



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS
Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES
DE LA VÍA JULIACA – CARACOTO 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS
Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES
DE LA VÍA JULIACA – CARACOTO 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:


Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO

:


Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

SEGUNDO MIEMBRO

:


Mgtr. WILFREDO DAVID SUJO PACORI

ASESOR DE TESIS

:


Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1153-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 23 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente EXP. N° 2025-CU-8642 presentado por el (la) Bachiller: ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA 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. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA, quien solicita NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN de la Tesis Titulado: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES DE LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025, la misma que pertenece a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

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

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

RESUELVE:

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

- * Presidente : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
* 1er Miembro : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
* 2do Miembro : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

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

ARTICULO TERCERO.- APROBAR, la FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS de él (la) bachiller: ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA; del informe final de la investigación (tesis) titulada: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES DE LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025 para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- * FECHA : miércoles 01 de octubre del 2025
* HORA : 14:00 horas
* LUGAR : Aula 306 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

Stamp of Faculty of Engineering and Pure Sciences and signature of Dr. Oscar V. Viamonte Calla, Decano (e) CIP. 32730

Stamp of Office of Investigation and signature of Dr. Fritz Willy Mamani Apaza, Director Unidad de Investigación

cc. Archivo interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 810-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 08 de agosto del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 909 por el señor (a): **ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 636 - 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 045- 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): **ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES DE LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 045- 2025 **aprobandó** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES DE LA VÍA JULIACA - CARACOTO 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 merito 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): **ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES DE LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **la), 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 Cs. PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
C.P. 32730

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

Dr. Fritz Wily Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 566-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 26 de junio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 6852, presentado por el señor (a) ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO – N° 394 -2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 013 -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): ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES DE LA VÍA JULIACA - CARACOTO 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° 013 -2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES DE LA VÍA JULIACA - CARACOTO 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): ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES DE LA VÍA JULIACA - CARACOTO 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. VIANONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Erick Russell Miranda Sacaca
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2025
Interesado (a)



EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES DE LA VÍA JULIACA – CARACOTO 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

15%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE


FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	12%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1%



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES DE LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	76921941
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0002-8235-8294
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	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	WILFREDO DAVID SUPO PACORI
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02428673

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 Distrito: Juliaca - Caracoto Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 37"</p>  <p>https://maps.app.goo.gl/LNpkL4texw2UUURw5</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2025 – Setiembre 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 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</p>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 Dr. Fritia Willy Mamani Apaza
 DIRECTOR
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA, identificado con DNI Nro. 76921941, en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA CIVIL

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

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN

DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES

DE LA VÍA JULIACA – CARACOTO 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.

Juliaca 13 de octubre del 2025



Firma del Asesor
(obligatoria)



Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

A todas las personas que me han acompañado en el proceso de esta investigación. A mis profesores, amigos y colaboradores, cuyo valioso apoyo, consejos y guía han sido fundamentales para llevar a cabo este proyecto. Gracias por compartir su conocimiento, tiempo y dedicación.



AGRADECIMIENTO

A todas las personas que, de alguna u otra manera, contribuyeron en la realización de esta tesis. A mis profesores, colegas y amigos, por su apoyo constante, sus valiosas recomendaciones y por su paciencia durante todo este proceso. Gracias por compartir su conocimiento, por su dedicación y por ser parte fundamental de este logro.



ÍNDICE GENERAL

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

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Análisis de la 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	16
1.3.1. Objetivo general	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. Justificación de la investigación	16
1.4.1. Justificación técnica.....	16
1.4.2. Justificación económica.....	17
1.4.3. Justificación social.....	17
1.4.4. Justificación ambiental.....	17
1.5. Hipótesis de la investigación.....	18
1.5.1. Hipótesis general.....	18
1.5.2. Hipótesis específicas.....	18
1.6. Variables e indicadores	18
1.6.1. Variable de caracterización.....	18
1.6.2. Variable de interés.....	19



1.7.	Operacionalización de variables	20
------	---------------------------------------	----

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de la investigación.....	21
2.1.1.	Antecedentes internacionales	21
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	23
2.1.3.	Antecedentes locales.....	26
2.2.	Bases teóricas	28
2.2.1.	Pavimento flexible	28
2.2.2.	Evaluación estructural del pavimento	35
2.2.3.	Medición de deflexiones máximas	40
2.2.4.	Calidad de los materiales granulares	45
2.3.	Marco conceptual	54

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	Enfoque de la investigación	57
3.2.	Tipo de la investigación	57
3.3.	Nivel de la investigación	58
3.4.	Diseño de la investigación	58
3.5.	Método de la investigación	59
3.6.	Población y muestra	59
3.6.1.	Población.....	59
3.6.2.	Muestra	59
3.7.	Técnicas e instrumentos	60
3.7.1.	Técnicas.....	60
3.7.2.	Instrumentos.....	61
3.8.	Plan de recolección y procesamiento de datos	62
3.8.1.	Desarrollo del plan de recolección de datos	62
3.8.2.	Procesamiento y análisis de datos.....	75



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados obtenidos	76
4.1.1. Calidad de los materiales de la capa de subbase granular en relación al manual EG-2013.....	77
4.1.2. Calidad de los materiales de la capa de base granular en relación al manual EG-2013	83
4.1.3. Deflexiones máximas, radio de curvatura y deflexiones admisibles de la estructura del pavimento.....	90
4.2. Discusión de resultados.....	95
CONCLUSIONES	97
RECOMENDACIONES.....	99
BIBLIOGRAFÍA.....	100
ANEXOS	105



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables	20
Tabla 2	Requerimientos granulométricos para subbase granular	51
Tabla 3	Subbase granular requerimiento de ensayos especiales, MTC.....	54
Tabla 4	Análisis granulométrico - M1.....	77
Tabla 5	Análisis granulométrico – M2.....	78
Tabla 6	Análisis granulométrico – M3.....	79
Tabla 7	Índice de plasticidad de la subbase	80
Tabla 8	Grado de compactación de la subbase granular	81
Tabla 9	CBR de las muestras de la capa de subbase	82
Tabla 10	Análisis granulométrico - M1.....	83
Tabla 11	Análisis granulométrico – M2.....	84
Tabla 12	Análisis granulométrico – M3.....	85
Tabla 13	Índice de plasticidad de la base	86
Tabla 14	Grado de compactación de la base granular.....	88
Tabla 15	CBR de las muestras de la capa de base granular	89
Tabla 16	Análisis de deflexión de la vía, carril derecho	91
Tabla 17	Comportamiento del pavimento según resultados (derecho)	92
Tabla 18	Análisis de deflexión de la vía, carril izquierdo.....	93
Tabla 19	Comportamiento del pavimento según resultados (izquierdo).....	94



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Capas del pavimento flexible 33

Figura 2 Equipo FWD..... 43

Figura 3 Viga Benkelman 44

Figura 4 Localización de la vía Juliaca - Caracoto 63

Figura 5 Localización de la vía Juliaca - Caracoto 63

Figura 6 Calicata N°1, ubicada en el km 1321+000..... 64

Figura 7 Calicata N°2, ubicada en el km 1322+100..... 64

Figura 8 Calicata N°3, ubicada en el km 1323+200..... 65

Figura 9 Conteo vehicular 72

Figura 10 Plantilla del aforo vehicular 72

Figura 11 Comportamiento de la subrasante y del pavimento según las deflexiones 75

Figura 12 Análisis granulométrico - M1 77

Figura 13 Análisis granulométrico – M2 78

Figura 14 Análisis granulométrico – M3 79

Figura 15 Límites líquidos de la subbase 80

Figura 16 Índice de plasticidad de la subbase..... 81

Figura 17 Grado de compactación de la subbase granular 82

Figura 18 CBR de las muestras de la capa de subbase 83

Figura 19 Análisis granulométrico - M1 84

Figura 20 Análisis granulométrico – M2 85

Figura 21 Análisis granulométrico – M3 86

Figura 22 Límite líquido de la base..... 87

Figura 23 Índice de plasticidad de la base 87

Figura 24 Grado de compactación de la base granular 88

Figura 25 CBR de las muestras de la capa de base granular..... 89

Figura 26 Deflexiones carril derecho..... 92

Figura 27 Deflexiones carril izquierdo 94



RESUMEN

La presente investigación denominada “Evaluación del pavimento flexible mediante la medición de deflexiones máximas y la calidad en las capas granulares de la vía Juliaca - Caracoto 2025”, tiene el propósito de evaluar la estructura del pavimento flexible mediante la medición de deflexiones máximas y la calidad en las capas granulares de la vía Juliaca - Caracoto. La metodología presenta un enfoque cuantitativo, tipo aplicada, nivel explicativo, diseño experimental y método científico. Los resultados de la evaluación de la calidad de los materiales empleados en la capa de subbase granular permitió identificar que estos no cumplen con las especificaciones del Manual de Carreteras EG-2013, debido a que la granulometría se encuentra fuera de rango, el índice de plasticidad supera el valor máximo permitido de 4% y el CBR es inferior al 40% mínimo requerido. Seguido por los resultados de los materiales de la capa de base granular no cumplen con las especificaciones del Manual de Carreteras EG-2013, ya que la granulometría se encuentra fuera de los rangos establecidos, el índice de plasticidad supera el valor máximo permitido de 2% y el CBR es inferior al 80% mínimo requerido. Finalmente, los resultados con respecto a la estructura del pavimento flexible de la vía Juliaca – Caracoto no cumple con los valores requeridos para garantizar un adecuado desempeño, puesto que la evaluación realizada mediante la viga Benkelman en ambos carriles evidenció deflexiones características superiores a la deflexión admisible ($D_c > D_{adm}$). Este resultado refleja que la estructura del pavimento se encuentra en un estado deficiente. El estudio llega a la conclusión de que, el análisis integral de la vía Juliaca – Caracoto presenta deficiencias tanto en las capas granulares como en la estructura del pavimento flexible, debido a que los materiales evaluados no cumplen con las especificaciones del Manual de Carreteras EG-2013 y las deflexiones medidas superan los valores admisibles. Esta situación refleja limitaciones en la calidad y capacidad estructural del pavimento.

Palabras Clave: Pavimento flexible, deflexiones máximas, calidad de materiales, CBR.



ABSTRACT

The present investigation called "Flexible pavement evaluation by measurement of maximum deflections and the quality in the granular layers of the Juliaca - Caracoto 2025 road", has the purpose of evaluating the structure of the flexible pavement by measurement of maximum deflections and the quality in the granular layers of the Juliaca - Caracoto road. The methodology presents a quantitative approach, applied type, explanatory level, experimental design and scientific method. The results of the evaluation of the quality of the materials used in the granular subbase layer allowed to identify that these do not meet the specifications of the EG-2013 Highway Manual, because the granulometry is out of range, the plasticity index exceeds the maximum allowed value of 4% and the CBR is less than the minimum required 40% required. Followed by the results of the materials of the granular base layer do not meet the specifications of the EG-2013 Highway Manual, since the granulometry is outside the established ranges, the plasticity index exceeds the maximum allowed value of 2% and the CBR is less than the minimum required. Finally, the results regarding the structure of the flexible pavement of the Juliaca - Caracoto does not comply with the values required to guarantee adequate performance, since the evaluation carried out by the Benkelman beam in both lanes evidenced deflection characteristics higher than the admissible deflection ($DC > D_{adm.}$). This result reflects that the pavement structure is in a poor state. The study concludes that the integral analysis of the Juliaca - Caracoto road presents deficiencies in both the granular layers and in the structure of the flexible pavement, because the evaluated materials do not comply with the specifications of the EG-2013 road manual and the measured deflections exceed the admissible values. This situation reflects limitations in the quality and structural capacity of the pavement.

Keywords: flexible pavement, maximum deflection, material quality, CBR.



INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la infraestructura vial, el pavimento flexible representa uno de los sistemas más utilizados para garantizar una circulación vehicular segura y eficiente. La durabilidad y el desempeño de este tipo de pavimento dependen directamente de su capacidad estructural, la cual está determinada por las características de sus materiales constitutivos y su respuesta ante las cargas aplicadas. En este contexto, evaluar el comportamiento estructural del pavimento flexible resulta fundamental para optimizar los procesos de diseño, construcción y mantenimiento, y así asegurar la sostenibilidad de las vías a lo largo del tiempo.

Una de las metodologías más precisas y empleadas para analizar la capacidad del pavimento flexible es la medición de deflexiones máximas, las cuales representan la deformación vertical que experimenta la superficie del pavimento ante una carga específica. Estas deflexiones permiten estimar la capacidad de soporte del pavimento y detectar posibles fallas o debilidades estructurales que puedan comprometer su funcionamiento. El análisis de estas respuestas estructurales se convierte así en una herramienta clave para la toma de decisiones en proyectos de rehabilitación y mantenimiento vial.

Asimismo, la calidad de los materiales granulares utilizados en las diferentes capas del pavimento flexible especialmente en la subbase y base tiene un impacto directo en su comportamiento estructural. Propiedades como la granulometría, densidad, resistencia y durabilidad de estos materiales influyen significativamente en la capacidad de carga del sistema vial. Por ello, evaluar y controlar la calidad de dichos materiales no solo mejora la vida útil del pavimento, sino que también contribuye a reducir costos, al minimizar intervenciones correctivas.

La presente investigación tiene como finalidad realizar una evaluación estructural del pavimento flexible, integrando el análisis de las deflexiones máximas mediante técnicas



de medición especializadas, así como el estudio de la calidad de los materiales en las capas granulares presentes en la vía. Este enfoque permitirá comprender de manera integral el estado actual del pavimento, identificar sus posibles deficiencias y proponer recomendaciones técnicas que contribuyan al mejoramiento de la infraestructura vial en estudio.

El capítulo I, presenta la problemática central que motiva la investigación, relacionada con el deterioro estructural del pavimento flexible en ciertas vías, debido a deficiencias en su diseño. Se describen el problema general y los desafíos específicos, junto con los objetivos de la investigación. Además, se justifica la importancia del estudio desde el punto de vista técnico, económico y social, se define la delimitación del estudio, y se formulan las hipótesis, sentando las bases para el desarrollo del trabajo.

El capítulo II, se recopilan los antecedentes de investigaciones previas relacionadas con la evaluación estructural de pavimentos, el uso de deflectómetros, y el análisis de materiales granulares. Luego, se explican las bases teóricas del pavimento flexible, su composición por capas (subrasante, subbase, base y carpeta asfáltica), los métodos para evaluar su comportamiento estructural mediante medición de deflexiones máximas, y las propiedades técnicas de los materiales granulares.

El capítulo III, describe la estrategia metodológica empleada para alcanzar los objetivos del estudio. Se especifica el tipo y nivel de investigación, el diseño metodológico, la población y muestra (tramo de vía a estudiar), así como las técnicas de recolección de datos. Estas incluyen la medición de deflexiones con equipo denominado Viga Benkelman y la realización de ensayos de laboratorio para determinar la calidad de los materiales granulares.

El capítulo IV, presenta los resultados obtenidos de las mediciones y análisis realizados. Se exponen los valores de deflexión máxima registrados en el pavimento y su interpretación estructural. También se detallan los resultados del laboratorio de los



materiales granulares, evaluando su cumplimiento con los estándares normativos. Luego, se realiza una discusión crítica de los hallazgos, relacionándolos con los objetivos, hipótesis y estudios previos.

Finalmente, se plantean conclusiones técnicas y recomendaciones para la mejora de la infraestructura vial evaluada.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Análisis de la situación problemática

A nivel internacional, En muchas regiones del mundo, especialmente en países en vías de desarrollo y zonas con climas extremos, los pavimentos flexibles enfrentan un deterioro progresivo acelerado debido a la falta de mantenimiento preventivo y la ausencia de evaluaciones estructurales oportunas. Países como India, Nigeria, Bolivia y partes rurales de México han evidenciado deficiencias en la planificación de conservación vial, lo que ha derivado en fallas prematuras en las capas estructurales del pavimento.

Una causa común de estos problemas es la inadecuada caracterización de los materiales en las capas granulares, que frecuentemente no cumplen con los estándares técnicos requeridos. Además, en muchas regiones se sigue utilizando el criterio visual para la evaluación de pavimentos, ignorando métodos modernos como la medición de deflexiones con FWD (Falling Weight Deflectometer), lo que limita una comprensión real del comportamiento estructural del sistema vial. (Triviño & Moll, 2022).

Estudios internacionales sugieren que la implementación de tecnologías de evaluación estructural reduce hasta en un 30% los costos de mantenimiento vial a largo plazo. Sin embargo, el uso de estas herramientas sigue siendo limitado por falta de capacitación técnica, recursos económicos y planificación estratégica.



A nivel nacional en Perú, el problema del deterioro del pavimento flexible es una constante en muchas vías urbanas y rurales. El Instituto Vial Provincial y diversas municipalidades distritales y provinciales no cuentan con suficientes mecanismos de control estructural continuo de las vías. Los trabajos de mantenimiento, en su mayoría, responden a una lógica reactiva (cuando ya hay fallas visibles) y no a una lógica preventiva o predictiva basada en mediciones técnicas.

Según informes del MTC, muchas carreteras no son evaluadas estructuralmente en campo, y cuando se hacen mejoras, se prioriza la capa superficial sin analizar la capacidad estructural de las capas inferiores. Asimismo, se ha identificado que los materiales granulares empleados en capas de base y subbase no siempre son ensayados ni certificados, lo que afecta directamente la durabilidad del pavimento. (Méndez & Amasifuén, 2020).

Regiones como Cusco, Cajamarca, Puno y Huancavelica presentan condiciones similares de topografía, clima y acceso a materiales que comprometen el desempeño de los pavimentos, agravados por la falta de control de calidad en los agregados utilizados. A pesar de que el Perú cuenta con normativas como el Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC), su aplicación práctica en muchos proyectos es limitada. (Canaza, 2020).

A nivel local en la región de Puno, La vía Juliaca – Caracoto, es un corredor clave que soporta alto tránsito vehicular diario, incluyendo transporte pesado que genera esfuerzos importantes sobre el pavimento. Sin embargo, se han identificado signos visibles de deterioro, como bacheo frecuente, fisuración y deformaciones longitudinales, lo que podría ser indicativo de problemas estructurales más profundos.

En muchos tramos de esta vía, no se han realizado estudios de deflexiones ni caracterizaciones actualizadas de los materiales granulares utilizados en su construcción y mantenimiento, lo que limita el diagnóstico técnico preciso del estado real del pavimento.



Además, la altitud, las condiciones climáticas extremas (temperaturas bajo cero, lluvias intensas) y la mala calidad de algunos agregados locales complican aún más su comportamiento estructural.

Por ello, el propósito de este estudio es realizar una evaluación estructural integral del pavimento flexible en la vía Juliaca – Caracoto, mediante la medición de deflexiones máximas y el análisis de la calidad de los materiales granulares, con el fin de diagnosticar su capacidad estructural actual y proponer lineamientos técnicos para su mantenimiento o rehabilitación adecuada.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la condición estructural del pavimento flexible mediante la medición de deflexiones máximas y la calidad en las capas granulares de la vía Juliaca - Caracoto 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la calidad de los materiales de la capa de subbase granular en relación al manual EG-2013 del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto?
- b. ¿Cuál es la calidad de los materiales de la capa de base granular en relación al manual EG-2013 del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto?
- c. ¿Cuáles son las deflexiones máximas, radio de curvatura y deflexiones admisibles de la estructura del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la estructura del pavimento flexible mediante la medición de deflexiones máximas y la calidad en las capas granulares de la vía Juliaca - Caracoto 2025.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Comparar la calidad de los materiales de la capa de subbase granular en relación al manual EG-2013 del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto.
- b. Comparar la calidad de los materiales de la capa de base granular en relación al manual EG-2013 del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto.
- c. Determinar las deflexiones máximas, radio de curvatura y deflexiones admisibles de la estructura del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación técnica

El presente estudio es técnicamente justificable porque aborda la necesidad de contar con herramientas objetivas y precisas para evaluar el comportamiento estructural de los pavimentos flexibles, utilizando la medición de deflexiones máximas como indicador clave de desempeño. Esta metodología permite identificar fallas incipientes no visibles superficialmente, optimizando así los procesos de mantenimiento y rehabilitación. Además, al integrar el análisis de la calidad de los materiales granulares, se fortalece el conocimiento sobre las condiciones reales de soporte de la vía, contribuyendo a la mejora del diseño estructural futuro y la vida útil del pavimento.

1.4.2. Justificación económica

Desde el punto de vista económico, el estudio resulta relevante porque permite reducir los costos de mantenimiento correctivo y reconstrucción mediante una evaluación temprana y adecuada del estado estructural de la vía. Una correcta caracterización de los materiales granulares evita el uso de insumos inadecuados o sobrecostos por sobredimensionamiento. Asimismo, identificar zonas críticas de deterioro estructural mediante deflexiones permite planificar intervenciones localizadas y eficientes, evitando gastos innecesarios.

1.4.3. Justificación social

Socialmente, este trabajo tiene un impacto significativo, ya que las vías en buen estado estructural mejoran la conectividad, seguridad y calidad de vida de la población usuaria. El deterioro de los pavimentos genera accidentes, pérdidas económicas y tiempos de viaje prolongados. Al realizar una evaluación precisa del estado de la vía, se contribuye a garantizar la transitabilidad y accesibilidad, sobre todo en zonas rurales o de difícil acceso, beneficiando tanto a conductores como a peatones.

1.4.4. Justificación ambiental

El estudio también tiene una dimensión ambiental relevante, ya que el diagnóstico adecuado de las condiciones del pavimento evita intervenciones innecesarias o repetitivas que generan altos volúmenes de residuos de construcción y emisiones asociadas. Asimismo, al evaluar la calidad de los materiales en las capas granulares, se fomenta el uso de materiales adecuados y sostenibles, minimizando la extracción no controlada de recursos naturales. Un mantenimiento planificado con base en datos estructurales contribuye a una gestión vial ambientalmente responsable, reduciendo el impacto ecológico de las obras civiles.



1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La evaluación de la estructura del pavimento flexible, basada en la medición de las deflexiones máximas y la calidad de las capas granulares de la vía Juliaca - Caracoto 2025, presentará altas deflexiones causadas por la aplicación de cargas de tránsito y así mismo se evidenciará resultados negativos debido a que los materiales granulares no cumplen con los estándares mínimos de calidad de la EG-2013.

1.5.2. Hipótesis específicas

1. La calidad de los materiales de la capa de subbase granular en relación al manual EG-2013 del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto, no cumplirá las especificaciones generales por estar mínimamente por debajo de lo recomendado.
2. La calidad de los materiales de la capa de base granular en relación al manual EG-2013 del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto, no cumplirá las especificaciones generales por estar por debajo de lo recomendado.
3. Las deflexiones máximas, radio de curvatura y deflexiones admisibles de la estructura del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto, no cumplirán con los valores propios de la vía en estudio.

1.6. Variables e indicadores

1.6.1. Variable de caracterización

Deflexiones máximas

Calidad de capas granulares

Dimensiones:

- Capacidad estructural del pavimento
- Granulometría



- Índice de Plasticidad (IP)
- Capacidad de Soporte (CBR)
- Compactación Proctor

1.6.2. Variable de interés

Estado del pavimento flexible

Dimensiones:

- Estado de la subbase granular
- Estado de la base granular
- Estado estructural del pavimento flexible



1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable de caracterización	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo	
1. Deflexiones máximas	Las deflexiones máximas en un pavimento flexible corresponden al desplazamiento vertical máximo que sufre la superficie del pavimento al aplicarse una carga, generalmente la carga del tránsito vehicular.	Capacidad estructural del pavimento	Estado estructural	Viga Benkelman	(MTC – E 1002)	Continua	
		Granulometría	Gradación	Según rangos EG-2013	Manual EG-2013	Continua	
2. Calidad de capas granulares	La calidad de las capas granulares en un pavimento flexible se refiere a las características físicas y mecánicas que deben presentar los materiales utilizados en las capas de base y subbase del pavimento.	Índice de Plasticidad (IP)	% IP	≤ 4% máx. ≤ 2% máx.	Manual EG-2013	Continua	
		Compactación Proctor	MDS (g/cc.) y OCH (%)	≥ 2.000 g/cc	Manual EG-2013	Continua	
		Capacidad de Soporte (CBR)	% de CBR	≥ 40% min. ≥ 80% min.	Manual EG-2013	Continua	
Variable de interés	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo	
Estado del pavimento flexible	El pavimento flexible está conformado por capas granulares y de rodadura, cuyo desempeño estructural se evalúa mediante deflexiones bajo carga aplicada.	Estado de la subbase granular	Según ensayos	IP (5.96% a 7.84%) CBR (35.60% a 39.90%)	Equipos y herramientas de laboratorio	Numérico	
		Estado de la base granular	Según ensayos	IP (2.19% a 3.46%) CBR (63.60% a 74.50%)	Equipos y herramientas de laboratorio	Numérico	
		Estado estructural del pavimento flexible	Deflexión Característica		(91.35*10 ⁻² a 95.30 *10 ⁻²)	Viga Benkelman	Numérico
			Radio de curvatura		(64.00 m a 69.00 m)	Viga Benkelman	Numérico



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Bravo (2023) en su proyecto "Comportamiento estructural del pavimento flexible en vía Tugaduaaja - Engunga del Cantón y de la provincia de Santa Elena utilizando la viga Benkelman", uno de los problemas que surgen en las autopistas es el tráfico o el aumento de las cargas vehiculares que no se tienen en cuenta en el diseño de la estructura del pavimento. La falta de una evaluación estructural exhaustiva durante la fase de construcción provoca un deterioro prematuro del pavimento. El objetivo es evaluar el rendimiento estructural actual del pavimento en la ruta Tugaduaaja-Engunga utilizando la viga Benkelman. Se realizó una investigación de campo para obtener datos sobre la deflexión de la viga Benkelman y se llevó a cabo un análisis analítico para determinar las deflexiones características de acuerdo con los criterios de Huang y el radio de la curva. Los resultados se verificaron posteriormente utilizando el software de diseño DEPAV para identificar discrepancias análogas. Los resultados indicaron que, según la definición de Huang, el estado de la carretera se clasifica como tipo II (aceptable), sin embargo, el análisis realizado con el software DEPAV lo clasifica como tipo I (bueno). Los radios de curva obtenidos fueron de 160 m para el carril derecho y de 120 m para el carril izquierdo,



por encima de los límites permitidos por las especificaciones de diseño. En conclusión, la metodología de la prueba de la viga Benkelman es una herramienta útil para evaluar el rendimiento estructural de los pavimentos.

Además Salas et al. (2020) en su tesis "Evaluación de la resistencia de base y subbase granular con asfaltita en porcentajes 50%-50%, 70%-30% y 100%", el asfalto es un material bituminoso natural y sólido que presenta un aspecto resinoso y un tono negro brillante, compuesto por hidrocarburos, bajo contenido de oxígeno y parafinas cristalizables. El asfalto, debido a sus propiedades físicas y mecánicas, puede mejorar la resistencia de los materiales granulares, que son cruciales en la construcción de carreteras y han sido ampliamente estudiados a nivel nacional, especialmente en relación con las aplicaciones viarias. Esta investigación tiene como objetivo explorar un nuevo campo, concretamente la experimentación con materiales empleados en la cimentación de pavimentos. Esta iniciativa surge de los recientes avances en los materiales de construcción de carreteras en el país y de la necesidad de tecnologías innovadoras para las carreteras secundarias y terciarias, donde se pueden lograr soluciones económicas mediante materiales no convencionales. Las propiedades del asfalto se evaluarán en mezclas compuestas por un 50 % de base granular y un 50 % de asfalto, un 70 % de base granular y un 30 % de asfalto, un 50 % de subbase granular y un 50 % de asfalto, un 70 % de subbase granular y un 30 % de asfalto, y una mezcla 100 % de asfalto, para comparar el comportamiento mecánico y la resistencia de cada formulación. Todo lo anterior se lleva a cabo mediante ensayos, cumpliendo con los requisitos técnicos generales, las especificaciones técnicas particulares y los criterios de ensayo de materiales para carreteras definidos por el INVÍAS.

Asimismo Triviño y Moll (2022) en su tesis "Evaluación deflectométrica en pavimentos flexibles mediante la viga Benkelman para las condiciones de Manabí", el estudio estructural de pavimentos flexibles utilizando la viga Benkelman se lleva a cabo

para determinar su estado y, posteriormente, ejecutar medidas de mantenimiento o reparación. En la provincia de Manabí, una importante red de carreteras conecta las comunidades del interior, que actualmente muestran signos de degradación. El estudio emplea una metodología cuantitativa, caracterizada por un diseño no experimental y transversal. La población comprende la ruta Portoviejo-Santa Ana, mientras que la muestra consiste en el tramo Colón-Lodana. Tras realizar la evaluación deflectométrica de la muestra elegida, se determinó que el tipo de deflexión es III, lo que significa una curva breve y poco profunda, lo que sugiere unas condiciones del pavimento por debajo de lo normal, pero una calidad satisfactoria de la subbase. Utilizando la técnica CONREVIAl y la norma INV E-795-13, se determinó que la deflexión típica en la capa de asfalto estaba por debajo de la deflexión permisible ($D < D_{adm}$), lo que indica un resultado satisfactorio. Por consiguiente, no hay fallos de origen estructural en la subbase dentro del segmento examinado.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Según de la Cruz y Huamán (2023) en su proyecto "Determinación de la condición del pavimento flexible mediante la viga de Benkelman para el diseño de reforzamiento en las Avenidas Mansiche y Jesús Nazareth – Trujillo La Libertad", la finalidad del proyecto es evaluar el estado del pavimento flexible utilizando la viga Benkelman, empleando una metodología descriptiva y una técnica de contraste. Para implementar este proyecto, se realizó una previsión de tráfico para los próximos 20 años, a partir de la cual se derivó el ESAL de diseño para determinar el tipo de tráfico, que culminó en Tp6. Mediante el enfoque PCI, se evaluó el estado del pavimento en función de sus fallos y sus niveles de gravedad, lo que arrojó un PCI medio de 49 para las unidades de la muestra, lo que se clasifica como pavimento en estado REGULAR. Finalmente, se empleó la técnica de la viga Benkelman para evaluar el estado actual del paquete estructural con respecto a la subbase, revelando que se encontraba dentro del CASO 2 según la categorización descrita en el manual de carreteras. Tras obtener todos los datos, se ejecutó el diseño correspondiente del refuerzo



necesario, para lo cual era necesario conocer el ESAL de diseño calculado. En conclusión, se logró un refuerzo estructural de 4 cm para la avenida Mansiche y la avenida Jesús de Nazaret.

Además Canaza (2020) en su tesis "Evaluación de las propiedades de los materiales de base y sub base para pavimentos del distrito de José Luis Bustamante y Rivero", es fundamental analizar las propiedades de los materiales utilizados en la construcción del pavimento para la base y la subbase. Por consiguiente, estos trabajos deben examinarse meticulosamente para garantizar que los diseños sean técnicamente viables, prácticos y duraderos. Cada caso pone de relieve la necesidad de aplicar un riguroso control de calidad, lo que aumentará y prolongará su vida útil, al tiempo que mejorará el rendimiento del pavimento, mitigando así numerosos errores derivados de diversas variables. Esta investigación promueve el progreso nacional y el desarrollo social al proporcionar datos valiosos y de alta calidad sobre los materiales aplicables en la construcción y el análisis de pavimentos, lo que contribuye a la formulación de asfaltos con mayor durabilidad. Para fijar las fuentes, se han identificado posibles ubicaciones de canteras para diversas actividades, que deben cumplir los requisitos de aceptación descritos en las especificaciones y normas de diseño de pavimentos. Cantera de Sabandía y cantera de Uchumayo.

Asimismo Méndez y Amasifuén (2020) en su tesis "Evaluación estructural de pavimento de la carretera Iquitos - Nauta con viga Benkelman, tramo km 16+300 - km 17+800", examina la evaluación estructural del pavimento mediante un enfoque no destructivo, realizada en el tramo comprendido entre el km 17+200 y el km 18+700 de la carretera Iquitos-Nauta utilizando la viga Benkelman de doble brazo. La capacidad estructural del pavimento se evaluó mediante el análisis de las deflexiones en su estructura, utilizando los criterios establecidos por CONREVIAL. Se determinó que la deflexión observada estaba por debajo del límite permitido, lo que llevó a la conclusión de



que el rendimiento estructural de la parte representativa de la carretera es satisfactorio en las circunstancias actuales de tráfico. Para determinar las características de tracción de las capas del pavimento, se realizó un examen de las curvas de deflexión y los radios de curvatura, con un promedio superior a 300 m. Se determinó que las capas del pavimento están bien formadas y que la deflexión se produce en la subbase, lo que sugiere que se trata de un suelo de cimentación con un rendimiento satisfactorio.

Finalmente Espinoza (2019) en su tesis "Determinación de espesores de pavimentos flexibles vial y aeroportuario considerando el análisis y reestructuración de pesas de sobrecarga equivalente en ensayos de CBR para subrasante de suelos granulares en la ciudad de Arequipa", tiene como objetivo determinar los espesores de los pavimentos flexibles para las aplicaciones rurales, urbanas y del aeropuerto al aumentar los pesos de recargo de acuerdo con los espesores de los pavimentos convencionales en la prueba CBR, buscando alternativas más rentables en el proceso de diseño de pavimento. El proyecto comienza con un análisis exhaustivo de las cualidades físicas y químicas de varias muestras de suelo esencial para el diseño del pavimento. Esta investigación produjo un valor CBR del 52.5% aplicable a los pavimentos rurales y urbanos, mientras que se determinó un valor CBR del 22.9% para los pavimentos del aeropuerto. Ambos valores se adquirieron al 95% del peso unitario seco máximo y a una profundidad de penetración de 0.1 pulgadas. Se realizó un estudio del tráfico rural, urbano y del aeropuerto, lo que informaría los diseños de varios pavimentos. En última instancia, utilizando estos datos, se ejecuta el diseño para varias formas de pavimentos flexibles, lo que demuestra una clara diferencia en los valores de CBR en todo el diseño. El resultado indicó que en el pavimento urbano, se evaluó un aumento de cuatro pesos de sobrecarga, produciendo un valor CBR del 58,4%. El pavimento rural se sometió a pruebas con un incremento de 7 pesos de sobrecarga, lo que resultó en una puntuación CBR del 81.8%. La prueba en los pavimentos del aeropuerto se realizó con un incremento de 7 pesos de sobrecarga, lo que resultó en un valor CBR del 35.2%, completado al 95% de peso unitario

seco máximo y una penetración de 0.1 pulgadas. El estudio terminó con un análisis económico que indica ahorros de 9.5%, 11.6% y 16.4% del gasto base para pavimentos urbanos, rurales y del aeropuerto.

2.1.3. Antecedentes locales

Según Flores (2023) en su proyecto "Evaluación del comportamiento estructural de pavimentos flexibles según suelo de subrasante, carretera Juliaca - Caracoto", el propósito es determinar la varianza en el comportamiento estructural de los pavimentos flexibles basados en el suelo subrasante. Metodología: Se aplicó la técnica científica utilizada, en la naturaleza explicativa y en el diseño experimental. Los hallazgos adquiridos fueron: la variación en el tipo A-2 del suelo exhibió desviaciones de 0.57×10^{-2} mm y 0.53×10^{-2} mm, con deformaciones máximas de 72×10^{-2} mm y una desviación crítica de 83×10^{-2} mm. La fatiga ocurrió bajo un estrés vertical de $\sigma_Z = 3.46$ TN/m², correlacionándose con un incremento en el índice vehicular de 3.29×10^6 a 5.11×10^6 , lo que resulta en desviaciones máximas de 73×10^{-2} mm. La variación en el tipo A-4 del suelo exhibió una desviación de 0.80×10^{-2} mm y una fatiga crítica de $\sigma_Z = 3.51$ TN/m², con una desviación permitida de 72×10^{-2} mm, una deflexión crítica de 82×10^{-2} mm y una desviación característica de 129.150×10^{-2} mm. Además, el estudio actual reveló que el 98.33% del total de 60 ubicaciones se adhirieron al radio de curvatura, mientras que el 1.66% no cumplió con los requisitos de radio de curvatura. En última instancia, se consideraron los análisis del suelo, y para evaluar las desviaciones, la prueba del haz de Benkelman se realizó de acuerdo con la norma, revelando una distribución de: 38% Bad, 16% justa y 76% buena. Esto indica que el comportamiento subrasante en la mayoría de la carretera se aborda suficientemente. La investigación encuentra que realizar estudios de suelos es esencial para la ejecución del pavimento, ya sea flexible o rígido, para proporcionar datos precisos para el diseño del pavimento en función del índice diario de vehículos.



Asimismo Mamani (2022) en su tesis "Comparación de las Propiedades de Comparación de las Propiedades de Canteras para Sub Canteras para Subbase y Base en la Ciudad de Juliaca", el estudio actual tuvo como objetivo identificar las canteras que cumplen con los requisitos EG-2 y las normas EG-2013 para las cualidades de los materiales de subbase y base en pavimentos. La metodología empleada fue un diseño aplicado, no experimental, articulado a nivel descriptivo con un enfoque cuantitativo, utilizando material granular de las canteras de Mucra y Taparachi como muestra. Los resultados medios de la cantera de Mucra indicaron una gradación de tipo A en la granulometría, sin límites de consistencia; las caras fracturadas mostraron un 13,4 % para una y un 37,9 % para dos; las partículas planas y alargadas representaron un 3,04 %; el equivalente de arena medía un 35 %; la prueba de abrasión arrojó un 18,64 % y el CBR-100 % fue del 70,5 %. La granulometría de la cantera de Taparachi no se ajustaba a la gradación de tipo A, con un índice de plasticidad (PI) del 18 %. Las caras fracturadas midieron un 42,4 % tanto para uno como para dos, mientras que las partículas planas y alargadas representaron un 4,8 %. El equivalente de arena se determinó en un 34 %, y la prueba de abrasión de arrojó un resultado del 19,07 %. El valor CBR-100 % fue del 43,6 %. En conclusión, las cantera Mucra y Taparachi cumplían los criterios de subbase, pero no los de base. Se realizó una mezcla de canteras para mejorar las características, pero no se lograron las mejoras deseadas.

Finalmente Mamani (2019) en su tesis "Estimación del valor de CBR en suelos granulares a partir de ensayos de caracterización y compactación de las canteras ubicadas en la ciudad de Juliaca", tiene como objetivo investigar el comportamiento de los suelos granulares para estimar el valor de CBR en función de sus características físicas, incluidos los resultados de las pruebas de límite de consistencia (LL, PL, PI), la granulometría (porcentajes retenidos y de aprobación sobre los tamones, D60 y D30), y las tasas de compactación (γ_{Dmax} , Cho). El material de tesis se obtuvo de las canteras en Juliaca. Tras la adquisición de los materiales (suelos granulares para la compactación), se sometieron

a una serie de pruebas de laboratorio como se describió anteriormente, con los resultados resultantes conectados a CBR. Se observó que algunas correlaciones arrojaron valores favorables de R y R^2 , mientras que otras no exhibieron una correlación significativa. La tesis tiene como objetivo derivar el CBR de sus características físicas; Por lo tanto, se desarrolló un modelo utilizando predictores que tenían una relevancia más sustancial cuando se asoció individualmente con el CBR. El modelo se construyó con las variables LL, $\gamma_{D\text{MAX}}$, %RET4 y %PAS200, lo que resultó en un modelo lineal con un valor R^2 de 0.999, lo que significa una correlación robusta entre el modelo y el resultado CBR. Se realizó una prueba t emparejada, produciendo un nivel de significancia de 0.974 para la diferencia entre los hallazgos. Se determinó que el modelo sugerido predice efectivamente el valor CBR de los suelos granulares de las canteras de Juliaca.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Pavimento flexible*

El pavimento se caracteriza por su capacidad para distribuir las cargas de tráfico a través de una estructura compuesta por capas sucesivas de materiales granulares. Este tipo de pavimento se utiliza en carreteras, calles y caminos de diferentes categorías. La principal característica del pavimento flexible es que, a diferencia de los pavimentos rígidos, no está diseñado para resistir las cargas directamente mediante una capa rígida, sino que las distribuye de manera que la flexibilidad de las capas inferiores absorba las deformaciones y cargas (Quiroz, 2022).

Las capas que componen un pavimento flexible incluyen, generalmente, la subrasante (capa más profunda), la base granular, y la capa de rodadura o asfalto. Cada una de estas capas cumple con una función específica: la subrasante proporciona soporte y estabilidad, la base granular distribuye las cargas de manera eficiente, y la capa de rodadura asegura una superficie resistente al desgaste y la acción del clima. Esta

estructura flexible permite que el pavimento se adapte a los movimientos del suelo y a las variaciones térmicas sin sufrir daños significativos (Quiroz, 2022).

Una de las principales ventajas del pavimento flexible es su capacidad de mantenimiento. Dado que las capas superficiales y granulares pueden ser renovadas o reparadas sin necesidad de reemplazar toda la estructura, su vida útil puede prolongarse con adecuadas intervenciones.

2.2.1.1. Características del pavimento flexible

Uno de los tipos de pavimentación que se utiliza con frecuencia en calles y carreteras es el pavimento flexible, que puede adaptarse a los cambios en la topografía subyacente (Rattia, 2021). A continuación, presentamos las principales características del pavimento flexible:

- a. **Estructura en capas:** Está compuesto por varias capas que trabajan juntas para distribuir las cargas del tráfico y permitir el drenaje. Las capas típicas incluyen:
 - Capa superficial (rodadura): Es la capa superior que entra en contacto con el tráfico. Está compuesta de asfalto.
 - Capa base: Se encuentra debajo de la capa superficial y ayuda a distribuir la carga del tráfico.
 - Capa subbase: Se encuentra debajo de la capa base y se utiliza para mejorar la capacidad de carga y drenaje.
 - Capa subrasante: Es la capa más baja y está formada por el suelo natural o material compactado (Rattia, 2021).
- b. **Flexibilidad:** El pavimento flexible puede adaptarse a los asentamientos o deformaciones del terreno que hay debajo. Esto se debe a la elasticidad del asfalto que conforma la capa superficial (Rattia, 2021).

- c. **Drenaje:** El diseño de este tipo de pavimento permite un buen drenaje, reduciendo la acumulación de agua y ayudando a evitar daños por la humedad. Esto es crucial para mantener la durabilidad de la estructura (Rattia, 2021).
- d. **Composición:** El material más comúnmente utilizado en las capas del pavimento flexible es el asfalto, debido a su capacidad para adherirse bien a las superficies y resistir la deformación bajo el tráfico (Rattia, 2021).
- e. **Costo:** Comparado con el pavimento rígido (como el de concreto), el pavimento flexible suele ser más económico, aunque su durabilidad es menor. Esto se debe a la menor rigidez del material y la mayor necesidad de mantenimiento a lo largo del tiempo (Rattia, 2021).
- f. **Mantenimiento:** Aunque es más económico inicialmente, el pavimento flexible puede requerir más mantenimiento y reparaciones frecuentes debido a la erosión de las capas superiores por el tráfico y el clima (Rattia, 2021).
- g. **Adaptabilidad al clima:** Se adapta bien a regiones con climas templados y secos, pero puede ser susceptible a deformaciones en climas muy calurosos o fríos extremos, lo que puede provocar grietas y agrietamiento (Rattia, 2021).
- h. **Durabilidad:** Su durabilidad está influenciada por factores como el tipo de material utilizado, el tráfico vehicular, el clima y el diseño de las capas. Con un mantenimiento adecuado, puede durar entre 10 y 20 años (Rattia, 2021).
- i. **Falta de rigidez:** A diferencia del pavimento rígido, que tiene una estructura más dura, el pavimento flexible distribuye la carga de manera más uniforme pero tiene menos capacidad para resistir cargas puntuales (Rattia, 2021).

2.2.1.2. Estructura del pavimento flexible

El pavimento flexible es un sistema estructural diseñado para resistir las cargas del tráfico y las variaciones del clima, adaptándose a los movimientos del terreno subyacente. Se compone de varias capas con materiales específicos que cumplen funciones específicas (Espinoza M. , 2020). Vamos a verlas en detalle:



1. Carpeta asfáltica.

Es la capa más externa y visible del pavimento flexible. Está formada por una mezcla de asfalto y agregados (piedra triturada, arena y otros materiales) que proporcionan una superficie resistente al tráfico y a la abrasión.

Funciones:

- Resistencia al desgaste: La capa de rodadura debe ser capaz de soportar el desgaste debido al tráfico constante sin perder sus propiedades.
- Distribución de cargas: La carpeta asfáltica distribuye las cargas de las ruedas del vehículo a las capas inferiores del pavimento.
- Superficie antideslizante: Además, proporciona una superficie antideslizante que es importante para la seguridad vial.
- Drenaje de agua superficial: Esta capa también facilita el drenaje del agua superficial, evitando la acumulación de agua en la superficie, lo que podría generar daños por erosión.

2. Base granular.

La base granular está debajo de la carpeta asfáltica y su composición de materiales granulares. Su función es proporcionar estabilidad y resistencia a la estructura del pavimento (Espinoza M. , 2020).

Funciones:

- Distribución de cargas: Distribuye las cargas del tráfico hacia la subbase y subrasante, garantizando que la presión no se acumule en una sola zona, lo que podría causar deformaciones o fallas estructurales.
- Mejora la capacidad de carga: Al ser más densa y resistente que la subbase, la base granular contribuye a la resistencia global del pavimento.
- Permite el drenaje: También juega un papel importante en la evacuación de agua hacia las capas inferiores para evitar la acumulación de humedad en el pavimento.

3. Subbase granular.

Es la que se encuentra debajo de la base granular y, aunque también está formada por materiales granulares, suele tener una calidad inferior en comparación con la base.

Funciones:

- Distribución de cargas: Al igual que la base granular, la subbase ayuda a distribuir las cargas del tráfico, pero su resistencia es menor. Sin embargo, sigue siendo crucial para evitar deformaciones en la subrasante.
- Apoyo adicional: La subbase también proporciona un apoyo adicional a la base granular y ayuda a mejorar la estabilidad general de la estructura del pavimento (Espinoza M. , 2020).
- Facilita el drenaje: La subbase permite que el agua fluya a través de ella y la evacúe hacia el suelo o la capa subrasante, evitando problemas de acumulación de agua en el pavimento.

4. Subrasante.

Es la capa más profunda del pavimento flexible y corresponde al suelo natural o material compactado que se encuentra debajo de las demás capas.

Funciones:

- Proporcionar estabilidad: La subrasante debe ser lo suficientemente estable para soportar las cargas del tráfico sin ceder o deformarse. La calidad del suelo natural o material utilizado es fundamental para la durabilidad del pavimento.
- Influencia en la durabilidad del pavimento: Si la subrasante no es resistente o tiene una capacidad de carga baja, podría comprometer la integridad de las capas superiores, provocando asentamientos, grietas o deformaciones en el pavimento (Espinoza M. , 2020).
- Interacción con las capas superiores: Aunque la subrasante por sí sola no es visible, su comportamiento y resistencia tienen un impacto directo en el rendimiento de las otras capas del pavimento.

Figura 1*Capas del pavimento flexible*

Nota. Tomado de blog de ingeniería (2022).

2.2.1.3. Mecanismos de falla en el pavimento flexible

Los mecanismos de falla en el pavimento flexible pueden ser variados, y generalmente dependen de factores como la calidad de los materiales, el diseño del pavimento, el tráfico y las condiciones ambientales (Mendoza T. , 2023). A continuación, mencionamos algunos mecanismos de falla:

✓ **Fisuración por fatiga:**

Este tipo de falla ocurre cuando las capas del pavimento se someten a cargas repetidas, lo que provoca la acumulación de tensiones y, eventualmente, la formación de fisuras. Estas fisuras tienden a aparecer en la capa de rodadura y son causadas por la deformación plástica de las capas debido al tráfico constante. Si no se reparan, las fisuras pueden empeorar y permitir la infiltración de agua, lo que puede acelerar el deterioro.

✓ **Deformación plástica (conformación permanente):**

Este tipo de falla se produce cuando las capas del pavimento, especialmente la capa de rodadura, se deforman de manera permanente debido a la presión constante del tráfico, especialmente en condiciones de alta temperatura. Las deformaciones en la superficie pueden llevar a la formación de baches y hendiduras.

✓ **Hinchazón y deformación por humedad:**

En algunas circunstancias, el agua que penetra a través de las fisuras puede alcanzar las capas inferiores del pavimento, lo que debilita la base y la subbase. En suelos expansivos o arcillosos, la humedad puede provocar la hinchazón del material, lo que produce movimientos en la estructura del pavimento y genera agrietamientos y deformaciones (Mendoza T. , 2023).

✓ **Exudación del asfalto (Bloqueo de la superficie):**

Este fenómeno ocurre cuando el asfalto en la capa de rodadura fluye hacia la superficie debido a temperaturas altas o a una mezcla de asfalto demasiado rica. La seguridad del vehículo puede verse comprometida como resultado de la superficie pegajosa y resbaladiza.

✓ **Desprendimiento de la capa de rodadura:**

Una mala adhesión entre la capa de rodadura y las capas subyacentes puede provocar que la capa superficial se separe o desaparezca. Esta falla se da principalmente cuando hay un mal diseño de la mezcla asfáltica o cuando los materiales no se han compactado adecuadamente, lo que permite que la capa de rodadura se desintegre con el tiempo (Mendoza T. , 2023).

✓ **Fallas por sobrecarga:**

El tráfico pesado o el exceso de carga por vehículos que exceden el límite de peso para el que se diseñó el pavimento pueden causar deformaciones permanentes, agrietamientos y otros tipos de daño. Las capas no están diseñadas para soportar

este tipo de carga excesiva de manera constante, lo que puede llevar a una falla prematura del pavimento.

✓ **Desprendimiento de materiales granular:**

Las capas que están formadas por materiales granulares, pueden sufrir desgaste de material debido a la acción del tráfico y la falta de compactación adecuada. Esto puede generar hundimientos o hundimientos localizados en el pavimento.

✓ **Infiltración de agua y corrosión:**

La infiltración de agua, que suele ocurrir a través de fisuras o fallas en la capa de rodadura, puede dañar las capas inferiores del pavimento. El agua puede erosionar los materiales granulares de la base y subbase, además de causar problemas como la corrosión de las armaduras en pavimentos reforzados (Mendoza T. , 2023).

✓ **Erosión del borde del pavimento:**

En zonas con fuertes lluvias o flujos de agua, los bordes del pavimento pueden ser erosionados, lo que provoca un debilitamiento de la estructura y la pérdida de estabilidad. Este fenómeno puede ser más común en caminos rurales o pavimentos sin bordes adecuados de contención.

2.2.2. Evaluación estructural del pavimento

Es un proceso técnico que tiene como objetivo estudiar la capacidad de las estructuras de pavimento para soportar las cargas de tráfico y resistir las tensiones a las que están expuestas a lo largo del tiempo. Esta evaluación busca determinar el estado actual del pavimento, identificar posibles daños o deficiencias, y prever su vida útil futura bajo las condiciones de carga y climáticas previstas. Es un componente esencial en la planificación, reparación y rehabilitación de carreteras, calles y caminos, ya que permite tomar decisiones informadas sobre las intervenciones necesarias para prolongar la vida útil del pavimento y mejorar su desempeño (López et al., 2019).

Durante la evaluación estructural, se realizan mediciones y análisis de diversos parámetros, como la deflexión del pavimento, la resistencia de las capas que lo componen,

y la integridad de la capa de rodadura. Uno de los métodos más comunes es la medición de deflexiones máximas, que consiste en evaluar cómo se deforma el pavimento bajo la carga de un vehículo. A partir de estos datos, se puede determinar si el pavimento aún es capaz de soportar el tráfico esperado o si es necesario realizar refuerzos o reparaciones. Además, se pueden emplear herramientas y técnicas de análisis, como el uso de equipos de diagnóstico no destructivos (como el deflectómetro), para obtener información precisa sobre la capacidad estructural del pavimento sin necesidad de intervenir físicamente en el pavimento.

La evaluación estructural también tiene en cuenta factores como la calidad de los materiales utilizados en las capas del pavimento, la presencia de fisuras, baches, o hundimientos, y la influencia de factores externos como la humedad, el tráfico pesado y los cambios térmicos. Los resultados obtenidos de esta evaluación son fundamentales para tomar decisiones sobre el tipo de intervención más adecuada, ya sea de mantenimiento preventivo, reparación localizada o rehabilitación integral, (López et al., 2019).

2.2.2.1. Importancia de la evaluación estructural

La evaluación estructural del pavimento juega un papel crucial en el mantenimiento vial porque permite tomar decisiones informadas sobre las acciones necesarias para garantizar la durabilidad, seguridad y eficiencia de las vías (Cárdenas, 2024). En seguida, se destacan las principales razones de su importancia:

- **Determinación del estado actual del pavimento:** La evaluación estructural permite conocer el estado real del pavimento, identificando problemas como fisuras, baches, deformaciones o pérdida de material. Esto es esencial para entender si el pavimento puede soportar las cargas de tráfico previstas o si está en riesgo de fallar bajo condiciones de carga más exigentes. Al identificar estos problemas a tiempo, se pueden evitar fallas graves que podrían generar accidentes o costosos arreglos a largo plazo.



- **Priorización de intervenciones:** A través de la evaluación estructural, se puede determinar qué tramos de la carretera requieren reparaciones inmediatas y cuáles pueden esperar. Esto permite asignar recursos de manera más eficiente, priorizando las zonas más deterioradas o que presentan un mayor riesgo para la seguridad vial. Además, permite planificar el mantenimiento de forma escalonada, optimizando los costos operativos (Cárdenas, 2024).
- **Prolongación de la vida útil del pavimento:** Un mantenimiento adecuado basado en la evaluación estructural puede alargar la vida del pavimento al abordar los problemas en sus primeras etapas. Intervenciones tempranas, como el refuerzo de la capa de rodadura o la corrección de deflexiones excesivas, pueden retrasar la necesidad de una rehabilitación mayor y costosa.
- **Prevención de problemas futuros:** La evaluación estructural no solo ayuda a identificar daños actuales, sino que también permite anticipar futuros problemas relacionados con el comportamiento del pavimento. Esto es especialmente relevante en áreas con condiciones climáticas extremas o en rutas de alta carga, donde la degradación del pavimento puede ser más acelerada (Cárdenas, 2024).
- **Optimización de los costos de mantenimiento:** Al conocer de manera precisa la condición estructural del pavimento, se pueden implementar estrategias de mantenimiento preventivo que sean más económicas en lugar de esperar a que los problemas se conviertan en fallas graves. De esta manera, se evita el gasto innecesario en reparaciones mayores, lo cual es más costoso a largo plazo.
- **Mejora de la seguridad vial:** Un pavimento deteriorado o con defectos estructurales representa un riesgo directo para la seguridad de los conductores. La evaluación estructural permite detectar de manera temprana zonas críticas donde la seguridad puede verse comprometida, como zonas con baches, fisuras que pueden empeorar con el tiempo, o áreas propensas a deslizamientos. De esta forma, se pueden implementar soluciones antes de que ocurran accidentes.

- **Cumplimiento normativo y de estándares de calidad:** Las evaluaciones estructurales también garantizan que las carreteras cumplan con las normativas y los estándares de calidad establecidos por las autoridades viales y de infraestructura. Esto es fundamental para asegurar que las rutas sean aptas para el tráfico y para la durabilidad del pavimento a lo largo del tiempo (Cárdenas, 2024).

2.2.2.2. Métodos y técnicas de evaluación estructural

Existen varios métodos y técnicas de evaluación estructural que permiten analizar la condición de un pavimento y determinar su capacidad para soportar cargas de tráfico, además de identificar posibles fallas que requieran intervención. Estos métodos pueden ser tanto destructivos como no destructivos, dependiendo de la naturaleza de la prueba y la profundidad de la información que se necesite obtener (Alarcón, 2023). En seguida, detallamos algunos de los más comunes:

Métodos de evaluación estructural.

1. Medición de deflexiones:

Deflectómetro (FWD): El Deflectómetro de impacto (FWD) es una de las técnicas más comunes. Mide las deflexiones (deformaciones) que experimenta el pavimento bajo un impacto controlado de peso. Los resultados obtenidos permiten evaluar la rigidez del pavimento y la capacidad de soporte de las capas estructurales. Las deflexiones excesivas indican que el pavimento no puede resistir las cargas previstas y que podría necesitar rehabilitación.

Medición de deflexión con placa de carga: Este método consiste en usar una carga puntual sobre el pavimento y medir la deflexión que ocurre en diferentes puntos. Similar al FWD, este método es útil para analizar la respuesta del pavimento a las cargas y calcular la capacidad de soporte (Alarcón, 2023).



2. Evaluación con radar de penetración terrestre (GPR):

El GPR es un método no destructivo que crea imágenes del subsuelo utilizando ondas electromagnéticas. El GPR puede proporcionar información detallada sobre el espesor de las capas del pavimento, la calidad de los materiales y la presencia de posibles defectos, como fisuras o cavidades internas. Este método es muy útil para detectar problemas que no son visibles en la superficie, como la separación de capas o la presencia de agua subterránea (Alarcón, 2023).

3. Pruebas de resistencia al corte y compresión:

Se realizan para evaluar la resistencia de las capas del pavimento y determinar la capacidad de carga de los materiales. Esto se puede hacer mediante pruebas de laboratorio a partir de muestras extraídas del pavimento, o mediante pruebas en el campo utilizando equipos como el Penetrómetro dinámico. Estas pruebas permiten conocer la resistencia de las capas de base y subbase (Alarcón, 2023).

4. Inspección visual:

Sigue siendo una de las técnicas más sencillas y utilizadas para evaluar el estado del pavimento. Permite identificar defectos como fisuras, baches, hundimientos y deterioro en la capa de rodadura. Aunque no proporciona información cuantitativa sobre la estructura interna del pavimento, es útil para realizar un diagnóstico preliminar de los problemas visibles y guiar el mantenimiento preventivo (Alarcón, 2023).

5. Pruebas de carga repetida:

En este tipo de pruebas, se aplica una carga repetida en el pavimento para simular las condiciones de tráfico a lo largo del tiempo. Esto ayuda a evaluar el comportamiento del pavimento frente a cargas cíclicas y puede revelar debilidades estructurales que solo se manifiestan después de exposiciones repetidas (Alarcón, 2023).

6. Pruebas de Índice de Rugosidad:

Las pruebas de índice de rugosidad miden la irregularidad de la superficie del pavimento. Aunque no se centra exclusivamente en la evaluación estructural, el índice de rugosidad puede indicar deficiencias en la capa de rodadura que podrían afectar la durabilidad del pavimento a largo plazo (Alarcón, 2023).

7. Evaluación con láser:

El uso de tecnología láser para medir la superficie del pavimento es una técnica avanzada que permite obtener una imagen precisa de las deformaciones y tensiones. El láser puede detectar variaciones milimétricas en la superficie, lo que resulta útil para analizar los cambios en la estructura con el tiempo (Alarcón, 2023).

2.2.3. Medición de deflexiones máximas

Es un procedimiento esencial en la evaluación del pavimento que busca determinar cómo se deforma un pavimento bajo una carga aplicada, representando la respuesta elástica del mismo a las tensiones creadas por el paso del tráfico. Esta medición proporciona información clave sobre la rigidez y la capacidad de soporte del pavimento, permitiendo identificar si las capas del pavimento y la subrasante están siendo eficaces para distribuir las cargas de manera adecuada. Un pavimento que presenta deflexiones excesivas puede indicar que necesita refuerzo o reparación para evitar daños mayores. La medición de deflexiones es crucial tanto para el mantenimiento preventivo como para la planificación de rehabilitaciones en las infraestructuras viales (Triviño & Moll, 2022).

Existen varias herramientas y métodos para medir las deflexiones máximas, siendo dos de los más utilizados el Deflectómetro de Impacto (FWD) y la Viga de Benkelman. El deflectómetro de impacto es un instrumento que ejerce una tensión regulada sobre el pavimento y cuantifica la deflexión superficial resultante. Este equipo simula las cargas que un vehículo ejerce sobre el pavimento y permite obtener una medición precisa de las deformaciones en varios puntos del pavimento, generando un perfil de deflexión que ayuda a evaluar la rigidez del pavimento y las capas inferiores. El FWD es una de las herramientas

más utilizadas en la medición de deflexiones debido a su precisión y capacidad para medir de manera no destructiva las propiedades estructurales del pavimento (Alarcón, 2023).

Por otro lado, la Viga de Benkelman es otro dispositivo comúnmente utilizado en la medición de deflexiones máximas, especialmente en pavimentos flexibles. Este dispositivo consiste en una viga montada sobre dos soportes, que se coloca sobre el pavimento en el momento en que se aplica una carga, generalmente mediante el paso de un camión de prueba. La viga mide la deflexión máxima de la superficie del pavimento en función de la flexión de la viga. Aunque la Viga de Benkelman tiene un enfoque más simple en comparación con el FWD, es igualmente útil para evaluar la respuesta estructural del pavimento y se utiliza con frecuencia para estudiar el comportamiento del pavimento a largo plazo (Triviño & Moll, 2022).

Ambos métodos, el Deflectómetro de Impacto y la Viga de Benkelman, proporcionan datos importantes sobre la elasticidad y la rigidez del pavimento, lo que permite evaluar su capacidad de soportar cargas sin sufrir deformaciones permanentes. Estos datos son fundamentales para la toma de decisiones, ya que una deflexión excesiva podría indicar la necesidad de reforzar las capas del pavimento o de realizar reparaciones más extensas.

2.2.3.1. Deflectómetro de impacto (FWD)

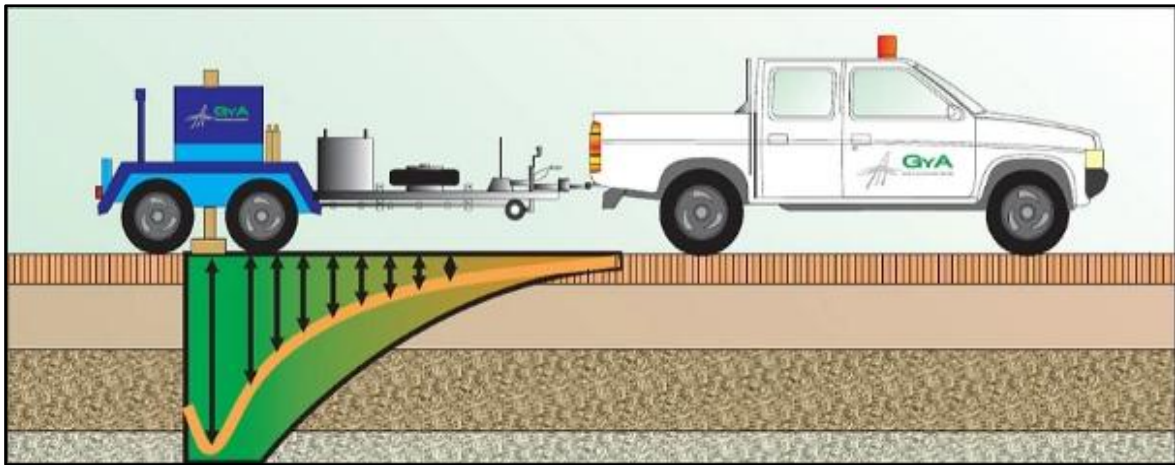
Es una herramienta utilizada para evaluar la respuesta estructural de un pavimento bajo carga, específicamente para medir la deflexión máxima que experimenta la superficie del pavimento cuando se aplica una carga controlada. El FWD simula el paso de un vehículo sobre el pavimento mediante la caída de un peso a una altura determinada, generando un impacto que se distribuye sobre el pavimento y produce una deformación. La medición de la deflexión resultante permite obtener información sobre la capacidad de carga del pavimento y la rigidez de sus distintas capas, como la capa de rodadura, la base, la subbase y la subrasante (Gaete et al., 2019).



El principio básico del FWD radica en la capacidad de este equipo para aplicar una carga de impacto, similar a la que generaría el paso de un vehículo pesado. Cuando el peso cae, se mide la deformación de la superficie del pavimento en varios puntos cercanos al lugar de aplicación de la carga utilizando sensores llamados geófonos. Los datos obtenidos permiten generar un perfil de deflexión a lo largo del pavimento y calcular la rigidez de las capas que componen el pavimento. Este perfil ayuda a identificar áreas con deficiencias estructurales y proporciona información sobre la condición del pavimento, lo cual es esencial para planificar adecuadamente las intervenciones de mantenimiento (Alarcón, 2023).

Una de las principales ventajas del Deflectómetro de Impacto es que permite realizar mediciones no destructivas. Es decir, no es necesario intervenir físicamente el pavimento ni extraer muestras para obtener información relevante sobre su estado. Además, el FWD proporciona resultados rápidos y precisos, lo que lo convierte en una herramienta valiosa para la evaluación de pavimentos en proyectos de mantenimiento preventivo, rehabilitación o diseño de nuevos pavimentos (Gaete et al., 2019).

Este equipo es especialmente útil para detectar deficiencias estructurales como debilidad en las capas inferiores del pavimento, un mal diseño de la mezcla de asfalto, o problemas en la subrasante, que podrían no ser evidentes mediante inspecciones visuales. A través de la medición de deflexiones y el análisis de la distribución de estas a lo largo del pavimento, el FWD proporciona una visión integral de la capacidad estructural y permite optimizar los recursos en la toma de decisiones para las acciones de reparación o refuerzo necesarias en el pavimento.

Figura 2*Equipo FWD*

Nota. Deflectómetro de impacto, tomado de GYA.

2.2.3.2. Viga Benkelman

Es un dispositivo utilizado para medir las deflexiones máximas en pavimentos flexibles, especialmente en aquellos que han sido sometidos a cargas de tráfico. Este equipo es fundamental en la evaluación de la respuesta estructural de los pavimentos a las cargas cíclicas generadas por el paso de vehículos. La viga funciona detectando la deformación vertical de la superficie del pavimento cuando se somete a una carga, como un vehículo de prueba. La medición de la deflexión obtenida a través de la viga ayuda a determinar la rigidez y la capacidad de carga del pavimento. (Balarezo, 2019).

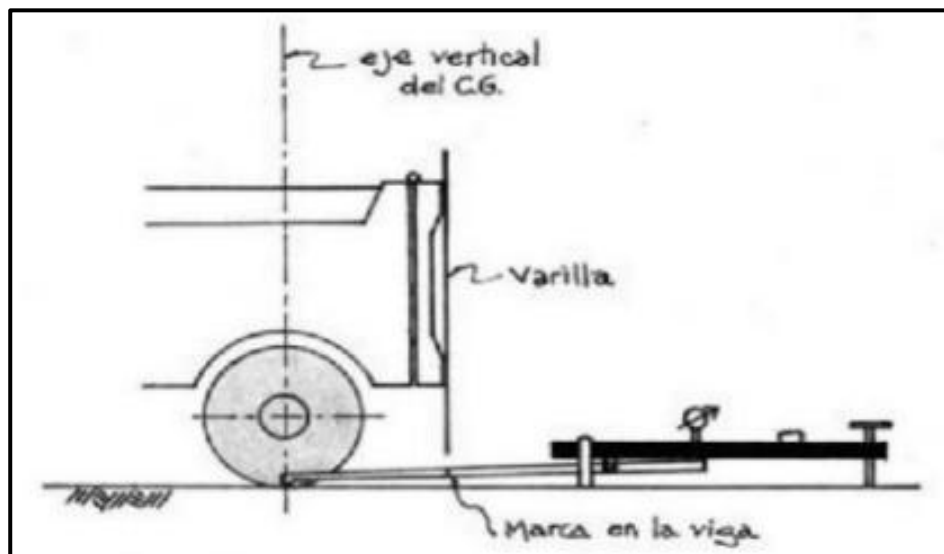
El dispositivo consiste en una viga de acero de longitud considerable que se apoya sobre el pavimento en dos puntos, uno de los cuales está ubicado sobre la superficie del pavimento y el otro sobre el suelo o base del pavimento. En el momento en que un camión de prueba pasa por encima de la viga, esta se flexiona debido a la deformación del pavimento bajo carga, y un medidor de desplazamiento ubicado en uno de los extremos de la viga registra la deflexión máxima del pavimento. Esta medición refleja la deformación de la superficie y proporciona una estimación de la capacidad estructural del pavimento para soportar cargas adicionales sin sufrir deformaciones permanentes (Balarezo, 2019).

Una de las características clave de la Viga de Benkelman es que se enfoca principalmente en pavimentos flexibles, donde la capacidad de las capas inferiores del pavimento para distribuir las cargas es crítica para mantener la estabilidad y la durabilidad a largo plazo. Aunque la Viga de Benkelman es una herramienta más sencilla que otros equipos como el Deflectómetro de Impacto (FWD), sigue siendo muy útil en la evaluación del comportamiento del pavimento bajo cargas vehiculares y para la determinación de la calidad estructural de las carreteras (Balarezo, 2019).

Este método es ampliamente utilizado debido a su bajo costo y facilidad de uso, proporcionando resultados rápidos y confiables para la evaluación del pavimento. Además, la Viga de Benkelman permite determinar áreas de alta deflexión que podrían indicar debilidad en la estructura, como la presencia de materiales inadecuados en las capas inferiores o un mal diseño de las capas de pavimento. De esta forma, contribuye a la planificación de mantenimiento y rehabilitación de carreteras al identificar aquellas zonas que requieren intervención urgente.

Figura 3

Viga Benkelman



Nota. Ensayo con la Viga Benkelman, (2024).

2.2.4. Calidad de los materiales granulares

La calidad de los materiales granulares es un aspecto crucial en la construcción de pavimentos, especialmente en los pavimentos flexibles. Estos materiales, que incluyen grava, arena, piedra triturada y otros agregados utilizados en las capas de base y subbase. La calidad de estos materiales afecta directamente la capacidad del pavimento para distribuir las cargas del tráfico, resistir la deformación y permitir un adecuado drenaje del agua (Moreira & Ruiz, 2022).

La calidad de los materiales granulares se refiere a sus propiedades, tales como la granulometría (tamaño y distribución), la forma de las partículas (si son angulosas o redondeadas), la resistencia y la capacidad de drenaje. Los materiales granulares de alta calidad deben ser lo suficientemente resistentes para soportar las cargas del tráfico sin compactarse excesivamente ni desintegrarse con el paso del tiempo. Además, deben permitir que el agua se drene de manera eficiente para evitar la acumulación de humedad que pueda debilitar las capas inferiores del pavimento.

En términos de granulometría, un buen material granular debe tener una mezcla de tamaños de partículas que permitan una adecuada compactación sin que se genere demasiado espacio vacío entre las partículas, lo que podría comprometer la estabilidad. Los materiales de forma angular, por ejemplo, ofrecen una mejor compresión y resistencia, ya que las partículas interactúan mejor entre sí, creando una estructura más sólida. Sin embargo, los materiales excesivamente angulosos pueden ser difíciles de manejar, por lo que se busca un equilibrio en la distribución de tamaños para asegurar un buen rendimiento en el pavimento (Moreira & Ruiz, 2022).

La resistencia de los materiales granulares es otra propiedad esencial, ya que los materiales deben ser capaces de soportar las fuerzas generadas por el tránsito sin deformarse ni fracturarse. Los materiales que tienen una baja resistencia a la compresión pueden causar asentamientos en las capas de pavimento, lo que puede llevar a la formación de baches y otras fallas en la superficie. Por otro lado, los materiales con una

alta resistencia aseguran una mayor estabilidad estructural y una vida útil más prolongada para el pavimento.

Finalmente, la capacidad de drenaje también es una propiedad crítica de los materiales granulares. Los materiales con un buen drenaje ayudan a evitar la acumulación de agua debajo de las capas del pavimento, lo que puede provocar daños como fisuras y desprendimiento de las capas.

2.2.4.1. Características de los materiales granulares

Los materiales granulares son fundamentales en la construcción de pavimentos, especialmente en las capas de base y subbase de los pavimentos flexibles. Estos materiales están compuestos principalmente por grava, arena, piedra triturada y otros agregados naturales. La calidad y las propiedades de estos materiales son esenciales para asegurar la estabilidad, durabilidad y rendimiento del pavimento (Gelves, 2022). A continuación, detallamos las características de los materiales granulares:

a) Granulometría.

El tamaño y la distribución de las partículas que componen el material granular se denominan tamaño de partícula. Los materiales granulares deben tener una mezcla adecuada de tamaños de partículas para garantizar una buena compactación y evitar espacios vacíos entre las partículas.

- Las partículas deben estar distribuidas en un rango de tamaños, lo que facilita la compactación y la resistencia del pavimento.
- Un material bien gradado permitirá que el pavimento distribuya mejor las cargas y resista deformaciones (Gelves, 2022).

b) Forma de las partículas.

La forma de las partículas granulares influye directamente en su capacidad de compactación y la estabilidad de la estructura. Los materiales pueden ser:

- Angulosos: Las partículas con bordes definidos son más eficientes en la compresión, ya que se intercalan entre sí de manera más efectiva, lo que proporciona mayor resistencia.
- Redondeados: Las partículas redondeadas no se intercalan tan bien, lo que puede resultar en una menor resistencia y estabilidad.
- Subangular: Son partículas que tienen una forma intermedia entre angulara y redondeada, proporcionando una buena compactación.

c) Resistencia a la compresión.

Los materiales granulares deben tener suficiente resistencia para soportar el peso del tráfico sin deformarse o fracturarse. La resistencia garantiza que los materiales no se desintegren bajo carga, lo que podría generar asentamientos o fallas en el pavimento.

- La resistencia es un factor determinante para la estabilidad estructural del pavimento (Gelves, 2022).

d) Estabilidad volumétrica.

Los materiales granulares deben mantener su estabilidad volumétrica a lo largo del tiempo. Esto significa que no deben expandirse ni contraerse excesivamente cuando se someten a cambios de humedad o temperatura. Los materiales que son muy sensibles a la humedad pueden experimentar expansión o reducción de volumen, lo que afecta la estabilidad del pavimento (Gelves, 2022).

- La estabilidad volumétrica está relacionada con la plasticidad del material y su capacidad para mantener su forma sin sufrir deformaciones significativas.

e) Capacidad de drenaje.

Una de las principales características de los materiales granulares es su capacidad para permitir el paso del agua a través de ellos. Un buen material granular debe ser permeable, permitiendo que el agua drene de manera eficiente y acumule humedad.

- Los materiales con un buen drenaje ayudan a evitar problemas como fisuras, desprendimiento de capas y erosión del pavimento (Castillo, 2021).

f) Absorción de agua.

La absorción de agua de los materiales granulares es una característica importante que afecta su rendimiento. Los materiales con baja absorción de agua son preferibles porque no se dilatan significativamente cuando se mojan, lo que ayuda a mantener la estabilidad del pavimento.

- Los materiales con alta absorción de agua pueden provocar expansión y compresión cuando están mojados, lo que puede dañar el pavimento.

g) Durabilidad.

La durabilidad de los materiales granulares está relacionada con su capacidad para resistir acciones externas como la abrasión, la erosión y los ciclos térmicos sin perder sus propiedades. Los materiales deben ser resistentes a la descomposición y mantener su estructura con el tiempo, a pesar de los cambios climáticos o el tránsito constante (Castillo, 2021).

- La resistencia al desgaste es fundamental, especialmente en la capa superficial del pavimento, donde el tráfico vehicular es más intenso.

h) Compatibilidad con el medio ambiente.

Los materiales granulares deben ser ecológicamente sostenibles y no tener efectos negativos en el medio ambiente, como la liberación de contaminantes. Además, deben ser fácilmente disponibles y no representar un riesgo para la biodiversidad o los ecosistemas locales (Castillo, 2021).

i) Facilidad de manipulación y aplicación.

Los materiales granulares deben ser fáciles de transportar, manipular y aplicar en el sitio de construcción. Esto incluye características como tamaño adecuado, homogeneidad y facilidad para mezclarse con otros materiales, como el asfalto (Castillo, 2021).

j) Compactabilidad.

La compactación es una propiedad clave que afecta la resistencia y la estabilidad del pavimento. Los materiales granulares deben ser capaces de ser compactados de manera eficiente para maximizar su densidad y minimizar los espacios vacíos. Una mayor compactación contribuye a una mayor resistencia al desgaste y a las cargas del tráfico (Castillo, 2021).

k) Índice de Plasticidad.

Mide la capacidad del material para deformarse de manera plástica bajo presión. Los materiales con un bajo índice de plasticidad son preferibles porque tienen menos propensión a deformarse o expandirse cuando se mojan, lo que asegura una mejor estabilidad en condiciones de humedad (Castillo, 2021).

2.2.4.2. Propiedades físicas y mecánicas relevantes

Las propiedades de los materiales son fundamentales para determinar su comportamiento y rendimiento en la construcción de pavimentos. Estas propiedades influyen en la capacidad del material, resistir el desgaste y mantenerse estable bajo diversas condiciones (Medina, 2023).

Granulometría.

La distribución de los tamaños de partícula dentro de una sustancia granular se denomina distribución del tamaño de partícula. Es una propiedad crucial porque influye directamente en la compactación y la estabilidad de la estructura del pavimento. Una distribución adecuada de tamaños de partículas garantiza que los materiales se ajusten y compacten bien, evitando espacios vacíos que puedan comprometer la integridad estructural. La granulometría también impacta en la resistencia y la capacidad de drenaje del material, lo que es vital para la durabilidad del pavimento (Castillo, 2021).

Densidad y humedad óptima.

La densidad es la medida de la cantidad de material por unidad de volumen, y la humedad óptima que permite una compactación máxima del material granular. Para lograr

un pavimento resistente y duradero, es esencial que los materiales sean compactados a su densidad óptima. El contenido de humedad afecta la trabajabilidad del material durante la construcción y garantiza que las partículas se adhieran adecuadamente entre sí. Si la humedad es demasiado baja, los materiales no se compactarán correctamente, y si es demasiado alta, el material puede volverse inestable (Castillo, 2021).

Resistencia al desgaste (Los Ángeles).

Una característica crucial que evalúa la capacidad de los materiales granulares para tolerar el desgaste y la abrasión inducidos por el tráfico es su resistencia al desgaste. El ensayo de Los Ángeles es un procedimiento estándar utilizado para evaluar esta propiedad, en el cual las partículas del material son sometidas a un proceso de trituración y agitación en un tambor rotatorio con bolas de acero. Cuanto menor es el valor obtenido en el ensayo, mayor es la resistencia al desgaste del material, lo que indica que el pavimento tendrá una vida útil más larga y resistirá mejor las condiciones de tráfico pesado (Medina, 2023).

Soporte relativo (CBR, Límite líquido, etc.).

La capacidad del material para soportar cargas de tráfico y proporcionar una base sólida del pavimento se conoce como capacidad portante relativa. El índice CBR es uno de los parámetros más utilizados para medir esta propiedad. Cuanto mayor es el valor CBR, mayor es la capacidad de carga del material. Además, el límite líquido es otro parámetro que mide la plasticidad del material y su tendencia a deformarse bajo carga. Un límite líquido alto puede indicar que el material es demasiado susceptible a deformaciones, lo que podría afectar la estabilidad del pavimento (Mendoza E. , 2022).

2.2.4.3. Normas técnicas para la evaluación de los materiales, (MTC)

El MTC de Perú establece una serie de métodos técnicos para la evaluación de los materiales granulares utilizados en la construcción de pavimentos, con el fin de asegurar que los materiales cumplan con los requisitos de calidad necesarios para garantizar la

durabilidad en obras viales (MTC, 2013). A continuación, detallamos las normas más relevantes que establece el MTC para la evaluación de los materiales granulares:

1. Prueba de Granulometría.

Objetivo: Conocer la distribución del tamaño de las sustancias granulares. Esta prueba es fundamental para conocer la composición del material y su capacidad de compactación.

Método: El material se pasa por varios tamices de diferentes tamaños. Al pesar la cantidad de material retenida en cada filtro se obtiene la curva de distribución del tamaño de partícula.

Tabla 2

Requerimientos granulométricos para subbase granular

Tamiz	PORCENTAJE QUE PASA			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100.00	100.00	-	100.00
25 mm. (1")	-	75-95	100.00	100.00
9,5 mm. (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N° 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N° 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm. (N° 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N° 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Nota. Manual de carreteras MTC (2014).

2. MTC E 207: Abrasión Los Ángeles.

Objetivo: Evaluar la resistencia al desgaste de los materiales granulares mediante un proceso de abrasión. Este ensayo simula las condiciones a las que los materiales estarán expuestos debido al tráfico y otros factores abrasivos.

Método: La muestra de material es colocada en un tambor rotatorio junto con bolas de acero y se somete a un número determinado de revoluciones. El desgaste del material es luego evaluado (MTC, 2013).

Propósito: Este ensayo determina la durabilidad de los agregados, especialmente en pavimentos sometidos a tráfico pesado.

3. MTC E 132: CBR.

Objetivo: Medir la capacidad de los materiales granulares para evaluar su idoneidad como base o subbase en pavimentos.

Método: Un pistón penetra en una muestra compactada del material bajo condiciones controladas, y la resistencia del material a la penetración se mide para determinar su índice CBR.

Propósito: El índice CBR es un indicador de la capacidad de soporte del material, y se utiliza para dimensionar las capas de pavimento y asegurar su estabilidad estructural.

4. MTC E 110: Límite Líquido.

Objetivo: Determinar la plasticidad de los materiales finos, lo que permite conocer el contenido de agua.

Método: La muestra de suelo es sometida a un proceso de pruebas para determinar su límite líquido, lo cual es fundamental para caracterizar el comportamiento del material en condiciones de humedad.

Propósito: Este ensayo ayuda a clasificar los materiales según su tendencia a la deformación y su capacidad para comportarse de manera estable cuando se encuentran bajo condiciones de humedad (MTC, 2013).

5. MTC E 111: Índice de Plasticidad.

Objetivo: Evaluar la plasticidad de los materiales finos presentes en los agregados. Este índice se calcula como la diferencia entre el LL y el LP.

Método: La muestra de suelo se somete a diferentes pruebas de consistencia para determinar sus límites de plasticidad.

Propósito: El IP es útil para identificar materiales que podrían ser susceptibles a deformaciones excesivas bajo carga, lo cual podría comprometer la estabilidad del pavimento.

6. MTC E 114: Equivalente de Arena.

Objetivo: Evaluar la cantidad de material fino que puede ser perjudicial para la calidad de los agregados, especialmente en su capacidad de compactación y resistencia.

Método: Se somete el material a un proceso de lavado y tamizado para obtener el porcentaje de material fino (arcilla, limo, etc.) en comparación con el total.

Propósito: El equivalente de arena permite clasificar la calidad de los agregados y asegura que el material tenga la suficiente cantidad de partículas gruesas para garantizar una buena compactación.

7. MTC E 219: Sales Solubles.

Objetivo: Determinar la presencia de sales solubles en el material, lo que es importante para identificar los materiales que podrían generar problemas de corrosión en las estructuras de pavimentos.

Método: Se realiza una disolución del material en una solución ácida o acuosa para identificar las sales solubles y medir su concentración.

Propósito: La longevidad del pavimento puede verse afectada por la presencia de sales solubles, ya que puede contribuir a procesos de corrosión o afectar la estructura de las capas de base (MTC, 2013).

8. Partículas Chatas y Alargadas.

Objetivo: Evaluar la forma de las partículas de los agregados, ya que las partículas chatas y alargadas pueden afectar la compactación y estabilidad del pavimento.

Método: El ensayo determina el porcentaje de partículas con una relación de dimensiones mayor a 5:1 (partículas alargadas) o menor a 1:3 (partículas chatas), lo cual puede comprometer el comportamiento estructural del pavimento.

Propósito: Se busca evitar el uso de materiales cuya forma de partículas impida una compactación eficiente y, por ende, afecte la resistencia del pavimento.

Tabla 3

Subbase granular requerimiento de ensayos especiales, MTC

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento < 3000 msnm	Requerimiento \geq 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	-	-	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	-	D 4791	-	20% máx.	20% máx.

Nota. Manual de carreteras MTC (2014).

2.3. Marco conceptual

a. Bases granulares.

Las bases granulares son capas de material triturado o natural, como grava, arena o piedra, que se utilizan en la construcción de pavimentos, situándose entre la capa de rodadura y la subbase. Sus funciones principales incluyen distribuir las cargas de tráfico a las capas inferiores, proporcionar soporte estructural y garantizar la resistencia y estabilidad del pavimento.

b. Calidad de los materiales.

Hace referencia al cumplimiento de las propiedades requeridas para asegurar que los materiales utilizados en la construcción, como los granulares, sean adecuados para soportar las cargas del tráfico, resistir el desgaste y garantizar la durabilidad



de las estructuras viales. Una adecuada calidad de los materiales asegura que el pavimento tenga una larga vida útil, mantenga su estabilidad y funcione correctamente bajo diversas condiciones ambientales y de carga.

c. Deflexión máxima.

Es la deformación vertical máxima que experimenta la superficie de un pavimento cuando es sometido a una carga, como la de un vehículo. Esta medición es crucial para evaluar la rigidez y la condición estructural del pavimento, ya que deflexiones excesivas pueden indicar que las capas del pavimento no están distribuyendo adecuadamente las cargas o que hay debilidad en la estructura.

d. Evaluación estructural.

Es el proceso técnico utilizado para analizar y determinar la capacidad de soporte y el estado de conservación de un pavimento, con el objetivo de diagnosticar su desempeño bajo las condiciones del tráfico y las cargas ambientales. Este proceso implica la medición de parámetros como la deflexión máxima, la resistencia de las capas del pavimento y el análisis de su integridad a lo largo del tiempo.

e. Materiales granulares.

Los materiales granulares son aquellos compuestos principalmente por partículas de piedra triturada, grava, arena u otros agregados naturales. Estos materiales deben tener características específicas de granulometría, resistencia al desgaste, compactación y capacidad de drenaje, ya que influyen directamente en la estabilidad, resistencia y durabilidad del pavimento. Además, su calidad es fundamental para asegurar que el pavimento soporte cargas del tráfico y resistir las condiciones ambientales a lo largo del tiempo.

f. Medición de deflexiones.

La medición de deflexiones es un proceso utilizado para evaluar la rigidez y el comportamiento estructural de un pavimento bajo la acción de cargas, midiendo la deformación vertical que experimenta la superficie del pavimento, generalmente simulando el paso de un vehículo. Este proceso se realiza utilizando herramientas como la Viga Benkelman, que permite determinar la deflexión máxima en diferentes puntos del pavimento.

g. Pavimento flexible.

Es una configuración de calzada que consta de muchas capas de materiales, a menudo asfalto y sustancias granulares, diseñada para distribuir las cargas del tráfico a las capas subyacentes, permitiendo que el pavimento se adapte a pequeñas deformaciones sin agrietarse. A diferencia del pavimento rígido, que utiliza concreto, el pavimento flexible tiene una mayor capacidad de deformación y es más económico en su construcción, aunque puede requerir un mantenimiento más frecuente. Este tipo de pavimento es ideal para áreas con tráfico moderado y en climas donde la elasticidad y el drenaje son factores clave para su durabilidad.

h. Viga Benkelman.

Es un instrumento utilizado para medir la deflexión en pavimentos flexibles, especialmente para evaluar la deformación vertical de la superficie del pavimento. Consiste en una viga con un medidor de desplazamiento que se coloca sobre el pavimento en el punto de medición, y mide la cantidad de flexión o deflexión máxima que ocurre en la superficie cuando se aplica una carga. Este método es fundamental en la evaluación estructural de pavimentos, ya que permite determinar la condición del pavimento y ayuda a identificar las áreas que podrían requerir mantenimiento.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de la investigación

El enfoque se caracteriza por fundamentarse en la recolección de datos que permiten medir, describir y explicar fenómenos de manera objetiva. Su propósito es establecer relaciones, tendencias o comparaciones mediante procedimientos estadísticos, lo que garantiza precisión, confiabilidad y validez en los resultados (Hernandez et al., 2014).

El enfoque utilizado es de carácter **cuantitativo**, puesto que se trabaja con datos numéricos obtenidos mediante ensayos de laboratorio y pruebas in situ. Estos resultados se procesaron estadísticamente para interpretar el estado del pavimento, lo que permite una evaluación objetiva y medible de las variables analizadas.

3.2. Tipo de la investigación

El tipo de estudio es una investigación orientada a resolver problemas, utilizando el conocimiento existente para aplicar soluciones concretas en contextos reales. A diferencia de la investigación básica, que busca generar teorías generales, la investigación aplicada se enfoca en la utilización directa de los resultados para abordar cuestiones particulares (Kerlinger, 2002).

La investigación es de tipo **aplicada**, ya que está orientada a resolver un problema concreto y real relacionado con el desempeño estructural del pavimento flexible en un tramo vial específico. Los resultados contribuirán al desarrollo de soluciones prácticas para optimizar la durabilidad del pavimento y reducir costos de mantenimiento.

3.3. Nivel de la investigación

El nivel es el grado de estudio que busca no solo describir los fenómenos observados, sino también entender y explicar las relaciones causales entre las variables involucradas. En este nivel, el objetivo es igualar los factores subyacentes que influyen en los resultados y proporcionar una comprensión profunda de las causas y efectos de un fenómeno, más allá de su simple observación (Kerlinger, 2002).

El estudio presenta un nivel **descriptivo**, ya que busca detallar y caracterizar la condición estructural del pavimento de la vía de estudio. A través de los ensayos realizados se describen las propiedades de las capas granulares, así como las deflexiones medidas en campo, con el propósito de identificar el estado actual de la vía sin llegar a establecer relaciones de causalidad.

3.4. Diseño de la investigación

El diseño es utilizado para investigar la relación entre variables independientes y dependientes, mediante la manipulación de factores específicos para observar sus efectos en una situación controlada. Este diseño permite al investigador controlar y asignar aleatoriamente las condiciones experimentales, garantizando que los resultados sean válidos y puedan ser generalizados a situaciones más amplias. (Creswell, 2014).

El estudio presenta un diseño **no experimental**, debido a que no se manipulan deliberadamente las variables de estudio, sino que se observan y analizan en su contexto natural. En este caso, se evalúa el pavimento flexible de la vía Juliaca – Caracoto mediante

la medición de deflexiones y el análisis de la calidad de las capas granulares, registrando los resultados sin alterar las condiciones reales de la infraestructura.

3.5. Método de la investigación

El método es una estrategia utilizada para examinar acontecimientos, plantear preguntas y elaborar explicaciones basadas en la observación. Este enfoque implica una secuencia de procedimientos que incluyen la formulación de hipótesis, la recopilación de datos mediante experimentos controlados u observaciones, el análisis de resultados y la interpretación para confirmar o refutar la hipótesis propuesta (Hernandez et al., 2014).

El método utilizado en el presente estudio es el **científico**, ya que se fundamenta en un proceso de observación, recolección, análisis y validación de datos, a fin de obtener conclusiones objetivas y verificables sobre el estado estructural del pavimento en estudio.

3.6. Población y muestra

3.6.1. Población

Es el conjunto de individuos, objetos o elementos que cumplen con ciertas características específicas. Esta población es la base sobre la cual se pretende hacer inferencias y generalizaciones, ya que los resultados de la muestra seleccionada se aplican a ella. Dependiendo del enfoque del estudio, la población puede ser amplia, como toda una comunidad, o más específica, como un grupo de trabajadores de una empresa o estudiantes de una institución (Hernandez et al., 2014).

La población está conformada por la totalidad del pavimento flexible existente en la vía Juliaca – Caracoto, que son aproximadamente de 4 km.

3.6.2. Muestra

La muestra del estudio aplicado se refiere al conjunto de individuos, objetos o unidades seleccionados de una población que serán objeto de análisis en el estudio. Esta

muestra debe ser representativa de la población general, para que los resultados puedan ser generalizados con precisión a situaciones similares. La selección de la muestra se realiza a través de técnicas de muestreo que aseguran que los elementos incluidos reflejen las características clave de la población, ya sea de manera aleatoria, estratificada, por conveniencia, entre otras (Hernandez et al., 2014).

La muestra de estudio abarca desde el óvalo ubicado en la ciudad Universitaria, para evaluar las deflexiones de la vía, se establecieron estaciones de medición cada 160 metros, comenzando en el kilómetro 1319+950 y extendiéndose hasta el kilómetro 1323+700, utilizando la Viga Benkelman. Además, para la toma de muestras de base y subbase, se realizaron tres calicatas en los kilómetros 1321+000, 1322+100 y 1323+200.

3.7. Técnicas e instrumentos

3.7.1. Técnicas

Son los métodos y procedimientos utilizados para recolectar datos en una investigación con el fin de resolver problemas prácticos. Estas técnicas pueden incluir encuestas, entrevistas, observación directa, experimentos, análisis de documentos o el uso de herramientas estadísticas, entre otras. La elección de las técnicas depende del tipo de estudio, y la naturaleza de la problemática que se busca abordar. (Creswell, 2014).

Para este estudio se emplearán dos técnicas:

- **La observación directa:** La observación directa se aplicó durante la inspección del estado superficial y estructural del pavimento, permitiendo identificar visualmente posibles fallas y seleccionar los puntos de muestreo.
- **La experimentación técnica:** consistirá en la aplicación de procedimientos normalizados de campo y laboratorio para medir las deflexiones estructurales del pavimento y analizar las propiedades de los materiales granulares. Esta técnica busca generar datos cuantitativos y verificables para la evaluación estructural de la vía.

3.7.2. Instrumentos

Los instrumentos del estudio aplicado son las herramientas o herramientas técnicas utilizadas para recopilar datos de manera sistemática y objetiva durante la investigación. Estos instrumentos pueden incluir cuestionarios, encuestas, guías de entrevistas, protocolos de observación, test estandarizados o software de análisis de datos, entre otros, dependiendo de la naturaleza del estudio (Hernandez et al., 2014).

Los principales instrumentos que se emplearán en el estudio son:

1. Viga Benkelman.

Instrumento especializado que aplica una carga de un vehículo y mide las deflexiones que ocurren en la superficie. Este equipo proporciona datos sobre la rigidez y capacidad estructural del pavimento en diferentes puntos de la vía.

2. Formulario de inspección visual del pavimento.

Herramienta estructurada que servirá para registrar de manera sistemática los tipos de fallas visibles encontradas en el tramo en estudio.

3. Equipos de laboratorio para análisis de materiales granulares.

Se utilizarán instrumentos de laboratorio para la evaluación de los materiales granulares extraídos de la vía, incluyendo:

- Tamices normalizados (para el análisis granulométrico)
- Molde y martillo Proctor (para determinar densidad máxima y humedad óptima)
- Equipo de ensayo CBR
- Balanza electrónica, horno, recipiente de compactación, entre otros

4. Cámara fotográfica o móvil.

Para registrar visualmente el estado de los tramos analizados y complementar el informe técnico con evidencia gráfica del deterioro del pavimento y el proceso de evaluación.



3.8. Plan de recolección y procesamiento de datos

3.8.1. Desarrollo del plan de recolección de datos

Con el propósito de alcanzar los objetivos planteados y asegurar un desarrollo eficiente del estudio, la investigación fue organizada en fases sucesivas. En los apartados siguientes se expone de manera detallada cada una de estas etapas, describiendo su finalidad y el procedimiento seguido en cada caso.

Fase I: Recopilación de la información.

Esta fase comprende la recopilación, sistematización y análisis de información que servirá como sustento teórico y metodológico para el desarrollo de la investigación. Para tal fin, se realiza una búsqueda exhaustiva de fuentes académicas y técnicas, entre ellas tesis de grado y posgrado, artículos científicos publicados en revistas indexadas, libros especializados en el área de estudio, así como normas, manuales y guías emitidas por organismos competentes. La revisión bibliográfica no solo permite identificar los fundamentos conceptuales y empíricos relacionados con la problemática, sino también conocer los enfoques metodológicos empleados en investigaciones anteriores, reconocer las tendencias y brechas en los estudios realizados y contrastar los hallazgos y limitaciones reportados por otros autores. Todo ello contribuye a establecer un marco de referencia sólido que oriente la formulación de la investigación, sustente la validez del estudio y facilite la comparación de los resultados obtenidos con los antecedentes existentes.

Fase II: Localización de la vía.

Figura 4

Localización de la vía Juliaca - Caracoto



Nota. Vía Juliaca - Caracoto, adaptado de Google Maps.

Figura 5

Localización de la vía Juliaca - Caracoto



La vía Juliaca – Caracoto, que anteriormente operaba en ambos sentidos, ha sido modificada para funcionar en un solo sentido, además, la estructura general del pavimento flexible tiene una antigüedad aproximadamente de 40 a 50 años.

Fase III: Ubicación de las calicatas.

Figura 6

Calicata N°1, ubicada en el km 1321+000



Se muestra el trazado de la calicata N°1 ubicada en el kilómetro 1321+000, para realizar la excavación y posteriormente el análisis de las muestras de las capas presentes.

Figura 7

Calicata N°2, ubicada en el km 1322+100



Se muestra el trazado de la calicata N°2 ubicada en el kilómetro 1322+100, para realizar la excavación y posteriormente el análisis de las muestras de las capas presentes.

Figura 8

Calicata N°3, ubicada en el km 1323+200



Se muestra el trazado de la calicata N°3 ubicada en el kilómetro 1323+200, para realizar la excavación y posteriormente el análisis de las muestras de las capas presentes.

Los ensayos realizados para determinar la calidad de los materiales de la base y la subbase granular de la vía Juliaca – Caracoto, como se pudo observar, fueron obtenidos de la berma con fines de estudio, y no del centro del pavimento. Esto podría generar variaciones en los resultados, ya que estos materiales suelen estar contaminados con el paso del tiempo.

Fase IV: Ensayos realizados.

En esta fase, se realizaron diversas pruebas y ensayos dirigidos a la evaluación del pavimento flexible. El enfoque principal fue asegurar la calidad mediante la ejecución de pruebas específicas. A continuación, detallamos los procedimientos llevados a cabo durante esta etapa:

✚ Ensayo de granulometría.

La prueba de granulometría permite determinar la distribución de tamaños de las partículas de un suelo o material granular, lo cual es fundamental para verificar su idoneidad en capas de pavimento, garantizando una adecuada compactación y estabilidad. Según el Manual de Carreteras EG-2013, este ensayo debe realizarse siguiendo las normas ASTM D422 y AASHTO T-27 para el análisis por tamizado, y AASHTO T-88 para el análisis de sedimentos en fracciones finas:

Procedimiento:

- Se debe obtener una muestra representativa del material granular, de acuerdo con la Norma MTC E-105, asegurando que el volumen sea suficiente para el ensayo (generalmente entre 500 g y 5 kg, según el tamaño máximo de partícula).
- Para obtener un peso constante, la muestra debe secarse en un horno a una temperatura de 105 ± 5 °C, con el fin de eliminar la humedad que pueda alterar los resultados.
- El material seco se coloca en una columna de tamices normalizados, ordenados de mayor a menor abertura, según lo especificado en el EG-2013 para materiales de base y subbase. Los tamices más utilizados son:
 - Tamiz de 50 mm. (2")
 - Tamiz de 25 mm. (1")
 - Tamiz de 9.5 mm. (3/8")
 - Tamiz de 4.75 mm. (Nº 4)
 - Tamiz de 2.0 mm. (Nº 10)
 - Tamiz de 425 µm. (Nº 40)
 - Tamiz de 75 µm. (Nº 200).
- La muestra se coloca en el tamiz superior y se somete a un proceso de tamizado mecánico o manual durante un tiempo mínimo de 10 minutos, hasta lograr una separación adecuada de partículas.

- El material retenido en cada tamiz se pesa cuidadosamente y se registra en hojas de cálculo, verificando que la suma de los pesos coincida con el peso inicial de la muestra con una tolerancia máxima de $\pm 0.3\%$.
- Con los datos obtenidos se calcula el porcentaje retenido y el porcentaje que pasa en cada tamiz, y posteriormente se elabora la curva granulométrica.
- Finalmente, los resultados se comparan con las especificaciones granulométricas establecidas en el Manual EG-2013 para verificar si el material cumple con los requisitos de base o subbase granular.

✚ **Ensayo de índice de plasticidad.**

Al identificar el contenido de humedad en el que un suelo pasa de un estado plástico a uno líquido (LL) y de un estado plástico a uno semisólido (LP), la prueba de límites de Atterberg permite determinar las características de consistencia de los suelos finos. Según el Manual de Carreteras EG-2013, el índice de plasticidad (IP), una medida clave para evaluar la calidad de los materiales de base y subbase, se representa mediante la diferencia entre estos dos valores.

Procedimiento:

- Se obtiene una muestra representativa del suelo, previamente pasada por el tamiz de 0.425 mm (N° 40), de acuerdo con la Norma MTC E-105.

- **Límite líquido:**

- Se coloca una porción de la muestra en la copa del aparato de Casagrande.
- Se hace un surco en el centro con la cuchilla estandarizada.
- La copa se deja caer a un ritmo de dos golpes por segundo desde una altura de 1 cm hasta que las dos mitades de la ranura se unen a lo largo de una distancia de 12 mm.
- Se registran los golpes requeridos y la humedad de la muestra.



- Se repite el procedimiento con diferentes humedades para obtener una curva de flujo, y el LL se determina como el contenido de humedad correspondiente a 25 golpes.

- **Límite plástico:**
 - Con otra porción de la muestra, se amasa hasta lograr una pasta homogénea.
 - Se forman rollitos cilíndricos de 3 mm de diámetro sobre una superficie de vidrio o porcelana.
 - El procedimiento se repite hasta que los rollitos se desmoronen antes de alcanzar los 3 mm de diámetro.
 - Se determina la humedad de la muestra en ese punto, valor que corresponde al límite plástico (LP).

- Índice de plasticidad:

$$IP = LL - LP$$

- Finalmente, los resultados obtenidos se contrastan con las especificaciones del Manual EG-2013, que establece como requisito que el índice de plasticidad no debe exceder de 4 % para la subbase granular y de 2 % para la base granular.

Ensayo de Proctor.

El ensayo de compactación Proctor permite determinar la relación entre el OCH y la MDS de un suelo o material granular, con el fin de establecer la humedad óptima de compactación y la densidad máxima seca. Estos parámetros son fundamentales para calcular el grado de compactación en campo y verificar si cumple con los requisitos del Manual EG-2013.

Procedimiento:

- Se obtiene una muestra representativa de material, previamente pasada por el tamiz de 3/4" (19 mm), de acuerdo con la Norma MTC E-105.
- La muestra se seca al aire y luego se humedece gradualmente con diferentes contenidos de agua para realizar varias pruebas.
- El material se coloca en un molde cilíndrico metálico de 4" (101.6 mm de diámetro y 116.4 mm de altura) con un volumen aproximado de 944 cm³, provisto de collar de extensión y base removible.
- El suelo se compacta en el molde en 3 capas de igual espesor, aplicando en cada capa 25 golpes uniformemente distribuidos con un martillo de 2.5 kg que cae desde una altura de 30.5 cm (Proctor estándar).
- Para el caso de Proctor modificado, se emplea un martillo de 4.5 kg con caída de 45.7 cm, compactando en 5 capas con 25 golpes cada una.
- Una vez compactada la muestra, se retira el collar, se enrase el material y se pesa el molde con el material compactado para calcular la densidad húmeda.
- Para determinar el contenido de humedad del material compactado, se obtiene una muestra.
- Para cada punto de prueba, la densidad seca se calcula utilizando la densidad húmeda y el contenido de humedad.
- Se repite el procedimiento con distintas humedades, obteniendo una curva de compactación (humedad vs. densidad seca).
- El vértice de la curva significa la densidad seca máxima (γ_{dmax}), y el contenido de humedad en esta unión se denomina humedad ideal (w_{opt}).

✚ Ensayo CBR.

El ensayo CBR es una prueba de laboratorio que permite determinar la capacidad de soporte de los suelos y materiales granulares empleados en las capas de pavimentos. Este índice refleja la resistencia del material frente a la penetración de



un pistón estándar y se utiliza para evaluar si cumple con las especificaciones de diseño estructural del Manual de Carreteras EG-2013.

Procedimiento:

- Se obtiene una muestra del material, la cual debe ser secada al aire y pasada por el tamiz de 19 mm, de acuerdo con la Norma MTC E-105.
- La muestra se humedece hasta alcanzar la óptima humedad determinada previamente mediante el ensayo Proctor (MTC E-115) y se compacta en un molde metálico de 152 mm de diámetro y 178 mm de altura, en capas, aplicando el número de golpes requerido según la energía de compactación especificada.
- Una vez compactada, la superficie del espécimen se nivela cuidadosamente y se coloca un disco de sobrecarga metálico.
- La muestra puede ser ensayada en estado natural o después de un período de inmersión en agua de 96 horas para simular condiciones de saturación.
- El molde con la muestra se coloca en la máquina de carga del ensayo CBR, donde se aplica una penetración con pistón de 50 mm de diámetro a una velocidad constante de 1.27 mm/minuto.
- Se registran las lecturas de carga correspondientes a penetraciones de 0.0; 0.625; 1.25; 2.5; 5.0; 7.5; 10.0 y 12.5 mm.
- El valor CBR se determina como el cociente entre la carga unitaria obtenida en el ensayo y la carga estándar establecida por la norma, considerando principalmente las penetraciones de 2.5 mm y 5.0 mm.
- El valor reportado corresponde al mayor entre los obtenidos en dichas penetraciones, y se expresa como porcentaje de CBR.
- Finalmente, se comparan los resultados con los límites establecidos en el Manual de Carreteras EG-2013, donde para la capa de subbase granular se requiere un CBR mínimo de 40%, mientras que para la capa de base granular se exige un CBR mínimo de 80%.

✚ Ensayo de la Viga de Benkelman (MTC E 1002)

Antes de iniciar la evaluación mediante **Deflectometría**, es fundamental verificar las condiciones ambientales para garantizar la ejecución del ensayo en temperaturas adecuadas. Esto permite obtener mediciones precisas y corregir posibles variaciones debidas a la temperatura del pavimento.

Para la correcta aplicación del Método de la Viga Benkelman, se deben cumplir los siguientes pasos:

1. Inspección del vehículo de carga:

- Verificar que el camión volquete tándem cumpla con las especificaciones reglamentarias.
- Inspeccionar la presión de las llantas.
- Confirmar que el peso en las llantas traseras sea de 8.2 toneladas.

2. Montaje del equipo de medición:

- Ensamblar la Viga Benkelman de un solo brazo y posicionarla adecuadamente en la parte trasera del volquete.

3. Toma de lecturas de deflexión:

- Realizar la primera lectura de las deflexiones iniciales.
- Paralelamente, registrar la temperatura en grados centígrados para aplicar la corrección por temperatura.
- Las deflexiones obtenidas se documentaron en la hoja de registro de datos, adjuntando el panel fotográfico.

Etapas 3: Aforo Vehicular

Con el propósito de obtención de la deflexión admisible, se realiza un aforo vehicular.

- Se realizó el conteo vehicular en la vía Juliaca - Caracoto.

Figura 9

Conteo vehicular



Se muestra la realización del conteo de los vehículos que pasan tanto de vuelta (ingreso a Juliaca) de la vía Juliaca - Caracoto.

Figura 10

Plantilla del aforo vehicular

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS				MICRO	BUS				CAMION				SEMI TRAYLER			TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP	PANEL	RURAL Camal			2 E	3 E	3 E	4 E	254252	252	354352	353	2T2	2T2	3T2	3T2					
06:00	4	2	1	0	3	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
06:10	3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
06:10	4	1	0	1	2	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	15
06:20	5	2	1	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	15
06:20	5	1	1	1	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
06:30	4	1	1	1	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	17
06:30	2	2	1	1	2	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
06:40	3	1	2	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12
06:40	2	2	2	1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	12
06:50	4	2	2	1	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	15
06:50	4	1	1	0	2	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	13
07:00	2	1	2	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
07:00	5	3	0	0	1	2	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
07:10	3	1	1	1	3	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
07:10	5	1	2	1	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	16
07:20	4	2	1	1	2	2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	16
07:20	4	3	2	0	4	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
07:30	5	2	1	2	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
07:30	3	3	2	0	4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
07:40	4	3	1	0	2	2	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	15
07:40	2	2	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	12	
07:50	2	1	1	1	2	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
07:50	2	2	1	1	3	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
08:00	3	2	1	1	2	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
08:00	3	3	2	1	3	2	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
08:10	3	2	1	1	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	14
08:10	4	1	2	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
08:20	5	2	0	1	3	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	16
08:20	1	1	2	0	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
08:20	2	1	1	1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
08:30	5	2	2	0	2	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	16
08:40	3	3	2	1	2	2	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	18
08:40	5	1	1	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
08:50	4	2	1	1	3	2	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	17
08:50	5	1	2	1	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
09:00	5	3	1	2	2	2	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	19
09:00	5	3	1	2	2	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
09:10	2	2	2	0	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
09:10	3	1	1	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	12
09:20	5	1	2	0	2	1	2	1	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	12
09:20	5	1	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	16
09:30	6	1	1	1	3	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17
09:30	3	2	1	1	2	2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	14
09:40	3	1	1	2	3	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	16
09:40	4	2	1	1	4	2	2	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	21

De acuerdo con el conteo de aforo vehicular se obtuvo un ESAL de: **2641771**

❖ Cálculo del radio de curvatura

Con el objetivo de llevar a cabo un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos en la evaluación estructural, se procederá a determinar el Radio de Curvatura utilizando la siguiente ecuación:

$$RC = 3125/(D'0 - D'25) \text{ expresado en m}$$

Donde:

- D0' representa la deflexión corregida en el punto 0.
- D25' corresponde a la deflexión corregida en el punto 25.

❖ Cálculo de deflexiones características

Para evaluar el pavimento en estudio, el cálculo y análisis de la deflexión característica requiere el uso de parámetros clave como la deflexión media, el coeficiente de variación y la desviación estándar. Es importante destacar que la deflexión característica se expresa mediante un valor único para todo el tramo analizado.

Cálculo de la Deflexión Media

La deflexión media se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

Donde:

N = número de medidas

Di = deflexiones desde i=1 a i=n

D= deflexión medida de n deflexiones

Cálculo de la Desviación Estándar

La desviación estándar se determina mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - D)^2}{n - 1}}, \text{ para } n > 30$$



Cálculo del Coeficiente de Variación

El coeficiente de variación se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$cv = \frac{\sigma}{D} * 10$$

Donde:

C.V = coeficiente de variación

D = deflexión media

Cálculo de la Deflexión Característica

La deflexión característica (D_c) se determina utilizando la siguiente expresión matemática:

$$D_c = D + t * \sigma$$

Donde:

- D_c : Es la deflexión característica.
- D: Es la deflexión promedio de las mediciones individuales de D_0 .
- t: Es un coeficiente que muestra qué proporción del área total es probable que presente deflexiones mayores que la deflexión típica (1.645).
- σ : Es la desviación estándar de las deflexiones registradas.

❖ Cálculo de deflexiones admisibles

La deflexión admisible corresponde al valor de deflexión que el pavimento alcanzará al final de su vida útil de diseño. Este cálculo considera la carga acumulada durante el periodo de servicio, expresada en términos del número de ejes equivalentes acumulados (N).

$$D_a = \left(\frac{1.15}{N^{18}}\right)^{\frac{1}{4}}$$

Donde:

- D_a : es la deflexión admisible en milímetros (mm), que es el límite máximo de deformación permitido para el pavimento.

- N18: representa el número de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 toneladas.

❖ **Cálculo de la deflexión crítica**

$$D_{cr} = \left(\frac{1.90}{N18}\right)^{\frac{1}{5.3}}$$

Figura 11

Comportamiento de la subrasante y del pavimento según las deflexiones

Tipo de Deflexión	Comportamiento de la subrasante	Comportamiento del pavimento
Tipo I	Bueno $D_c < D_a$	Bueno $R_c > 100$
Tipo II	Malo $D_c > D_a$	Bueno $R_c > 100$
Tipo III	Bueno $D_c < D_a$	Malo $R_c < 100$
Tipo IV	Malo $D_c > D_a$	Malo $R_c < 100$

Nota. Tomada del MTC (1983).

3.8.2. Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de los datos se llevará a cabo utilizando una serie de herramientas, como tablas y gráficos. Los datos se obtendrán mediante ensayos realizados de acuerdo con técnicas fiables que permitan la recopilación metódica de información.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados obtenidos

En el presente estudio se presentan los resultados sobre la evaluación estructural del pavimento flexible, en el cual se realizará mediante la medición de deflexiones máximas y la calidad en las capas granulares.

Los resultados obtenidos fueron analizados con detenimiento y posteriormente organizados en función de los objetivos planteados, los cuales se desarrollan en las secciones siguientes siguiendo una secuencia lógica que facilita la comprensión y coherencia del estudio:

- ✚ Se compararon la calidad de los materiales de la capa de subbase granular en relación al manual EG-2013.
- ✚ Comparamos la calidad de los materiales de la capa de base granular en relación al manual EG-2013.
- ✚ Finalmente, evaluamos las deflexiones máximas, radio de curvatura y deflexiones admisibles de la estructura del pavimento flexible.

A continuación, se exponen los resultados derivados de esta investigación.

4.1.1. Calidad de los materiales de la capa de subbase granular en relación al manual EG-2013

a) Análisis granulométrico de la capa de subbase granular

Tabla 4

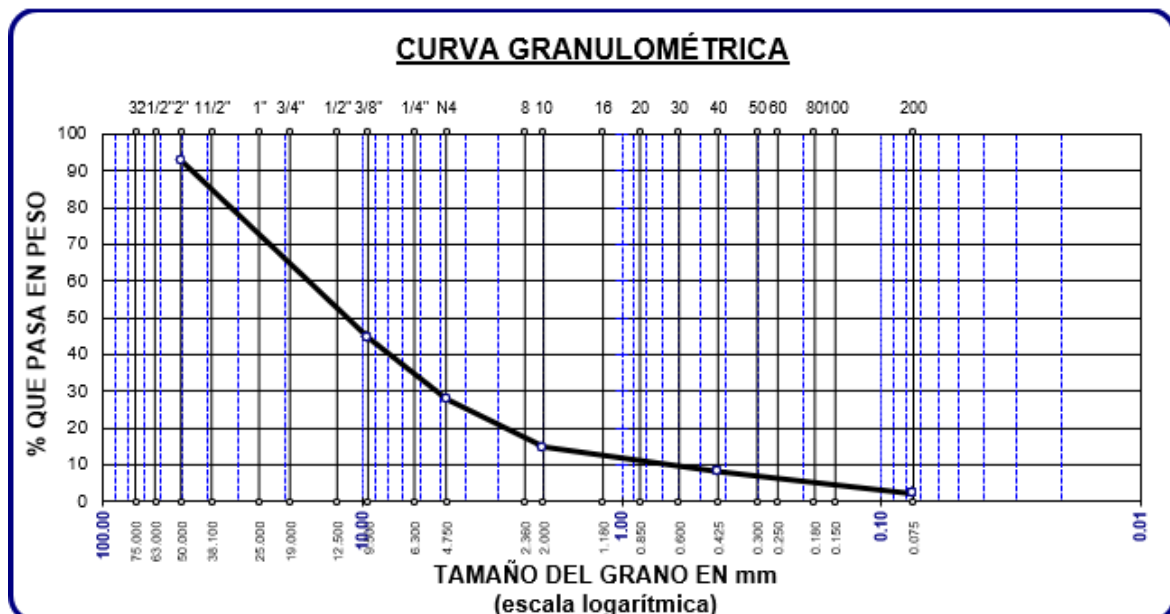
Análisis granulométrico - M1

Tamices ASTM	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% Que Pasa	Requerimiento de la EG-2013 Gradación "A"
2"	184.26	7.37	7.37	92.63	100
1"	-	-	-	-	-
3/8"	1206.21	48.25	55.62	44.38	30 - 65
No 4	416.53	16.66	72.28	27.72	25 - 55
No 10	325.74	13.03	85.31	14.69	15 - 40
No 40	167.99	6.72	92.03	7.97	8 - 20
No 200	151.22	6.05	98.08	1.92	2 - 8
Cumplimiento de gradación				No cumple	

Nota: Datos procesados con base en los análisis de laboratorio

Figura 12

Análisis granulométrico - M1



Se muestra la gradación granulométrica de la subbase granular del pavimento flexible, mostrando que dicha gradación no cumple con lo especificado por el manual EG-2013.

Tabla 5

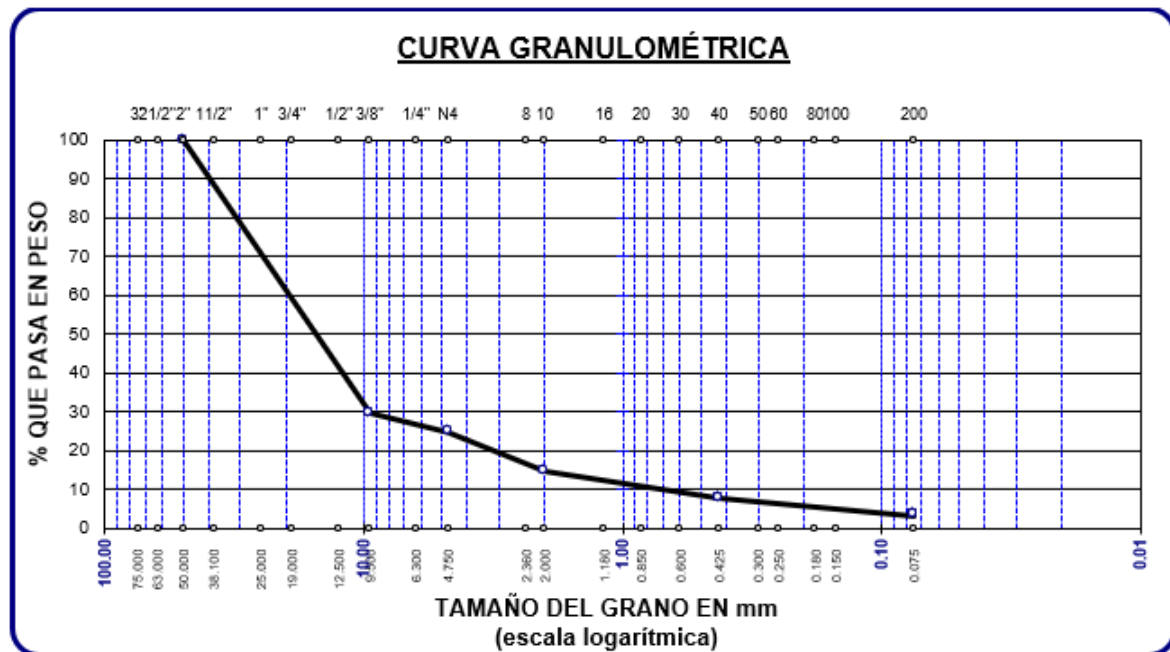
Análisis granulométrico – M2

Tamices ASTM	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% Que Pasa	Requerimiento de la EG-2013 Gradación "A"
2"	1.00	0.04	0.04	99.96	100
1"	-	-	-	-	-
3/8"	1754.85	70.19	70.23	29.77	30 - 65
No 4	123.68	4.95	75.18	24.82	25 - 55
No 10	251.26	10.05	85.23	14.77	15 - 40
No 40	172.77	6.91	92.14	7.86	8 - 20
No 200	115.49	4.62	96.76	3.24	2 - 8
Cumplimiento de gradación				No cumple	

Nota: Datos procesados con base en los análisis de laboratorio.

Figura 13

Análisis granulométrico – M2



La curva granulométrica obtenida para la subbase granular del pavimento flexible evidencia que el material analizado no se encuentra dentro de los rangos establecidos por la normativa vigente del Manual de Carreteras EG-2013.

Tabla 6

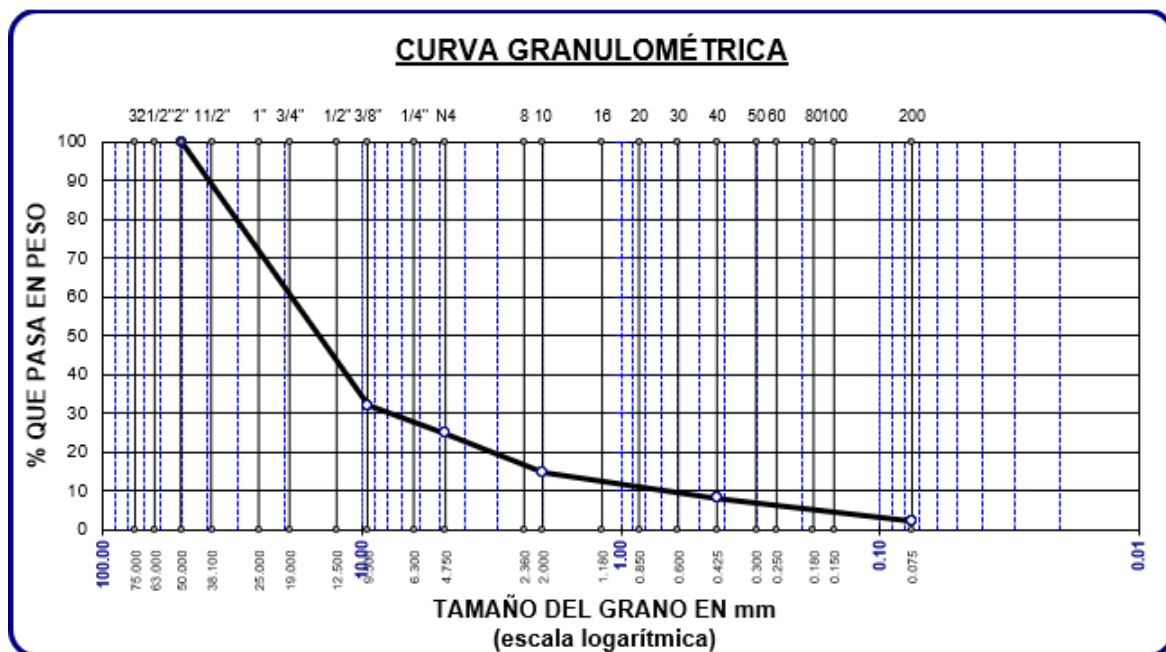
Análisis granulométrico – M3

Tamices ASTM	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% Que Pasa	Requerimiento de la EG-2013 Gradación "A"
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1"	-	-	-	-	-
3/8"	1693.61	67.74	67.74	32.26	30 - 65
No 4	185.42	7.42	75.16	24.84	25 - 55
No 10	247.63	9.91	85.07	14.93	15 - 40
No 40	167.59	6.70	91.77	8.23	8 - 20
No 200	145.49	5.82	97.59	2.41	2 - 8
Cumplimiento de gradación				No cumple	

Nota: Datos procesados con base en los análisis de laboratorio.

Figura 14

Análisis granulométrico – M3



La curva granulométrica obtenida para la subbase granular del pavimento flexible evidencia que el material analizado no se encuentra dentro de los rangos establecidos por la normativa vigente del Manual de Carreteras EG-2013.

b) Límite de consistencia de la subbase granular

Tabla 7

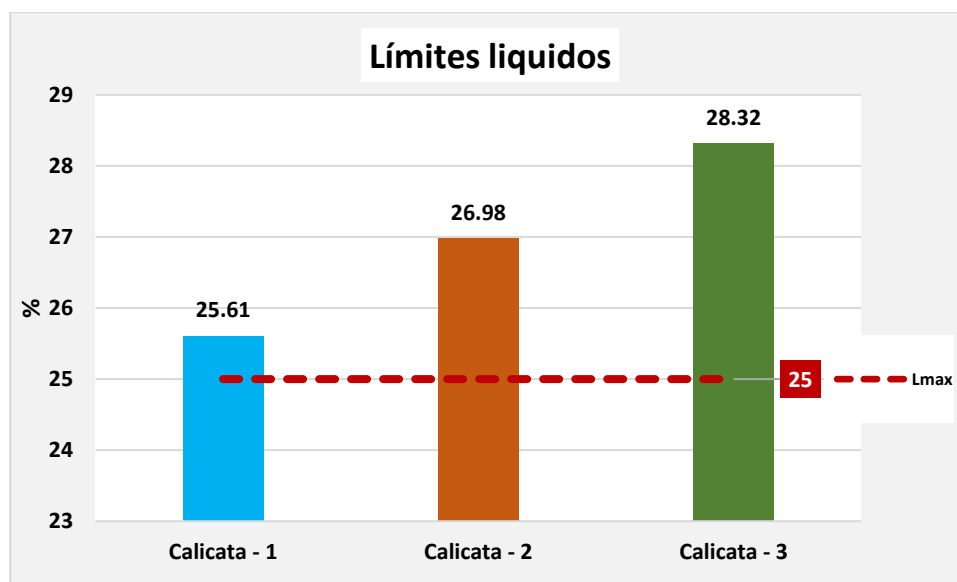
Índice de plasticidad de la subbase

Ítem	Calicata - 1	Calicata - 2	Calicata - 3	Requerimiento de la EG-2013
LL (%)	25.61	26.98	28.32	≥ 3000 msnm
LP (%)	19.65	19.87	20.48	LL – 25% máx.
IP (%)	5.96	7.11	7.84	IP – 4% máx.
Cumplimiento	No cumple	No cumple	No cumple	

Se muestran los valores del IP de la subbase, donde se muestra el nivel de cumplimiento de las tres calicatas evaluadas, donde las 3 muestras evaluadas no cumplen con los requerimientos del manual EG-2013.

Figura 15

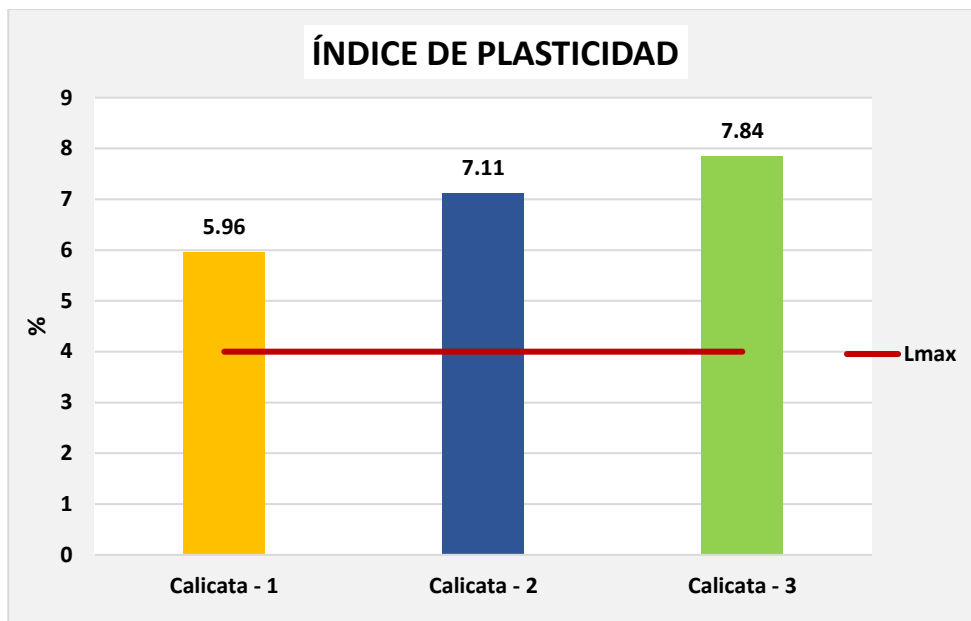
Límites líquidos de la subbase



Se examinaron detalladamente los valores de los tres límites líquidos de la subbase, evidenciando que estos superan el límite líquido (LL) establecido por el MTC.

Figura 16

Índice de plasticidad de la subbase



Se analizaron en detalle los valores de los tres índices plásticos de la subbase, evidenciando que estos superan el límite máximo del 4% establecido por el MTC.

c) Grado de compactación de la subbase granular.

Tabla 8

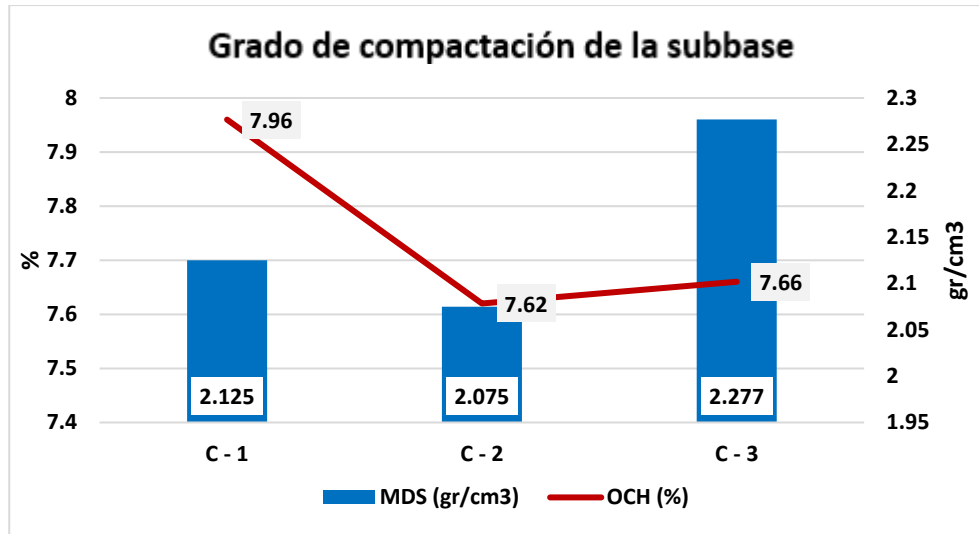
Grado de compactación de la subbase granular

Grado de compactación – Subbase granular		
Calicata	MDS (gr/cm3)	OCH (%)
C - 1	2.125	7.96
C - 2	2.075	7.62
C - 3	2.277	7.66

Se muestran los valores correspondientes al grado de compactación específicamente a la MDS y al OCH obtenidos en las muestras de la subbase granular.

Figura 17

Grado de compactación de la subbase granular



Se realizó un examen detallado de los valores de grado de compactación de la subbase granular, observándose variaciones significativas entre las tres muestras analizadas.

d) CBR de la subbase granular.

Tabla 9

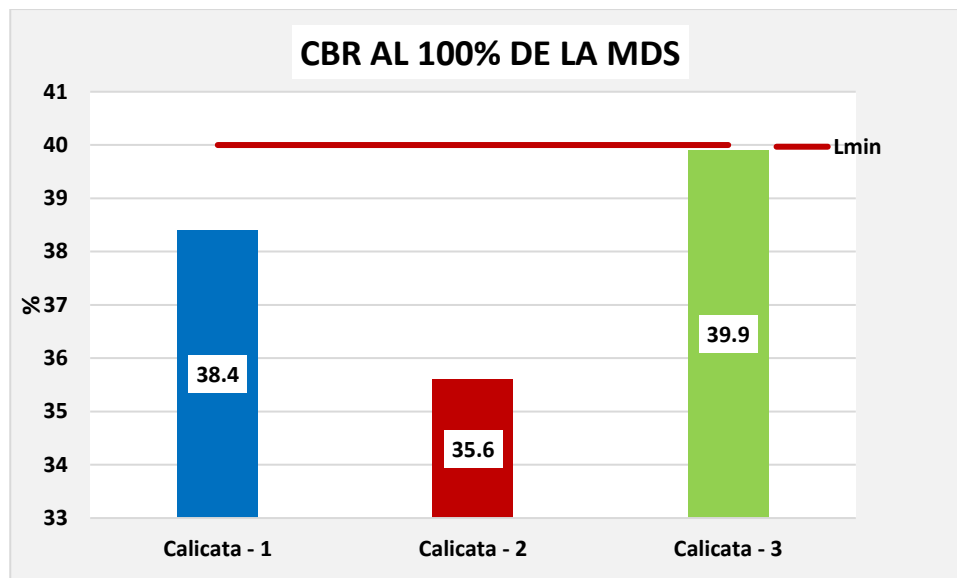
CBR de las muestras de la capa de subbase

CBR de la subbase granular				
CBR %	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra - 3	Requerimiento de la EG-2013
CBR al 100%	38.40	35.60	39.90	≥ 3000 msnm 40 % mín.
CBR al 95%	25.30	23.40	26.20	
Cumplimiento	No cumple	No cumple	No cumple	

Los resultados derivados del CBR de la subbase granular evidencian que las muestras evaluadas no alcanzan el valor mínimo exigido por la EG-2013, el cual establece un 80% como requisito. En la imagen presentada se observa que el CBR al 100% de compactación se encuentra por debajo de dicho límite normativo, lo que indica un incumplimiento de las especificaciones técnicas.

Figura 18

CBR de las muestras de la capa de subbase



Se muestran los valores del CBR de la subbase obtenidos durante la evaluación, los cuales presentan variaciones significativas entre las muestras analizadas y, además, no cumplen con el valor mínimo requerido del 40%.

4.1.2. Calidad de los materiales de la capa de base granular en relación al manual EG-2013

a) Análisis granulométrico de la capa de base granular

Tabla 10

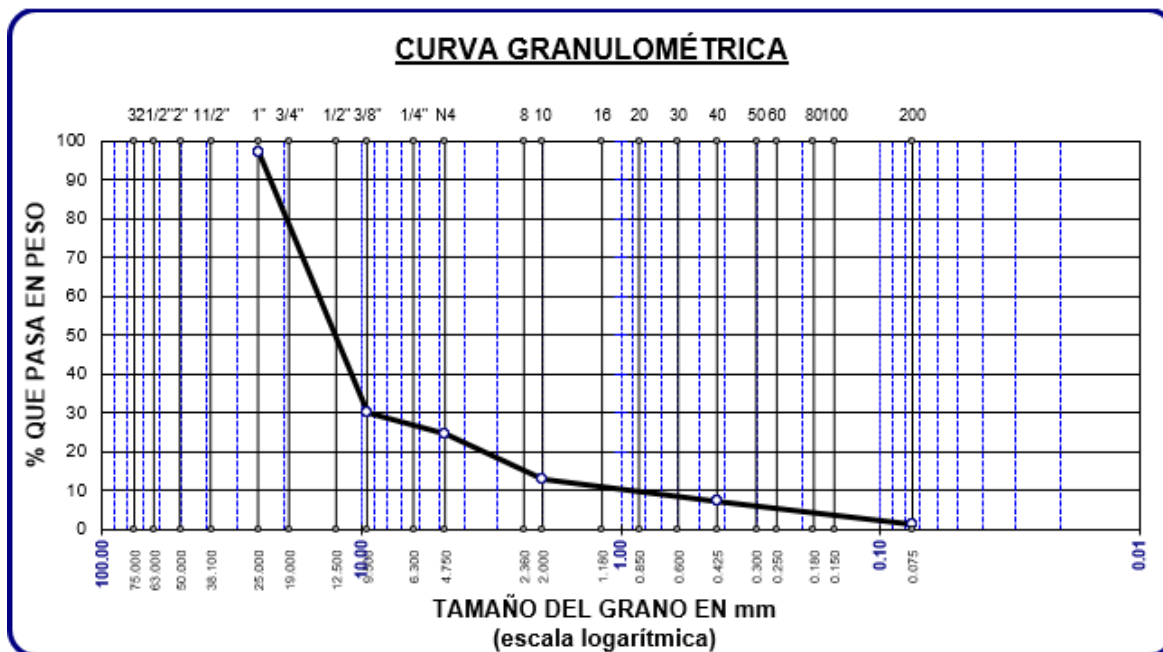
Análisis granulométrico - M1

Tamices ASTM	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% Que Pasa	Requerimiento de la EG-2013 Gradación "A"
2"	65.48	2.62	2.62	97.38	100
1"	-	-	-	-	-
3/8"	1681.03	67.24	69.86	30.14	30 - 65
No 4	136.87	5.47	75.34	24.66	25 - 55
No 10	292.64	11.71	87.04	12.96	15 - 40
No 40	143.49	5.74	92.78	7.22	8 - 20
No 200	147.63	5.91	98.69	1.31	2 - 8
Cumplimiento de gradación				No cumple	

Nota: Datos procesados con base en los análisis de laboratorio.

Figura 19

Análisis granulométrico - M1



Se muestra la gradación granulométrica de la base granular del pavimento flexible, mostrando que dicha gradación no cumple con lo especificado por el manual EG-2013.

Tabla 11

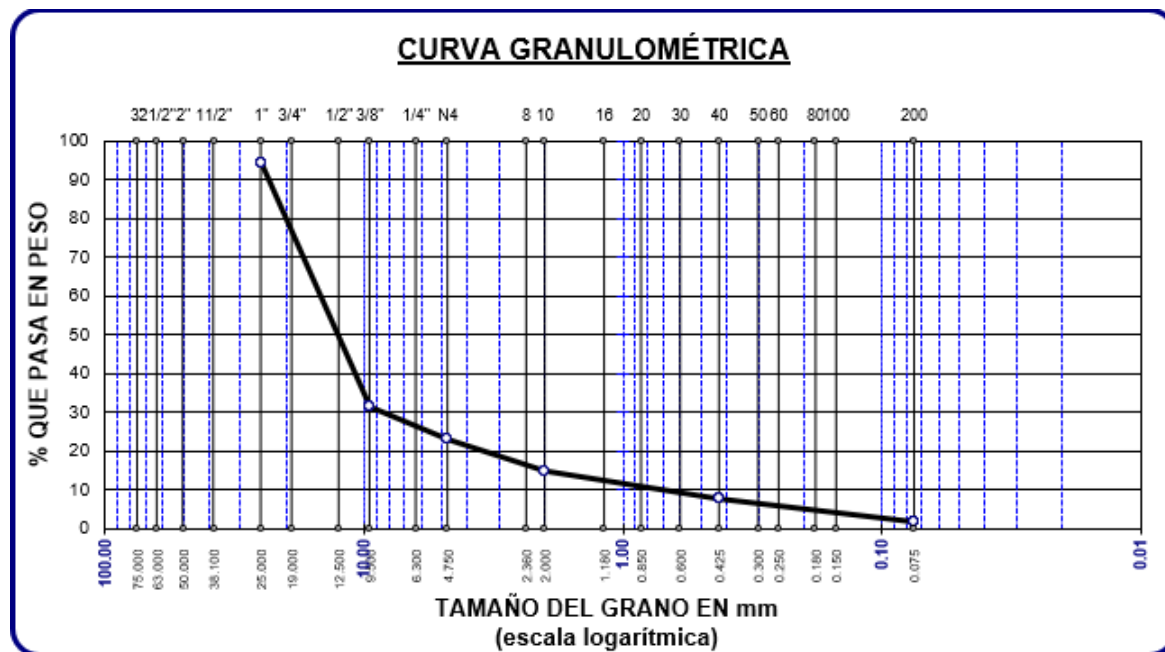
Análisis granulométrico – M2

Tamices ASTM	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% Que Pasa	Requerimiento de la EG-2013 Gradación "A"
2"	142.96	5.72	5.72	94.28	100
1"	-	-	-	-	-
3/8"	1572.55	62.90	68.62	31.38	30 - 65
No 4	209.87	8.39	77.02	22.98	25 - 55
No 10	203.72	8.15	85.16	14.84	15 - 40
No 40	179.37	7.17	92.34	7.66	8 - 20
No 200	148.19	5.93	98.27	1.73	2 - 8
Cumplimiento de gradación				No cumple	

Nota: Datos procesados con base en los análisis de laboratorio.

Figura 20

Análisis granulométrico – M2



La curva granulométrica obtenida para la base granular del pavimento flexible evidencia que el material analizado no se encuentra dentro de los rangos establecidos por la normativa vigente del Manual de Carreteras EG-2013.

Tabla 12

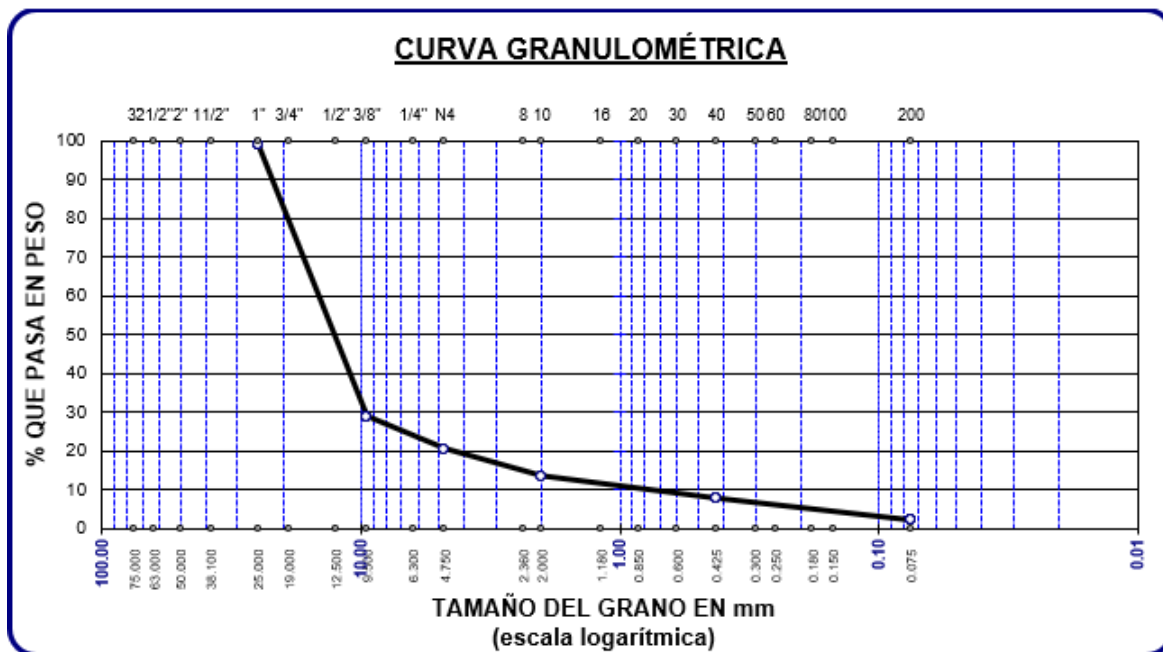
Análisis granulométrico – M3

Tamices ASTM	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% Que Pasa	Requerimiento de la EG-2013 Gradación "A"
2"	27.30	1.09	1.09	98.91	100
1"	-	-	-	-	-
3/8"	1749.54	69.98	71.07	28.93	30 - 65
No 4	208.73	8.35	79.42	20.58	25 - 55
No 10	176.36	7.05	86.48	13.52	15 - 40
No 40	143.65	5.75	92.22	7.78	8 - 20
No 200	141.28	5.65	97.87	2.13	2 - 8
Cumplimiento de gradación				No cumple	

Nota: Datos procesados con base en los análisis de laboratorio.

Figura 21

Análisis granulométrico – M3



La curva granulométrica obtenida para la base granular del pavimento flexible evidencia que el material analizado no se encuentra dentro de los rangos establecidos por la normativa vigente del Manual de Carreteras EG-2013.

b) Límite de consistencia de la base granular

Tabla 13

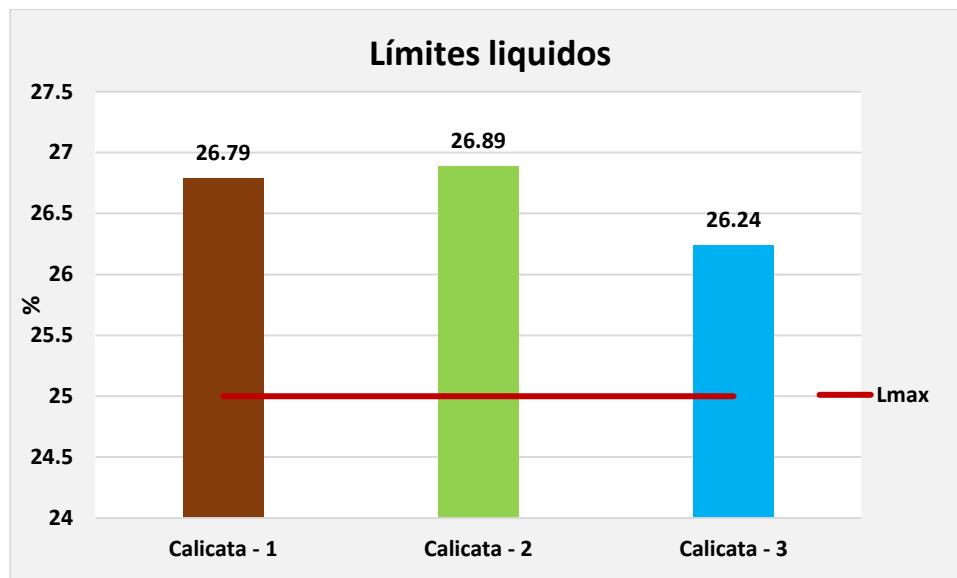
Índice de plasticidad de la base

Ítem	Calicata - 1	Calicata - 2	Calicata - 3	Requerimiento de la EG-2013
LL (%)	26.79	26.89	26.24	≥ 3000 msnm
LP (%)	23.33	24.70	23.29	LL – 25% máx.
IP (%)	3.46	2.19	2.95	IP – 2% máx.
Cumplimiento	No cumple	No cumple	No cumple	

Se muestran los valores del índice de plasticidad de la base, donde se muestra el nivel de cumplimiento de las tres calicatas evaluadas, donde las 3 muestras evaluadas no cumplen con los requerimientos del manual EG-2013.

Figura 22

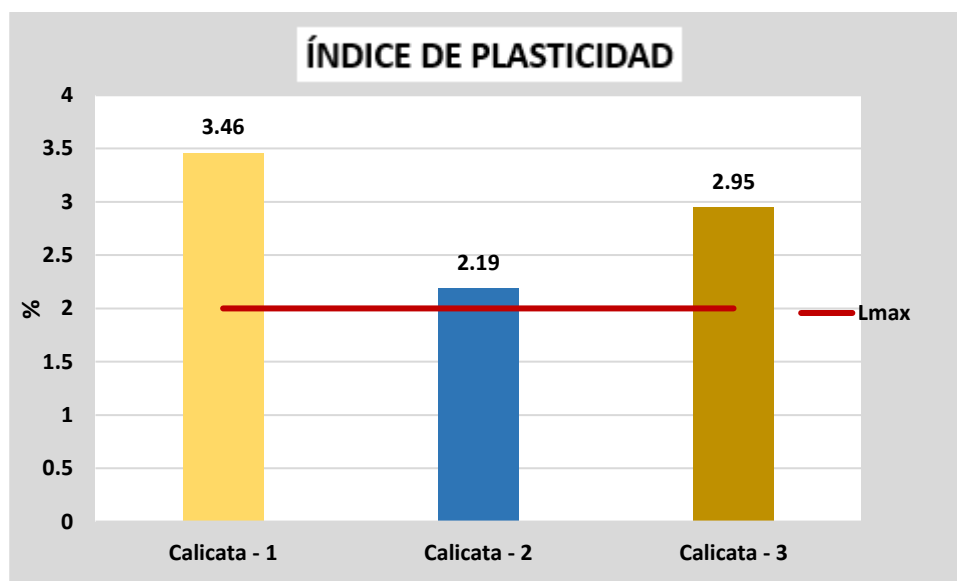
Límite líquido de la base



Se examinaron detalladamente los valores de los tres límites líquidos de la base, evidenciando que estos superan el límite líquido (LL) establecido por el MTC.

Figura 23

Índice de plasticidad de la base



Se analizaron en detalle los valores de los tres índices plásticos de la base, evidenciando que estos superan el límite máximo del 2% establecido por el MTC.

c) Grado de compactación de la base granular.

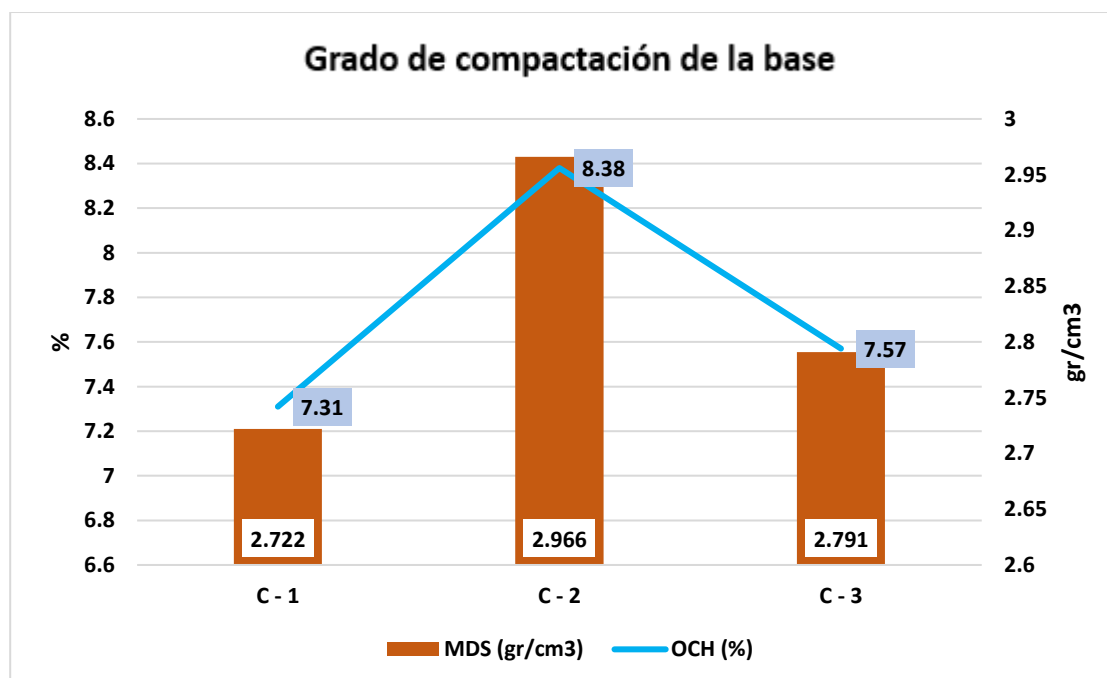
Tabla 14

Grado de compactación de la base granular

Grado de compactación – Base granular		
Calicata	MDS (gr/cm ³)	OCH (%)
C - 1	2.722	7.31
C - 2	2.966	8.38
C - 3	2.791	7.57

Se muestran los valores correspondientes al grado de compactación específicamente a la MDS y al OCH obtenidos en las muestras de la base granular.

Figura 24

Grado de compactación de la base granular

Se realizó un examen detallado de los valores de grado de compactación de la base granular, observándose variaciones significativas entre las tres muestras analizadas.

d) CBR de la base granular.

Tabla 15

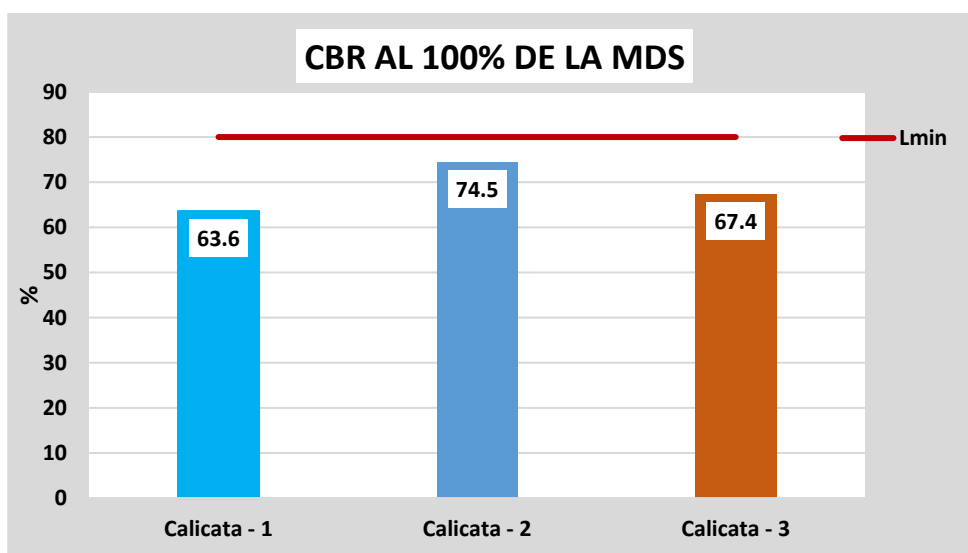
CBR de las muestras de la capa de base granular

CBR de la base granular				
CBR %	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra - 3	Requerimiento de la EG-2013
CBR al 100%	63.60	74.50	67.40	≥ 3000 msnm
CBR al 95%	41.80	48.90	44.30	80% mín.
Cumplimiento	No cumple	No cumple	No cumple	

Los resultados obtenidos del CBR de la base granular evidencian que las muestras evaluadas no alcanzan el valor mínimo exigido por la EG-2013, el cual establece un 80% como requisito. En la imagen presentada se observa que el CBR al 100% de compactación se encuentra por debajo de dicho límite normativo, lo que indica un incumplimiento de las especificaciones técnicas.

Figura 25

CBR de las muestras de la capa de base granular



En la figura se muestran los valores del CBR de la base obtenidos durante la evaluación, evidenciándose que no alcanzan el valor mínimo requerido por el MTC del 80%.

4.1.3. **Deflexiones máximas, radio de curvatura y deflexiones admisibles de la estructura del pavimento**

Con el objetivo de evaluar las deflexiones máximas y la calidad de las capas granulares de la vía Juliaca – Caracoto, se aplicó el ensayo de deflexión mediante la viga Benkelman, técnica no destructiva de uso frecuente en la valoración de pavimentos flexibles. Este procedimiento permitió registrar la deformación del pavimento bajo carga, proporcionando información esencial para determinar su capacidad estructural, la ejecución de la prueba se realizó conforme a los lineamientos de la norma MTC E1002, establecidos en el Manual de Ensayos de Materiales del MTC.

❖ **Aforo vehicular**

- Determinación del IMD actual

Se realizó la contabilización de vehículos desde el lunes 29 de junio hasta el 5 de Julio del 2025 (Anexo).

- Cálculo del número de ESAL proyectados al 2008 (Exp. Técnico)

Trafico de diseño según expediente técnico al 2008: $3.335 * 10^6$ ESAL (ambos sentidos).

- Cálculo del número de ESAL proyectado para 5 años es de 2641771.
- La vía Juliaca – Caracoto es una autopista de segunda clase.

❖ **Cálculo de radio de curvatura**

$$RC = \frac{3125}{(D_o - D_{25})}$$

$$RC = \frac{3125}{(45 - 16)} = 109 \text{ m}$$

❖ **Cálculo de la deflexión característica**

$$D_c = D + t * \sigma$$

$$D_c = 69.9 + 1.645 * 15.5 = 95.30 * 10^{-2}$$

❖ Cálculo de la deflexión admisible

$$D_{ad} = \left(\frac{1.15}{2.65}\right)^{\frac{1}{4}} = 81.16 * 10^{-2}$$

Tabla 16

Análisis de deflexión de la vía, carril derecho

Progresiva (KM.)	Deflexiones (*10 ⁻²)		Fact. Correc. (*) Temp.	Factor Estacionario	Deflexiones Corregidas (*10 ⁻²)		Radio Curvatura (m)
	D25	D0			D25	D0	
	1319+950	16			44	1.010	
1320+100	12	80	1.010	1.0	12	82	45
1320+250	8	48	1.010	1.0	8	49	76
1320+400	12	52	1.010	1.0	12	53	76
1320+550	32	76	1.010	1.0	33	78	69
1320+700	12	84	1.010	1.0	12	86	42
1320+850	16	48	1.010	1.0	16	49	95
1321+000	28	56	1.010	1.0	29	57	109
1321+150	12	52	1.010	1.0	12	53	76
1321+300	16	36	1.010	1.0	16	37	152
1321+450	28	76	1.010	1.0	29	78	64
1321+600	24	68	1.010	1.0	25	70	69
1321+750	8	60	1.010	1.0	8	62	59
1321+900	16	88	1.010	1.0	16	90	42
1322+050	28	80	1.010	1.0	29	82	59
1322+200	8	68	1.010	1.0	8	70	51
1322+350	16	76	1.010	1.0	16	78	51
1322+500	12	72	1.010	1.0	12	74	51
1322+650	36	88	1.010	1.0	37	90	59
1322+800	24	68	1.010	1.0	25	70	69
1322+950	16	56	1.010	1.0	16	57	76
1323+100	20	88	1.010	1.0	21	90	45
1323+250	16	68	1.010	1.0	16	70	59
1323+400	40	84	1.010	1.0	41	86	69
1323+550	24	76	1.010	1.0	25	78	59
1323+700	24	80	1.010	1.0	25	82	54

Los resultados de las mediciones con la viga Benkelman en el carril derecho de la vía, obtenidos en distintas progresivas, presentan los valores de deflexión en su forma original (D25 y D0) y en su versión corregida mediante la aplicación de factores de temperatura y condiciones de estacionamiento. Estas correcciones permiten estimar de manera más confiable la capacidad estructural del pavimento bajo condiciones estándar. Asimismo, se

incorporó el análisis del radio de curvatura en cada punto evaluado, ya que la geometría de la vía influye directamente en el comportamiento de las deflexiones registradas.

Tabla 17

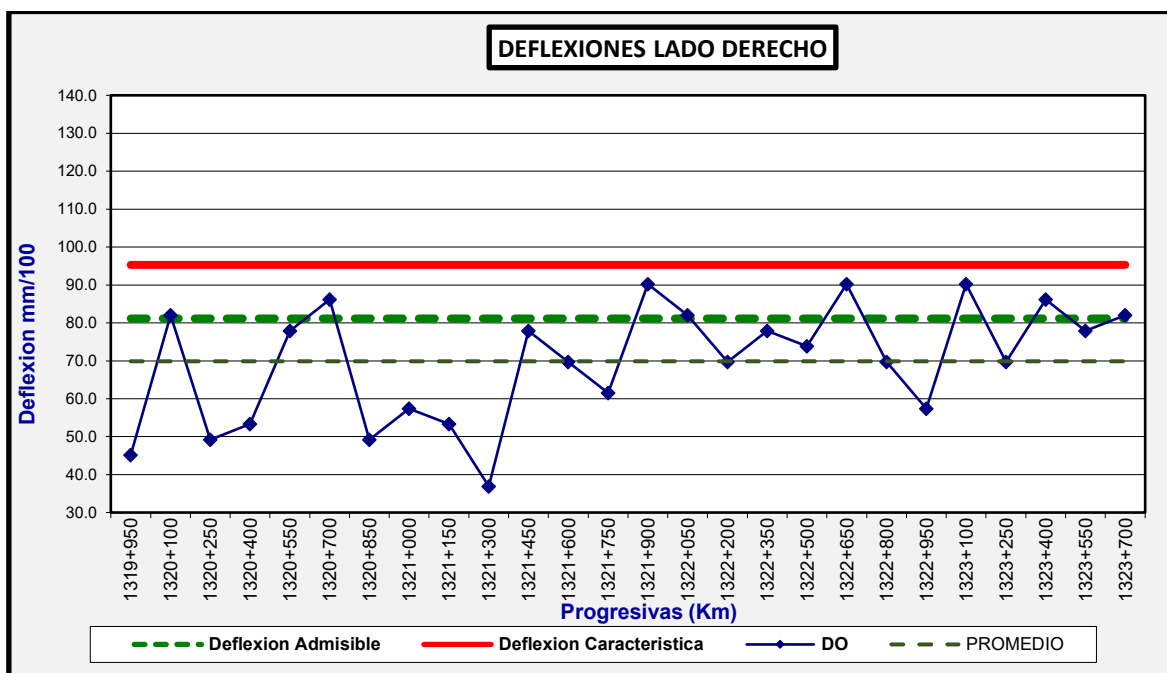
Comportamiento del pavimento según resultados (derecho)

Vía	Deflexión característica (*10 ⁻² mm)		Deflexión admisible (*10 ⁻² mm)	RC promedio (m)
Juliaca – Caracoto (carril derecho)	95.30	>	81.16	69.00

Se presenta el análisis del comportamiento estructural del pavimento, basado en los valores tanto para la subrasante como para el pavimento en el carril derecho de la vía Juliaca – Caracoto. Se observa que la deflexión característica registrada es de 95.30*10⁻², mientras que la deflexión admisible es de 81.16 *10⁻², y el radio de curvatura es de 69.00 metros.

Figura 26

Deflexiones carril derecho



Se muestra el comportamiento del pavimento flexible a lo largo del tramo derecho, se aprecia el desarrollo de las deflexiones registradas. Los resultados muestran que la

deflexión característica (D_c) supera a la deflexión admisible (D_{adm}), lo que evidencia que la estructura del pavimento no cumple con los criterios establecidos en la norma MTC - E 1002. Esta condición confirma que el pavimento presenta un estado estructural deficiente, reflejando un nivel de deterioro considerable que requiere medidas de intervención.

Tabla 18*Análisis de deflexión de la vía, carril izquierdo*

Progresiva (KM.)	Deflexiones (*10 ⁻²)		Fact. Correc. (*) Temp.	Factor Estacionario	Deflexiones Corregidas (*10 ⁻²)		Radio Curvatura (m)
	D25	D0			D25	D0	
	1319+950	28			88	1.000	
1320+100	36	76	1.000	1.0	37	77	77
1320+250	20	60	1.000	1.0	20	61	77
1320+400	28	84	1.000	1.0	28	85	55
1320+550	32	88	1.000	1.0	32	89	55
1320+700	44	80	1.000	1.0	45	81	86
1320+850	36	84	1.000	1.0	37	85	64
1321+000	28	76	1.000	1.0	28	77	64
1321+150	20	72	1.000	1.0	20	73	59
1321+300	24	76	1.000	1.0	24	77	59
1321+450	8	80	1.000	1.0	8	81	43
1321+600	24	68	1.000	1.0	24	69	70
1321+750	20	88	1.000	1.0	20	89	45
1321+900	32	72	1.000	1.0	32	73	77
1322+050	40	80	1.000	1.0	41	81	77
1322+200	36	80	1.000	1.0	37	81	70
1322+350	16	76	1.000	1.0	16	77	51
1322+500	24	80	1.000	1.0	24	81	55
1322+650	20	64	1.000	1.0	20	65	70
1322+800	12	80	1.000	1.0	12	81	45
1322+950	44	88	1.000	1.0	45	89	70
1323+100	32	68	1.000	1.0	32	69	86
1323+250	36	84	1.000	1.0	37	85	64
1323+400	28	72	1.000	1.0	28	73	70
1323+550	36	80	1.000	1.0	37	81	70
1323+700	16	68	1.000	1.0	16	69	59

Los resultados de las mediciones con la viga Benkelman en el carril izquierdo de la vía, obtenidos en distintas progresivas, presentan los valores de deflexión en su forma original (D25 y D0) y en su versión corregida mediante la aplicación de factores de temperatura y condiciones de estacionamiento. Estas correcciones permiten estimar de manera más

confiable la capacidad estructural del pavimento bajo condiciones estándar. Asimismo, se incorporó el análisis del radio de curvatura en cada punto evaluado, ya que la geometría de la vía influye directamente en el comportamiento de las deflexiones registradas.

Tabla 19

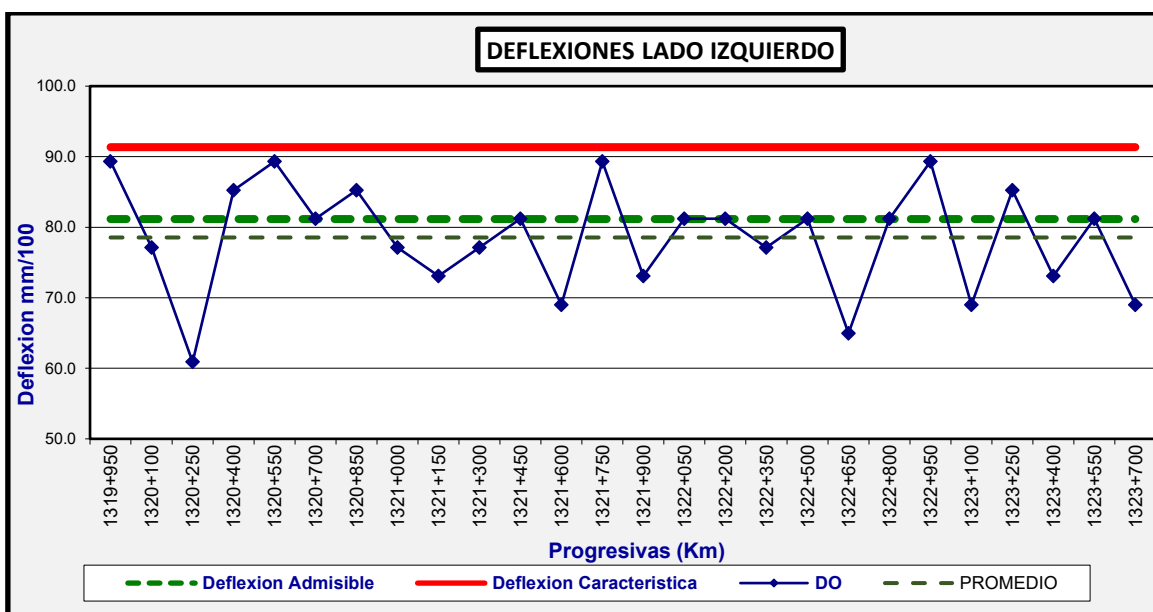
Comportamiento del pavimento según resultados (izquierdo)

Vía	Deflexión característica (*10 ⁻² mm)		Deflexión admisible (*10 ⁻² mm)	RC promedio (m)
Juliaca – Caracoto (carril izquierdo)	91.35	>	81.16	64.00

La tabla presenta el análisis del comportamiento estructural del pavimento, basado en los valores obtenidos tanto para la subrasante como para el pavimento en el carril izquierdo de la vía Juliaca – Caracoto. Se observa que la deflexión característica registrada es de $91.35 \cdot 10^{-2}$, mientras que la deflexión admisible es de $81.16 \cdot 10^{-2}$, y el radio de curvatura es de 64.00 metro.

Figura 27

Deflexiones carril izquierdo



Se muestra el comportamiento del pavimento flexible a lo largo del tramo izquierdo, se aprecia el desarrollo de las deflexiones registradas. Los resultados muestran que la

deflexión característica (D_c) supera a la deflexión admisible (D_{adm}), lo que evidencia que la estructura del pavimento no cumple con los criterios establecidos en la norma MTC - E 1002. Esta condición confirma que el pavimento presenta un estado estructural deficiente, reflejando un nivel de deterioro considerable que requiere medidas de intervención.

4.2. Discusión de resultados

En relación con la calidad de los materiales granulares, los resultados obtenidos en esta investigación mostraron que tanto la subbase como la base no cumplen con los parámetros de granulometría, índice de plasticidad y CBR establecidos en el Manual de Carreteras EG-2013, lo que compromete directamente la capacidad estructural del pavimento. Este hallazgo coincide con lo reportado por De la Cruz y Huamán (2023) en la evaluación de un tramo en Trujillo, donde se identificaron deficiencias similares en la granulometría y el CBR, concluyendo que la baja calidad de los materiales es un factor determinante en la aparición temprana de deformaciones. Asimismo, Espinoza (2019) destacó que la presencia de finos con alto índice de plasticidad genera pérdida de estabilidad en las capas granulares, reduciendo la resistencia al tránsito repetitivo y acelerando el deterioro de la estructura.

En cuanto a la evaluación estructural mediante la viga Benkelman, en este estudio se determinó que las deflexiones características superaron a las admisibles ($D_c > D_{adm}$), lo que confirma un bajo desempeño estructural del pavimento flexible de la vía Juliaca – Caracoto. Resultados semejantes fueron reportados por Méndez y Amasifuén (2020) en tramo km 16+300 – 17+800 de la carretera Iquitos, donde las deflexiones elevadas estuvieron asociadas directamente a la falta de cumplimiento de los parámetros normativos en la base y subbase. Del mismo modo, Canaza (2020) encontró que la deflexión característica, cuando excede los valores admisibles, refleja la insuficiencia de la capacidad portante de la estructura, siendo una señal clara de la necesidad de intervenciones de rehabilitación. Estas coincidencias demuestran que el comportamiento estructural observado no es un caso aislado, sino una problemática recurrente en carreteras con deficiencias en el control de calidad de materiales.



De manera integrada, la comparación con otros estudios reafirma que la combinación de materiales granulares deficientes y valores de deflexión elevados constituye un patrón crítico que condiciona la vida útil de los pavimentos flexibles. Tal como sostienen Salas et al. (2020), la durabilidad de la vía depende directamente de la adecuada selección, control y verificación de los materiales empleados en la base y subbase, así como de una correcta evaluación estructural. En consecuencia, los resultados de esta investigación no solo validan los hallazgos de estudios previos, sino que también aportan evidencia adicional sobre la importancia de establecer procesos rigurosos de control en cada etapa constructiva, con el fin de garantizar un desempeño estructural adecuado y prolongar la vida útil de las vías.

En síntesis, los resultados de esta investigación confirman que las deficiencias en la calidad de los materiales granulares y las elevadas deflexiones características son factores determinantes en el bajo desempeño estructural del pavimento flexible de la vía Juliaca – Caracoto, hallazgos que coinciden con lo reportado por otros tesisistas en estudios similares. Esta correspondencia evidencia que la problemática no responde únicamente a condiciones locales, sino a un patrón recurrente en proyectos viales donde no se asegura un adecuado control de calidad de los materiales ni una evaluación estructural rigurosa. En consecuencia, la investigación reafirma la importancia de integrar la caracterización de materiales con la medición de deflexiones como criterios complementarios en el diagnóstico del estado del pavimento, lo que permite obtener conclusiones más precisas y útiles para futuras líneas de investigación en el campo de la ingeniería vial

CONCLUSIONES

General, el análisis integral de la vía Juliaca – Caracoto presenta deficiencias tanto en las capas granulares como en la estructura del pavimento flexible, debido a que los materiales evaluados no cumplen con las especificaciones del Manual de Carreteras EG-2013, ya que estos fueron obtenidos de la berma con fines de estudio, y no del centro del pavimento, esto podría generar variaciones en los resultados, ya que estos materiales suelen estar contaminados con el paso del tiempo. Las deflexiones características medidas superan los valores admisibles. Esta situación refleja limitaciones en la calidad y capacidad estructural del pavimento, lo que compromete su adecuado desempeño y durabilidad de la vía.

Primero, la evaluación de la calidad de los materiales extraídos de tres calicatas específicamente de la berma, empleados en la capa de subbase granular de la vía Juliaca – Caracoto permitió identificar que no cumplen con las especificaciones del Manual de Carreteras EG-2013. Esto se debe a que la granulometría está fuera del rango establecido, el índice de plasticidad supera el valor máximo permitido de 4%, y el CBR es inferior al 40% mínimo requerido, lo que refleja deficiencias en su calidad y capacidad estructural.

Segundo, los materiales de la capa de base granular extraídos de tres calicatas de la vía Juliaca – Caracoto, específicamente de la berma, no cumplen con las especificaciones del Manual de Carreteras EG-2013. La granulometría se encuentra fuera de los rangos establecidos, el índice de plasticidad supera el límite máximo permitido de 2% y el CBR es inferior al 80% mínimo requerido, lo que evidencia deficiencias en su calidad y limita su capacidad estructural dentro del pavimento.

Tercero, la estructura del pavimento flexible de la vía Juliaca – Caracoto no cumple con los valores requeridos para garantizar un adecuado desempeño, puesto que la evaluación



realizada mediante la viga Benkelman en ambos carriles evidenció deflexiones características superiores a la deflexión admisible ($D_c > D_{adm.}$). Además, los radios de curvatura de la vía son inferiores al mínimo requerido de 100 m, registrándose 69 m en el carril derecho y 64 m en el carril izquierdo. Estos resultados indican que tanto la capacidad estructural del pavimento como de la subrasante están comprometidas, lo que confirma que la vía presenta un estado deficiente y requiere medidas de rehabilitación urgente.



RECOMENDACIONES

Primero, se recomienda a futuras investigaciones y evaluaciones de pavimentos se preste especial atención al control de la calidad de los materiales granulares y a la verificación de deflexiones mediante la viga Benkelman, con el fin de garantizar resultados confiables que permitan identificar oportunamente deficiencias estructurales y proponer alternativas técnicas que aseguren la durabilidad de la vía.

Segundo, a futuros tesisistas se recomienda, investigar sobre la calidad de los materiales en capas granulares, considerar con detalle la influencia de la granulometría, el índice de plasticidad y los valores de CBR, ya que estos parámetros resultan determinantes para establecer la capacidad portante y el comportamiento estructural del pavimento, para que de esta manera se logre cumplir con lo exigido por el Manual de Carreteras EG-2013.

Tercero, a futuras investigaciones se recomienda, realizar un análisis de la granulometría, índice de plasticidad y CBR de la capa de base granular, dado que pequeñas desviaciones en estos parámetros pueden afectar significativamente la capacidad estructural del pavimento. Asimismo, se recomienda contrastar los resultados de laboratorio con las especificaciones del Manual de Carreteras EG-2013.

Cuarto, para la evaluación estructural con la viga Benkelman, se aconseja a los futuros investigadores prestar atención a la comparación entre deflexión característica y deflexión admisible, ya que este criterio permite diagnosticar de manera precisa el estado del pavimento y establecer la necesidad de intervenciones.



BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, J. (2023). *Evaluación del mejoramiento estructural de los pavimentos flexibles con la implementación de Geomallas*. México: Universidad Autónoma de Sinaloa. Obtenido de [http://repositorio.uas.edu.mx/xmlui/bitstream/handle/DGB_UAS/373/Evaluaci%
%b3n%20del%20mejoramiento%20estructural%20de%20los%20pavimentos%20flexibles%20con%20la%20implementaci%
c3%b3n%20de%20Geomallas.pdf?sequ
ence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uas.edu.mx/xmlui/bitstream/handle/DGB_UAS/373/Evaluaci%c3%b3n%20del%20mejoramiento%20estructural%20de%20los%20pavimentos%20flexibles%20con%20la%20implementaci%c3%b3n%20de%20Geomallas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Balarezo, J. (2019). *Evaluación estructural usando Viga Belkenman aplicada a un pavimento*. Piura: Universidad de Piura. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/ddff7cf2-d2fa-496d-99b4-
276b20528879/content](https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/ddff7cf2-d2fa-496d-99b4-276b20528879/content)
- Bravo, K. (2023). *Comportamiento estructural del pavimento flexible en vía Tugaduaja - Engunga del Cantón y de la provincia de Santa Elena utilizando la viga Benkelman*. Ecuador: Universidad Estatal Península de Santa Elena. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9218/1/UPSE-TIC-2023-0005.pdf>
- Canaza, J. (2020). *Evaluación de las propiedades de los materiales de base y sub base para pavimentos del distrito de José Luis Bustamante y Rivero*. Arequipa: Universidad Continental. Obtenido de [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9034/4/IV_FIN_105_
TI_Canaza_Canaza_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9034/4/IV_FIN_105_TI_Canaza_Canaza_2020.pdf)
- Cárdenas, J. (2024). *Evaluación estructural y modelado predictivo del pavimento flexible en zonas rurales*. Perú: Universidad Nacional Federico Villareal. Obtenido de [file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Dialnet-
EvaluacionEstructuralYModeladoPredictivoDelPavimen-9845836%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Dialnet-EvaluacionEstructuralYModeladoPredictivoDelPavimen-9845836%20(1).pdf)



- Castillo, E. (2021). *Materiales para base y subbase*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/mdulo-7-materiales-para-base-y-subbase-fernando-snchez-sabogal/70411685>
- Creswell, J. (2014). *Qualitative inquiry and research design*. Sage Publications. Obtenido de <https://academia.utp.edu.co/seminario-investigacion-II/files/2017/08/INVESTIGACION-CUALITATIVACreswell.pdf>
- De la Cruz, Y., & Huamán, J. (2023). *Determinación de la condición del pavimento flexible mediante la viga de Benkelman para el diseño de reforzamiento en las Avenidas Mansiche y Jesús Nazareth – Trujillo La Libertad*. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego. Obtenido de https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12759/15171/REP_YOLVING.DELA.CRUIZ_JEFFERSON.HUAMAN_PAVIMENTO.FLEXIBLE.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Espinoza, D. (2019). *Determinación de espesores de pavimentos flexibles vial y aeroportuario considerando el análisis y reestructuración de pesas de sobrecarga equivalente en ensayos de CBR para subrasante de suelos granulares en la ciudad de Arequipa*. Arequipa: Universidad Católica de Santa María. Obtenido de [file:///C:/Users/hp/Downloads/45.0329.IC%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/45.0329.IC%20(1).pdf)
- Espinoza, M. (2020). *Pavimentos flexibles*. Obtenido de <https://bitafal.com.uy/conceptos-basicos-sobre-pavimentos-flexibles/>
- Flores, L. (2023). *Evaluación del comportamiento estructural de pavimentos flexibles según suelo de subrasante, carretera Juliaca - Caracoto, Puno 2021*. Arequipa: Universidad Continental. Obtenido de [file:///C:/Users/hp/Downloads/IV_FIN_105_TE_Flores_Cazorla_2023%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/IV_FIN_105_TE_Flores_Cazorla_2023%20(1).pdf)
- Gaete et al. (2019). *Uso del deflectómetro de impacto para la evaluación estructural de recapados asfálticos sobre pavimentos*. Chile. Obtenido de http://www2.udec.cl/~provincial/trabajos_pdf/27GaeteRecapadosobrehormigon.pdf



- Gelves, R. (2022). *Evaluación exploratoria de la caracterización mecánica e hidráulica de un material granular marginal a emplear en estructuras de pavimento*. Colombia: Universidad Industrial de Santander. Obtenido de <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/342e0e31-ec85-4b32-94f5-dd98c7911e4b/content>
- Hernandez et al. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill. Obtenido de https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/metodologia-de-la-investigaci%C3%83%C2%B3n_sampieri.pdf
- Kerlinger, F. (2002). *Fundamentos de la investigación del comportamiento*. McGraw-Hill. Obtenido de <https://padron.entretemas.com.ve/INICC2018-2/lecturas/u2/kerlinger-investigacion.pdf>
- López et al. (2019). *Evaluación estructural de pavimentos con método no destructivos*. México: Instituto Mexicano del Transporte. Obtenido de <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=461&IdBoletin=172>
- Mamani, M. (2019). *Estimación del valor de CBR en suelos granulares a partir de ensayos de caracterización y compactación de las canteras ubicadas en la ciudad de Juliaca*. Chullunquiani: Universidad Peruana Unión. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0ad06c7c-7437-4691-ac79-b39e114ba465/content>
- Mamani, T. (2022). *Comparación de las Propiedades de Comparación de las Propiedades de Canteras para Sub Canteras para Subbase y Base en la Ciudad de Juliaca*. Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de file:///C:/Users/hp/Downloads/pdf-p-classtruncatedtext-module-lineclamped-85ulhh-style-max-lines5mamani-ttv-sd-p_compress.pdf
- Medina, F. (2023). *Comportamiento de materiales granulares a bajas y altas tensiones*. Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6231/07Ccm07de12.pdf;jsessionid=1C77860D5661291C0F854DEAEF9A9A6B?sequence=7>

- Méndez, S., & Amasifuén, J. (2020). *Evaluación estructural de pavimento de la carretera Iquitos - Nauta con viga Benkelman, tramo km 16+300 - km 17+800*. Iquitos: Universidad Científica del Perú. Obtenido de <file:///C:/Users/hp/Downloads/STEPHANIE%20DESSIRE%20MENDEZ%20GARCIA%20Y%20JORGE%20CARLOS%20AMASIFUEN%20CARO%20-%20TESIS.pdf>
- Mendoza, E. (2022). *Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del pavimento flexible adicionando residuos de construcción y demolición en la base granular*. Lima: Universidad César Vallejo. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Mendoza_VEL-SD.pdf
- Mendoza, T. (2023). *Fallas de los pavimentos flexibles*. Obtenido de https://construneic.com/pavimentos/fallas-de-los-pavimentos-flexibles/#google_vignette
- Moreira, F., & Ruiz, W. (2022). *Materiales granulares de base 1b tratado con cemento para el uso de pavimentos rígidos*. Ecuador: Universidad Técnica de Manabí. Obtenido de <file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Dialnet-MaterialesGranularesDeBaseClase1bTratadoConCemento-9284325.pdf>
- Paricanaza, N., & Roque, V. (2021). *Diseño de base granular suelo cemento usando agregados de la Cantera Cáceres Para la carretera Juliaca - Caminaca 2021*. Puno: Universidad César Vallejo. Obtenido de file:///C:/Users/hp/Downloads/Paricanaza_JNE-Roque_CVD-SD.pdf
- Quiroz, E. (2022). *Pavimentos flexibles*. Obtenido de <https://trcpaint.com/pavimentos-flexibles/>
- Rattia, J. (2021). *Definición y característica de los pavimentos flexibles*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/233881453/Definicion-y-Caracteristicas-de-Los-Pavimentos-Flexibles>
- Salas, J., Gonzales, K., & Castellanos, Y. (2020). *Evaluación de la resistencia de base y subbase granular con asfaltita en porcentajes 50%-50%, 70%-30% y 100%*.



Colombia: Universidad Piloto de Colombia. Obtenido de

<https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/7508/Monografia>

%20-%20Juan%20Diego%20Salas%20%20P.%20-

%20Kevin%20Andres%20Gonzalez%20%20A.%20-

%20Yennifer%20Milena%20Castellanos%20D..pdf?sequence=1&isAllowed=y

Triviño, R., & Moll, R. (2022). *Evaluación deflectométrica en pavimentos flexibles*

mediante la viga Benkelman para las cindicones de Manabí. Ecuador: Universidad

Técnica de Manabí. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Dialnet-

EvaluacionDeflectometricaEnPavimentosFlexiblesMedi-8637931%20(1).pdf

Triviño, R., & Moll, R. (2022). *Evaluación deflectométrica en pavimentos flexibles*

mediante la viga Benkelman para las condiciones de Manabí. Ecuador:

Universidad técnica de Manabí. Obtenido de

file:///C:/Users/hp/Downloads/Dialnet-

EvaluacionDeflectometricaEnPavimentosFlexiblesMedi-8637931.pdf



ANEXOS



Anexo B. Matriz de Consistencia

Título de la tesis: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA – CARACOTO 2025				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p>Problema General:</p> <p>¿Cuál es la condición estructural del pavimento flexible mediante la medición de deflexiones máximas y la calidad en las capas granulares de la vía Juliaca - Caracoto 2025?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Evaluar la estructura del pavimento flexible mediante la medición de deflexiones máximas y la calidad en las capas granulares de la vía Juliaca - Caracoto 2025.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>La evaluación de la estructura del pavimento flexible, basada en la medición de las deflexiones máximas y la calidad de las capas granulares de la vía Juliaca - Caracoto 2025, presentará altas deflexiones causadas por la aplicación de cargas de tránsito y así mismo se evidenciará resultados negativos debido a que los materiales granulares no cumplen con los estándares mínimos de calidad de la EG-2013.</p>	<p>Variable de caracterización</p> <p>DEFLEXIONES MÁXIMAS CALIDAD DE CAPAS GRANULARES</p> <p>Dimensiones: <i>Capacidad estructural del pavimento</i> <i>Granulometría</i> <i>Índice de Plasticidad (IP)</i> <i>Compactación Proctor</i> <i>Capacidad de Soporte (CBR)</i></p> <p>Variable de interés</p> <p>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE</p> <p>Dimensiones: <i>Estado de la subbase granular</i> <i>Estado de la base granular</i> <i>Estado estructural del pavimento flexible</i></p>	<p>Equipos y herramientas de laboratorio</p> <p>Viga Benkelman</p> <p>Manual EG-2013</p>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		
<p>¿Cuál es la calidad de los materiales de la capa de subbase granular en relación al manual EG-2013 del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto?</p> <p>¿Cuál es la calidad de los materiales de la capa de base granular en relación al manual EG-2013 del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto?</p> <p>¿Cuáles son las deflexiones máximas, radio de curvatura y deflexiones admisibles de la estructura del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto?</p>	<p>Comparar la calidad de los materiales de la capa de subbase granular en relación al manual EG-2013 del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto.</p> <p>Comparar la calidad de los materiales de la capa de base granular en relación al manual EG-2013 del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto.</p> <p>Determinar las deflexiones máximas, radio de curvatura y deflexiones admisibles de la estructura del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto.</p>	<p>La calidad de los materiales de la capa de subbase granular en relación al manual EG-2013 del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto, no cumplirá las especificaciones generales por estar mínimamente por debajo de lo recomendado.</p> <p>La calidad de los materiales de la capa de base granular en relación al manual EG-2013 del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto, no cumplirá las especificaciones generales por estar por debajo de lo recomendado.</p> <p>Las deflexiones máximas, radio de curvatura y deflexiones admisibles de la estructura del pavimento flexible de la vía Juliaca - Caracoto, no cumplirán con los valores propios de la vía en estudio.</p>		



Anexo C. Certificados de Calidad de Laboratorio



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



EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA VIGA BENKELMAN

Fecha: 07/07/2025

PROYECTO: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE: ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
PROGRESIVA: 1319+950 AL 1323+700 (CARRIL DERECHO)
FECHA: 07-Jul-25
CARGA EJE: 8200 Kg.
PRESIÓN: 80 Psi.
R. BRAZO: 4:1

PROGRESIVA (KM.)	LADO	LECTURAS DEL DIAL		TEMPERATURA (°C)	ESPESOR (cm)	DEFLEXIONES		FACT. CORREC. (°)	FACT. ESTACIONARIO	DEFLEXIONES CORREGIDAS		RADIO CURVATURA (m)	OBSERVACIONES
		L25	L0			D25	D0			D25	D0		
		1319+950	DER			4	11			19.0	10.0		
1320+100	DER	3	20	19.0	10.0	12	80	1.010	1.0	12	82	48	
1320+250	DER	2	12	19.0	10.0	8	48	1.010	1.0	8	49	76	
1320+400	DER	3	13	19.0	10.0	12	52	1.010	1.0	12	53	76	
1320+550	DER	8	19	19.0	10.0	32	76	1.010	1.0	33	78	69	
1320+700	DER	3	21	19.0	10.0	12	84	1.010	1.0	12	86	42	
1320+850	DER	4	12	19.0	10.0	16	48	1.010	1.0	16	49	95	
1321+000	DER	7	14	19.0	10.0	28	56	1.010	1.0	29	57	109	
1321+150	DER	3	13	19.0	10.0	12	52	1.010	1.0	12	53	76	
1321+300	DER	4	9	19.0	10.0	16	36	1.010	1.0	16	37	152	
1321+450	DER	7	19	19.0	10.0	28	76	1.010	1.0	29	78	64	
1321+600	DER	6	17	19.0	10.0	24	68	1.010	1.0	25	70	89	
1321+750	DER	2	15	19.0	10.0	8	60	1.010	1.0	8	62	59	
1321+900	DER	4	22	19.0	10.0	16	88	1.010	1.0	16	90	42	
1322+050	DER	7	20	19.0	10.0	28	80	1.010	1.0	29	82	59	
1322+200	DER	2	17	19.0	10.0	8	68	1.010	1.0	8	70	51	
1322+350	DER	4	19	19.0	10.0	16	76	1.010	1.0	16	78	51	
1322+500	DER	3	18	19.0	10.0	12	72	1.010	1.0	12	74	51	
1322+650	DER	9	22	19.0	10.0	36	88	1.010	1.0	37	90	58	
1322+800	DER	6	17	19.0	10.0	24	68	1.010	1.0	25	70	69	
1322+950	DER	4	14	19.0	10.0	16	56	1.010	1.0	16	57	78	
1323+100	DER	5	22	19.0	10.0	20	88	1.010	1.0	21	90	45	
1323+250	DER	4	17	19.0	10.0	16	68	1.010	1.0	16	70	59	
1323+400	DER	10	21	19.0	10.0	40	84	1.010	1.0	41	86	69	
1323+550	DER	6	19	19.0	10.0	24	76	1.010	1.0	25	78	59	
1323+700	DER	6	20	19.0	10.0	24	80	1.010	1.0	25	82	54	

Deflexión Corregida:

Promedio: 69.9 mm/100

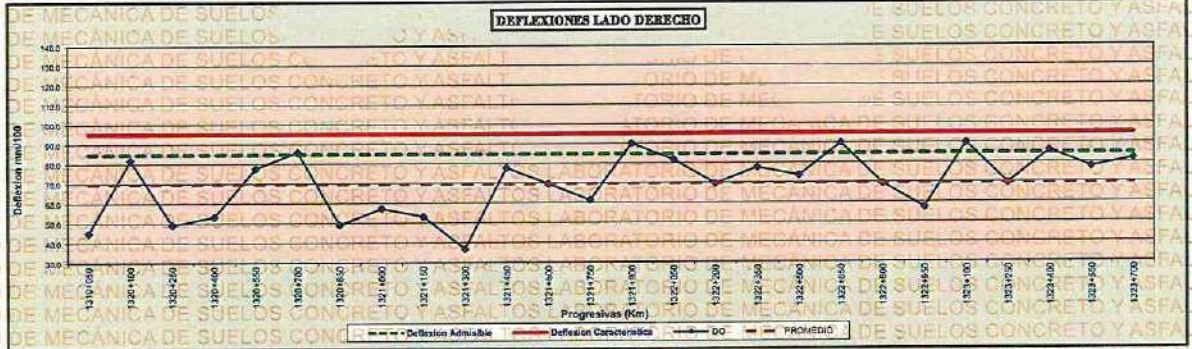
Mínimo: 36.9 mm/100

Máximo: 90.2 mm/100

Desviación S: 15.5 mm/100

Deflexión C: 95.30 mm/100

Deflexión Adm: 85.00 mm/100



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERRES VELASQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO M.B.C.A. JULIACA

Dr. Arnoldo Yana Torres
CIP. 103257



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



EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA VIGA BENKELMAN

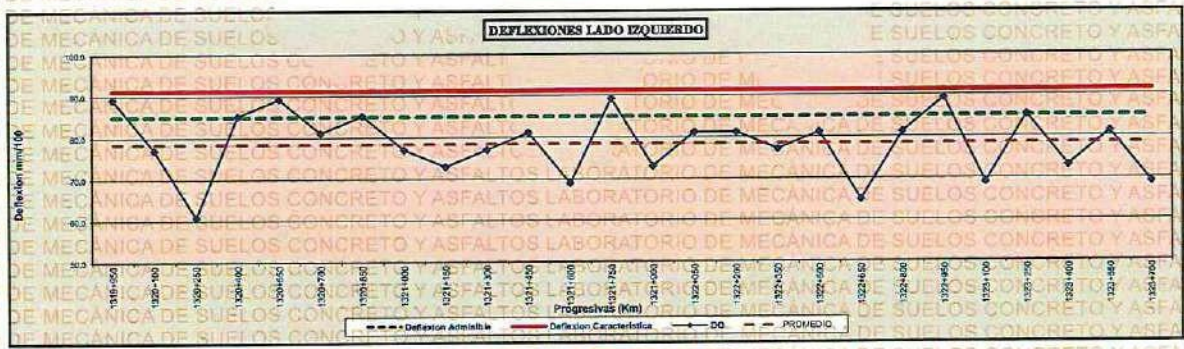
Fecha: 07/07/2025

PROYECTO: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE: ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
PROGRESIVA: 1319+950 AL 1323+700 (CARRIL IZQUIERDO)
FECHA: 07-Jul-25
CARGA EJE: 8200 Kg.
PRESIÓN: 80 Psi.
R. BRAZO: 4:1

PROGRESIVA (KM.)	LADO	DATOS CAMPO				RESULTADOS DE LOS ENSAYOS							
		LECTURAS DEL DIAL		TEMPERATURA (°C)	ESPESOR (cm.)	DEFLEXIONES		FACT. CORREC. (°)	FACTOS ESTACIONARIO	DEFLEXIONES CORREGIDAS		RADIO CURVATURA (m)	OBSERVACIONES
		L25	L0			D25	D0			D25	D0		
1319+950	IZQ	7	22	20.0	10.0	28	88	1.000	1.0	28	89	51	
1320+110	IZQ	9	19	20.0	10.0	38	76	1.000	1.0	37	77	77	
1320+270	IZQ	5	15	20.0	10.0	20	60	1.000	1.0	20	61	77	
1320+430	IZQ	7	21	20.0	10.0	28	84	1.000	1.0	28	85	65	
1320+590	IZQ	8	22	20.0	10.0	32	88	1.000	1.0	32	89	65	
1320+750	IZQ	11	20	20.0	10.0	44	80	1.000	1.0	45	81	88	
1320+910	IZQ	9	21	20.0	10.0	38	84	1.000	1.0	37	85	64	
1321+070	IZQ	7	19	20.0	10.0	28	76	1.000	1.0	28	77	64	
1321+230	IZQ	5	18	20.0	10.0	20	72	1.000	1.0	20	73	59	
1321+390	IZQ	6	19	20.0	10.0	24	76	1.000	1.0	24	77	59	
1321+550	IZQ	2	20	20.0	10.0	8	80	1.000	1.0	8	81	43	
1321+710	IZQ	6	17	20.0	10.0	24	68	1.000	1.0	24	69	70	
1321+870	IZQ	5	22	20.0	10.0	20	88	1.000	1.0	20	89	45	
1322+030	IZQ	8	18	20.0	10.0	32	72	1.000	1.0	32	73	77	
1322+190	IZQ	10	20	20.0	10.0	40	80	1.000	1.0	41	81	77	
1322+350	IZQ	9	20	20.0	10.0	36	80	1.000	1.0	37	81	70	
1322+510	IZQ	4	19	20.0	10.0	16	76	1.000	1.0	16	77	51	
1322+670	IZQ	6	20	20.0	10.0	24	80	1.000	1.0	24	81	55	
1322+830	IZQ	5	16	20.0	10.0	20	64	1.000	1.0	20	65	70	
1322+990	IZQ	3	20	20.0	10.0	12	80	1.000	1.0	12	81	45	
1323+150	IZQ	11	22	20.0	10.0	44	88	1.000	1.0	45	89	70	
1323+310	IZQ	8	17	20.0	10.0	32	68	1.000	1.0	32	69	86	
1323+470	IZQ	9	21	20.0	10.0	36	84	1.000	1.0	37	85	64	
1323+630	IZQ	7	18	20.0	10.0	28	72	1.000	1.0	28	73	70	
1323+790	IZQ	9	20	20.0	10.0	36	80	1.000	1.0	37	81	70	
1323+950	IZQ	4	17	20.0	10.0	16	68	1.000	1.0	16	69	59	

Deflexión Corregida:

Promedio:	78.5	mm/100
Mínimo:	60.9	mm/100
Máximo:	89.3	mm/100
Desviación S:	7.8	mm/100
Deflexión C:	91.35	mm/100
Deflexión Admisible:	85.00	mm/100



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



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



PROYECTO

EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

SOLICITANTE

Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

LUGAR

VÍA JULIACA - CARACOTO (BASE)

PROGRESIVA

KM 1321+000

MUESTRA

MUESTRA 1

FECHA

09/07/2025

LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO-HUMEDO + TARRO	gr	32.79	33.18	34.62
SUELO SECO + TARRO	gr	28.46	27.91	28.33
PESO DEL TARRO	gr	9.02	8.84	8.79
PESO DEL AGUA	gr	4.33	5.27	6.29
PESO DEL SUELO SECO	gr	19.44	19.07	19.54
HUMEDAD %	%	22.27	27.64	32.19
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
23.12	22.51
20.23	19.98
8.46	8.54
2.89	2.53
11.77	11.44
24.55	22.12

LÍMITE LÍQUIDO % : 26.79

LÍMITE PLÁSTICO % : 23.33

ÍNDICE PLÁSTICO % : 03.46

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes

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



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



PROYECTO

EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

SOLICITANTE

Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

LUGAR

VÍA JULIACA - CARACOTO (BASE)

PROGRESIVA

KM 1322+100

MUESTRA

MUESTRA 2

FECHA

09/07/2025

LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO.N°		T-04	T-10	T-19
SUELO-HUMEDO + TARRO	gr	32.59	31.67	31.12
SUELO SECO + TARRO	gr	26.85	27.13	26.45
PESO DEL TARRO	gr	8.61	8.52	8.38
PESO DEL AGUA	gr	5.74	4.54	4.67
PESO DEL SUELO SECO	gr	18.24	18.61	18.07
HUMEDAD %	%	31.47	24.40	25.84
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
23.03	21.03
19.44	19.63
9.36	9.47
3.59	1.40
10.08	10.16
35.62	13.78

LÍMITE LÍQUIDO % : 26.89

LÍMITE PLÁSTICO % : 24.70

ÍNDICE PLÁSTICO % : 02.19

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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



PROYECTO : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

SOLICITANTE : Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

LUGAR : VÍA JULIACA - CARACOTO (BASE)

PROGRESIVA : KM 1323+200

MUESTRA : MUESTRA 3

FECHA : 09/07/2025

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

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO.Nº		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	33.29	32.64	32.41
SUELO SECO + TARRO	gr	28.75	27.44	26.67
PESO DEL TARRO	gr	8.21	8.18	8.32
PESO DEL AGUA	gr	4.54	5.20	5.74
PESO DEL SUELO SECO	gr	20.54	19.26	18.35
HUMEDAD %	%	22.10	27.00	31.28
Nº DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
21.78	22.72
19.38	20.19
9.14	9.26
2.40	2.53
10.24	10.93
23.44	23.15

LÍMITE LÍQUIDO % : 26.24

LÍMITE PLÁSTICO % : 23.29

ÍNDICE PLÁSTICO % : 02.95

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

Donde:
LL = Límite Líquido
W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)
N = Número de Golpes



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



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

SOLICITANTE : Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

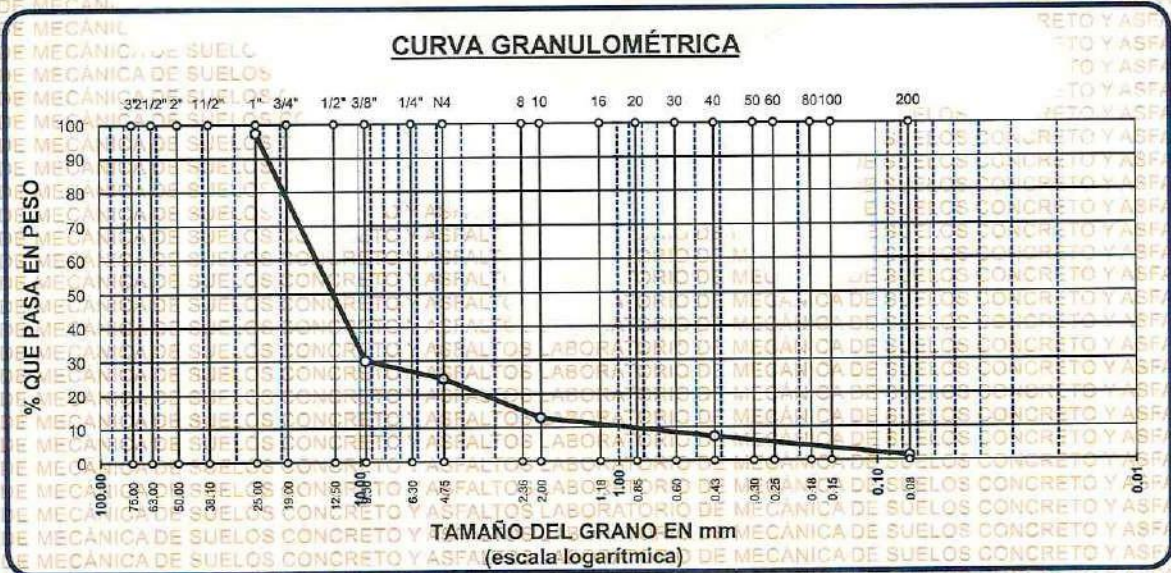
LUGAR : VÍA JULIACA - CARACOTO (BASE)

PROGRESIVA : KM 1321+000

MUESTRA : MUESTRA 1

FECHA : 09/07/2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 2500.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 2467.14
2"	50.000						P.P.= 32.86
1 1/2"	38.100						% W =
1"	25.000	65.48	2.62	2.62	97.38		LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 26.79
1/2"	12.500						L.P.= 23.33
3/8"	9.500	1681.03	67.24	69.86	30.14		I.P.= 3.46
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	136.87	5.47	75.34	24.66		D10= 1.188 Cu= 13.8
No8	2.360						D30= 9.379 Cc= 4.52
No10	2.000	292.64	11.71	87.04	12.96		D60= 16.38
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850						I.G. = :
No30	0.600						SUCS : SP
No40	0.425	143.49	5.74	92.78	7.22		ASSTHO
No50	0.300						OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150						
No200	0.075	147.63	5.91	98.69	1.31		
BASE		32.86	1.31	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		1.31					



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

[Signature]
CIP 103257



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

SOLICITANTE : Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

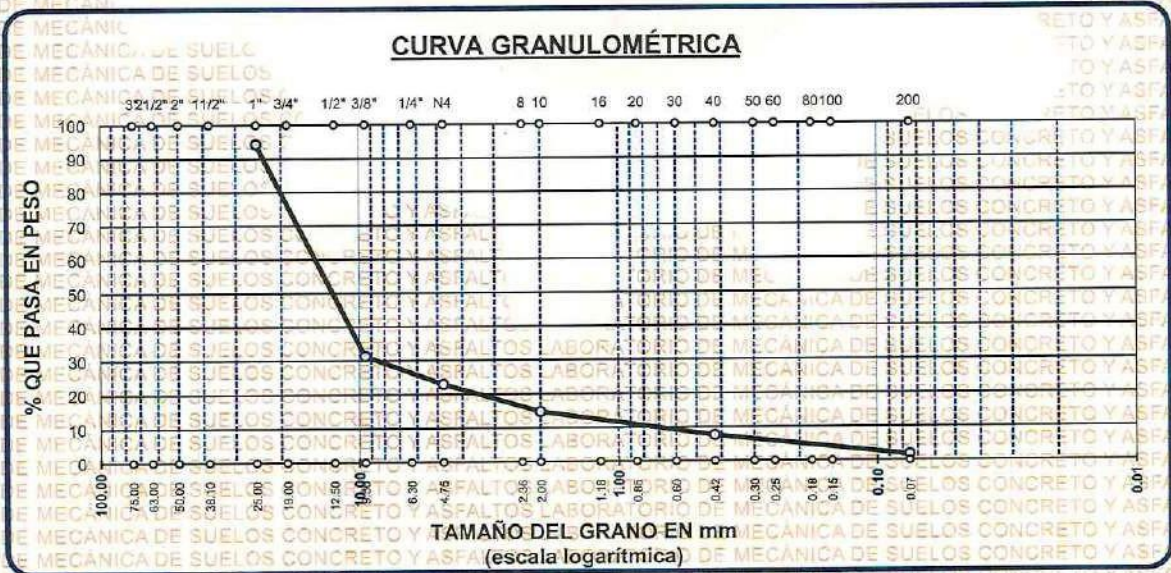
LUGAR : VÍA JULIACA - CARACOTO (BASE)

PROGRESIVA : KM 1322+100

MUESTRA : MUESTRA 2

FECHA : 09/07/2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 2500.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 2456.66
2"	50.000						P.P.= 43.34
1 1/2"	38.100						% w =
1"	25.000	142.96	5.72	5.72	94.28		LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 26.79
1/2"	12.500						L.P.= 23.33
3/8"	9.500	1572.55	62.90	68.62	31.38		I.P.= 3.46
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	209.87	8.39	77.02	22.98		D10= 0.938 Cu= 17.6
No8	2.360						D30= 8.719 Cc= 4.89
No10	2.000	203.72	8.15	85.16	14.84		D60= 16.55
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850						I.G. = :
No30	0.600						SUCS : SP
No40	0.425	179.37	7.17	92.34	7.66		ASSTHO
No50	0.300						OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150						
No200	0.075	148.19	5.93	98.27	1.73		
BASE		43.34	1.73	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		1.73					



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP 193257



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

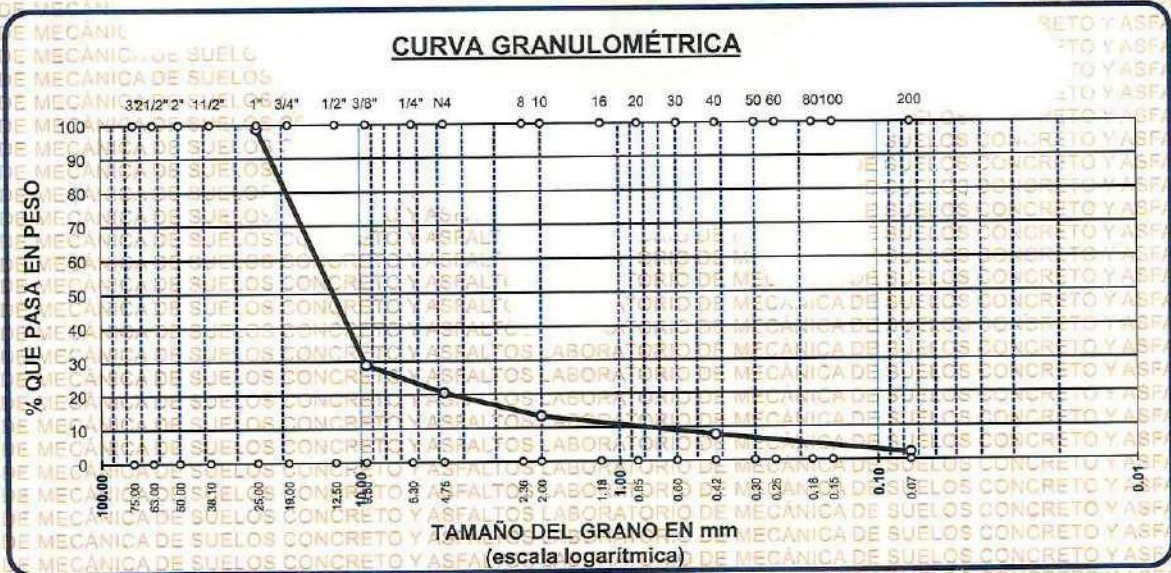


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE : Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
LUGAR : VÍA JULIACA - CARACOTO (BASE)
PROGRESIVA : KM 1323+200
MUESTRA : MUESTRA 3
FECHA : 09/07/2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 2500.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 2446.86
2"	50.000						P.P.= 53.14
1 1/2"	38.100						% W =
1"	25.000	27.30	1.09	1.09	98.91		LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 26.79
1/2"	12.500						L.P.= 23.33
3/8"	9.500	1749.54	69.98	71.07	28.93		I.P.= 3.46
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	208.73	8.35	79.42	20.58		D10= 1.034 Cu= 15.8
No8	2.360						D30= 9.738 Cc= 5.6
No10	2.000	176.36	7.05	86.48	13.52		
No16	1.180						
No20	0.850						
No30	0.600						
No40	0.425	143.65	5.75	92.22	7.78		CLASIFICACIÓN:
No50	0.300						I.G. = :
No60	0.250						SUCS : SP
No80	0.180						ASSTHO
No100	0.150						OBSERVACIONES:
No200	0.075	141.28	5.65	97.87	2.13		
BASE		53.14	2.13	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		2.13					



NOTA: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



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



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



PROYECTO

: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

SOLICITANTE

: Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

LUGAR

: VÍA JULIACA - CARACOTO (SUB BASE)

PROGRESIVA

: KM 1321+000

MUESTRA

: MUESTRA 1

FECHA

: 09/07/2025

LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	32.34	33.18	30.62
SUELO SECO + TARRO	gr	27.67	27.83	26.07
PESO DEL TARRO	gr	9.25	8.21	8.16
PESO DEL AGUA	gr	4.67	5.35	4.55
PESO DEL SUELO SECO	gr	18.42	19.62	17.91
HUMEDAD %	%	25.35	27.27	25.40
N° DE GÓLPE	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
22.32	21.48
20.17	19.48
9.10	9.42
2.15	2.00
11.07	10.06
19.42	19.88

LÍMITE LÍQUIDO % : 25.61

LÍMITE PLÁSTICO % : 19.65

ÍNDICE PLÁSTICO % : 05.96

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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



PROYECTO : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

SOLICITANTE : Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

LUGAR : VÍA JULIACA - CARACOTO (SUB BASE)

PROGRESIVA : KM 1322+100

MUESTRA : MUESTRA 2

FECHA : 09/07/2025

LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	30.84	31.54	27.25
SUELO SECO + TARRO	gr	25.03	25.81	25.4
PESO DEL TARRO	gr	9.38	8.33	8.54
PESO DEL AGUA	gr	5.81	5.73	1.85
PESO DEL SUELO SECO	gr	15.65	17.48	16.86
HUMEDAD %	%	37.12	32.78	10.97
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
19.63	20.06
17.82	18.35
9.18	9.25
1.81	1.71
8.64	9.10
20.95	18.79

LÍMITE LÍQUIDO % : 26.98

LÍMITE PLÁSTICO % : 19.87

ÍNDICE PLÁSTICO % : 07.11

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

Donde:
LL = Límite Líquido
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
N = Número de Golpes



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



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



PROYECTO

: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

SOLICITANTE

: Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

LUGAR

: VÍA JULIACA - CARACOTO (SUB BASE)

PROGRESIVA

: KM 1323+200

MUESTRA

: MUESTRA 3

FECHA

: 09/07/2025

LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	34.31	32.64	32.41
SUELO SECO + TARRO	gr	28.75	27.44	26.67
PESO DEL TARRO	gr	8.52	8.36	8.61
PESO DEL AGUA	gr	5.56	5.20	5.74
PESO DEL SUELO SECO	gr	20.23	19.08	18.06
HUMEDAD %	%	27.48	27.25	31.78
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
21.37	22.47
19.38	20.19
9.37	9.37
1.99	2.28
10.01	10.82
19.88	21.07

LÍMITE LÍQUIDO % : 28.32

LÍMITE PLÁSTICO % : 20.48

ÍNDICE PLÁSTICO % : 07.84

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

SOLICITANTE : Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

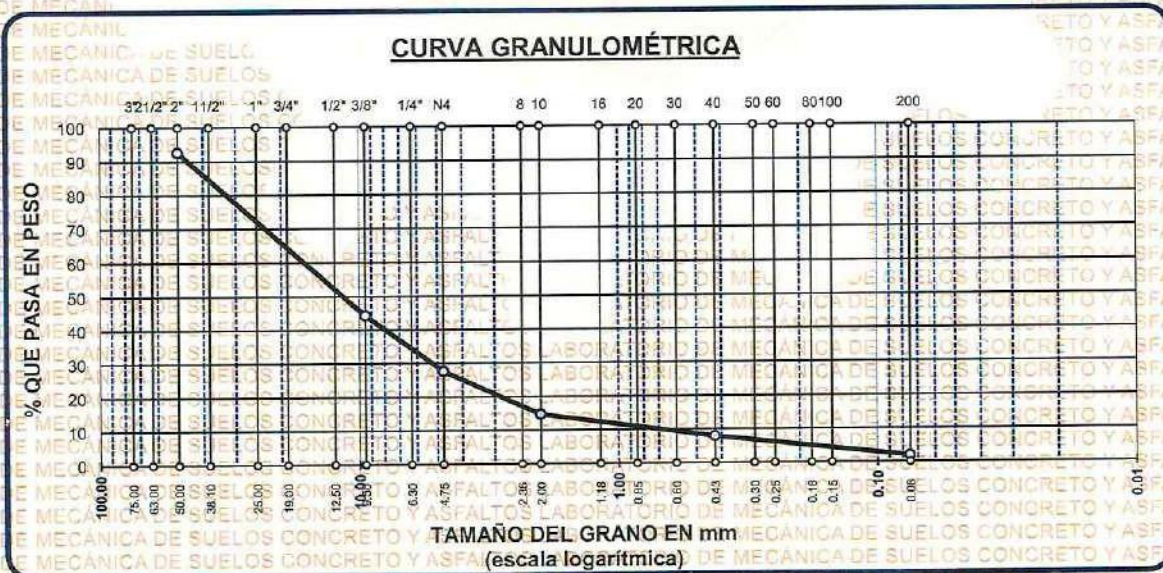
LUGAR : VÍA JULIACA - CARACOTO (SUB BASE)

PROGRESIVA : KM 1321+000

MUESTRA : MUESTRA 1

FECHA : 09/07/2025

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	184.26	7.37	7.37	92.63		P.L.= 2451.95
1 1/2"	38.100						P.P.= 48.05
1"	25.000						% W =
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						L.L.= 25.61
3/8"	9.500	1206.21	48.25	55.62	44.38		L.P.= 19.65
1/4"	6.300						I.P.= 5.96
No4	4.750	416.53	16.66	72.28	27.72		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= 0.901 Cu= 25.1
No10	2.000	325.74	13.03	85.31	14.69		D30= 5.400 Cc= 1.43
No16	1.180						D60= 22.61
No20	0.850						CLASIFICACIÓN:
No30	0.600						I.G. = :
No40	0.425	167.99	6.72	92.03	7.97		SUCS : SC
No50	0.300						ASSTHO
No60	0.250						OBSERVACIONES:
No80	0.180						
No100	0.150						
No200	0.075	151.22	6.05	98.08	1.92		
BASE		48.05	1.92	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		1.92					



NOTA: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

[Signature]
Dr. Amanda Yana Torres
103257



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

SOLICITANTE : Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

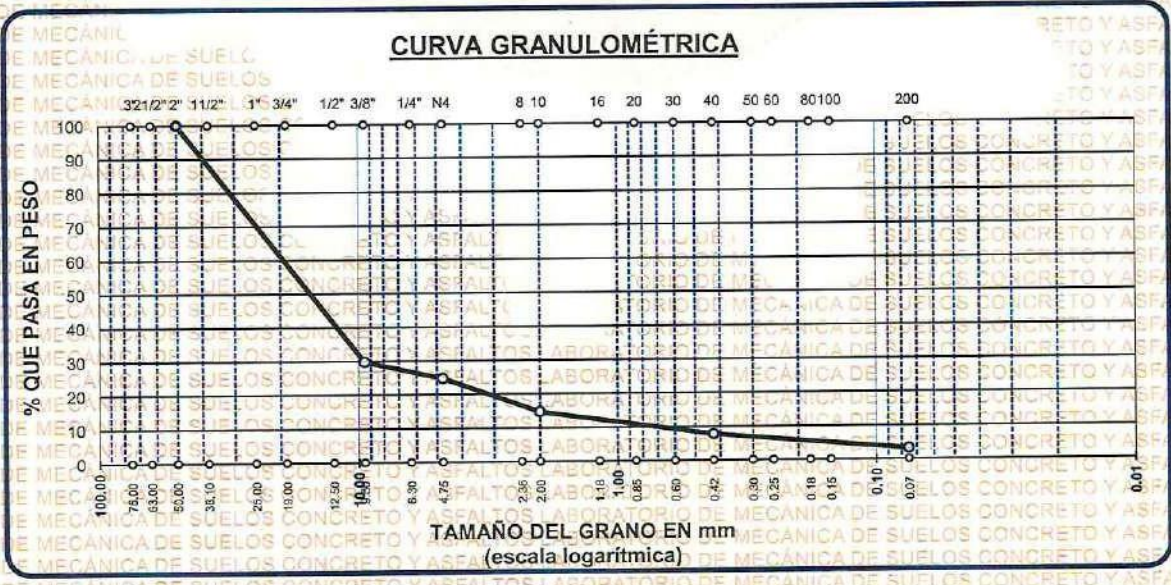
LUGAR : VÍA JULIACA - CARACOTO (SUB BASE)

PROGRESIVA : KM 1322+100

MUESTRA : MUESTRA 2

FECHA : 09/07/2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000							P.I.= 2500.00
2 1/2"	63.000							P.L.= 2419.05
2"	50.000	1.00	0.04	0.04	99.96			P.P.= 80.95
1 1/2"	38.100							% w =
1"	25.000							LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000							L.L.= 25.61
1/2"	12.500							L.P.= 19.65
3/8"	9.500	1754.85	70.19	70.23	29.77			I.P.= 5.96
1/4"	6.300							CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	123.68	4.95	75.18	24.82			D10= 0.913 Cu= 29.5
No8	2.360							D30= 9.635 Cc= 3.77
No10	2.000	251.26	10.05	85.23	14.77			
No16	1.180							
No20	0.850							
No30	0.600							
No40	0.425	172.77	6.91	92.14	7.86			CLASIFICACIÓN:
No50	0.300							I.G. = :
No60	0.250							SUCS : SC
No80	0.180							ASSTHO
No100	0.150							OBSERVACIONES:
No200	0.075	115.49	4.62	96.76	3.24			
BASE		80.95	3.24	100.00	0.00			
TOTAL		2500.00	100.00					
% PERDIDA		3.24						



NOTA: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

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

LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA

Dr. Arnaldo Yana Torres



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

SOLICITANTE : Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

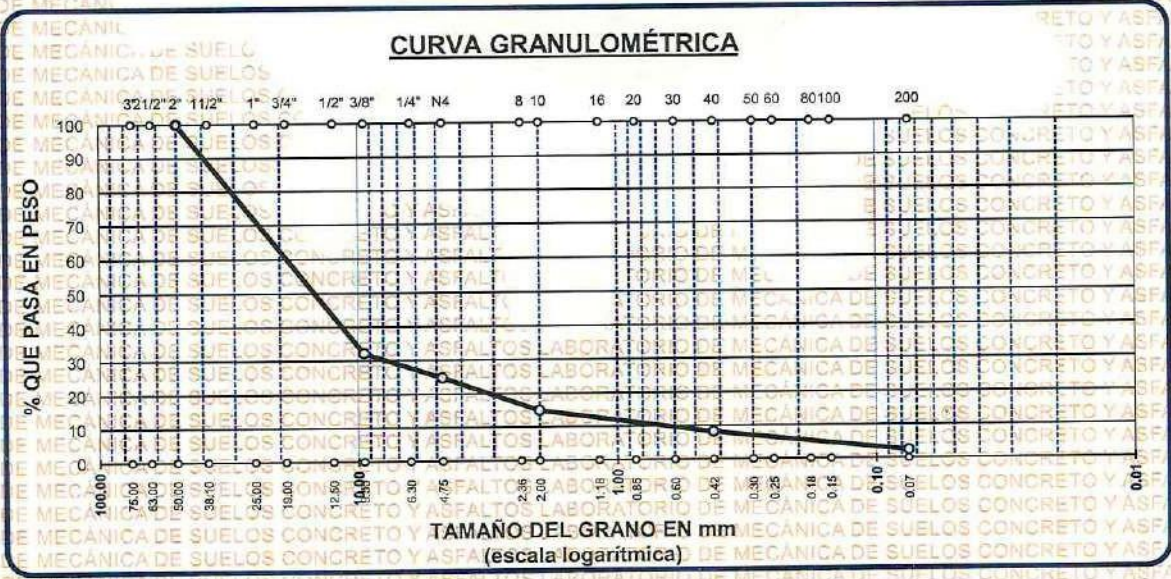
LUGAR : VÍA JULIACA - CARACOTO (SUB BASE)

PROGRESIVA : - KM 1323+200

MUESTRA : - MUESTRA 3

FECHA : - 09/07/2025

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.= 2439.74
1 1/2"	38.100						P.P.= 60.26
1"	25.000						% w =
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						L.L.= 25.61
3/8"	9.500	1693.61	67.74	67.74	32.26		L.P.= 19.65
1/4"	6.300						I.P.= 5.96
No4	4.750	185.42	7.42	75.16	24.84		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= 0.841 Cu= 31
No10	2.000	247.63	9.91	85.07	14.93		D30= 8.055 Cc= 2.96
No16	1.180						D60= 26.09
No20	0.850						CLASIFICACIÓN:
No30	0.600						I.G. =
No40	0.425	167.59	6.70	91.77	8.23		SUCS : SC
No50	0.300						ASSTHO
No60	0.250						OBSERVACIONES:
No80	0.180						
No100	0.150						
No200	0.075	145.49	5.82	97.59	2.41		
BASE		60.26	2.41	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		2.41					



NOTA: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA
 Dr. Andrés Yana Torres
 CIP. 103257



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS:	EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE:	Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
UBICACIÓN:	VÍA JULIACA - CARACOTO
MUESTRA:	MUESTRA 1 - BASE GRANULAR
FECHA:	09 DE JULIO DEL 2025

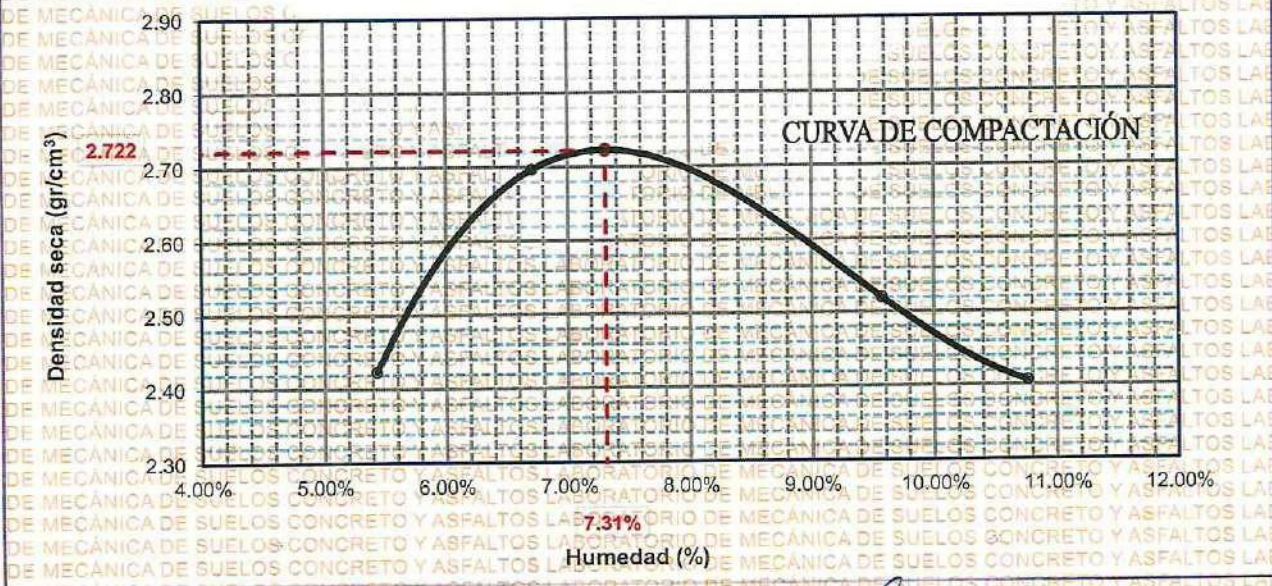
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2125 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	11959	12645	12398	12194
Peso del Molde	gr.	6530	6530	6530	6530
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	5429	6115	5868	5664
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2.555	2.878	2.761	2.665

Capsula No	No	TA-04	TA-03	TA-02	TA-01
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	215.57	245.61	365.12	321.25
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	208.48	234.88	339.16	296.06
Peso del Agua	gr.	7.09	10.73	25.96	25.19
Peso de la Capsula	gr.	78.00	75.00	68.00	62.00
Peso del Suelo Seco	gr.	130.48	159.88	271.16	234.06
% de Humedad	%	5.43%	6.71%	9.57%	10.76%
Promedio de Humedad	%	5.43%	6.71%	9.57%	10.76%
Densidad del Suelo Seco	%	2.423	2.697	2.520	2.406

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	2.722 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	7.31%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.S.C.A. INVESTIGACIÓN
Dr. Arnaldo Yana Torres
TEL: 100237



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



RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D 1883 - MTC E 132)

TESIS: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

SOLICITANTE: Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

UBICACIÓN: VÍA JULIACA - CARACOTO

MUESTRA: MUESTRA 1 - BASE GRANULAR

FECHA: 09 DE JULIO DEL 2025

	DENSIDAD MÁXIMA		2.722		HUMEDAD ÓPTIMA (%)		7.31%	
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	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12476	12535	12286	12215	12225	12650		
Peso de molde (g)	7689	8255	7675	8026	7740	8312		
Peso del suelo húmedo (g)	4788	4280	4605	4187	4485	4338		
Volumen del molde (cm ³)	2150	2249	2150	2263	2135	2121		
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.227	1.903	2.142	1.850	2.101	2.045		
Tara (N°)	11	15	21	8	7	18		
Peso suelo húmedo + tara (g)	194.66	361.33	235.33	344.02	294.22	523.02		
Peso suelo seco + tara (g)	193.87	328.57	222.74	318.38	279.33	489.62		
Peso de tara (g)	37.55	37.55	39.05	39.05	72.25	72.25		
Peso de agua (g)	10.79	32.76	12.59	25.66	14.89	33.40		
Peso de suelo seco (g)	146.3	291.0	183.7	279.3	207.1	417.4		
Contenido de humedad (%)	7.37	11.26	6.85	9.19	7.19	8.00		
Densidad seca (g/cm ³)	2.074	1.711	2.004	1.695	1.960	1.894		

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION	
				mm	%	mm	%	mm	%	mm	%		
08:00		0	0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00		
08:00		24	1	0.600	0.600	3.00	0.300	0.300	1.50	0.200	0.200	1.00	
08:00		48	2	0.900	0.900	4.50	0.700	0.700	3.50	0.400	0.400	2.00	
08:00		72	3	1.200	1.200	6.00	0.900	0.900	4.50	0.600	0.600	3.00	
08:00		96	4	1.200	1.200	6.00	0.900	0.900	4.50	0.600	0.600	3.00	

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N° 56				MOLDE N° 25				MOLDE N° 12			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		mm	in	Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000	0.000		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0		
0.635	0.025		301.5		147.4		147.4		88.4		147.4		
1.270	0.050		515.9		241.2		241.2		147.4		294.8		
1.905	0.075		683.3		442.2		442.2		294.8		554.8		
2.540	0.100	70.5	804.0	904.4	63.6	562.8	594.2	41.8	369.8	386.5	27.2		
3.810	0.150		924.6		885.1		885.1		554.8		885.1		
5.080	0.200	105.7	1809.0	1784.1	83.6	1145.7	1106.8	51.9	639.5	704.7	33.0		
6.350	0.250		2176.2		1293.1		1293.1		858.9		1293.1		
7.620	0.300		2465.6		1447.2		1447.2		860.3		1447.2		
10.160	0.400		3082.0		1688.4		1688.4		976.9		1688.4		

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

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP: 103257

LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA JULIACA - PERU



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



RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D 1883 - MTC E 132)

TESIS : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

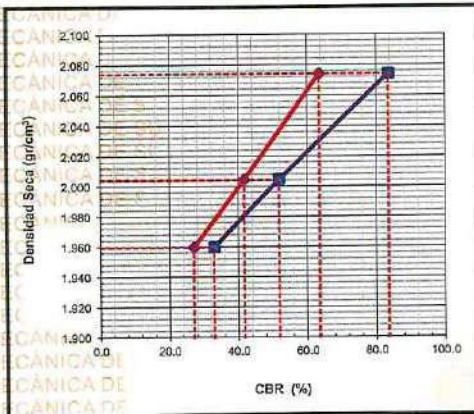
SOLICITANTE : Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

UBICACIÓN : VÍA JULIACA - CARACOTO

MUESTRA : MUESTRA 1 - BASE GRANULAR

FECHA : 09 DE JULIO DEL 2025

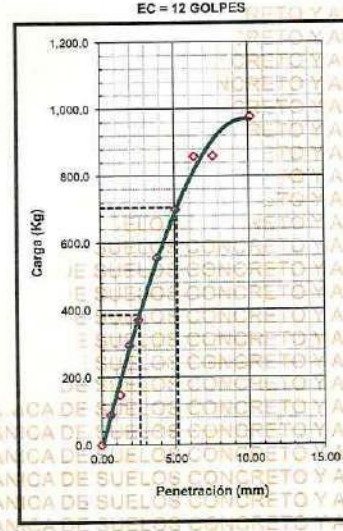
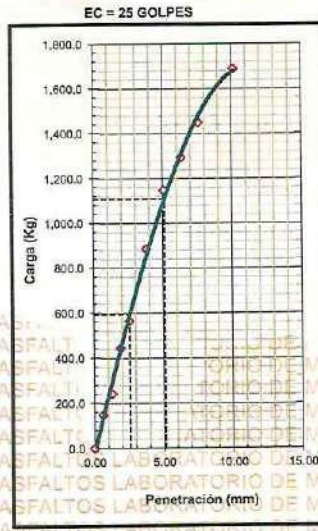
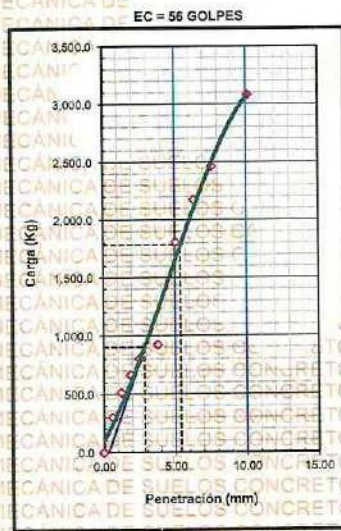
GRAFICA DE CAPACIDAD DE SOPORTE



METODO DE COMPACTACION	: ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3)	: 2.722
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 7.31%
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3)	: 2.586
DENSIDAD INSITU (g/cm3)	:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	63.6	0.2"	83.6
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	41.8	0.2"	51.9

RESULTADOS CBR a 0.1":	=	63.6	(%)
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	=	41.8	(%)



LABORATORIO	ESP. SUELOS Y PAVIMENTOS	GERENTE VIAL
CBR (0.1") 63.6% CBR (0.2") 83.6%	CBR (0.1") 41.8% CBR (0.2") 51.9%	CBR (0.1") 27.2% CBR (0.2") 33.0%

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL

[Signature]
GIP: 103257



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS:	EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICION DE DEFLEXIONES MAXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE	Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
UBICACIÓN	VÍA JULIACA - CARACOTO
MUESTRA	MUESTRA 2 - BASE GRANULAR
FECHA	09 DE JULIO DEL 2025

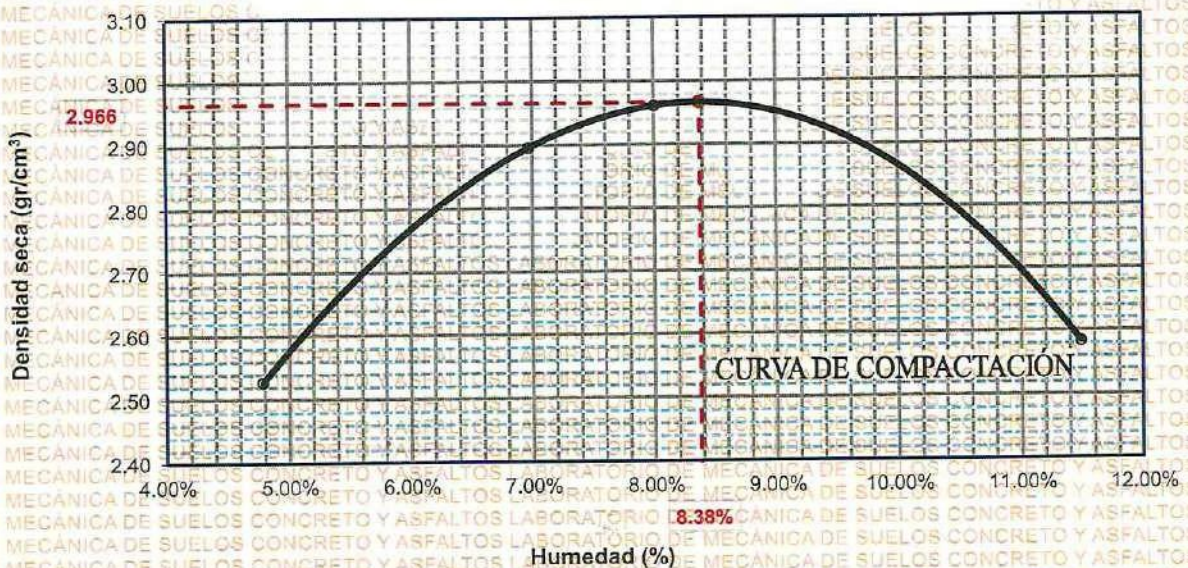
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2125 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	12157	13112	13326	12651
Peso del Molde	gr.	6530	6530	6530	6530
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	5627	6582	6796	6121
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2.648	3.097	3.198	2.880

Capsula No	No	TA-04	TA-03	TA-02	TA-01
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	214.38	245.54	361.10	322.49
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	208.15	234.75	339.16	296.06
Peso del Agua	gr.	6.23	10.79	21.94	26.43
Peso de la Capsula	gr.	78.00	80.00	65.00	66.00
Peso del Suelo Seco	gr.	130.15	154.75	274.16	230.06
% de Humedad	%	4.79%	6.97%	8.00%	11.49%
Promedio de Humedad	%	4.79%	6.97%	8.00%	11.49%
Densidad del Suelo Seco	%	2.527	2.896	2.961	2.584

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	2.966 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	8.38%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Vano Torres
CIP 103257



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



RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D 1883 - MTC E 132)

TESIS: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE: Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
UBICACIÓN: VÍA JULIACA - CARACOTO
MUESTRA: MUESTRA 2 - BASE GRANULAR
FECHA: 09 DE JULIO DEL 2025

		DENSIDAD MÁXIMA		2,966	HUMEDAD ÓPTIMA (%)		8,38%
Molde Nº	17			25			40
Capas Nº	5			5			5
Goüpes por capa Nº	56			25			12
Condición de la muestra		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12456	12535	12274	12215	12229	12650	
Peso de molde (g)	7688	8255	7675	8028	7740	8312	
Peso del suelo húmedo (g)	4768	4280	4599	4187	4489	4338	
Volumen del molde (cm ³)	2150	2249	2150	2263	2135	2121	
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.218	1.903	2.139	1.850	2.103	2.045	
Tara (Nº)	11	15	21	8	7	18	
Peso suelo húmedo + tara (g)	194.68	361.33	235.33	344.02	294.22	523.02	
Peso suelo seco + tara (g)	183.87	328.57	222.74	318.36	279.33	489.62	
Peso de tara (g)	37.55	37.55	39.05	39.05	72.25	72.25	
Peso de agua (g)	10.79	32.76	12.59	25.66	14.89	33.40	
Peso de suelo seco (g)	146.3	291.0	183.7	279.3	207.1	417.4	
Contenido de humedad (%)	7.37	11.26	6.85	9.19	7.19	8.00	
Densidad seca (g/cm ³)	2.065	1.711	2.002	1.695	1.962	1.894	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
		0	0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00
		24	1	0.600	0.600	3.00	0.300	0.300	1.50	0.200	0.200
		48	2	0.900	0.900	4.50	0.700	0.700	3.50	0.400	0.400
		72	3	1.200	1.200	6.00	0.900	0.900	4.50	0.600	0.600
		96	4	1.200	1.200	6.00	0.900	0.900	4.50	0.600	0.600

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE Nº 56				MOLDE Nº 25				MOLDE Nº 12				
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		
		mm	in	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		353.3			172.7				103.6				
1.270	0.050		604.5			282.6				172.7				
1.905	0.075		777.2			518.1				345.4				
2.540	0.100	70.5	942.0	1059.6	74.5	659.4	696.2	48.9		433.3	452.9	31.8		
3.810	0.150		1083.3			1037.0				650.0				
5.080	0.200	105.7	2119.5	2090.3	98.0	1342.4	1296.5	60.8		819.5	825.7	38.7		
6.350	0.250		2649.7			1515.1				1008.4				
7.620	0.300		2888.8			1695.5				1007.9				
10.160	0.400		3611.0			1978.2				1144.5				

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



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



RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D 1883 - MTC E.132)

TESIS: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

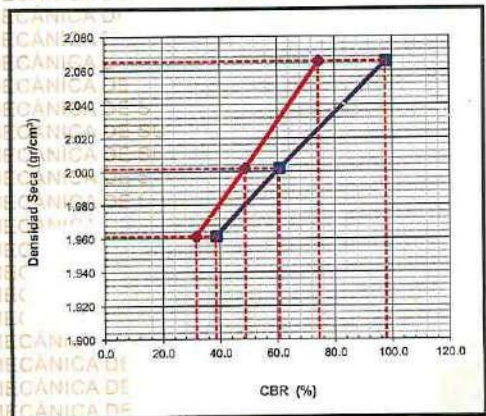
SOLICITANTE: Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

UBICACIÓN: VÍA JULIACA - CARACOTO

MUESTRA: MUESTRA 2 - BASE GRANULAR

FECHA: 09 DE JULIO DEL 2025

GRAFICA DE CAPACIDAD DE SOPORTE

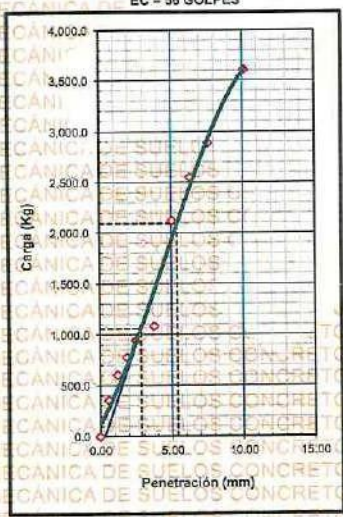


METODO DE COMPACTACION	: ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3)	: 2.966
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 8.38%
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3)	: 2.818
DENSIDAD INSITU (g/cm3)	:

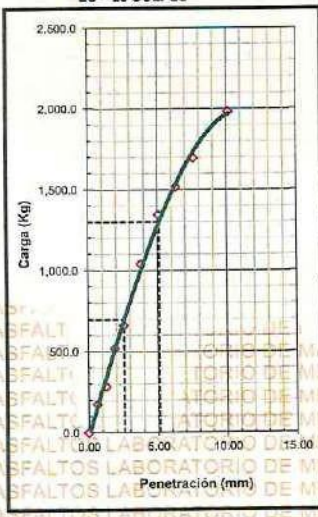
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	74.5	0.2"	98.0
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	48.9	0.2"	60.8

RESULTADOS CBR a 0.1":	=	74.5	(%)
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	=	48.9	(%)

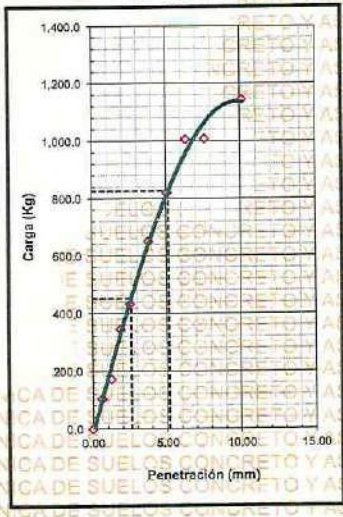
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



LABORATORIO	ESP. SUELOS Y PAVIMENTOS	GERENTE VIAL
CBR (0.1") - 74.5%	CBR (0.1") - 48.9%	CBR (0.1") - 31.8%
CBR (0.2") - 98.0%	CBR (0.2") - 60.8%	CBR (0.2") - 38.7%



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

Dr. Araydo Yana Torres
CIP. 103257

BIE: B006-00255215



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICION DE DEFLEXIONES MAXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE	: Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
UBICACIÓN	: VÍA JULIACA - CARACOTO
MUESTRA	: MUESTRA 3 - BASE GRANULAR
FECHA	: 09 DE JULIO DEL 2025

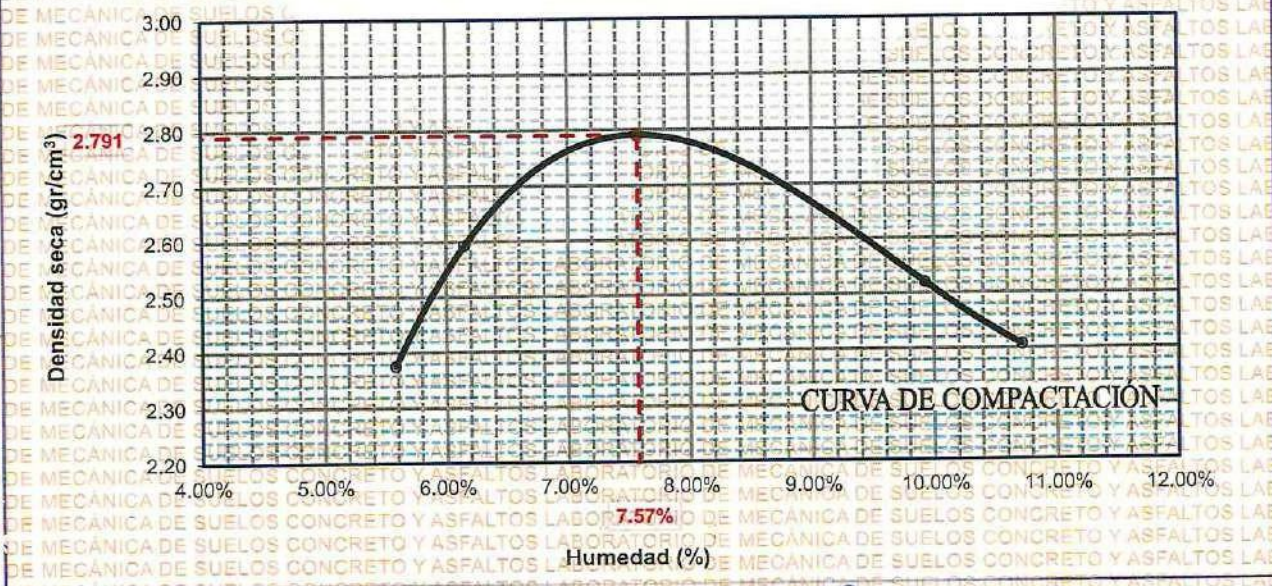
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2125 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	11859	12378	12417	12194
Peso del Molde	gr.	6530	6530	6530	6530
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	5329	5848	5887	5664
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2.508	2.752	2.770	2.665

Capsula No	No	TA-04	TA-03	TA-02	TA-01
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	215.87	244.71	366.07	321.14
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	208.58	234.88	339.16	296.06
Peso del Agua	gr.	7.29	9.83	26.91	25.08
Peso de la Capsula	gr.	78.00	75.00	68.00	62.00
Peso del Suelo Seco	gr.	130.58	159.88	271.16	234.06
% de Humedad	%	5.58%	6.15%	9.92%	10.72%
Promedio de Humedad	%	5.58%	6.15%	9.92%	10.72%
Densidad del Suelo Seco	%	2.375	2.593	2.520	2.407

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2.791 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 7.57%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



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

[Signature]

LABORATORIO
M.S.C.
VERFURRA

JULIACA

CIP: 103257



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



RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D 1883 - MTC E 132)

TEMA: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO

SOLICITANTE: Bachi, ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

UBICACIÓN: VÍA JULIACA - CARACOTO

MUESTRA: MUESTRA 3 - BASE GRANULAR

FECHA: 09 DE JULIO DEL 2025

	DENSIDAD MÁXIMA		2.791	HUMEDAD ÓPTIMA (%)		7.57%
Molde Nº	17		25	40		
Capas Nº	5		5	5		
Golpes por capa Nº	56		25	12		
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12476	12535	12280	12215	12225	12650
Peso de molde (g)	7693	8255	7675	8028	7740	8312
Peso del suelo húmedo (g)	4788	4280	4605	4187	4485	4338
Volumen del molde (cm ³)	2150	2249	2150	2263	2135	2121
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.227	1.903	2.142	1.850	2.101	2.045
Tara (Nº)	11	15	21	8	7	18
Peso suelo húmedo + tara (g)	194.66	361.33	235.33	344.02	294.22	523.02
Peso suelo seco + tara (g)	183.87	328.57	222.74	318.36	279.33	489.62
Peso de tara (g)	37.55	37.55	39.05	39.05	72.25	72.25
Peso de agua (g)	10.79	32.76	12.59	25.66	14.89	33.40
Peso de suelo seco (g)	146.3	291.0	183.7	279.3	207.1	417.4
Contenido de humedad (%)	7.37	11.26	8.85	9.19	7.19	8.00
Densidad seca (g/cm ³)	2.074	1.711	2.004	1.695	1.960	1.894

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION	
			mm	%	mm	%	mm	%	mm	%				
		0	0	0,000	0,000	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00	
		24	1	0,600	0,600	3,00	0,300	0,300	0,300	1,50	0,200	0,200	1,00	
		48	2	0,900	0,900	4,50	0,700	0,700	0,700	3,50	0,400	0,400	2,00	
		72	3	1,200	1,200	6,00	0,900	0,900	0,900	4,50	0,600	0,600	3,00	
		96	4	1,200	1,200	6,00	0,900	0,900	0,900	4,50	0,600	0,600	3,00	

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE Nº 56				MOLDE Nº 25				MOLDE Nº 12				
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		
		mm	In	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		319.5			156.2				93.7				
1.270	0.050		546.7			255.6				156.2				
1.905	0.075		702.9			456.5				312.4				
2.540	0.100	70.6	852.0	956.4	67.4	596.4	629.6	44.3	391.9	409.6	28.8			
3.810	0.150		979.8			937.9				587.9				
5.090	0.200	105.7	1917.0	1890.6	88.6	1214.1	1172.7	55.0	741.2	746.8	35.0			
6.350	0.250		2306.1			1370.3				910.2				
7.620	0.300		2612.6			1533.6				911.6				
10.160	0.400		3266.0			1789.2				1035.2				

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

LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP: 103257



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



RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D 1883 - MTC E 132)

TESIS: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

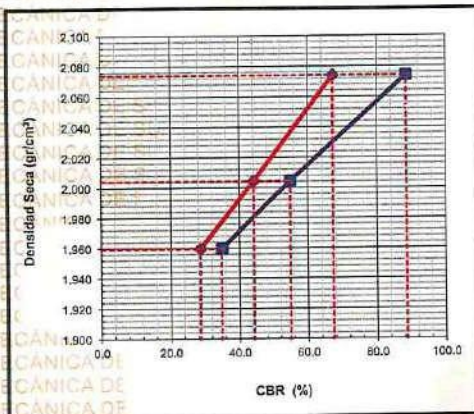
SOLICITANTE: Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA

UBICACIÓN: VÍA JULIACA - CARACOTO

MUESTRA: MUESTRA 3 - BASE GRANULAR

FECHA: 09 DE JULIO DEL 2025

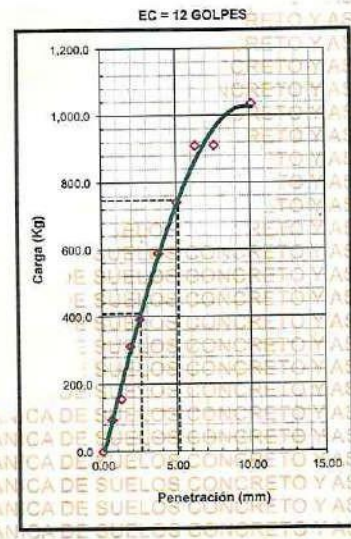
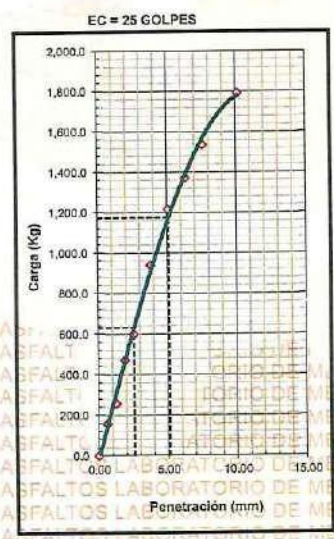
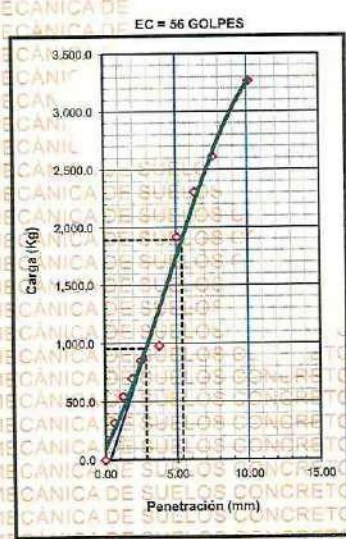
GRAFICA DE CAPACIDAD DE SOPORTE



METODO DE COMPACTACION	: ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3)	: 2.791
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 7.57%
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3)	: 2.652
DENSIDAD INSITU (g/cm3)	:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	67.4	0.2"	88.6
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	44.3	0.2"	55.0

RESULTADOS CBR a 0.1":	=	67.4	(%)
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	=	44.3	(%)



LABORATORIO	ESP. SUELOS Y PAVIMENTOS	GERENTE VIAL
CBR (0.1") 67.4% CBR (0.2") 88.6%	CBR (0.1") 44.3% CBR (0.2") 55.0%	CBR (0.1") 28.8% CBR (0.2") 35.0%



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



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS:	EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICION DE DEFLEXIONES MAXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE:	Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
UBICACIÓN:	VÍA JULIACA - CARACOTO
MUESTRA:	MUESTRA 1 - SUBBASE GRANULAR
FECHA:	10 DE JULIO DEL 2025

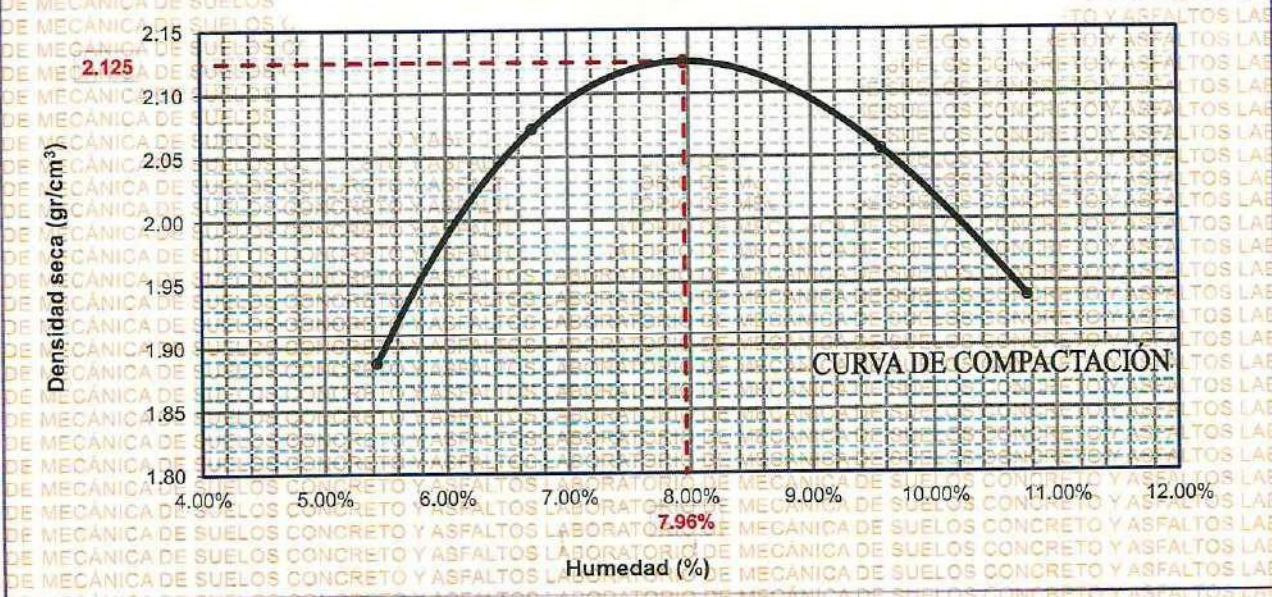
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2125 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10759	11228	11317	11094
Peso del Molde	gr.	6530	6530	6530	6530
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4229	4698	4787	4564
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.990	2.211	2.253	2.148

Capsula No	No	TA-04	TA-03	TA-02	TA-01
Suelo Humedo + Capsula	gr.	215.57	245.61	365.12	321.25
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	208.48	234.88	339.16	296.06
Peso del Agua	gr.	7.09	10.73	25.96	25.19
Peso de la Capsula	gr.	78.00	75.00	68.00	62.00
Peso del Suelo Seco	gr.	130.48	159.88	271.16	234.06
% de Humedad	%	5.43%	6.71%	9.57%	10.76%
Promedio de Humedad	%	5.43%	6.71%	9.57%	10.76%
Densidad del Suelo Seco	%	1.888	2.072	2.056	1.939

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	2.125 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	7.96%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - CIP INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257

BIE: B006-00255215



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



RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D 1883 - MTC E 132)

TESIS: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE: Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
UBICACIÓN: VÍA JULIACA - CARACOTO
MUESTRA: MUESTRA 1 - SUBBASE GRANULAR
FECHA: 10 DE JULIO DEL 2025

	DENSIDAD MÁXIMA		2.125		HUMEDAD ÓPTIMA (%)		7.96%	
Molde Nº	17		25		40			
Capas Nº	5		5		5			
Golpes por capa Nº	56		25		12			
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12476	12535	12280	12215	12225	12550		
Peso de molde (g)	7688	8255	7675	8028	7740	8312		
Peso del suelo húmedo (g)	4788	4280	4605	4187	4485	4338		
Volumen del molde (cm ³)	2150	2249	2150	2263	2135	2121		
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.227	1.903	2.142	1.850	2.101	2.045		
Tara (Nº)	11	15	21	8	7	18		
Peso suelo húmedo + tara (g)	194.66	361.33	235.33	344.02	294.22	523.02		
Peso suelo seco + tara (g)	183.87	328.57	222.74	318.36	279.33	489.62		
Peso de tara (g)	37.55	37.55	38.05	39.05	72.25	72.25		
Peso de agua (g)	10.79	32.76	12.59	25.66	14.89	33.40		
Peso de suelo seco (g)	146.3	291.0	183.7	279.3	207.1	417.4		
Contenido de humedad (%)	7.37	11.26	6.85	9.19	7.19	8.00		
Densidad seca (g/cm ³)	2.074	1.711	2.004	1.695	1.960	1.894		

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION	
			mm	%	mm	%	mm	%	mm	%				
		0	0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	
		24	1	0.600	0.600	3.00	0.300	0.300	0.300	1.50	0.200	0.200	1.00	
		48	2	0.900	0.900	4.50	0.700	0.700	0.700	3.50	0.400	0.400	2.00	
		72	3	1.200	1.200	6.00	0.900	0.900	0.900	4.50	0.600	0.600	3.00	
		96	4	1.200	1.200	6.00	0.900	0.900	0.900	4.50	0.600	0.600	3.00	

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE Nº 56				MOLDE Nº 25				MOLDE Nº 12			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		mm	in	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000	0.000			0.0		0.0				0.0			
0.635	0.025			182.3		89.1				53.5			
1.270	0.050			311.9		145.8				89.1			
1.905	0.075			401.0		267.3				178.2			
2.540	0.100	70.5		486.0	546.7	38.4		340.2	369.2	25.3		233.7	16.4
3.810	0.150			558.9				535.0				223.6	
5.080	0.200	105.7		1093.5	1078.4	50.5		692.6	688.9	31.4		422.8	20.0
6.350	0.250			1315.4				781.7				519.2	
7.620	0.300			1490.4				874.8				520.0	
10.160	0.400			1863.0				1020.6				590.5	

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

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103267

M.S.C.A.
JEFATURA



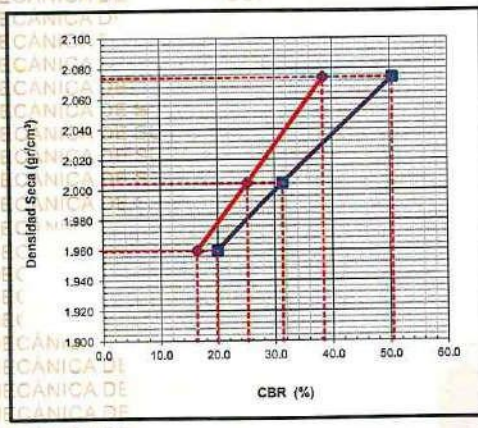
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D 1883 - MTC E 132)

TESIS : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE : Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
UBICACIÓN : VÍA JULIACA - CARACOTO
MUESTRA : MUESTRA 1 - SUBBASE GRANULAR
FECHA : 10 DE JULIO DEL 2025

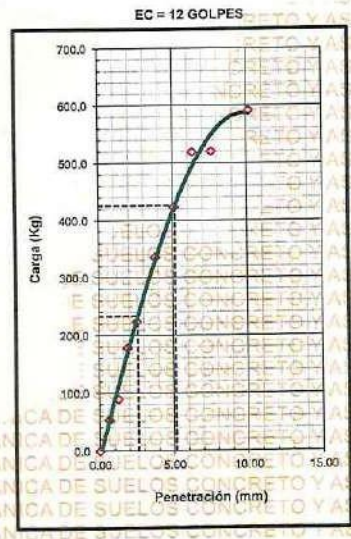
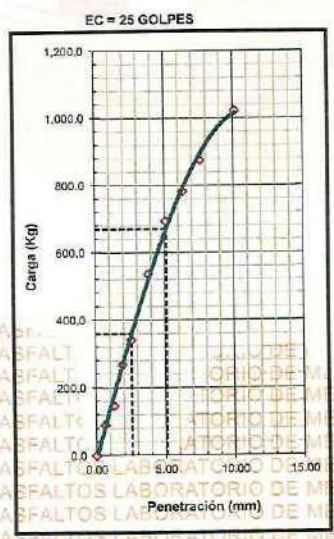
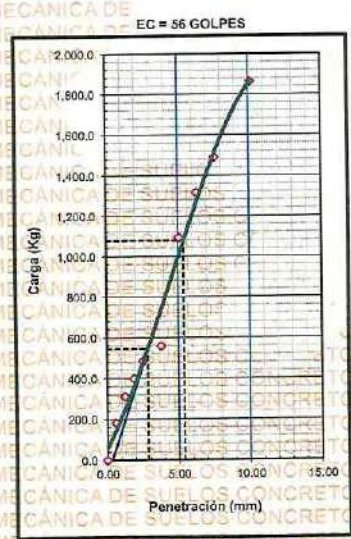
GRAFICA DE CAPACIDAD DE SOPORTE



METODO DE COMPACTACION	: ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2.125
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 7.96%
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2.019
DENSIDAD INSITU (g/cm³)	:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	38.4	0.2"	50.5
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	25.3	0.2"	31.4

RESULTADOS CBR a 0.1":	=	38.4	(%)
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	=	25.3	(%)



LABORATORIO	ESP. SUELOS Y PAVIMENTOS	GERENTE VIAL
CBR (0.1") : 39.4% CBR (0.2") : 50.5%	CBR (0.1") : 25.3% CBR (0.2") : 31.4%	CBR (0.1") : 16.4% CBR (0.2") : 20.0%

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



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICION DE DEFLEXIONES MAXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE	: Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
UBICACIÓN	: VÍA JULIACA - CARACOTO
MUESTRA	: MUESTRA 2 - SUBBASE GRANULAR
FECHA	: 10 DE JULIO DEL 2025

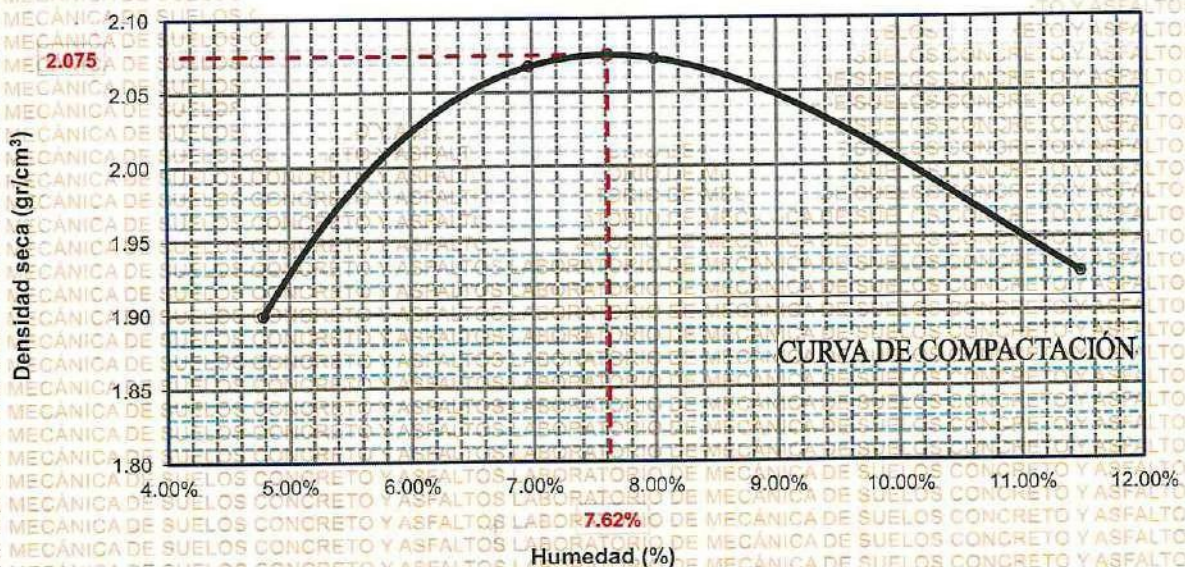
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2125 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10759	11230	11287	11094
Peso del Molde	gr.	6530	6530	6530	6530
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4229	4700	4757	4564
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1.990	2.212	2.239	2.148

Capsula No	No	TA-04	TA-03	TA-02	TA-01
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	214.38	245.54	361.10	322.49
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	208.15	234.75	339.16	296.06
Peso del Agua	gr.	6.23	10.79	21.94	26.43
Peso de la Capsula	gr.	78.00	80.00	65.00	66.00
Peso del Suelo Seco	gr.	130.15	154.75	274.16	230.06
% de Humedad	%	4.79%	6.97%	8.00%	11.49%
Promedio de Humedad	%	4.79%	6.97%	8.00%	11.49%
Densidad del Suelo Seco	%	1.899	2.068	2.073	1.926

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2.075 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 7.62%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.S.C. JEPATURA
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103231



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



RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D 1883 - MTC E 132)

TESIS: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE: Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SAGACA
UBICACIÓN: VÍA JULIACA - CARACOTO
MUESTRA: MUESTRA 2 - SUBBASE GRANULAR
FECHA: 10 DE JULIO DEL 2025

	DENSIDAD MÁXIMA		2.075		HUMEDAD ÓPTIMA (%)		7.62%	
Molde Nº	17		25		40			
Capas Nº	5		5		5			
Golpes por capa Nº	56		25		12			
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12456	12535	12274	12215	12229	12590		
Peso de molde (g)	7698	8255	7675	8028	7740	8312		
Peso del suelo húmedo (g)	4768	4280	4599	4187	4489	4338		
Volumen del molde (cm ³)	2150	2249	2150	2139	2135	2121		
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.218	1.903	2.139	1.850	2.103	2.045		
Tara (Nº)	11	15	21	8	7	18		
Peso suelo húmedo + tara (g)	194.60	361.33	235.33	344.02	294.22	523.02		
Peso suelo seco + tara (g)	183.87	328.57	222.74	318.36	279.33	489.62		
Peso de tara (g)	37.55	37.55	39.05	39.05	72.25	72.25		
Peso de agua (g)	10.79	32.78	12.59	25.66	14.89	33.40		
Peso de suelo seco (g)	146.3	291.0	183.7	279.3	207.1	417.4		
Contenido de humedad (%)	7.37	11.26	6.85	8.19	7.19	8.00		
Densidad seca (g/cm ³)	2.065	1.711	2.002	1.695	1.962	1.894		

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION	
			mm	%	mm	%	mm	%	mm	%				
		0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00		
		24	1	0.500	0.500	3.00	0.300	0.300	1.50	0.200	0.200	1.00		
		48	2	0.900	0.900	4.50	0.700	0.700	3.50	0.400	0.400	2.00		
		72	3	1.200	1.200	6.00	0.900	0.900	4.50	0.600	0.600	3.00		
		96	4	1.200	1.200	6.00	0.900	0.900	4.50	0.600	0.600	3.00		

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE Nº 56				MOLDE Nº 25				MOLDE Nº 12				
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		
		mm	in	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		168.8			82.5				49.5				
1.270	0.050		288.8			135.0				82.5				
1.905	0.075		371.3			247.5				165.0				
2.540	0.100	70.5	450.0	506.2	35.6	315.0	332.6	23.4		207.0	216.4	15.2		
3.175	0.125		517.5			495.4				319.5				
3.810	0.150		1012.5	988.5	46.8	641.3	619.4	29.0		391.5	394.4	18.5		
5.080	0.200	105.7	1218.0			723.8				480.8				
6.350	0.250		1380.0			810.0				481.5				
7.620	0.300		1725.0			945.0				546.8				
10.160	0.400													



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

Dr. Arifaldo Yana Torres
C.I.P. 103257



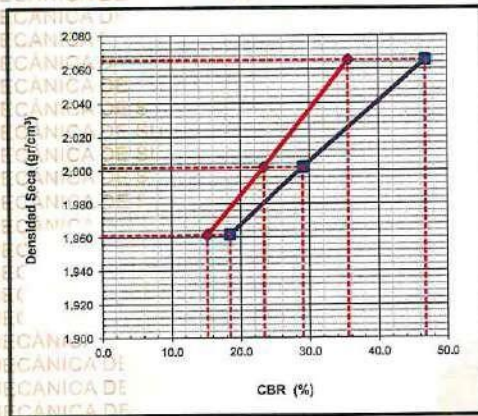
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D 1883 - MTC E 132)

TESIS: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE: Bach: ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
UBICACIÓN: VÍA JULIACA - CARACOTO
MUESTRA: MUESTRA 2 - SUBBASE GRANULAR
FECHA: 10 DE JULIO DEL 2025

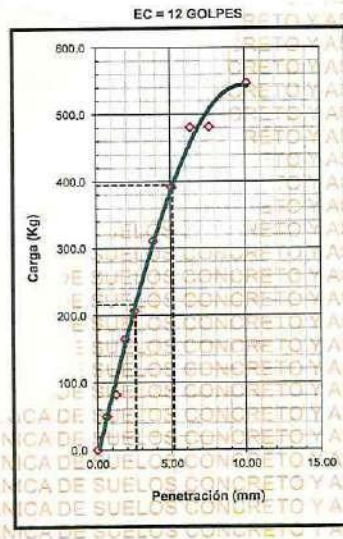
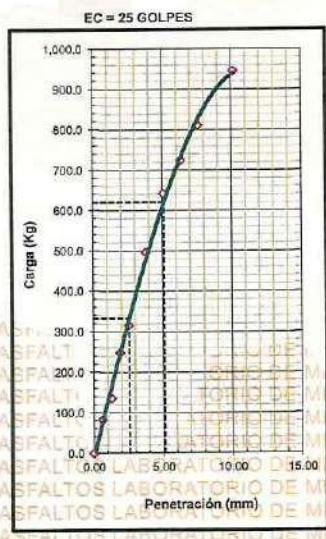
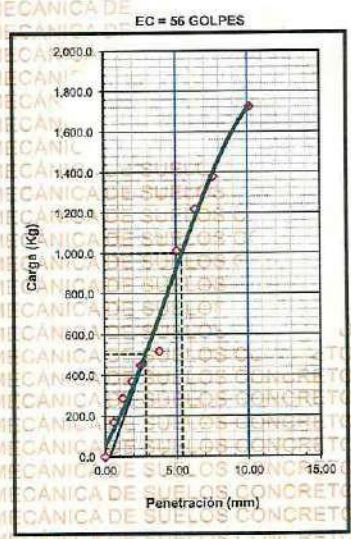
GRAFICA DE CAPACIDAD DE SOPORTE



METODO DE COMPACTACION	: ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3)	: 2.075
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 7.62%
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3)	: 1.971
DENSIDAD INSITU (g/cm3)	:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	35.6	0.2"	46.8
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	23.4	0.2"	29.0

RESULTADOS CBR a 0.1":	=	35.6	(%)
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	=	23.4	(%)



LABORATORIO	ESP. SUELOS Y PAVIMENTOS	GERENTE VIAL
CBR (0.1") - 35.6% CBR (0.2") - 46.8%	CBR (0.1") - 23.4% CBR (0.2") - 25.0%	CBR (0.1") - 15.2% CBR (0.2") - 18.5%



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CIVIL INGENIERIA CIVIL

Dr. Arnaldo Irujo Torres
CIP. 103267

BIE: B006-00255215



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS:	EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE:	Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
UBICACIÓN:	VÍA JULIACA - CARACOTO
MUESTRA:	MUESTRA 3 - SUBBASE GRANULAR
FECHA:	10 DE JULIO DEL 2025

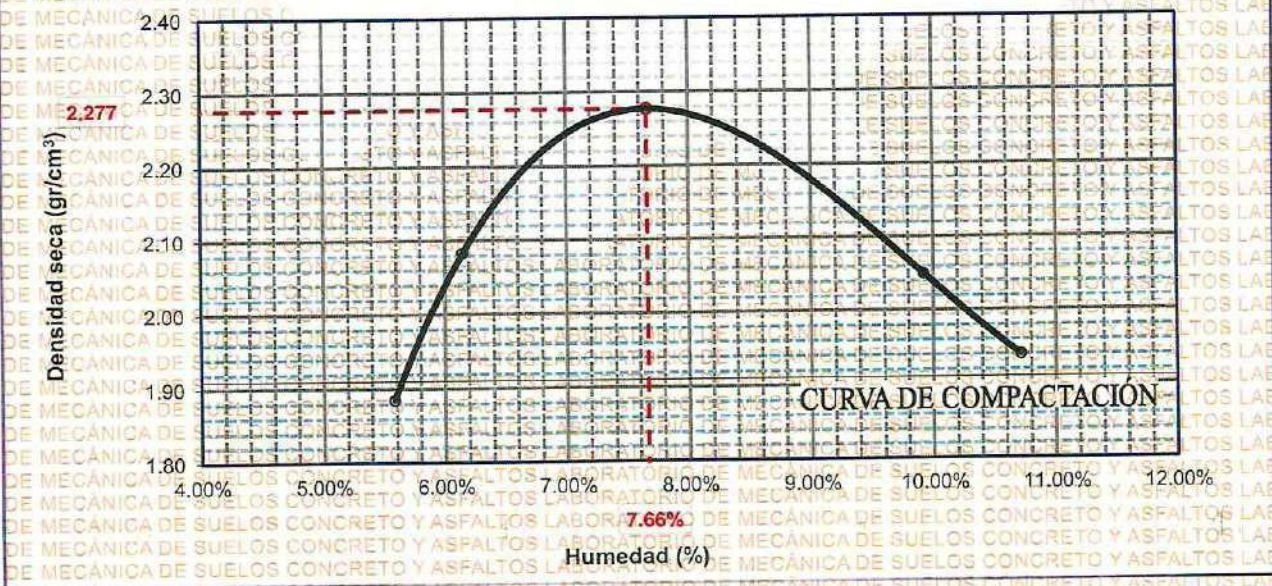
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2125 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10759	11228	11317	11094
Peso del Molde	gr.	6530	6530	6530	6530
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4229	4698	4787	4564
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1.990	2.211	2.253	2.148

Capsula No	No	TA-04	TA-03	TA-02	TA-01
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	215.87	244.71	366.07	321.14
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	208.58	234.88	339.16	296.06
Peso del Agua	gr.	7.29	9.83	26.91	25.08
Peso de la Capsula	gr.	78.00	75.00	68.00	62.00
Peso del Suelo Seco	gr.	130.58	159.88	271.16	234.06
% de Humedad	%	5.58%	6.15%	9.92%	10.72%
Promedio de Humedad	%	5.58%	6.15%	9.92%	10.72%
Densidad del Suelo Seco	%	1.885	2.083	2.049	1.940

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	2.277 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	7.66%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



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

Dr. Aníbal Vera Torres
 CIP. 103257



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



RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D 1883 - MTC E 132)

TESIS: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025
SOLICITANTE: Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SAGACA
UBICACIÓN: VÍA JULIACA - CARACOTO
MUESTRA: MUESTRA 3 - SUBBASE GRANULAR
FECHA: 10 DE JULIO DEL 2025

	DENSIDAD MÁXIMA		2.277		HUMEDAD ÓPTIMA (%)		7.66%	
Molde Nº	17		25		40			
Capas Nº	5		5		5			
Golpes por capa Nº	56		25		12			
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12476	12535	12280	12215	12225	12650		
Peso de molde (g)	7688	8255	7675	8028	7740	8312		
Peso del suelo húmedo (g)	4788	4280	4605	4187	4485	4338		
Volumen del molde (cm ³)	2150	2249	2150	2263	2135	2121		
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.227	1.903	2.142	1.850	2.101	2.045		
Tara (Nº)	11	15	21	8	7	18		
Peso suelo húmedo + tara (g)	194.66	361.33	235.33	344.02	294.22	523.02		
Peso suelo seco + tara (g)	183.87	328.57	222.74	318.36	279.33	489.62		
Peso de tara (g)	37.85	37.55	39.05	39.05	72.25	72.25		
Peso de agua (g)	10.79	32.76	12.59	25.66	14.89	33.40		
Peso de suelo seco (g)	146.3	291.0	183.7	279.3	207.1	417.4		
Contenido de humedad (%)	7.37	11.26	6.85	9.19	7.19	8.00		
Densidad seca (g/cm ³)	2.074	1.711	2.004	1.695	1.960	1.894		

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION	
			mm	%	mm	%	mm	%	mm	%				
		0	0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00			
		24	1	0.600	0.600	3.00	0.300	0.900	0.900	1.50	0.200	0.200	1.00	
		48	2	0.900	0.900	4.50	0.700	0.700	0.700	3.50	0.400	0.400	2.00	
		72	3	1.200	1.200	6.00	0.900	0.900	0.900	4.50	0.600	0.600	3.00	
		96	4	1.200	1.200	6.00	0.900	0.900	0.900	4.50	0.600	0.600	3.00	

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE Nº 56				MOLDE Nº 25				MOLDE Nº 12			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		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		189.0			92.4				55.4			
1.270	0.050		323.4			151.2				92.4			
1.905	0.075		415.8			277.2				184.8			
2.540	0.100	70.5	504.0	566.9	39.9	352.5	372.5	26.2		231.8	242.3	17.0	
3.175	0.150		579.6			554.8				347.8			
3.810	0.200	105.7	1134.0	1118.4	52.4	718.2	693.7	32.5		438.5	441.8	20.7	
4.445	0.250		1364.2			810.8				538.4			
5.080	0.300		1545.6			907.2				539.3			
5.715	0.400		1932.0			1058.4				612.4			



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



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



RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. (ASTM D 1883 - MTC E 132)

TESIS: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES EN LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

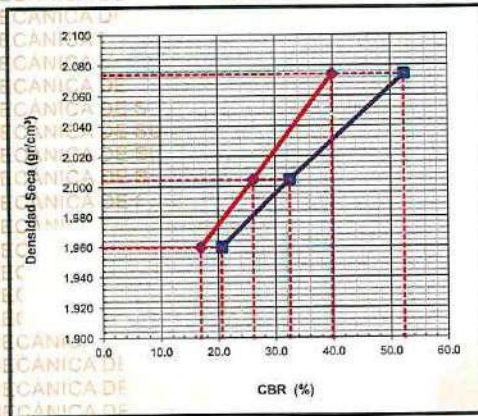
SOLICITANTE: Bach. ERICK RUSSELL MIRANDA SÁCACCA

UBICACIÓN: VÍA JULIACA - CARACOTO

MUESTRA: MUESTRA 3 - SUBBASE GRANULAR

FECHA: 10 DE JULIO DEL 2025

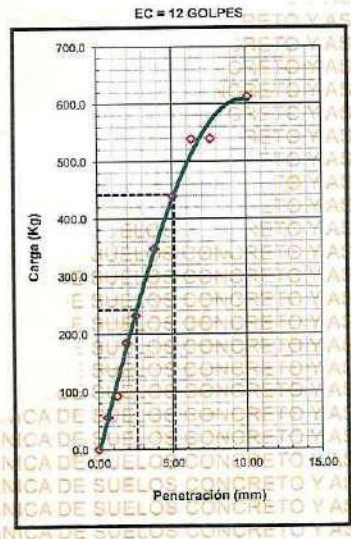
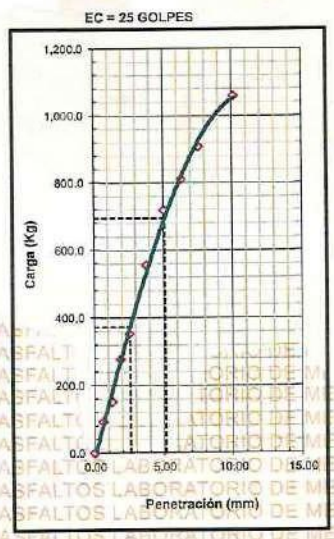
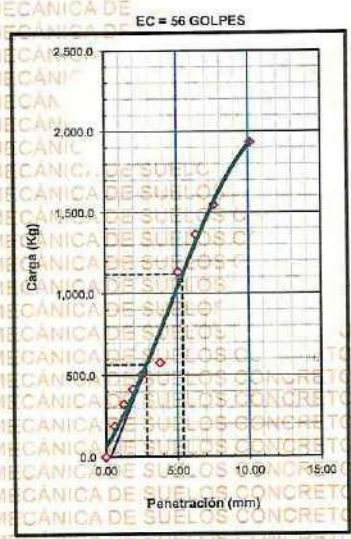
GRAFICA DE CAPACIDAD DE SOPORTE



METODO DE COMPACTACION	: ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3)	: 2.277
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 7.66%
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3)	: 2.163
DENSIDAD INSITU (g/cm3)	:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	39.9	0.2"	52.4
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	26.2	0.2"	32.5

RESULTADOS CBR a 0.1":	=	39.9	(%)
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	=	26.2	(%)



LABORATORIO	ESP. SUELOS Y PAVIMENTOS	GERENTE VIAL
CBR (0.1") 39.9% CBR (0.2") 52.4%	CBR (0.1") 26.2% CBR (0.2") 32.5%	CBR (0.1") 17.0% CBR (0.2") 20.7%



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

LABORATORIO M.S./CA. JEATUPURA
Dr. Arnaldo Tello Torres
CIP: 103257



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 13-10-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: ERICK RUSSELL MIRANDA SACACA
Dirección: Jr. HUALLAGA F5-16 URB. MUNICIPAL TAPARACHI
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 76921941
Teléfono: 947 303 297 email: erick.russell.11@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: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS Y LA CALIDAD EN LAS CAPAS GRANULARES DE LA VÍA JULIACA - CARACOTO 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): PAVIMENTO FLEXIBLE, DEFLEXIONES MÁXIMAS, CALIDAD DE MATERIALES, CBR

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

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

13-10-2025

Fecha