Peso del Molde	gr.	7100	7100	7100	7100
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm3.	4950	5120	5080	4900
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm3.	2,324	2,404	2,385	2,300

Capsula No	No	TA-01	TA-02	TA-03	TA-04
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	85,00	86,00	85,00	105,00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	79,80	83,80	87,50	96,00
Peso del Agua	gr.	5,20	5,20	7,50	9,00
Peso de la Capsula	gr.	9,50	10,50	11,50	12,50
Peso del Suelo Seco	gr.	70,30	73,30	76,00	83,50
% de Humedad	%	7,40%	8,46%	8,87%	10,78%
Promedio de Humedad	%	7,40%	8,46%	9,87%	10,78%
Densidad del Suelo Seco	%	2,164	2,216	2,171	2,077



DATOS OBTENIDOS

DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	2,218
HUMEDAD OPTIMA	8,66%
CORREGIDO DENSIDAD MÁXIMA (g/cm3)	-
HUMEDAD OPTIMA	-

DATOS DE LA GRANULOMETRÍA

Material > N° 4	: -
Material fino < N° 4	: -

OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR: Jhonatan Carlos Incaacari Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC.	REVISADO POR: Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC.	APROBADO POR:
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES		RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)		Código: FRM_GIR_EM_304
				Versión: V.01
				Aprobado: GG_GR
				Página: 2 de 3
SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 06/10/2025	
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.	
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.	
		TIPO DE MATERIAL		
		BASE GRANULAR = 10% BC.		
UBICACIÓN	: VIA 1	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025	
MUESTRA	: PUNTO 1			

COMPACTACIÓN						
	DENSIDAD MÁXIMA		2,218		HUMEDAD ÓPTIMA (%)	
					8,60%	
Molde N°	17		25		40	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	6701		6321		6011	
Peso de molde (g)	4509		4500		4500	
Peso del suelo húmedo (g)	2201		1821		1511	
Volumen del molde (cm ³)	2123		2123		2123	
Densidad húmeda (g/cm ³)	1,037		0,858		0,711	
Tara (N°)	1		2		3	
Peso suelo húmedo + tara (g)	225,59		246,50		255,59	
Peso suelo seco + tara (g)	204,50		213,50		224,59	
Peso de tara (g)	35,00		34,50		34,00	
Peso de agua (g)	21,00		27,00		31,50	
Peso de suelo seco (g)	169,5		179,0		190,5	
Contenido de humedad (%)	12,39		15,08		16,27	
Densidad seca (g/cm ³)	0,922		0,745		0,612	

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO DIAS	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
NO EXPANSIVO											

PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN	mm	CARGA STAND.	MOLDE N° 56				MOLDE N° 25				MOLDE N° 12			
			CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN		
				kg	kg	%		kg	kg	%		kg	kg	%
0,050	0,050		0,0			0,0			0,0					
0,036	0,025		454,5			222,2			133,3					
1,270	0,050		777,7			363,6			222,2					
1,908	0,075		950,9			666,6			444,4					
2,540	0,100	70,5	1212,0	5363,3	95,8	848,4	896,7	63,0	557,5	582,7	41,0			
3,810	0,150		1393,8			1334,2			836,3					
5,090	0,200	105,7	2727,0	2689,4	126,1	1727,1	1688,2	78,2	1054,4	1062,4	49,8			
6,350	0,250		3280,5			1849,3			1294,8					
7,620	0,300		3716,8			2181,6			1296,8					
10,160	0,400		4646,0			2545,2			1472,6					

OBSERVACIONES :-

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Jhonatan Carlos Incauri Coaguina Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.	Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.	
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



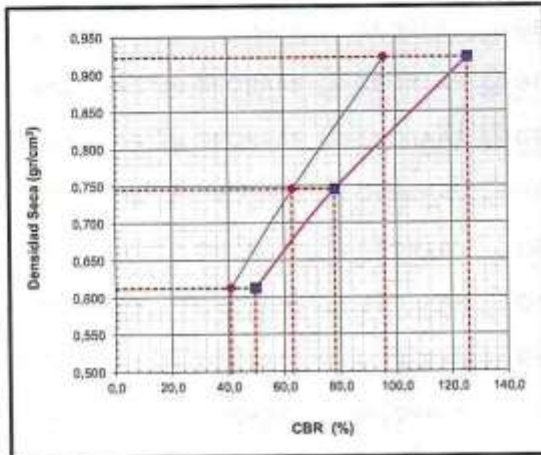
GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES	RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)	Código	FRM_GR_EM
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	3 de 3
SOLICITANTE	Sr. ABAD BELIZARIO QUIRPE	FECHA MUESTREO	06/10/2025
PROYECTO	TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	J. C. I. C.
UBICACIÓN	VIA 1	TIPO DE MATERIAL	
MUESTRA	PUNTO 1	BASE GRANULAR + 15% EC.	
		FECHA EXPEDICIÓN	10/10/2025

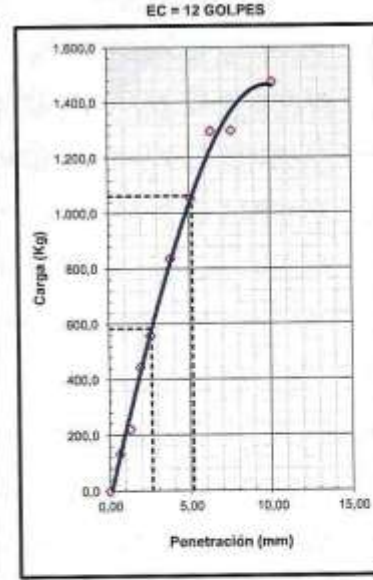
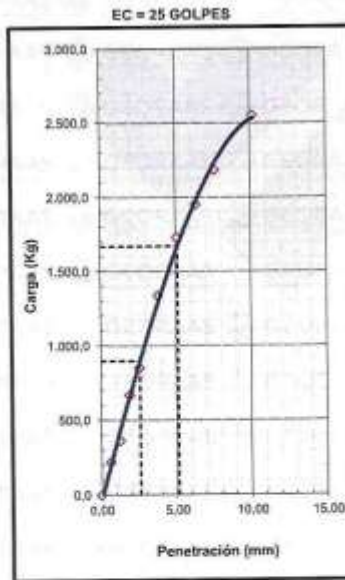
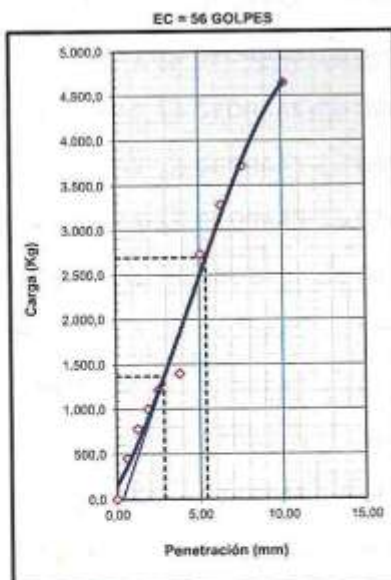
CAPACIDAD DE SOPORTE



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	: ASTM D1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3)	: 2,218
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 8,66%
95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3)	: 2,107
DENSIDAD INSITU (g/cm3)	:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	95,8	0.2"	126,1
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	63,0	0.2"	78,2

RESULTADOS CBR a 0.1": = 95,8 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 63,0 (%)



OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Carlos Inocenti Coaguina Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

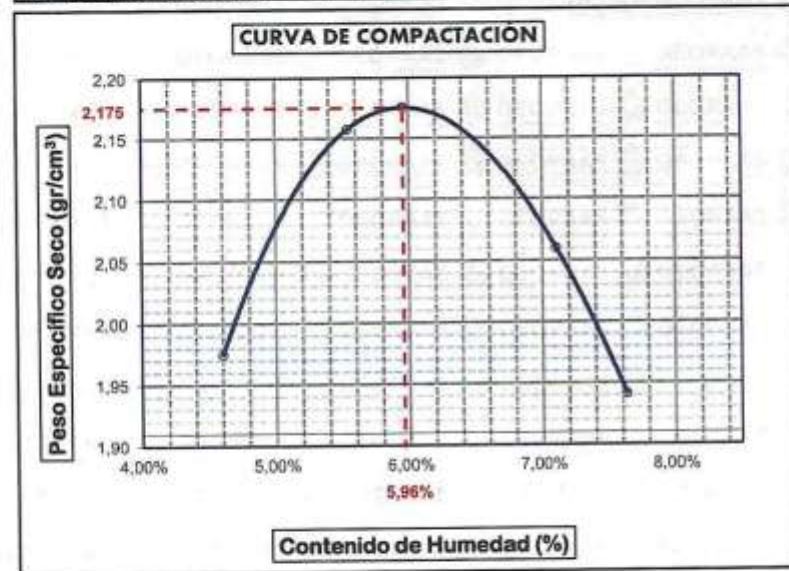
ENSAYO DE MATERIALES	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-698 D-1557 / AASHTO T-99 T-180)	Código	FRM_GR_EM_302
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	1 de 3

SOLICITANTE : Sr. ASAD BELIZARIO QUISEPÉ	FECHA MUESTREO : 07/10/2025
PROYECTO : TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR : H. J. N. M.
	ENSAYADO POR : J. C. I. C.
UBICACIÓN : VIA 2	TIPO DE MATERIAL
MUESTRA : PUNTO 2	BASE GRANULAR
	FECHA EXPEDICIÓN : 10/10/2025

MOLDE No : 1	VOLUMEN DEL MOLDE : 2130 cm ³	MÉTODO : ASTM D - 1557
No DE CAPAS : 5	GOLPES POR CAPA : 25 golpes	MODIFICADO "C"

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	11500	11950	11800	11550
Peso del Molde	gr.	7100	7100	7100	7100
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4400	4850	4700	4450
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2,066	2,277	2,207	2,089

Capsula No	No	TA-01	TA-02	TA-03	TA-04
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	295,50	225,00	230,00	245,00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	198,00	215,00	217,00	230,00
Peso del Agua	gr.	7,50	10,00	13,00	15,00
Peso de la Capsula	gr.	35,00	34,50	34,00	33,50
Peso del Suelo Seco	gr.	163,00	180,50	183,00	195,50
% de Humedad	%	4,60%	5,54%	7,10%	7,63%
Promedio de Humedad	%	4,60%	5,54%	7,10%	7,63%
Densidad del Suelo Seco	%	1,975	2,157	2,060	1,941



DATOS OBTENIDOS	
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	2,175
HUMEDAD OPTIMA	5,96%
CORREGIDO DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	-
HUMEDAD OPTIMA	-
DATOS DE LA GRANULOMETRÍA	
Material > N° 4	-
Material fino < N° 4	-

OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR: Jhonatan Carlos Inocenci Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	REVISADO POR: Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	APROBADO POR:
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES		RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)		Código: FRM_GR_EM_314
				Revisión: V.01
				Aprobado: GG_GR
				Página: 2 de 3
SOLICITANTE: S- ABAD BELUZARIO QUISEP				FECHA MUESTREO: 07/10/2025
PROYECTO: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025				MUESTREADO POR: H. J. N. M.
UBICACIÓN: VIA 2				ENSAYADO POR: J. C. I. C.
MUESTRA: PUNTO 2				TIPO DE MATERIAL: BASE GRANULAR
				FECHA EXPEDICIÓN: 10/10/2025

COMPACTACION						
	DENSIDAD MÁXIMA		2,173		HUMEDAD ÓPTIMA (%)	
					5,36%	
Molde N°	17		25		40	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	660		620		590	
Peso de molde (g)	450		450		450	
Peso del suelo húmedo (g)	210		170		140	
Volumen del molde (cm ³)	2123		2123		2123	
Densidad húmeda (g/cm ³)	0,98		0,801		0,658	
Tara (N°)	1		2		3	
Peso suelo húmedo + tara (g)	165,00		170,00		165,00	
Peso suelo seco + tara (g)	173,00		160,00		154,00	
Peso de tara (g)	35,00		34,50		34,00	
Peso de agua (g)	12,00		10,00		0,00	
Peso de suelo seco (g)	138,0		125,5		122,0	
Contenido de humedad (%)	8,70		7,97		7,36	
Densidad seca (g/cm ³)	0,910		0,742		0,614	

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO DÍAS	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
NO EXPANSIVO											

PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN		CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 55				MOLDE N° 25				MOLDE N° 12			
mm	in		CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN	CARGA	CORRECCIÓN
			Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0,000	0,000			0,0				0,0				0,0		
0,835	0,025			292,5				143,0				85,0		
1,270	0,050			500,5				234,0				143,0		
1,905	0,075			643,5				429,0				280,0		
2,640	0,100	70,5		780,0	877,4	61,7		546,0	576,4	40,5		368,0	375,0	26,4
3,910	0,150			897,0				656,7				536,2		
5,080	0,200	105,7		1755,0	1730,8	81,1		1111,5	1073,6	50,3		678,6	683,7	32,0
6,350	0,250			2111,2				1254,5				833,3		
7,620	0,300			2392,0				1404,0				834,6		
10,160	0,400			2990,0				1638,0				947,7		

OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR: Jhonatas Carlos Incaucari Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	REVISADO POR: Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308896 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	APROBADO POR:
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



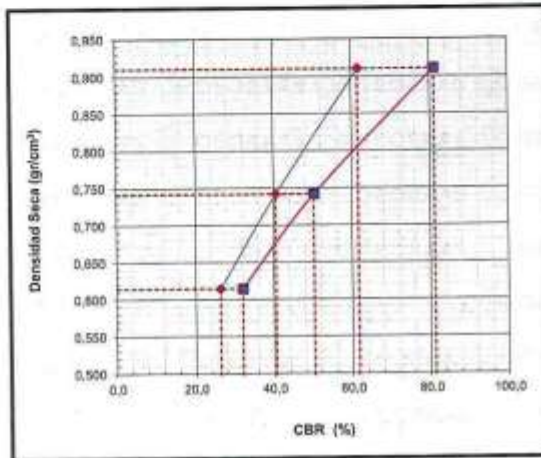
GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES	RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)	Código	FRM_GR_EM_
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	3 de 3
SOLICITANTE	Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 07/10/2025
PROYECTO	TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
		TIPO DE MATERIAL	BASE GRANULAR
UBICACIÓN	VIA 2	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025
MUESTRA	PUNTO 2		

CAPACIDAD DE SOPORTE

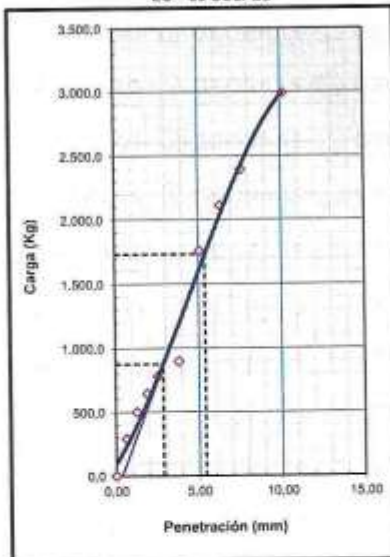


MÉTODO DE COMPACTACIÓN	: ASTM D1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2,175
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 5,96%
95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2,066
DENSIDAD INSITU (g/cm³)	:

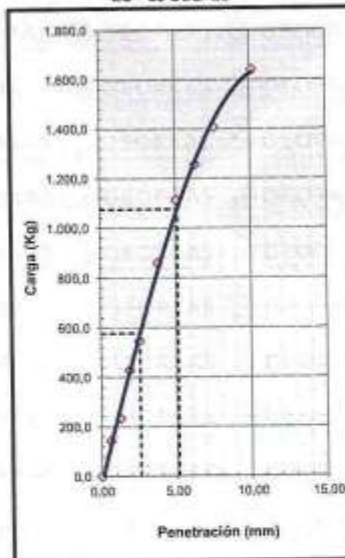
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	61,7	0.2"	81,1
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	40,5	0.2"	50,3

RESULTADOS CBR a 0.1": = 61,7 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 40,5 (%)

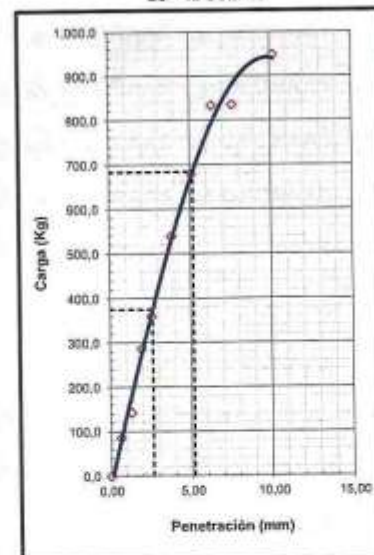
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Jhonatan Carlos Inocenci Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 V. B. CONTROL
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

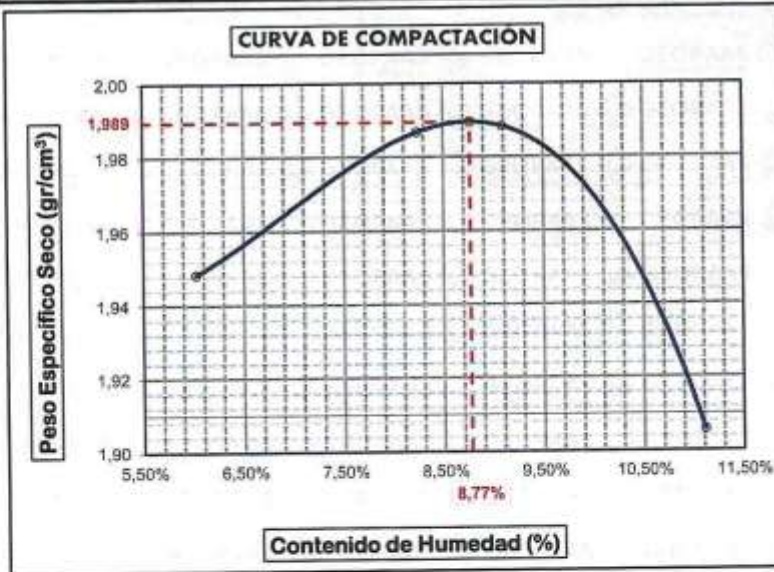
ENSAYO DE MATERIALES	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-698 D-1557 / AASHTO T-99 T-180)	Código	FRM_GR_EM_302
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	1 de 3

SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 07/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
		TIPO DE MATERIAL	
UBICACIÓN	: VIA 2	BASE GRANULAR + 5% EC.	
MUESTRA	: PUNTO 2	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2130 cm ³	MÉTODO	: ASTM D - 1557
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes		MODIFICADO "C"

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	11500	11680	11720	11610
Peso del Molde	gr.	7100	7100	7100	7100
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4400	4580	4620	4510
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2,066	2,150	2,169	2,117

Capsula No	No	TA-01	TA-02	TA-03	TA-04
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	100,00	105,00	110,00	115,00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	95,00	98,00	102,00	105,00
Peso del Agua	gr.	5,00	7,00	8,00	10,00
Peso de la Capsula	gr.	12,00	13,00	14,00	15,00
Peso del Suelo Seco	gr.	83,00	85,00	88,00	90,00
% de Humedad	%	6,02%	8,24%	9,09%	11,11%
Promedio de Humedad	%	6,02%	8,24%	9,09%	11,11%
Densidad del Suelo Seco	%	1,948	1,987	1,988	1,906



DATOS OBTENIDOS	
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	1,988
HUMEDAD OPTIMA	8,77%
CORREGIDO DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	-
HUMEDAD OPTIMA	-

DATOS DE LA GRANULOMETRIA	
Material > N° 4	-
Material fino < N° 4	-

OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR: Jhonatan Carlos Incaocari Coaguira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC TÉCNICO DE LABORATORIO	REVISADO POR: Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC ESPECIALISTA	APROBADO POR: UNIDAD DE CONTROL
---	--	---



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES		RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)		Código: FRM_GR_EM_304
				Versión: V.01
				Aprobado: GG_GR
				Página: 2 de 3
SOLICITANTE: Sr. ARAD BELIZARIO QUIRPE				FECHA MUESTREO: 07/10/2025
PROYECTO: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025				MUESTREADO POR: H. J. N. M.
				ENSAYADO POR: J. C. I. C.
				TIPO DE MATERIAL: BASE GRANULAR + 5% EC.
UBICACIÓN: VIA 2				FECHA EXPEDICIÓN: 10/10/2025
MUESTRA: PUNTO 2				

COMPACTACIÓN						
	DENSIDAD MÁXIMA		1,899		HUMEDAD ÓPTIMA (%)	
			40		8,77%	
Molde N°	17		25			40
Capas N°	5		5			5
Golpes por capa N°	96		25			12
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	5890		6405		6100	
Peso de molde (g)	4590		4599		4599	
Peso del suelo húmedo (g)	2300		1900		1500	
Volumen del molde (cm ³)	2123		2123		2123	
Densidad húmeda (g/cm ³)	1,083		0,895		0,754	
Tara (N°)	1		2		3	
Peso suelo húmedo + tara (g)	225,00		240,00		260,00	
Peso suelo seco + tara (g)	202,00		211,00		228,00	
Peso de tara (g)	35,00		34,50		34,00	
Peso de agua (g)	23,00		29,00		32,00	
Peso de suelo seco (g)	167,0		176,5		194,0	
Contenido de humedad (%)	13,77		16,43		16,48	
Densidad seca (g/cm ³)	0,952		0,769		0,647	

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
		DIAS		mm	%		mm	%		mm	%
NO EXPANSIVO											

PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN		CARGA	MOLDE N° 56				MOLDE N° 25				MOLDE N° 12			
mm	In	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0,000	0,000			0,0				0,0				0,0		
0,635	0,025			382,5				187,0				112,2		
1,270	0,050			654,5				306,0				187,0		
1,905	0,075			841,5				561,0				374,0		
2,540	0,100	70,5		1020,0	1147,3	80,7		714,0	753,8	53,0		469,2	490,4	34,5
3,810	0,150			1173,0				1122,9				703,8		
5,080	0,200	105,7		2295,0	2263,4	105,1		1453,5	1403,9	65,8		867,4	894,1	41,9
6,350	0,250			2760,5				1840,5				1089,7		
7,620	0,300			3128,0				1836,0				1091,4		
10,160	0,400			3910,0				2142,0				1239,3		

OBSERVACIONES :-

ELABORADO POR: Jonathan Carlos Inocencio Coaguila Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	REVISADO POR: Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308656 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	APROBADO POR: GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC CONTROL V° B°
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



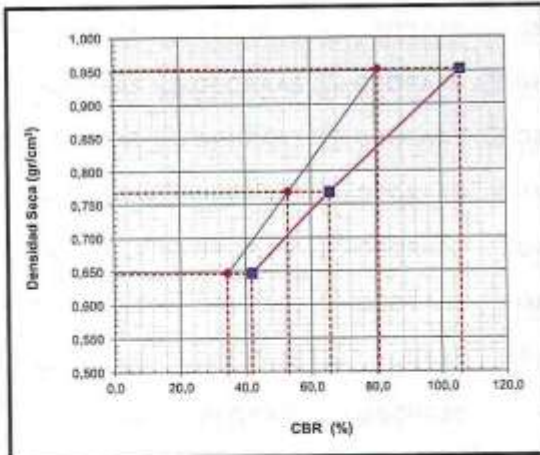
GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES	RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)	Código	FRM_GR_EM_
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	3 de 3
SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUIRPE	FECHA MUESTREO	: 07/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
UBICACIÓN	: VIA 2	ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
MUESTRA	: PLUNTO 2	TIPO DE MATERIAL	: BASE GRANULAR + 5% EC.
		FECHA EXPEDICIÓN	: 16/10/2025

CAPACIDAD DE SOPORTE

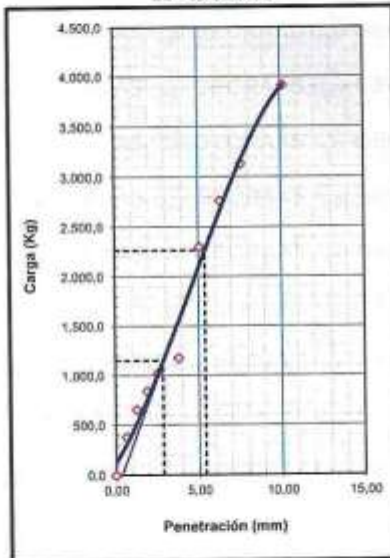


MÉTODO DE COMPACTACIÓN	: ASTM D1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 1,989
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 8,77%
95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 1,890
DENSIDAD INSITU (g/cm³)	:

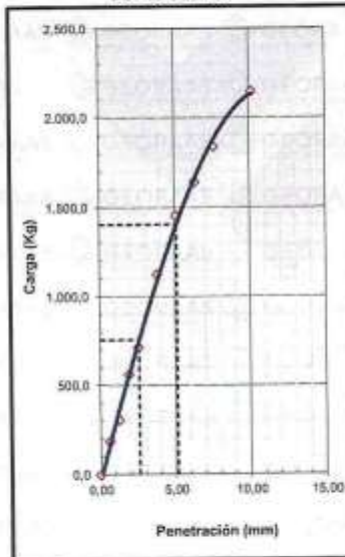
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	80,7	0.2"	106,1
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	53,0	0.2"	65,8

RESULTADOS CBR a 0.1" = 80,7 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 53,0 (%)

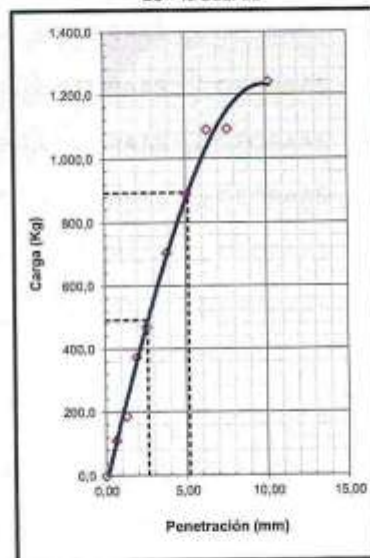
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Jonathan Carlos Inocenci Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

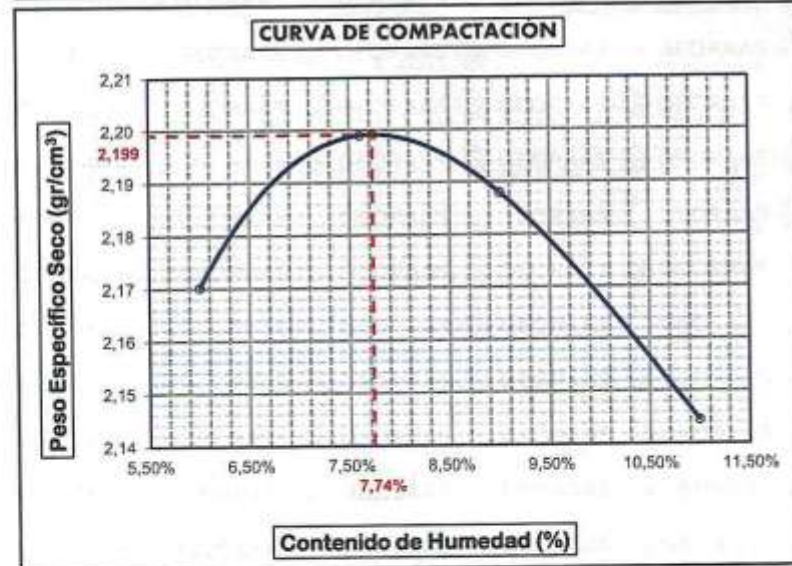
ENSAYO DE MATERIALES	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-698 D-1557 / AASHTO T-99 T-180)	Código	FRM_GR_EM_302
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	1 de 3

SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 07/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACION DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VIAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
UBICACIÓN	: VIA 2	TIPO DE MATERIAL	
MUESTRA	: PUNTO 2	BASE GRANULAR + 10% EC.	
		FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2130 cm ³	MÉTODO	: ASTM D - 1557
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes		MODIFICADO °C'

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	12000	12140	12180	12170
Peso del Molde	gr.	7100	7100	7100	7100
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4900	5040	5080	5070
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2,300	2,366	2,385	2,380

Capsula No	No	TA-01	TA-02	TA-03	TA-04
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	90,90	100,00	105,00	110,00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	85,47	93,78	97,40	100,49
Peso de la Capsula	gr.	4,53	6,22	7,60	9,51
Peso del Suelo Seco	gr.	10,00	12,00	13,00	14,90
Peso del Suelo Húmedo	gr.	75,47	81,78	84,40	86,49
% de Humedad	%	6,00%	7,61%	9,00%	11,00%
Promedio de Humedad	%	6,00%	7,61%	9,00%	11,00%
Densidad del Suelo Seco	%	2,170	2,199	2,188	2,144



DATOS OBTENIDOS	
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	2,199
HUMEDAD OPTIMA	7,74%
CORREGIDO DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	-
HUMEDAD OPTIMA	-
DATOS DE LA GRANULOMETRÍA	
Material > N° 4	--
Material fino < N° 4	--

OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR: Carlos Incajari Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	REVISADO POR: Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	APROBADO POR:
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES		RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)		Código	FRM_GR_EM_304
				Versión	V.01
				Aprobado	GC_GR
				Página	2 de 3
SOLICITANTE : Sr. ASAD BELIZARIO GUSPE				FECHA MUESTREO	10/10/2025
PROYECTO : TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VIAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025				MUESTREO POR	H. J. N. M.
				ENSAYADO POR	J. C. I. C.
				TIPO DE MATERIAL	
UBICACIÓN : VIA 2				BASE GRANULAR + 10% EC.	
MUESTRA : PUNTO 2				FECHA EXPEDICIÓN	10/10/2025

COMPACTACIÓN						
		DENSIDAD MÁXIMA		2,189		HUMEDAD ÓPTIMA (%)
						7,74%
Molde N°	17	25	40			
Capas N°	5	5	5			
Golpes por capa N°	56	25	12			
Condición de la muestra		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)		6350	6350	6350	6350	6350
Peso de molde (g)		4508	4500	4500	4500	4500
Peso del suelo húmedo (g)		2450	2050	2050	1750	1750
Volumen del molde (cm³)		2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda (g/cm³)		1,154	0,968	0,968	0,824	0,824
Tara (N°)		1	7	7	3	3
Peso suelo húmedo + tara (g)		230,00	258,00	258,00	278,00	278,00
Peso suelo seco + tara (g)		205,00	218,00	218,00	235,00	235,00
Peso de tara (g)		35,00	34,50	34,50	34,50	34,50
Peso de agua (g)		25,00	32,00	32,00	35,00	35,00
Peso de suelo seco (g)		170,0	183,5	183,5	201,0	201,0
Contenido de humedad (%)		14,71	17,44	17,44	17,41	17,41
Densidad seca (g/cm³)		1,096	0,822	0,822	0,702	0,702

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO DIAS	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
NO EXPANSIVO											

PENETRACIÓN													
PENETRACIÓN		CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 56				MOLDE N° 25				MOLDE N° 12		
mm	in		CARGA Dial (div)	kg	CORRECCIÓN kg	%	CARGA Dial (div)	kg	CORRECCIÓN kg	%	CARGA Dial (div)	kg	CORRECCIÓN kg
0,000	0,000		0,0			0,0				0,0			
0,635	0,025		482,8			240,9				144,5			
1,270	0,050		843,2			394,2				240,9			
1,905	0,075		1084,1			722,7				481,8			
2,540	0,100	70,5	1314,0	1478,0	103,9	919,8	871,1	88,3		804,4	631,7	44,4	
3,175	0,125		1511,1			1446,5				906,7			
5,080	0,200	105,7	2956,5	2915,7	136,7	1872,5	1808,6	84,8		1143,2	1151,8	54,0	
6,350	0,250		3556,6			2113,4				1403,8			
7,620	0,300		4028,6			2355,2				1406,0			
10,160	0,400		5037,0			2759,4				1596,5			

OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR: Carlos Incacari Coaguira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	REVISADO POR: Marco Antonio Gomez Bamos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	APROBADO POR:
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



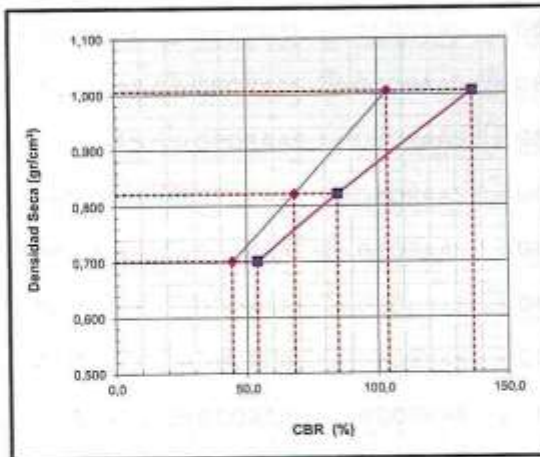
GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES		RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)		Código	FRM_GR_EM_
				Versión	V.01
				Aprobado	GG_GR
				Página	3 de 3
SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 07/10/2025		
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.		
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.		
		TIPO DE MATERIAL			
		BASE GRANULAR + 10% EC.			
UBICACIÓN	: VIA 2	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025		
MUESTRA	: PUNTO 2				

CAPACIDAD DE SOPORTE

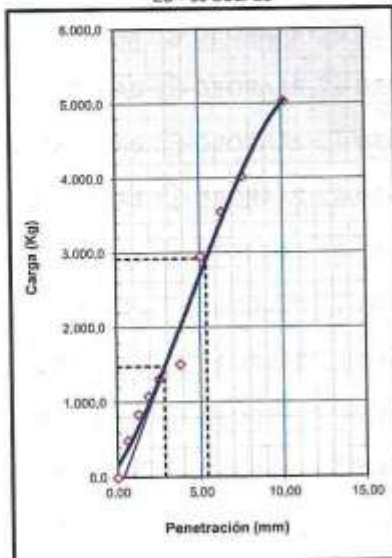


MÉTODO DE COMPACTACIÓN	: ASTM D1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2,199
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 7,74%
95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2,089
DENSIDAD INSITU (g/cm³)	:

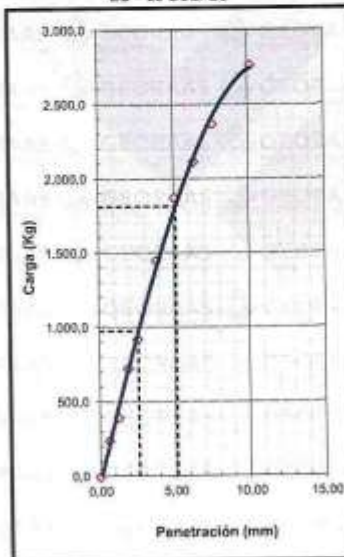
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	103,9	0.2"	136,7
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	68,3	0.2"	84,8

RESULTADOS CBR a 0.1": = 103,9 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 68,3 (%)

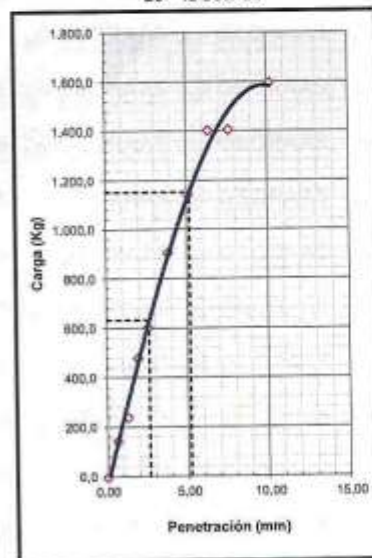
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Carina Incajari Coaguira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC CONTROL V° B°
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

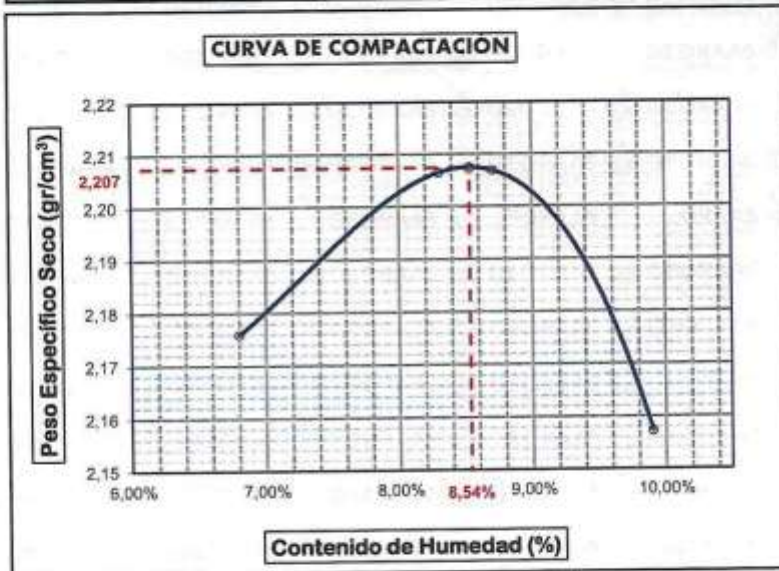
ENSAYO DE MATERIALES	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-698 D-1557 / AASHTO T-99 T-180)	Código	FRM_GR_EM_302
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	1 de 3

SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE	FECHA MUESTREO	: 07/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
UBICACIÓN	: VIA 2	TIPO DE MATERIAL	: BASE GRANULAR + 15% EC.
MUESTRA	: PUNTO 2	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2130 cm ³	MÉTODO	: ASTM D - 1557
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes		MODIFICADO "C"

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	12050	12190	12210	12150
Peso del Molde	gr.	7100	7100	7100	7100
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4950	5090	5110	5050
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2,324	2,390	2,399	2,371

Capsula No	No	TA-01	TA-02	TA-03	TA-04
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	86,00	86,00	103,00	108,00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	83,00	81,33	85,71	99,44
Peso del Agua	gr.	5,00	6,67	7,29	8,56
Peso de la Capsula	gr.	9,50	11,06	12,00	13,00
Peso del Suelo Seco	gr.	73,50	80,33	83,71	86,44
% de Humedad	%	6,80%	8,30%	8,71%	9,90%
Promedio de Humedad	%	6,80%	8,30%	8,71%	9,90%
Densidad del Suelo Seco	%	2,176	2,206	2,207	2,157



DATOS OBTENIDOS	
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	2,207
HUMEDAD ÓPTIMA	8,54%
CORREGIDO DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³)	-
HUMEDAD ÓPTIMA	-
DATOS DE LA GRANULOMETRÍA	
Material > N° 4	:-
Material fino < N° 4	:-

OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Jonathan Carlos Incajari Coaguira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 UNIDAD DE CONTROL
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES		RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)		Código: FRM_GR_EM_304
				Versión: V.01
				Aprobado: GG_GR
				Página: 2 de 3
SOLICITANTE : Sr. ABAD BELIZARIO QUISPE			FECHA MUESTREO : 07/10/2025	
PROYECTO : TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025			MUESTREADO POR : H. J. N. M.	
			ENSAYADO POR : J. C. I. C.	
			TIPO DE MATERIAL	
			BASE GRANULAR + 15% EC.	
UBICACIÓN : VIA 2			FECHA EXPEDICIÓN : 10/10/2025	
MUESTRA : PUNTO 2				

COMPACTACIÓN						
	DENSIDAD MÁXIMA	2,207	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	6,54%		
Molde N°	17	25	40			
Capas N°	5	5	5			
Golpes por capa N°	56	25	12			
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	6900	6400	6100			
Peso de molde (g)	4500	4500	4500			
Peso del suelo húmedo (g)	2400	1900	1600			
Volumen del molde (cm³)	2123	2123	2123			
Densidad húmeda (g/cm³)	1,130	0,895	0,754			
Tara (N°)	1	2	3			
Peso suelo húmedo + tara (g)	200,00	190,00	175,00			
Peso suelo seco + tara (g)	185,00	175,00	162,00			
Peso de tara (g)	35,00	34,50	34,00			
Peso de agua (g)	15,00	15,00	13,00			
Peso de suelo seco (g)	150,0	140,5	128,0			
Contenido de humedad (%)	10,00	10,68	10,16			
Densidad seca (g/cm³)	1,028	0,809	0,684			

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO DIAS	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
NO EXPANSIVO											

PENETRACIÓN												
PENETRACIÓN	CARGA	MOLDE N° 56				MOLDE N° 25				MOLDE N° 17		
		STAND.	CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		
mm	in	kp/cm²	Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	%	
0,000	0,000			0,0			0,0			0,0		
0,635	0,025			445,5			217,8			130,7		
1,270	0,050			762,3			356,4			217,8		
1,905	0,075			880,1			553,4			435,6		
2,540	0,100	70,5		1168,0	1336,3	93,9	831,6	870,0	61,7	548,5	671,2	40,2
3,175	0,150			1366,2			1307,8			819,7		
5,080	0,200	105,7		2673,0	2836,2	123,6	1692,9	1635,1	76,6	1033,6	1041,3	48,8
6,350	0,250			3215,5			1910,7			1260,2		
7,620	0,300			3843,2			2138,4			1271,2		
10,160	0,400			4554,0			2494,6			1443,4		

OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR: Carlos Inacari Coaguira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	REVISADO POR: Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	APROBADO POR: GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC CONTROL
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



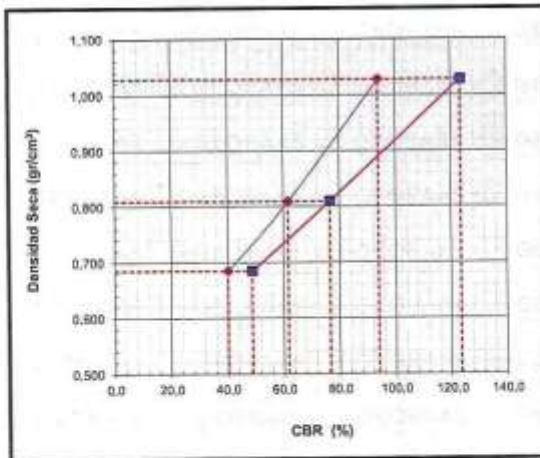
GEORAAS

CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

georaascgsac@gmail.com
RUC: 20601877326

ENSAYO DE MATERIALES	RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D-1883 / MTC E 132)	Código	FRM_GR_EM
		Versión	V.01
		Aprobado	GG_GR
		Página	3 de 3
SOLICITANTE	: Sr. ABAD BELIZARIO QUISEPÉ	FECHA MUESTREO	: 07/10/2025
PROYECTO	: TESIS: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	MUESTREADO POR	: H. J. N. M.
		ENSAYADO POR	: J. C. I. C.
		TIPO DE MATERIAL	
		BASE GRANULAR + 15% EC.	
UBICACIÓN	: VIA 2	FECHA EXPEDICIÓN	: 10/10/2025
MUESTRA	: PUNTO 2		

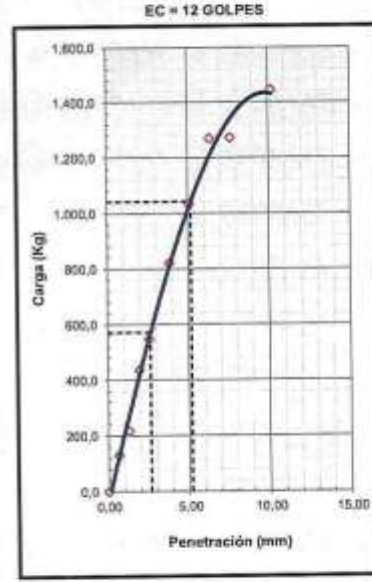
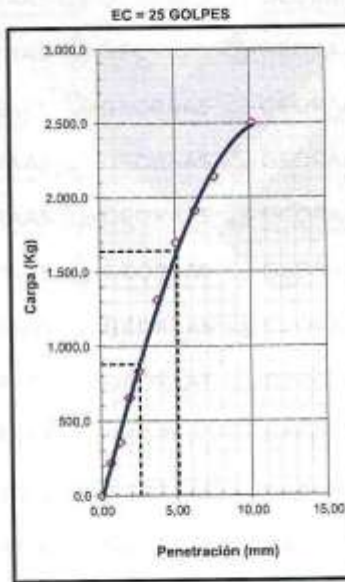
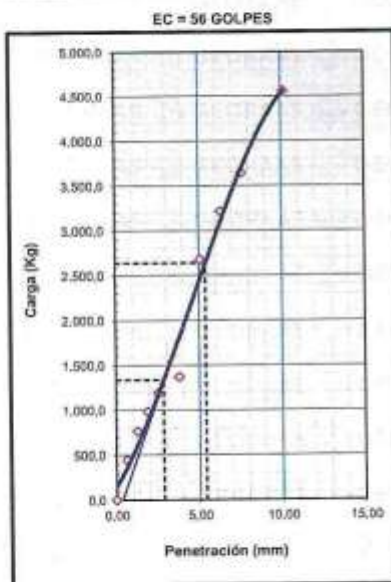
CAPACIDAD DE SOPORTE



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	: ASTM D1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2,207
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 8,54%
95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2,097
DENSIDAD INSITU (g/cm³)	:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	93,9	0.2"	123,6
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	61,7	0.2"	76,6

RESULTADOS CBR a 0.1" = 93,9 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 61,7 (%)



OBSERVACIONES : -

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Jhonatan Carlos Incazari Coaquira Técnico de Laboratorio GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	 Marco Antonio Gomez Ramos Ingeniero Civil CIP 308696 GEORAAS CONTRATISTAS GENERALES SAC	
TÉCNICO DE LABORATORIO	ESPECIALISTA	UNIDAD DE CONTROL



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 30-12-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: ABAD BELIZARIO QUISPE

Dirección: COMUNIDAD SUCHIS

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70044087

Teléfono: 974 410 586 email: abadbelizario841@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

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

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ESCORIA DE COBRE SOBRE LAS PROPIEDADES

DE LA BASE GRANULAR EN CONFORMACIONES DE VÍAS

EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): BASE GRANULAR, ESCORIA DE COBRE, PROPIEDADES DE LA BASE GRANULAR

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

1

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

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



2. Referencia de tesis:

Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

Autorizo su publicación (marque con una X)

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

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

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

Sí autorizo
 No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

Firma de Autor



huella digital

30-12-2025

Fecha