



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



**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO
DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN
DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO
FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA – LAMPA 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. GERSON SAULO MAMANI MAMANI

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

ÁNALISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. GERSON SAULO MAMANI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:


PRESIDENTE

:


Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO

:


Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO

:


Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ASESOR DE TESIS

:


M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P17



"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 996-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 05 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025- CU-7405 presentado por el (la) Bachiller: GERSON SAULO MAMANI MAMANI 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. GERSON SAULO MAMANI MAMANI, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 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** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- * **2do Miembro** : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

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

ARTICULO TERCERO . - APROBAR, la FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS de el (la) bachiller: GERSON SAULO MAMANI MAMANI; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : viernes 12 de septiembre del 2025
- * **HORA** : 08:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 406 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

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

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 30900

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

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 963-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 02 de setiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 7063, presentado por el señor (a) GERSON SAULO MAMANI MAMANI solicitando CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN, el Proveído del Director de la Unidad de Investigación de la FICP, y la RESOLUCIÓN DECANAL N° 172-2025-D-UI-FICP-UANCV Aprobación de la PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): GERSON SAULO MAMANI MAMANI ha presentado cambio de asesor de tesis del tema investigación Titulado: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la FICP a tomado conocimiento que el asesor Dr. MILTHON QUISPE HUANCA no tiene vínculo laboral en la facultad de ingenierías y ciencias puras y existiendo la RESOLUCIÓN DECANAL N° 172-2025-D-UI-FICP-UANCV Aprobación de la PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.

Estando, a la solicitud del ejecutante y en cumplimiento al reglamento al Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención Grados Académicos y Títulos Profesionales; el director de la Unidad de Investigación Dr. Fritz Willy Mamani Apaza de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió el proveído favorable del cambio de asesor de investigación del tema titulado: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 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 del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACION, designado al señor (a): GERSON SAULO MAMANI MAMANI, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025 correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN, se le asigna como:

ASESOR: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

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

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS



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

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS



Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2025
Interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 480-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 19 de junio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 6062 por el señor (a): GERSON SAULO MAMANI MAMANI quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 330- 2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS) formato N° 035- 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): GERSON SAULO MAMANI MAMANI, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Títulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 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. Cesar Guillermo Camargo Najara 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° 035- 2025 aprobando el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 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): GERSON SAULO MAMANI MAMANI, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Títulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 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. MILTHON QUISPE HUANCA.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Dr. Fito W. Zamora Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



“NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ”

RESOLUCIÓN DECANAL N° 172-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 28 de marzo del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 591, presentado el señor (a) GERSON SAULO MAMANI MAMANI solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 075 -2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 009-2025 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): GERSON SAULO MAMANI MAMANI ha presentado su propuesta de investigación Titulado: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 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° 009-2025- aprobando la propuesta de investigación titulado: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 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): GERSON SAULO MAMANI MAMANI, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 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. MILTHON QUISPE HUANCA.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

M. Sc. WALTER LIZANAGA ARMAZA
DECANO (e)
CIP. 70808.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2025
Interesado (a)



18% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Exclusiones

- ▶ N.º de fuente excluida

Fuentes principales

- 12% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 14% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

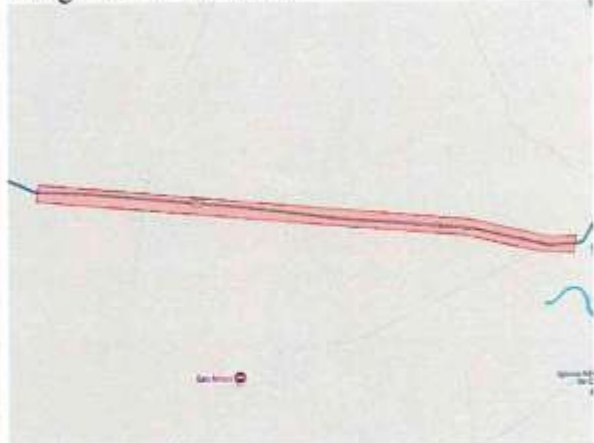
Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA – LAMPA 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	GERSON SAULO MAMANI MAMANI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70238093
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0009-9490-6914
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4595-7589
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02306659
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Latitud: S 15° 21' 49" Longitud: O 70° 21' 56"</p>  <p>https://maps.app.goo.gl/feMaMyE8qUSy1147</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2025 – Setiembre 2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03



Dr. Fritz Willy Momeni Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo GERSON SAULO MAMANI MAMANI, identificado con DNI Nro. 70238093, 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:

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025

Asesorado por: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Es un tema original.

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

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

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

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

Juliaca 07 de octubre del 2025

Firma del Asesor (obligatoria)

Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis queridos padres, Rosendo Mamani Laura y Andrea Mamani Chura, quienes con su esfuerzo, sacrificio y amor incondicional me enseñaron a luchar por mis sueños. A mis hermanos Denis, Mery, Jimena y a mi pareja Yolanda Jimenez, por ser inspiración constante y motivo de superación.



AGRADECIMIENTO

A mis queridos padres, Rosendo y Andrea, les agradezco por darme la vida, enseñarme con su ejemplo y brindarme las herramientas necesarias para salir adelante. A mis hermanos, gracias por el ánimo constante y la unión familiar que me fortaleció en este proceso y a mi pareja Yolanda por ser siempre mi soporte y mi apoyo en todo momento.



ÍNDICE GENERAL

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

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.....	16
1.4.3. Justificación social.....	17
1.4.4. Justificación ambiental.....	17
1.5. Hipótesis de la investigación.....	17
1.5.1. Hipótesis general.....	17
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	18



1.7.	Operacionalización de variables	19
------	---------------------------------------	----

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de la investigación.....	20
2.1.1.	Antecedentes internacionales	20
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	22
2.1.3.	Antecedentes locales.....	25
2.2.	Bases teóricas	27
2.2.1.	Pavimento flexible	27
2.2.2.	Capacidad estructural del pavimento.....	32
2.2.3.	Transitabilidad	36
2.2.4.	Deflectometría	40
2.2.5.	Índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	45
2.3.	Marco conceptual	48

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	Enfoque de la investigación	51
3.2.	Tipo de la investigación	51
3.3.	Nivel de la investigación	52
3.4.	Diseño de la investigación	52
3.5.	Método de la investigación	53
3.6.	Población y muestra	53
3.6.1.	Población.....	53
3.6.2.	Muestra	54
3.7.	Técnicas e instrumentos.....	54
3.7.1.	Técnicas.....	54
3.7.2.	Instrumentos.....	55
3.8.	Plan de recolección y procesamiento de datos	55
3.8.1.	Desarrollo del plan de recolección de datos	55
3.8.2.	Procesamiento y análisis de datos.....	61



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados obtenidos	62
4.1.1. Capacidad estructural con la aplicación de cargas de tránsito estimado por deflectometría en el pavimento	62
4.1.2. Grado de transitabilidad mediante la prueba de IRI	70
4.1.3. Alternativas de intervención según la capacidad estructural y el grado de transitabilidad en el pavimento.....	83
4.2. Discusión de resultados.....	84
CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	88
ANEXOS	94



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables 19

Tabla 2 Análisis de deflexión de la vía, carril derecho 63

Tabla 3 Análisis de deflexión de la vía, carril izquierdo 64

Tabla 4 Análisis de deflexión de la vía, carril derecho 66

Tabla 5 Comportamiento del pavimento según resultados 68

Tabla 6 Análisis de deflexión de la vía, carril izquierdo 68

Tabla 7 Comportamiento del pavimento según resultados 70

Tabla 8 Datos de campo para la medición IRI, Km 4+000 - 4+200 70

Tabla 9 Distribución de frecuencias, Km 4+000 - 4+200 71

Tabla 10 Datos de campo para la medición IRI, Km 4+200 - 4+400 71

Tabla 11 Distribución de frecuencias, Km 4+200 - 4+400 72

Tabla 12 Datos de campo para la medición IRI, Km 4+400 - 4+600 72

Tabla 13 Distribución de frecuencias, Km 4+400 - 4+600 73

Tabla 14 Datos de campo para la medición IRI, Km 4+600 - 4+800 73

Tabla 15 Distribución de frecuencias, Km 4+600 - 4+800 74

Tabla 16 Datos de campo para la medición IRI, Km 4+800 - 5+000 74

Tabla 17 Distribución de frecuencias, Km 4+800 - 5+000 75

Tabla 18 Datos de campo para la medición IRI, Km 4+000 - 4+200 75

Tabla 19 Distribución de frecuencias, Km 4+000 - 4+200 76

Tabla 20 Datos de campo para la medición IRI, Km 4+200 - 4+400 76

Tabla 21 Distribución de frecuencias, Km 4+200 - 4+400 77

Tabla 22 Datos de campo para la medición IRI, Km 4+400 - 4+600 77

Tabla 23 Distribución de frecuencias, Km 4+400 - 4+600 78

Tabla 24 Datos de campo para la medición IRI, Km 4+600 - 4+800 78

Tabla 25 Distribución de frecuencias, Km 4+600 - 4+800 79

Tabla 26 Datos de campo para la medición IRI, Km 4+800 - 5+000 79



Tabla 27 Distribución de frecuencias, Km 4+800 - 5+000.....	80
Tabla 28 Resumen del IRI, carril derecho.....	80
Tabla 29 Resumen del IRI, carril izquierdo	81
Tabla 30 Clasificación de la transitabilidad	82
Tabla 31 Alternativas de intervención	83



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Capas del pavimento flexible	31
Figura 2 Deflectómetro de impacto (FWD)	42
Figura 3 Viga Benkelman	43
Figura 4 Viga Benkelman	44
Figura 5 Rugosímetro de MERLIN	47
Figura 6 Ubicación de la vía Juliaca - Lampa	56
Figura 7 Prueba de la Viga Benkelman	58
Figura 8 Deflectograma (4+040 – 4+960) carril derecho	64
Figura 9 Deflectograma (4+040 – 4+960) carril izquierdo.....	65
Figura 10 Deflectograma (4+040 – 4+960) carril derecho	67
Figura 11 Deflectograma (4+040 – 4+960) carril izquierdo.....	69



RESUMEN

La presente investigación denominada "Análisis de la capacidad estructural y el grado de transitabilidad por medio de la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa 2025", tiene como finalidad evaluar la capacidad estructural y el grado de transitabilidad mediante la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible. La metodología empleada en este estudio fue de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, de nivel descriptivo, de diseño no experimental y método científico. Los resultados obtenidos en cuanto a la capacidad estructural del pavimento con la aplicación de cargas de tránsito estimada por deflectometría. De acuerdo a la evaluación estructural por deflectometría utilizando la viga Benkelman, se logró determinar que las deflexiones en el pavimento son deficientes, donde la deflexión característica (D_c) y las deflexiones en general son mayores a la deflexión admisible (D_{adm}), $D_c = 117.53 \text{ mm} > D_{adm} = 100 \text{ mm}$ (carril derecho) y $D_c = 121.42 \text{ mm} > D_{adm} = 100 \text{ mm}$ (carril izquierdo), por lo que la estructura del pavimento en ambos carriles tiene problemas o deficiencias en el diseño estructural. En el grado de transitabilidad de la vía para ambos carriles, se tiene un valor promedio de IRI igual a 3.32 m/km y un PSI de 2.79, lo que indica un estado del pavimento REGULAR y la transitabilidad de la vía también como REGULAR. Finalmente, se propusieron alternativas de intervención según la capacidad estructural y el grado de transitabilidad en el pavimento flexible. Los resultados de la evaluación estructural realizada mediante deflectometría, donde se determinó que la deflexión característica es mayor que la deflexión admisible ($D_c > D_{adm}$) en ambos carriles, por consiguiente, según el reglamento del MTC se clasifica como REGULAR. Asimismo, la evaluación del grado de transitabilidad se evaluaron en función de los valores del PSI, calculado en base al IRI clasifica al pavimento como REGULAR con un mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos.

Palabras Clave: Capacidad estructural, grado de transitabilidad, viga Benkelman, IRI.



ABSTRACT

The purpose of this study, entitled "Analysis of the structural capacity and trafficability through the application of traffic loads to the flexible pavement of the Juliaca-Lampa 2025 highway," is to evaluate the structural capacity and trafficability through the application of traffic loads to the flexible pavement. The methodology employed in this study was quantitative, applied, descriptive, with a non-experimental design and a scientific method. The results obtained regarding the structural capacity of the pavement with the application of traffic loads were estimated by deflectometry. According to the structural evaluation by deflectometry using the Benkelman beam, it was determined that the deflections in the pavement are deficient, where the characteristic deflection (D_c) and the deflections in general are greater than the admissible deflection (D_{adm}), $D_c = 117.53 \text{ mm} > D_{adm} = 100 \text{ mm}$ (right lane) and $D_c = 121.42 \text{ mm} > D_{adm} = 100 \text{ mm}$ (left lane), so the pavement structure in both lanes has problems or deficiencies in the structural design. In the degree of transitivity of the road for both lanes, there is an average IRI value equal to 3.32 m / km and a PSI of 2.79, which indicates a REGULAR pavement condition and the transitivity of the road also as REGULAR. Finally, intervention alternatives were proposed according to the structural capacity and the degree of transitivity in the flexible pavement. The results of the structural evaluation carried out by deflectometry determined that the characteristic deflection is greater than the admissible deflection ($D_c > D_{adm}$.) in both lanes. Therefore, according to the MTC regulations, it is classified as REGULAR. Likewise, the evaluation of the degree of trafficability was evaluated based on the PSI values, calculated based on the IRI, classifying the pavement as REGULAR with routine maintenance with patching and asphalt sealing.

Keywords: Structural capacity, degree of trafficability, Benkelman beam, IRI.



INTRODUCCIÓN

El pavimento es un tipo común de infraestructura vial en todo el mundo, capaz de soportar diferentes cargas y condiciones climáticas. Sin embargo, su rendimiento puede verse afectado por factores como la cantidad y el tipo de tráfico, el clima, la calidad de los materiales y la forma en que fue construido. Es importante verificar la integridad estructural y la capacidad de tráfico de la carretera para asegurar su buen funcionamiento y durabilidad. Esto ayudará a prevenir el deterioro prematuro y a ahorrar dinero en reparaciones y mantenimiento. Una red vial en buen estado mejora la seguridad vial y tiene un impacto directo en el crecimiento y desarrollo económico de la región.

Para tomar decisiones acertadas sobre la gestión de la infraestructura vial, es fundamental estudiar el comportamiento de los pavimentos flexibles ante las cargas del tráfico. La deflectometría, las pruebas de carga repetida y la modelización informática son algunos de los métodos para comprobar cómo reacciona el pavimento a los cambios en las cargas del tráfico y su resistencia. La seguridad y la comodidad de los peatones están directamente relacionadas con la facilidad de tránsito. Las características de un pavimento dependen de factores como la deformación de la superficie, su grado de fricción y la presencia o ausencia de defectos. Un pavimento poco resistente puede aumentar el coste de mantenimiento de un automóvil, reducir la eficiencia del transporte e incrementar la probabilidad de accidentes.

Este estudio examina la integridad estructural y la transitabilidad de una carretera con pavimento flexible, empleando experimentos y aparatos técnicos para evaluar su desempeño en condiciones reales de tráfico. El objetivo es utilizar los resultados para ofrecer sugerencias que mejoren el diseño, el mantenimiento y la reparación de carreteras. Esto permitirá prolongar la vida útil del sistema de transporte y garantizar la seguridad de los usuarios. Asimismo, se busca proporcionar a las organizaciones de gestión vial



información técnica que les permita planificar proyectos futuros, optimizar la distribución de recursos y mantener la infraestructura en buen estado a largo plazo.

El capítulo I, expone el tema principal del estudio, haciendo hincapié en la importancia de evaluar la integridad estructural y el grado de transitabilidad del pavimento. Se describen los objetivos de la investigación, que abarcan tanto objetivos generales como específicos, junto con el alcance y las limitaciones del estudio.

El capítulo II, examina estudios previos y marcos teóricos útiles para analizar la estructura de los pavimentos flexibles y su facilidad de tránsito. También incluye información general sobre investigaciones similares realizadas en otros lugares, lo que permite conocer los métodos y técnicas empleados anteriormente.

El capítulo III, aborda la metodología del estudio. Se detallan el diseño experimental, las técnicas y el equipo empleados, así como los métodos de interpretación de los datos. También se justifica la elección del enfoque del estudio y se presentan los métodos estadísticos utilizados para analizar los resultados.

El capítulo IV, muestra lo aprendido a partir de los experimentos y el análisis de datos. Se describen los resultados de la evaluación del pavimento, destacando las posibles deficiencias y sus efectos en la transitabilidad de la carretera. Los hallazgos se comparan con investigaciones previas y la normativa vigente, examinando su importancia en la gestión de la infraestructura vial.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Análisis de la situación problemática

Para el transporte de personas y mercancías y para el progreso económico, el pavimento flexible es un elemento clave de la infraestructura de cualquier zona. Sin embargo, muchas ciudades del mundo sufren problemas de deterioro debido a factores como el exceso de tráfico, las inclemencias del tiempo y la falta de mantenimiento.

En todos los continentes, los países se enfrentan al problema del deterioro de los pavimentos flexibles. En países con una extensa red vial, como Estados Unidos, Alemania y Japón, se utilizan sensores inteligentes y modelos predictivos que permiten anticipar el comportamiento del pavimento ante el tráfico. Sin embargo, en los países en desarrollo, la infraestructura vial se deteriora prematuramente debido al mantenimiento deficiente y al exceso de vehículos en las carreteras.

Brasil, México y Colombia son países latinoamericanos que enfrentan problemas similares debido a la abundancia de vehículos grandes y el deficiente mantenimiento de las carreteras. En Brasil, por ejemplo, se ha constatado que más de la mitad de las carreteras se encuentran en mal estado debido al exceso de peso y las inclemencias del tiempo. En México, el 60% de las carreteras federales también requieren reparaciones, lo



que demuestra que este es un problema recurrente en la región. (Carrasco & Vizhñay, 2019).

La red vial de Perú enfrenta grandes desafíos a nivel nacional debido al creciente número de vehículos y la insuficiente inversión en su mantenimiento. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) afirma que más del 40% de las carreteras del país no reciben el mantenimiento adecuado, lo que reduce la seguridad vial y frena el crecimiento económico.

Una de las mayores preocupaciones en las carreteras peruanas es la alta velocidad de los vehículos pesados, que acelera el desgaste del pavimento flexible. Este problema es evidente en rutas importantes como la Carretera Panamericana Sur y la Vía Libertadores, donde el pavimento deteriorado ha encarecido y prolongado los viajes. Los esfuerzos del gobierno por reparar la infraestructura vial no han sido tan efectivos como deberían debido a la insuficiencia de inspecciones técnicas y mantenimiento preventivo. (Niño & Torres, 2021).

La ruta Juliaca-Lampa, en la región de Puno, es fundamental para la comunicación entre las personas y el comercio entre las provincias vecinas. Sin embargo, el pavimento flexible se ha deteriorado considerablemente en los últimos años debido al intenso tráfico de camiones, las inclemencias del tiempo y la falta de mantenimiento regular. Algunas de las principales dificultades que presenta la carretera son:

- Grietas y fisuras en el pavimento que lo hacen menos resistente.
- Deformaciones y hundimientos que empeoran el tráfico y hacen que la conducción sea menos segura.
- No hay señalización ni drenaje suficiente, lo que agrava los efectos del deterioro cuando llueve.
- Mayores costos de transporte porque los automóviles tienen que reducir la velocidad y sortear las regiones dañadas.

La ausencia de estudios contemporáneos sobre la integridad estructural del pavimento ha impedido la implementación de estrategias de mantenimiento eficaces.

Para evaluar la capacidad de la carretera Juliaca-Lampa para soportar el tráfico, es necesario analizar su capacidad estructural y la facilidad de tránsito. Esta evaluación determinará la resistencia del pavimento, identificará los puntos críticos de deterioro y recomendará soluciones tecnológicas para mejorar su funcionalidad.

El objetivo principal de la investigación es proporcionar información precisa que facilite la toma de decisiones relacionadas con el mantenimiento, la optimización de recursos y la garantía de una infraestructura vial segura y eficiente. Los datos también serán útiles para planificar trabajos futuros en carreteras con características similares, lo que contribuirá a mejorar la red vial de la región de Puno y el transporte en la zona.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la capacidad estructural y el grado de transitabilidad por medio de la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la capacidad estructural mediante la aplicación de cargas de tránsito estimada por deflectometría en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa?
- b. ¿Cuál es el grado de transitabilidad mediante prueba de índice de rugosidad internacional en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa?
- c. ¿Cuál es la alternativa de intervención según la capacidad estructural y el grado de transitabilidad en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa?



1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad estructural y el grado de transitabilidad mediante la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa 2025.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Determinar la capacidad estructural mediante la aplicación de cargas de tránsito estimada por deflectometría en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa.
- b. Determinar el grado de transitabilidad mediante prueba de índice de rugosidad internacional en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa.
- c. Proponer una alternativa de intervención según la capacidad estructural y el grado de transitabilidad en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación técnica

El análisis de la capacidad estructural y el grado de transitabilidad de pavimentos es fundamental para garantizar la funcionalidad y seguridad de las vías. Técnicamente, este estudio permitirá evaluar el desempeño del pavimento bajo cargas de tránsito reales, identificando posibles fallas estructurales y estableciendo criterios de mantenimiento preventivo y correctivo. La aplicación de herramientas como la deflectometría y otras pruebas mecánicas contribuirá a una mejor comprensión del comportamiento del pavimento, lo que permitirá optimizar su diseño y aumentar su vida útil.

1.4.2. Justificación económica

El deterioro prematuro del pavimento genera costosos gastos de reparación y mantenimiento tanto para los propietarios de la red vial como para los usuarios. Un pavimento en mal estado aumenta el consumo de gasolina, reduce la eficiencia del

transporte y eleva el costo operativo de un vehículo debido al desgaste prematuro de neumáticos y suspensiones. El objetivo de este estudio es obtener información útil que permita optimizar el uso de los fondos destinados al mantenimiento vial. Esto ayudará a planificar intervenciones que generen ahorros a largo plazo.

1.4.3. Justificación social

La calidad de las aceras influye directamente en la seguridad y la comodidad de quienes las utilizan. Cuando una vía está en mal estado, aumentan las probabilidades de accidentes de tráfico, los tiempos de viaje se alargan y quienes dependen de las carreteras para sus desplazamientos diarios lo pasan peor. Este estudio contribuirá a mejorar la seguridad vial al garantizar que las aceras sean seguras para coches, peatones y bicicletas. Además, unas carreteras más seguras y eficientes facilitan el acceso a servicios esenciales como la educación y el comercio, lo que impulsa el desarrollo de la región y mejora la calidad de vida de sus habitantes.

1.4.4. Justificación ambiental

El mal estado del pavimento no solo afecta la movilidad, sino que también tiene implicaciones ambientales significativas. Superficies deterioradas pueden generar un aumento en el consumo de combustibles fósiles debido a la mayor resistencia a la rodadura, incrementando así las emisiones de gases contaminantes. Además, una mala planificación del mantenimiento puede llevar a intervenciones innecesarias que aumentan la explotación de recursos naturales, como áridos y asfalto.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La capacidad estructural y el grado de transitabilidad mediante la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa 2025, se encuentra en regular y transitabilidad regular respectivamente.

1.5.2. Hipótesis específicas

1. La capacidad estructural mediante la aplicación de cargas de tránsito estimada por deflectometría en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa 2025, es regular debido a deflexiones que sobrepasan las deflexiones admisibles.
2. El grado de transitabilidad mediante prueba de índice de rugosidad internacional en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa 2025, es regular puesto que solo se tiene fallas a nivel superficial.
3. La alternativa de intervención según la capacidad estructural y el grado de transitabilidad en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa 2025, es un mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos.

1.6. Variables e indicadores

1.6.1. Variable de Caracterización

Capacidad estructural

Nivel de transitabilidad

Indicadores:

- Deflexiones características
- Deflexiones admisible
- Radio de curvatura
- Nivel A, B, C, D, E y F

1.6.2. Variable de Interés

Pavimento flexible

Indicadores:

- Estado estructural
- Estado superficial

1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable de caracterización	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
1. Capacidad estructural	Es la resistencia del pavimento flexible frente a cargas vehiculares, evaluada mediante deflexiones y parámetros de curvatura.	Deflexiones características	mm de deflexión bajo carga	mm	Viga Benkelman (MTC – E 1002)	Continua
		Deflexiones admisible	Valor normativo	mm	Norma MTC / AASHTO	Continua
		Radio de curvatura	Relación entre deflexiones medidas	m	Cálculo técnico	Continua
2. Grado de transitabilidad	Es la condición de servicio y comodidad de circulación que ofrece el pavimento a los usuarios.	Rugosidad	IRI (m/km)	m/km	Rugosímetro de Merlín / IRI	Continua
		Nivel de servicio	Clasificación A, B, C, D, E, F	Escala A – F	Observación y medición del IRI	Nominal
Variable de interés	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
Pavimento flexible	Es la estructura vial compuesta por capas de materiales granulares y mezclas asfálticas, diseñada para soportar cargas vehiculares y distribuir esfuerzos hacia la subrasante.	Estado estructural	Condición de las capas del pavimento	Bueno, Regular, Malo.	Inspección visual y Rugosímetro de Merlín	Nominal
		Estado superficial	Presencia de fisuras, baches, ahuellamientos	% de área afectada	Inspección visual y ficha de campo	Nominal



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según, Espinoza y Jintiach (2022) en su tesis "Evaluación de la superficie del pavimento flexible en la vía de conexión entre la Panamericana Norte y la calle Julián Bernal, mediante el análisis de la Viga Benkelman aplicando el método del retrocálculo", Esta investigación tiene como objetivo efectuar una evaluación estructural del pavimento flexible en Cuenca, utilizando cálculos inversos o retrocalculos. El proceso comienza con la recopilación de datos de campo mediante la viga Benkelman, donde se obtienen mediciones deflectométricas de acuerdo con la normativa «Procedimiento de ensayo estándar para mediciones de deflexión con viga Benkelman». El módulo de elasticidad (Esg) y el índice de soporte de California (CBR) de la subbase se calculan utilizando datos de campo mediante un procedimiento de modelización numérica. Se seleccionó como lugar de investigación la superficie del pavimento flexible de la carretera que conecta la Panamericana Norte y la calle Julia Bernal. El estudio estructural del pavimento indicó que es necesario realizar un mantenimiento correctivo debido a los problemas observados en la ruta. La evaluación estructural utilizando la viga Benkelman mejora la comprensión del



estado de la superficie del pavimento y sirve de base para tomar decisiones sobre su mantenimiento o reconstrucción.

Además, Lema y Unapucha (2024) en su tesis "Aplicación del método IRI y el modelo Servqual para la valorización técnica de las vías de segundo orden del Cantón Salcedo", La evaluación técnica de las carreteras secundarias del cantón de Salcedo se llevó a cabo utilizando el método del IRI para evaluar la calidad y el deterioro de las superficies pavimentadas, lo que refleja las irregularidades causadas por factores como el desgaste del pavimento y el tráfico vehicular. Se implementó el enfoque Servqual, que permite evaluar la calidad del servicio vial mediante encuestas. Este enfoque compara las expectativas de los usuarios con su percepción real del servicio prestado. Las expectativas en los numerosos parámetros examinados son elevadas. Esto significa que las personas tienen expectativas elevadas en cuanto a la calidad y la seguridad. Posteriormente, se estableció una conexión entre los valores derivados del enfoque IRI y el modelo Servqual, junto con una comparación con el método PSI, que hace hincapié en la facilidad de servicio. Los resultados demostraron una conexión significativa entre las dos variables (PSI-Servqual), como lo demuestra una correlación de Pearson de 0,95, que muestra una relación lineal positiva sólida. Se obtuvo un coeficiente de determinación superior al 90 % sobre la correlación entre el enfoque IRI y el modelo Servqual. Esta conexión es crucial para la evaluación técnica de las carreteras secundarias. La regularidad del pavimento (IRI) está directamente relacionada con la percepción de los consumidores sobre la calidad del servicio.

Asimismo, Carrasco y Vizhñay (2019) en su tesis "Evaluación estructural vial para Azogues mediante el análisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman", Este estudio presenta una estrategia de evaluación estructural para pavimentos flexibles en Azogues, basada en el análisis de las deflexiones registradas con la viga Benkelman. Se ha seguido el procedimiento descrito en el «Procedimiento de ensayo estándar para mediciones de



deflexión con viga Benkelman», se han utilizado las metodologías de la AASHTO y del Instituto del Asfalto para evaluar el estado estructural, el refuerzo estructural necesario y su vida útil restante. El tramo de pavimento asfáltico de la avenida 16 de abril fue designado como área de investigación. Para comprobar el correcto funcionamiento de la viga, se solicitó la colaboración de la Prefectura de Azuay para realizar mediciones junto con su viga Benkelman. Un análisis estadístico (prueba t pareada de dos muestras) reveló que las discrepancias en las deflexiones entre las vigas no son estadísticamente significativas en los resultados de la evaluación estructural, lo que permite concluir que la viga Benkelman del municipio de Azogues proporciona información fiable. Los resultados de la evaluación estructural indican que el carril derecho (norte-sur) posee la capacidad adecuada para soportar las repeticiones de carga previstas durante el período de diseño propuesto de 20 años y no requiere refuerzo, mientras que el carril izquierdo (sur-norte) requiere un refuerzo estructural de 2 pulgadas para soportar las cargas previstas durante la duración del diseño.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Según, de la Cruz (2021) en su tesis "Evaluación de la condición estructural del pavimento flexible mediante análisis deflectométrico para establecer acciones correctivas puente Stuart - Ovalo Aeropuerto Jauja", Esta tesis aborda el siguiente problema: ¿Cómo se puede evaluar el estado estructural del pavimento mediante análisis deflectométrico para determinar las medidas correctivas necesarias para la rotonda del puente Stuart - Aeropuerto de Jauja? El objetivo es el siguiente: Evaluar la integridad estructural del pavimento mediante análisis deflectométrico para determinar las medidas correctivas necesarias para la rotonda del puente Stuart - Aeropuerto de Jauja. Junto con la hipótesis general: El estudio deflectométrico facilita la evaluación de la integridad estructural del pavimento flexible para determinar las medidas correctivas necesarias para la rotonda del puente Stuart - Aeropuerto de Jauja. La metodología del estudio es científica, aplicada, explicativa y emplea un diseño experimental; la población abarcó el área desde el puente Stuart hasta la rotonda del aeropuerto de Jauja, región de Junín; la muestra consistió en 2



+ 160 km de pavimento desde el puente Stuart hasta la rotonda del aeropuerto de Jauja. La conclusión indica que, basándose en la evaluación de la integridad del pavimento a lo largo del tramo de carretera de 2150,0 m desde el puente Stuart hasta la rotonda del aeropuerto de Jauja, se recomienda implementar medidas preventivas como el sellado de grietas de la lechada asfáltica, ya que la carretera no se encuentra en condiciones satisfactorias para el volumen de tráfico existente de $IMD = 4119$ vehículos/día.

Además, Farfan (2022) en su tesis "Deflectómetro de impacto liviano y Viga Benkelman para el análisis de deflexiones en pavimentos básicos con Slurry Seal, carretera Pischa - Pacaycasa", Esta tesis tiene como objetivo determinar cuantitativamente la correlación entre las deflexiones medidas por un deflectómetro ligero y una viga Benkelman en un pavimento fundamental con sellado de lechada. Las mediciones deflectométricas se realizaron utilizando ambos dispositivos de acuerdo con los requisitos de ASTM y MTC en un segmento de prueba situado entre los marcadores kilométricos 6+800 y 8+500 de la vía Pischa - Pacaycasa, en la zona de Ayacucho. El establecimiento de una relación proporcional entre los dos métodos permite que el deflectómetro ligero (LWD) sirva como alternativa flexible al procedimiento de cálculo de la deflexión utilizando la viga Benkelman. Se ha realizado un estudio de regresión para determinar la ecuación de correlación entre los valores de deflexión registrados por ambos dispositivos, lo que ha dado como resultado la siguiente expresión: $DLWD = 0,01089 + 0,9870 DVB$, donde DLWD representa la deflexión media determinada por el deflectómetro ligero y DVB denota el valor de deflexión corregido obtenido en el campo utilizando la viga Benkelman. Los datos estudiados muestran un coeficiente de correlación de Pearson del 70,2 % con un nivel de confianza del 95 %.

Asimismo, Niño y Torres (2021) en su tesis "Evaluación superficial del pavimento flexible mediante IRI, PCI y propuesta de rehabilitación para mejorar la transitabilidad vehicular de la av. Sáenz Peña, JLO", Este proyecto tiene el objetivo de realizar una

evaluación superficial del pavimento flexible utilizando IRI y PCI, y recomendar mejoras para su restauración o mantenimiento con el fin de evitar interrupciones en el tráfico vehicular. La metodología empleada es no experimental, utilizando un enfoque cuantitativo, caracterizado como aplicado y propositivo, a nivel explicativo. El enfoque PCI reveló que se detectaron 8 de los 19 problemas especificados en el manual PCI en el pavimento evaluado. La falla predominante identificada es el desprendimiento de áridos en el pavimento, que se produce en un 34,00 %, y la mayoría se clasifica como de baja gravedad. El pavimento presenta una calificación PCI de 39,39, lo que significa un estado deteriorado. Por el contrario, la utilización del Roughometer Merlín indica que el pavimento presenta una rugosidad de 5,46 m/km, clasificada como rugosidad deficiente. Ambas técnicas coinciden en que el estado actual del pavimento es «deficiente».

Finalmente, Guzman (2021) en su tesis "Comportamiento estructural de pavimento asfáltico en zonas de pendiente mediante la deflectometría calles del distrito Abancay - Apurímac", Este estudio es significativo, ya que mejorará las evaluaciones estructurales de los pavimentos flexibles en regiones inclinadas, que se perfeccionarán aún más en el área de estudio. El objetivo de este estudio es determinar la variación en el comportamiento estructural del pavimento asfáltico en regiones inclinadas en Jr. David Samanes Ocampo, Abancay-Apurímac, 2021, mediante una investigación que emplea un método científico aplicado con un nivel explicativo y un diseño cuasi-experimental, utilizando deflectometría con el aparato de viga Benkelman. Los resultados indicaron una deflexión media entre $82,42 \times 10^{-2}$ mm y $101,44 \times 10^{-2}$ mm, con una deflexión característica que varía entre $130,48 \times 10^{-2}$ mm y $137,14 \times 10^{-2}$ mm. Se determina que el estado del subsuelo es satisfactorio en un 87 % e insatisfactorio en un 13 %. En cuanto a la calidad del pavimento, el 41 % se clasifica como excelente, mientras que el 59 % se considera deficiente. La calidad estructural indica que el 41 % está en buenas condiciones, el 1 % en condiciones aceptables, el 46 % en condiciones aceptables o malas y el 12 % en condiciones deficientes.



2.1.3. Antecedentes locales

Según, Mamani y Torres (2021) en su tesis "Evaluación del pavimento flexible para plantear el mejoramiento de la serviciabilidad utilizando parámetros de rugosidad – deflectometría, carretera Puno - Mañazo", El objetivo es evaluar el pavimento. Es esencial determinar el PCI, el IRI y las deflexiones en los dos kilómetros más importantes de la carretera. La población estaba formada por los tramos comprendidos entre el km 38+400 y el km 40+400, que representan los dos kilómetros más críticos de la carretera Puno-Mañazo, donde se utilizó el medidor de rugosidad Merlín para determinar el IRI. La viga Benkelman se utiliza para encontrar las deflexiones. Formulamos la tesis que nos permitió determinar el índice de condición del pavimento, el índice internacional de rugosidad (IRI) y la deflexión característica. Llegamos a las siguientes conclusiones: Se observó un deterioro significativo, como lo demuestran los valores del IRI, que fueron de 4,95 m/km para el carril derecho y de 4,76 m/km para el carril izquierdo; por lo tanto, se concluye que el pavimento evaluado no cumple con los criterios establecidos en el Manual de Carreteras. La rugosidad especificada no debe superar los 4,00. En consecuencia, se realizó la prueba de la viga Benkelman en el pavimento, lo que arrojó valores de deflexión medios de $76,40 \times 10^{-2}$ mm en el carril derecho y $82,43 \times 10^{-2}$ mm en el carril izquierdo, lo que demuestra que las deflexiones no cumplen el umbral aceptable de $136,5 \times 10^{-2}$ mm. Esto nos permitió determinar que el pavimento de ambos carriles se encuentra en condiciones satisfactorias según las evaluaciones deflectométricas.

Asimismo, Vilca y Cuba (2020) en su tesis "Evaluación superficial en pavimentos flexibles aplicando la metodología PCI, IRI y Deflectometría en las Avs. Floral y El Sol de la ciudad de Puno", Las carreteras constituyen actualmente el principal medio de comunicación entre diversas localidades, tanto a nivel nacional como local; por lo tanto, deben garantizar una funcionalidad óptima, tal y como se refleja en la calidad de su superficie. En la ciudad de Puno, los pavimentos presentan condiciones deficientes debido a un mantenimiento insuficiente o inexistente. Esta investigación se lleva a cabo para

determinar la calidad de la superficie del pavimento en las avenidas Floral y El Sol. Para ello, era esencial determinar el estado del pavimento, su uniformidad y las deflexiones específicas. La muestra se compuso metodológicamente de las avenidas Floral y El Sol, identificadas como vías principales de la ciudad debido a su importante tráfico. Se realizó una calificación utilizando la metodología del Índice de Condición del Pavimento, evaluaciones con el medidor de rugosidad Merlín para determinar el Índice Internacional de Rugosidad y la viga Benkelman para evaluar la deflexión característica. Se empleó la prueba «t» de Student para analizar y evaluar los datos de cada caso. Se registró un valor de PCI inferior a 40, clasificado como DEFICIENTE Y MUY DEFICIENTE. Los valores IRI calculados superan el umbral recomendado de 3,5 m/km. Los valores típicos de deflexión superan los límites de deflexión permitidos establecidos para cada carril. Se determina que el pavimento se encuentra en mal estado y necesita restauración, ya que los valores obtenidos en cada enfoque están por debajo de los estándares establecidos por ASTM-D6433-03 y MTC-2013.

Finalmente, Mamani y Pilco (2021) en su tesis "Evaluación estructural por deflectometría e IRI para determinar la vida remanente del pavimento flexible en la av. Circunvalación - Puno", El objetivo principal de la investigación fue evaluar la vida útil residual del pavimento flexible utilizando las metodologías Benkelman Beam e IRI. La vida útil restante estimada del pavimento es de 9 años, con una carga equivalente de un solo eje (ESAL) de 2 706 554,4 a 8,2 toneladas. La investigación empleó un diseño experimental. La población abarca la Av. Circunvalación - Puno, con una extensión de 6,0 km, mientras que la muestra se extiende 3,0 km desde el kilómetro 0+760 hasta el km 2+820. El valor IRI es de 4,23 m/km, lo que indica que el pavimento se clasifica como antiguo. Por el contrario, según el diseño ESAL, la deflexión admisible es de 82×10^{-2} mm, mientras que la deflexión medida para el carril derecho fue de 132×10^{-2} mm y para el carril izquierdo, de 134×10^{-2} mm. Esto indica que el pavimento se encuentra en estado de fatiga, ya que las deflexiones de la viga Benkelman superan la deflexión admisible.



2.2. Bases teóricas

2.2.1. Pavimento flexible

Es un tipo de estructura vial diseñada para soportar cargas de tránsito mediante la transmisión gradual de esfuerzos hacia las capas inferiores del suelo de cimentación. Se compone de varias capas superpuestas que trabajan en conjunto para distribuir las tensiones generadas por el tráfico. A diferencia del pavimento rígido, que basa su capacidad estructural en la resistencia del concreto, el pavimento flexible depende de la interacción y compactación de sus materiales para garantizar su desempeño a lo largo del tiempo. (Castillo, 2021).

Las capas de un pavimento flexible, de arriba abajo, son la capa asfáltica, la base, la subbase y la subrasante. La capa superior está compuesta por una mezcla de asfalto y áridos. Esto crea una superficie lisa y duradera para el rodado. La base granular inferior absorbe y distribuye las cargas, lo que evita que se deformen prematuramente. La subbase, junto con la base, la estabiliza y facilita el drenaje del agua.

El comportamiento de una estructura depende de su capacidad para flexionarse y estirarse al paso de los vehículos. Por ello, puede sufrir deformaciones como roderas, grietas y fatiga debido a la carga repetida a lo largo del tiempo, lo que implica la necesidad de un mantenimiento regular. La deflectometría de impacto es un método para evaluar su eficacia. Este método analiza la capacidad estructural del pavimento en función de su reacción ante una carga aplicada. El índice de resistencia al impacto (IRI) es otro método para evaluar la seguridad y la comodidad de la superficie de rodadura. (Castillo, 2021).

Este tipo de pavimento es ideal para carreteras con poco o moderado tráfico y para lugares donde el terreno es irregular, ya que puede doblarse y moverse. Sin embargo, su durabilidad depende en gran medida de un diseño adecuado, una ejecución rigurosa y un mantenimiento continuo. Entre sus principales ventajas destacan su menor costo inicial en comparación con los pavimentos rígidos y su facilidad de rehabilitación mediante técnicas

como el reciclado de capas asfálticas o la aplicación de nuevas mezclas en caliente o en frío.

2.2.1.1. Características del pavimento flexible

El pavimento flexible presenta diversas características que lo diferencian de otros tipos de pavimentos, especialmente del pavimento rígido. Estas características están relacionadas con su estructura, comportamiento mecánico, mantenimiento y aplicación en distintos tipos de vías. (Rattia, 2022).

- **Estructura en capas.**

El pavimento flexible está compuesto por varias capas que trabajan en conjunto para distribuir las cargas del tráfico. Estas capas incluyen la carpeta asfáltica, la base, la subbase y la subrasante. La capacidad estructural depende de la calidad y compactación de cada una de estas capas.

- **Distribución de cargas.**

A diferencia del pavimento rígido, donde las cargas se distribuyen en un área más amplia, el pavimento flexible transmite los esfuerzos de manera decreciente hacia las capas inferiores. Esto implica que las tensiones son mayores en la superficie y se van reduciendo conforme descienden a través de la estructura.

- **Deformabilidad y adaptabilidad.**

Este tipo de pavimento tiene la capacidad de deformarse de manera elástica bajo cargas vehiculares, adaptándose a pequeños asentamientos del terreno sin fracturarse abruptamente. Esto le permite responder mejor a variaciones en la subrasante y condiciones climáticas adversas.

- **Susceptibilidad a deformaciones y fatiga.**

Con el tiempo y el tráfico repetitivo, el pavimento flexible puede presentar deformaciones plásticas, como ahuellamientos, fisuras por fatiga y ondulaciones. Para minimizar estos efectos, se requiere un diseño adecuado y un mantenimiento periódico.



- **Sensibilidad a la temperatura y al clima.**

La carpeta asfáltica del pavimento flexible es sensible a las variaciones de temperatura. En climas cálidos, el asfalto puede volverse más blando y propenso a deformaciones plásticas.

- **Facilidad de mantenimiento y reparación.**

La ventaja del pavimento flexible es su facilidad de mantenimiento. Se pueden aplicar soluciones como bacheo, recapeo y reciclado de mezcla asfáltica sin necesidad de reemplazar completamente la estructura. Esto reduce costos y tiempos de intervención en comparación con el pavimento rígido.

- **Menor costo inicial.**

La construcción de pavimento flexible suele ser más económica en comparación con el pavimento rígido, ya que los materiales y el proceso de instalación requieren menor inversión inicial. Sin embargo, los costos de mantenimiento a largo plazo pueden ser mayores si no se implementa una gestión adecuada.

- **Mayor comodidad para el usuario.**

Debido a su elasticidad y capacidad de absorción de impactos, el pavimento flexible ofrece una superficie de rodadura más cómoda y menos ruidosa en comparación con el pavimento rígido. Esto mejora la experiencia de conducción y reduce el desgaste de los vehículos. (Rattia, 2022).

- **Menor resistencia a combustibles y aceites.**

Los pavimentos flexibles pueden deteriorarse con la exposición prolongada a hidrocarburos, aceites y productos químicos. Esto es un factor importante en áreas como estaciones de servicio o aeropuertos, donde el contacto es frecuente.

- **Evaluación de desempeño con métodos de deflectometría y rugosidad.**

Para establecer el estado del pavimento, se emplean metodologías como la deflectometría de impacto (FWD), que evalúa la capacidad estructural del pavimento, y el IRI, que mide la calidad de la superficie en términos de transitabilidad y confort.

2.2.1.2. Composición del pavimento flexible

Se compone de varias capas de materiales con diferentes funciones, diseñadas para distribuir las cargas del tráfico y proporcionar una superficie de rodadura segura y duradera. Su estructura sigue un esquema en el que las capas superiores soportan las mayores tensiones y las capas inferiores las distribuyen progresivamente hacia el suelo natural. (Giordani, 2010).

Los materiales que conforman cada capa del pavimento flexible varían según el tipo de vía y las condiciones del suelo, pero generalmente incluyen los siguientes elementos:

1. Carpeta asfáltica (capa de rodadura).

- Se compone de una mezcla asfáltica caliente o fría, combinada con agregados pétreos.
- Su función es proporcionar una superficie de rodadura lisa, resistente al desgaste y capaz de soportar las cargas del tráfico.
- También protege las capas inferiores del agua y los agentes climáticos.

2. Base granular o estabilizada.

- Puede estar compuesta por materiales granulares compactados, suelo-cemento o suelo estabilizado con cal.
- Debe ser resistente a la deformación y ofrecer buen drenaje para evitar acumulación de humedad.

3. Subbase granular.

- Se conforma de materiales pétreos más gruesos que la base y generalmente de menor calidad estructural.
- Su propósito es proporcionar estabilidad adicional, mejorar la capacidad de drenaje y evitar que el suelo natural afecte el desempeño de las capas superiores.

4. Subrasante

- Es la capa natural del suelo que se ha compactado y sirve de base para las demás capas del pavimento.

- Su calidad y capacidad de carga influyen directamente en el comportamiento del pavimento a lo largo del tiempo.
- En algunos casos, cuando el suelo natural es de baja calidad, puede requerir mejoramiento con estabilizantes.

Figura 1

Capas del pavimento flexible



Nota. Tomado de Ingeniería civil Perú.

2.2.1.3. Comportamiento y función de la estructura

El pavimento flexible trabaja de manera que cada capa superior transfiere los esfuerzos a la siguiente, distribuyendo las cargas de manera progresiva hasta llegar a la subrasante. Este comportamiento se diferencia del pavimento rígido, donde la losa de concreto soporta y distribuye la carga de manera más uniforme.

- ◇ **Carga Concentrada → Distribución en Capas → Reducción de Esfuerzos en la Subrasante.**

Las capas superiores deben ser más resistentes, mientras que las inferiores deben ser más flexibles y permeables para evitar acumulaciones de agua. Esta construcción hace que el pavimento flexible dure mucho tiempo y facilita su reparación mediante tareas de mantenimiento como el reasfaltado o el parcheo. (Giordani, 2010).

2.2.2. Capacidad estructural del pavimento

Se describe como la resistencia y capacidad de la estructura del pavimento para soportar las cargas del tráfico sin deformarse excesivamente ni romperse prematuramente. La capacidad del pavimento depende de varios factores, como la calidad de los materiales utilizados en cada capa, el espesor del pavimento, la compactación del suelo subyacente y la interacción entre las capas estructurales. Un pavimento lo suficientemente resistente puede soportar la presión que ejercen sobre él los coches y camiones sin causar grietas, deformaciones plásticas o fallos estructurales. (Solorio & Montoya, 2021).

Para determinar la resistencia de una estructura, se utilizan pruebas y técnicas especializadas como la deflectometría de fuerza (FWD). La FWD analiza cómo cambia la forma de la superficie del pavimento al aplicarle una fuerza controlada, lo que facilita la medición de su rigidez y rendimiento. Para determinar la resistencia de cada capa del pavimento, los científicos realizan pruebas en laboratorio y en campo, incluyendo pruebas de compactación, de módulo resiliente y de carga. Estos estudios evalúan la capacidad del pavimento para soportar el tráfico y su vida útil en función del volumen de tráfico y las condiciones climáticas.

El tipo de tráfico que soporta un pavimento influye en su resistencia. Si la estructura no es lo suficientemente fuerte, una carga excesiva y frecuente puede provocar su deterioro gradual. Además, el mantenimiento regular es fundamental para mantener la

estabilidad de la estructura. Esto incluye tareas como el reasfaltado y la reparación de baches, que solucionan los problemas y evitan que se repitan.

2.2.2.1. Parámetros que determinan la capacidad estructural

Existen tres tipos principales de criterios: los relacionados con el material, los relacionados con las propiedades mecánicas del pavimento y los relacionados con la carga y las condiciones climáticas. (Miranda, 2024).

➤ **Resistencia de los materiales.**

La capacidad estructural del pavimento depende de la calidad de los materiales utilizados en sus capas. La carpeta asfáltica, la base y la subbase deben contar con agregados de alta resistencia y ligantes adecuados para garantizar durabilidad y estabilidad frente a cargas repetitivas.

➤ **Espesor del pavimento.**

El diseño del pavimento debe considerar un espesor suficiente para distribuir las cargas de tránsito sin generar deformaciones excesivas. Un pavimento delgado puede deteriorarse rápidamente, mientras que un espesor mayor al necesario puede resultar en costos innecesarios.

➤ **Capacidad de soporte de la subrasante.**

El suelo de cimentación debe poseer una resistencia adecuada para soportar la estructura del pavimento sin asentamientos diferenciales. Se evalúa mediante ensayos como el CBR (California Bearing Ratio) y el módulo de resiliencia, que indican su capacidad de carga.

➤ **Deflexión del pavimento.**

La respuesta elástica del pavimento ante la aplicación de cargas es un indicador clave de su capacidad estructural. Se mide con la deflectometría de impacto (FWD), que permite evaluar el comportamiento de la estructura y detectar zonas con baja rigidez.

➤ **Fatiga y deformación permanente.**

El asfalto tiene un límite de resistencia frente a cargas repetitivas, y su fatiga puede provocar fisuras en la superficie. Asimismo, la deformación permanente o ahuellamiento ocurre cuando la carpeta asfáltica no recupera su forma original, afectando la seguridad y transitabilidad de la vía. (Miranda, 2024).

➤ **Tráfico y cargas aplicadas.**

El peso y la cantidad de vehículos que circulan sobre el pavimento influyen en su deterioro progresivo. Para el diseño estructural, se consideran ejes equivalentes de carga y se proyecta la vida útil del pavimento en función del tránsito esperado.

➤ **Drenaje y condiciones climáticas.**

El agua y los cambios de temperatura afectan la resistencia del pavimento. Un sistema de drenaje eficiente evita la acumulación de humedad en la subrasante, mientras que los cambios térmicos pueden provocar dilataciones y contracciones en la carpeta asfáltica, generando fisuras y desgaste prematuro.

Conclusión:

La resistencia estructural de los pavimentos flexibles depende de varios factores, como la calidad de los materiales, el diseño y el espesor de las capas, la resistencia del suelo subyacente y la respuesta del pavimento al tráfico y a las condiciones climáticas. Podemos desarrollar pavimentos duraderos y eficaces que requieran menos mantenimiento y funcionen correctamente a lo largo del tiempo mediante la medición precisa de estos factores en laboratorio y en campo.

2.2.2.2. Métodos de evaluación de la capacidad estructural

Para comprobar el estado del pavimento flexible y elaborar planes de mantenimiento o reparación, es necesario conocer su resistencia. Existen diferentes métodos para evaluar su resistencia, flexibilidad y capacidad de carga. (Gómez et al., 2019).



a) Deflectometría de impacto (FWD - Falling Weight Deflectometer).

Este método consiste en aplicar una fuerza dinámica sobre la superficie del pavimento y medir su flexión en diferentes puntos. Te permite averiguar la rigidez de cada capa y cuánto peso puede soportar el pavimento. Es un método no destructivo que se utiliza con frecuencia para evaluar carreteras.

b) Pruebas de carga con placa.

Se utilizan placas de acero de distintos diámetros para aplicar peso sobre el pavimento y medir su flexión. Es un buen método para determinar la resistencia de la subrasante y de las capas estructurales del pavimento.

c) Módulo de resiliencia.

Para determinar la elasticidad de las muestras de suelo y materiales granulares, se realizan estudios de laboratorio donde se someten a esfuerzos repetidos para observar su capacidad de recuperarla.

d) Ensayo de CBR (California Bearing Ratio).

Este método utiliza un pistón para atravesar muestras compactadas y evaluar la resistencia de la subrasante y las capas granulares. Se emplea principalmente para planificar y comprobar la capacidad de carga del suelo de cimentación.

e) Análisis de fatiga y deformación permanente.

Se realizan ensayos de laboratorio para observar el comportamiento de las mezclas asfálticas bajo esfuerzos repetidos y su resistencia a la fatiga. El ahuellamiento se estudia para predecir cambios en la superficie del pavimento.

f) Índice de Servicio del Pavimento (PSI - Present Serviceability Index).

Este índice utiliza pruebas de rugosidad, deflexión y degradación del pavimento para evaluar su eficacia y durabilidad. Se emplea para planificar las reparaciones y el mantenimiento de las carreteras.

g) Métodos empírico-mecanísticos.

Utilizamos modelos matemáticos y simulaciones por ordenador para predecir cómo reaccionará el pavimento ante diferentes condiciones climáticas y de carga. Estos

modelos se basan en datos reales y en las leyes de la mecánica de suelos y estructuras. (Gómez et al., 2019).

Estos métodos nos permiten comprobar la integridad estructural del pavimento y tomar decisiones inteligentes sobre cómo mantenerlo, lo que ahorra recursos y prolonga su vida útil.

2.2.3. *Transitabilidad*

La accesibilidad peatonal se refiere a la facilidad con la que distintos tipos de vehículos o personas pueden utilizar una carretera, autopista o ruta de forma segura y eficiente. Este concepto es fundamental para la ingeniería civil y la planificación urbana, ya que influye directamente en la construcción y el mantenimiento de las vías. (Soberon, 2023).

La accesibilidad peatonal mide la facilidad y seguridad con que personas y vehículos pueden desplazarse por una carretera, autopista o ruta. Este concepto es fundamental para la ingeniería y la planificación urbana, ya que influye directamente en la construcción y el mantenimiento de las autopistas.

Para determinar si una carretera es transitable, los proyectos de infraestructura analizan aspectos como el estado del pavimento, la presencia de obstáculos, la eficacia del drenaje y la estabilidad del terreno. Estos requisitos son necesarios para garantizar que las rutas sean seguras y eficientes para el tránsito de personas y mercancías, lo cual es fundamental para el desarrollo económico y social de las comunidades.

2.2.3.1. Factores que afectan la transitabilidad del pavimento

Hay varias cosas que pueden afectar la forma en que las personas usan el pavimento, lo que a su vez afecta la seguridad, la durabilidad y la comodidad de conducción (Soberon, 2023). Algunos de los más importantes son:

- **Condiciones climáticas:** La lluvia, la nieve, las temperaturas extremas y otros fenómenos meteorológicos pueden hacer que el pavimento sea mucho menos seguro



para conducir. La acumulación de agua o nieve en la superficie puede crear riesgos de deslizamiento o inundaciones, mientras que el calor extremo puede dañar la estructura del pavimento, provocando grietas y deformaciones.

- **Estado del pavimento:** El pavimento puede dañarse por el desgaste causado por el constante tránsito de vehículos, la falta de mantenimiento y la exposición a elementos como el agua, productos químicos o el sol. Esto puede provocar grietas, agujeros, socavones o deformaciones.
- **Diseño del pavimento:** El tipo de material utilizado, el espesor y la estructura de las capas del pavimento, entre otros factores, son importantes para que una carretera sea transitable. Un mal diseño podría provocar problemas como grietas o pérdida de superficie debido al tráfico excesivo.
- **Cargando y tráfico:** El volumen y el tipo de tráfico en la ruta también influyen en la facilidad de tránsito.
- **Drenaje:** La carretera debe tener un buen drenaje. Si el drenaje es insuficiente o inexistente, el agua puede acumularse en la superficie. Esto puede dañar el pavimento, aflojando capas de material o creando baches, lo que reduce su estabilidad y ralentiza el tráfico.
- **Características del suelo y la subrasante:** El estado del suelo donde se construye el pavimento es fundamental. Si el suelo es inestable o la subrasante no es adecuada, pueden producirse asentamientos y deformaciones. Esto podría reducir la seguridad de la carretera y acortar su vida útil.
- **Rugosidad de la superficie:** La rugosidad del pavimento influye en la comodidad del viaje y en la seguridad. Un pavimento muy rugoso puede generar una experiencia incómoda para los usuarios, mientras que una superficie muy lisa o deslizante puede aumentar el riesgo de accidentes, especialmente en condiciones de lluvia. (Soberon, 2023).

- **Iluminación y señalización:** Aunque no afectan directamente la calidad del pavimento, la falta de una buena señalización y un sistema de iluminación adecuado pueden reducir la percepción del estado de la vía, aumentando los riesgos durante la conducción, sobre todo en horas de baja visibilidad.

2.2.3.2. Métodos de medición del grado de transitabilidad

Existen varios métodos para medir el grado de transitabilidad de un pavimento, los cuales varían en función de los objetivos específicos de la medición. (Barrientos & Matamoros, 2024). A continuación, presentamos algunos de los métodos más utilizados:

1. Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Una de las formas más comunes de medir la calidad del pavimento y su impacto en la transitabilidad peatonal es mediante el IRI (Índice de Ritmo de la Carretera). Esta estadística se basa en la variación de la altura de la superficie en un tramo de carretera y se mide en metros por kilómetro (m/km). El IRI indica la calidad de la carretera, ya que las carreteras en mal estado dificultan la conducción y el tráfico.

- **Ventaja:** Proporciona una medida cuantitativa.
- **Uso:** Es útil para evaluar la calidad del pavimento en términos de confort para los usuarios y su impacto en el desgaste de los vehículos.

2. Medición de la deflexión.

Este método mide la deformación del pavimento al aplicarle una fuerza específica. Para ello, se suele utilizar un dinamómetro o un deflectómetro de impacto. Con el fin de comprobar la resistencia del pavimento y la capacidad de la infraestructura para soportar peso, se mide la deflexión en puntos específicos de la carretera.

- **Ventaja:** Permite detectar zonas con posibles fallos estructurales o daños en el pavimento.

3. Prueba de piso o medición de baches (nivelación de pavimento).

La prueba de nivelación busca problemas evidentes en la superficie del pavimento, como grietas, baches o socavones. El grado de desviación de la superficie se mide

mediante un dispositivo que se desplaza sobre el pavimento para detectar diferencias de nivel.

- **Ventaja:** Es sencilla y puede realizarse manualmente o mediante equipos automáticos.
- **Uso:** Es útil para evaluar las irregularidades de la superficie y para planificar reparaciones en tramos deteriorados.

4. Medición de Coeficiente de Fricción (Adherencia).

El coeficiente de fricción es un número que indica la adherencia entre el pavimento y los neumáticos del coche.

- **Ventaja:** Proporciona una medida crítica de la seguridad vial.
- **Uso:** Es útil para evaluar la capacidad del pavimento para resistir deslizamientos y garantizar la seguridad de los conductores, especialmente en condiciones meteorológicas adversas.

5. Prueba de Carga de Caminos.

La prueba de carga verifica la resistencia del pavimento al paso de vehículos pesados. Esta prueba muestra la capacidad de carga máxima de la vía sin causarle daños permanentes. (Barrientos & Matamoros, 2024).

- **Ventaja:** Es efectiva para evaluar el pavimento en áreas con un alto volumen de tránsito pesado.
- **Uso:** Es útil para carreteras que soportan el paso frecuente de camiones y otros vehículos de gran peso.

6. Método Visual (Inspección Visual).

Este método examina la superficie del pavimento y sus características, como grietas, baches, depresiones, deformaciones o materiales dañados. A menudo se presenta una descripción general de los diversos tipos de problemas que se encontraron.

- **Ventaja:** Es sencillo y rápido de realizar, y puede realizarse manualmente sin equipos especializados.



- **Uso:** Ideal para evaluaciones preliminares y para identificar áreas que requieren atención inmediata.

2.2.4. Deflectometría

Un deflectómetro se utiliza a menudo para medir cuánto se dobla el pavimento al aplicarle un peso determinado. Esta tecnología permite observar cómo reacciona el pavimento al peso de los vehículos, lo que proporciona información importante sobre su resistencia, flexibilidad y vulnerabilidad. (Gaete, 2022).

La deflectometría se basa en el estudio de cómo se deforma la superficie del pavimento al aplicarle una fuerza puntual o dispersa. La magnitud de la deflexión registrada depende de varios factores, como la rigidez de las capas del pavimento, el tipo de material, el estado de la subrasante (el suelo bajo el pavimento) y la humedad presente. Mediante esta medición, los ingenieros pueden obtener información valiosa sobre la capacidad de la vía férrea para soportar tráfico pesado o grandes cargas.

Uno de los equipos más comunes en deflectometría es el deflectómetro de caída libre (FWD). Consiste en dejar caer un peso sobre el pavimento y medir su deformación. El FWD funciona como un automóvil de gran tamaño y genera una curva de deflexión que se utiliza para determinar el estado del pavimento. Esta medición es muy útil para verificar la calidad de los pavimentos de carreteras y otras infraestructuras viales, ya que permite detectar puntos débiles o zonas que necesitan reforzarse antes de que aparezcan problemas visibles como grietas o baches. (Gaete, 2022).

La deflectometría es útil para detectar fallas en pavimentos existentes, así como para su reparación y mantenimiento. Conocer la resistencia a la flexión del pavimento ayuda a los ingenieros a determinar los mejores métodos para reparar o reforzar la infraestructura vial.

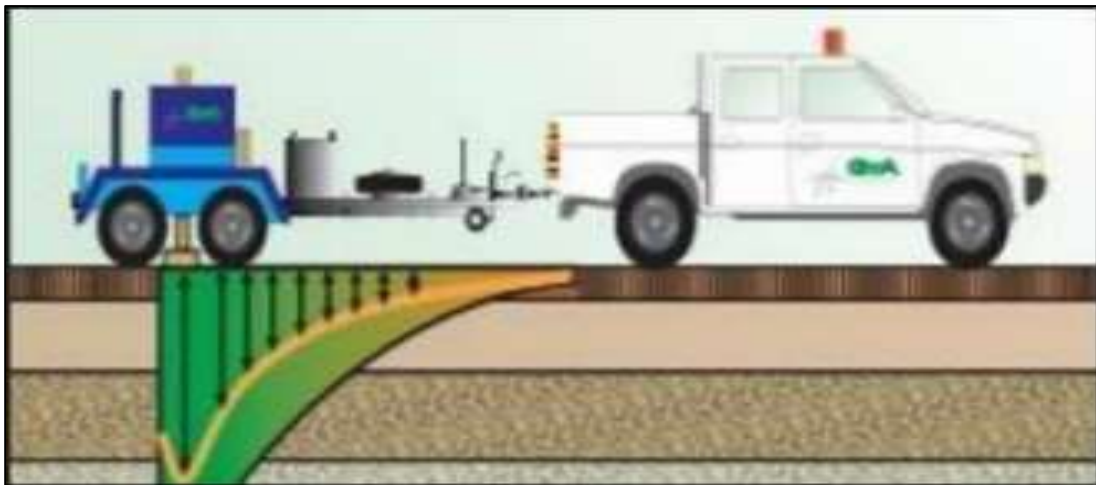


2.2.4.1. Deflectómetro de impacto (FWD)

El deflectómetro de impacto, también conocido como deflectómetro de caída libre (FWD), es un instrumento que analiza la flexión o deformación de un pavimento al ser impactado por una carga dinámica simulada, como la de un automóvil de gran tamaño. El FWD es una herramienta fundamental para los ingenieros, especialmente para determinar la resistencia de un pavimento. Esto se debe a que proporciona información detallada sobre la rigidez de las capas del pavimento y del suelo subyacente (subrasante), así como sobre su comportamiento. (Ferero, 2021).

El sistema FWD funciona dejando caer un peso sobre la carretera de forma controlada. Al caer desde cierta altura, el peso impacta contra el suelo, provocando la deformación del pavimento. Para ello, se utilizan sensores o geófonos que registran la reacción del pavimento al impacto en distintos puntos cercanos. Posteriormente, se comprueba el grado de deformación.

El método FWD es muy útil para analizar el estado de pavimentos existentes, ya que permite verificar la integridad estructural sin perforar ni dañar el pavimento. Esto lo convierte en una herramienta valiosa para la inspección y evaluación periódica de la infraestructura sin causar daños. También se utiliza en proyectos de construcción de nuevas carreteras, ya que proporciona información que ayuda a modificar el diseño y las especificaciones de las capas del pavimento, lo que permite prolongar su vida útil y mejorar su desempeño ante un tráfico intenso.

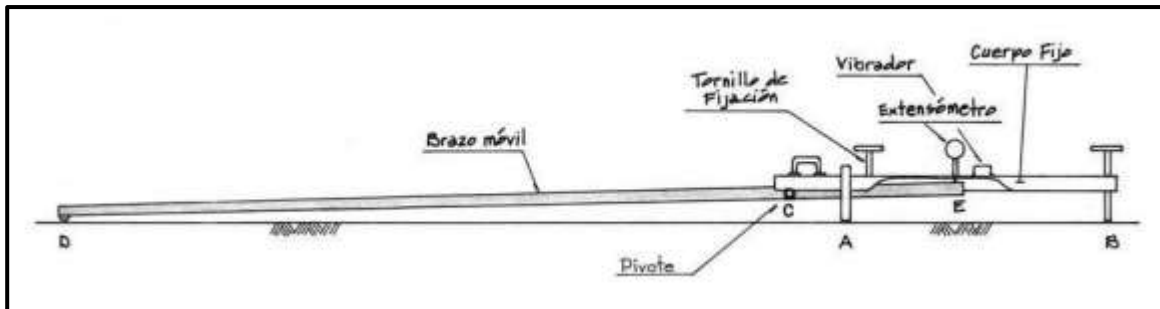
Figura 2*Deflectómetro de impacto (FWD)*

Nota. Tomado de Dynatest (2021).

2.2.4.2. Viga Benkelman

Esta tecnología analiza la capacidad estructural de las carreteras e indica la rigidez del pavimento y cómo responden sus capas a la circulación del tráfico. La viga Benkelman cuenta con una barra alargada, con un extremo apoyado en el pavimento y un indicador o medidor en el otro extremo que registra los cambios o deformaciones en puntos específicos de la carretera. (Coapaza, 2021).

La viga Benkelman funciona aplicando presión sobre el pavimento y midiendo su deformación. Este método detecta zonas del pavimento que pueden estar perdiendo firmeza o presentar riesgo de fallo, como fisuras o hundimientos. Los ingenieros pueden utilizar la viga Benkelman para comprobar la flexibilidad y resistencia del pavimento, lo que les permite tomar decisiones acertadas sobre cómo reparar, mantener o reconstruir la carretera.

Figura 3*Viga Benkelman*

Nota. Partes de la Viga Benkelman, tomado de MTC (2016).

Este procedimiento se considera no destructivo porque no requiere excavar ni perforar el pavimento. Esto lo convierte en una forma económica y útil de comprobar el estado de la infraestructura vial. La viga Benkelman es una herramienta fundamental para determinar la capacidad de carga de una carretera y para planificar las reparaciones necesarias que garanticen su seguridad y buen estado.

Partes de la Viga Benkelman:

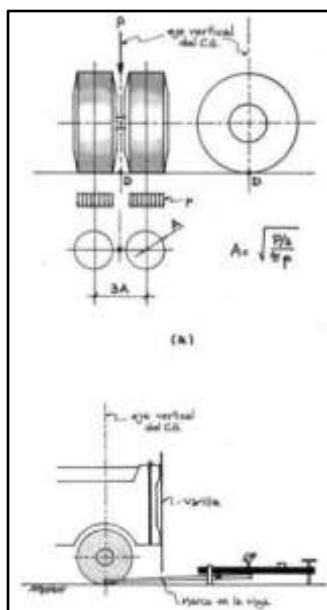
- **Viga o Barra Principal:** La viga principal es la parte larga y rígida de la viga Benkelman. Se coloca transversalmente sobre la acera de manera que un extremo toque el pavimento y el otro quede libre. La viga está diseñada para ser lo suficientemente robusta como para soportar las fuerzas utilizadas al realizar las mediciones.
- **Punto de Apoyo o Base:** En un extremo de la viga, se encuentra un punto de apoyo que se coloca directamente sobre la superficie del pavimento. Este punto puede estar equipado con un pequeño soporte o rodillo para asegurar que la viga esté correctamente posicionada durante las mediciones. (Coapaza, 2021).
- **Medidor de Deflexión:** En el extremo libre de la viga, se encuentra el medidor de deflexión, que es el componente encargado de medir la deformación o deflexión del

pavimento. Este medidor puede ser un micrómetro o un sensor de precisión que capta el cambio en la posición de la viga a medida que se deforma bajo la carga.

- **Indicador de Lectura:** El medidor de deflexión está conectado a un indicador de lectura que muestra la cantidad de deflexión registrada. Este indicador puede ser analógico o digital, dependiendo del modelo de la viga Benkelman, y proporciona los datos necesarios para analizar el comportamiento del pavimento.
- **Rodillo de Carga o Peso:** En algunos modelos, la viga Benkelman puede tener un rodillo de carga que ayuda a aplicar presión sobre la superficie del pavimento durante las mediciones. Este rodillo distribuye de manera uniforme la carga y facilita la medición precisa de la deflexión.
- **Escala Graduada:** La viga Benkelman suele tener una escala graduada que permite a los operadores tomar lecturas de manera visual. En algunos modelos más modernos, esta escala puede estar reemplazada por dispositivos electrónicos que proporcionan lecturas directas.

Figura 4

Viga Benkelman



Nota. Partes de la Viga Benkelman, tomado de MTC (2016).

2.2.5. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

El IRI es una medida utilizada para evaluar la calidad de la superficie de un pavimento, especialmente en carreteras y otras infraestructuras viales. Este índice mide la rugosidad o las irregularidades de la superficie del pavimento que afectan la seguridad de los usuarios. Cuanto mayor es el IRI, más rugosa y, por lo tanto, menos cómoda y segura es la superficie de la vía para los vehículos. (Arriaga et al., 2004).

El IRI se basa en las variaciones verticales que se producen en la superficie del pavimento mientras un vehículo circula sobre él. Estas variaciones se capturan mediante sensores o dispositivos especializados que registran las oscilaciones del vehículo en función de las irregularidades de la carretera. El índice resultante se expresa en m/km, lo que indica la cantidad de desplazamiento vertical promedio que experimenta un vehículo a lo largo de un kilómetro de carretera.

Características del IRI:

- **Unidad de medida:** El IRI se mide en m/km. Cuanto más alto es el valor de IRI.
- **Cálculo:** El cálculo del IRI se realiza tomando la variación en la altura del pavimento a lo largo de un trayecto de 100 metros. La fórmula empleada considera la amplitud y frecuencia de las ondulaciones a lo largo del pavimento y se procesa para obtener un valor representativo.

En términos simples, el IRI mide cuán "suave" o "áspera" es una carretera para el conductor y los pasajeros. Una carretera con un valor bajo del IRI es más agradable y suave, mientras que una con un valor alto es más irregular y difícil de conducir.

Clasificación del IRI:

Los valores del IRI generalmente se clasifican en diferentes categorías que reflejan la calidad del pavimento:

- IRI de 0 a 2.5 m/km: vía en excelentes condiciones, con superficie suave y cómoda.



- IRI de 2.5 a 4.0 m/km: Pavimento en buenas condiciones, con algunas irregularidades menores, pero adecuado para el tránsito.
- IRI de 4.0 a 6.0 m/km: Pavimento en condiciones regulares, con ciertas ondulaciones y algo incómodo para conducir.
- IRI de 6.0 a 10.0 m/km: Pavimento en malas condiciones, con múltiples irregularidades y una conducción incómoda.
- IRI superior a 10.0 m/km: Pavimento en muy malas condiciones, con grandes deformaciones, lo que genera una conducción bastante incómoda y peligrosa.

Aplicaciones del IRI:

- ❖ **Evaluación de la calidad del pavimento:** El IRI es una herramienta para el mantenimiento y gestión de infraestructuras viales, ya que permite a los ingenieros identificar áreas de pavimento que requieren atención y rehabilitación.
- ❖ **Planificación de mantenimiento:** El IRI es útil para priorizar la reparación de tramos de carreteras, asegurando que se aborden primero las áreas con mayores irregularidades que afectan la seguridad y el confort.
- ❖ **Monitoreo continuo:** Los valores de IRI pueden ser monitoreados a lo largo del tiempo para evaluar cómo se desgasta un pavimento debido al tráfico y a las condiciones climáticas, lo que facilita la planificación de intervenciones a largo plazo. (Arriaga et al., 2004).

2.2.5.1. Rugosímetro de MERLIN

El rugosímetro MERLIN es una herramienta que evalúa el estado de las carreteras y mide su rugosidad. MERLIN (Medición de Rugosidad de Carreteras con Láser y Sensores Inerciales) es una herramienta de última generación que utiliza láser y sensores inerciales para proporcionar lecturas exactas de los problemas del pavimento. Este dispositivo permite realizar evaluaciones de rugosidad más precisas y completas que los métodos

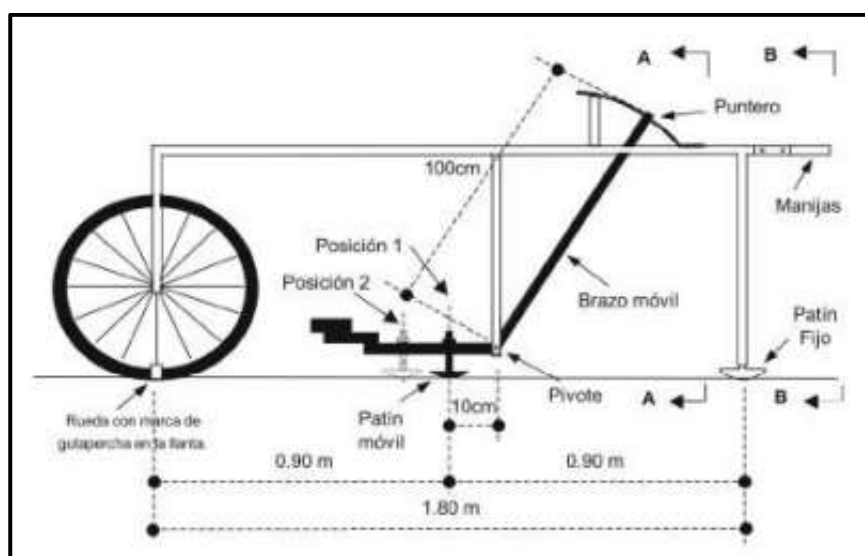
anteriores, ya que emplea tecnología de alta precisión en lugar de la inspección visual o herramientas manuales. (Fernandez, 2022).

El medidor de rugosidad superficial MERLIN utiliza láseres para detectar irregularidades y cambios en la superficie mientras recorre la carretera. Esto permite comprobar la altura del pavimento en diferentes puntos del trayecto. La tecnología también emplea sensores inerciales para registrar el movimiento del dispositivo y compararlo con la rugosidad de la superficie. De este modo, MERLIN obtiene información más precisa e imparcial sobre la calidad del pavimento, lo que facilita la evaluación de su estado.

La principal ventaja del rugosímetro MERLIN reside en su rapidez, que permite recopilar datos de grandes tramos de carretera en poco tiempo. Esta característica resulta muy útil para evaluar extensas redes viales, ya que facilita la visualización del estado del pavimento sin necesidad de realizar largas mediciones físicas. MERLIN también genera un perfil de rugosidad, que proporciona información detallada sobre las irregularidades de la superficie que podrían afectar la comodidad o la seguridad en la conducción. (Fernandez, 2022).

Figura 5

Rugosímetro de Merlín



Nota. Esquema del rugosímetro de Merlín, tomado del manual de usuario.

2.3. Marco conceptual

- a. **Capacidad estructural.** - La resistencia es la capacidad de una estructura, como un edificio, un pavimento o un puente, para soportar el peso y la tensión a los que está sometida sin romperse, doblarse excesivamente o colapsar. El diseño, los materiales utilizados, las condiciones del terreno, el tipo de carga aplicada (estática o dinámica) y el mantenimiento influyen en su capacidad. Para garantizar que la infraestructura sea segura, estable y duradera, y que funcione correctamente cuando se necesite, es fundamental verificar su capacidad estructural.

- b. **Deflectometría.** - La deflectometría permite cuantificar la flexión o deformación de un pavimento al someterse a una determinada tensión. El objetivo es determinar su resistencia y solidez estructural. Un deflectómetro analiza cómo se deforma la superficie del pavimento al estar sometida a una fuerza dinámica, como la del tráfico. Este método es esencial para verificar la resistencia del pavimento, detectar puntos débiles en su construcción y planificar el mantenimiento, lo cual contribuye a la seguridad y durabilidad de la infraestructura vial.

- c. **IRI.** - El IRI es un método para medir la calidad del pavimento. Indica la suavidad o irregularidad de la carretera y su impacto en la seguridad. Para obtener este índice, se mide la altura del pavimento a lo largo de un tramo de carretera. Se expresa en metros por kilómetro (m/km). Un valor bajo del IRI sugiere que la carretera es lisa y facilita la conducción, mientras que un valor alto indica una superficie más rugosa, lo que puede hacer que la conducción sea incómoda o incluso peligrosa.

- d. **Pavimento flexible.** - Este tipo de pavimento consta de varias capas de materiales, principalmente asfalto, sobre una subrasante preparada o una base de tierra. Su construcción permite que las cargas del tráfico se distribuyan uniformemente sobre las capas inferiores, lo que le permite flexionarse sin romperse. Un pavimento flexible se

compone de tres capas: la capa de rodadura, la capa base y, en ocasiones, una subbase.

- e. **Rugosímetro de Merlín.** - Se trata de un dispositivo de alta tecnología que evalúa de forma rápida y precisa la dureza del pavimento. MERLIN utiliza láseres y sensores inerciales para obtener gran cantidad de información sobre las variaciones de altura del pavimento a lo largo de la ruta. Este método facilita la medición rápida de la rugosidad, lo que permite analizar grandes tramos de carretera en poco tiempo.
- f. **Transitabilidad.** - Esto significa que una calle o acera puede ser utilizada de forma segura y eficaz por vehículos y peatones, teniendo en cuenta su estado estructural, la calidad de su superficie y la facilidad de acceso. Esto incluye aspectos como la resistencia del pavimento, la presencia de superficies irregulares, un drenaje adecuado y la estabilidad del terreno. Todos estos factores influyen en la seguridad, la comodidad y la eficiencia del tráfico. Una vía con alta transitabilidad permite que vehículos y peatones se desplacen sin dificultades ni peligros. Por otro lado, una vía con baja transitabilidad dificulta el tránsito de personas y vehículos, lo que puede hacer que el transporte sea menos seguro y menos eficiente.
- g. **Vías.** - Las carreteras son un tipo de infraestructura de transporte que permite que automóviles, personas y otros medios de transporte se desplacen de un lugar a otro. Pueden ser carreteras, aceras, calles, puentes o túneles, y los materiales y las técnicas de construcción empleados dependen de su tipo y del volumen de tráfico que soportan. Las carreteras son fundamentales para la movilidad, por lo que deben construirse y mantenerse adecuadamente para garantizar un transporte seguro, rápido y accesible.
- h. **Viga Benkelman.** - Cuando se aplica una fuerza determinada a un pavimento, como la del paso de los vehículos, se utiliza una herramienta en ingeniería civil para medir su flexión o deformación. Se coloca una barra rígida sobre la superficie del pavimento y un extensómetro en el otro extremo. Este extensómetro mide cómo se deforma el



pavimento al circular un peso, como el de un automóvil. Esta herramienta permite evaluar la resistencia estructural del pavimento y detectar zonas que podrían necesitar reparación por ser débiles o haber sufrido deformaciones. Es especialmente útil para comprender el comportamiento del pavimento ante un tráfico intenso.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de investigación es la manera en que se aborda un problema de investigación, lo cual guía las metodologías y estrategias a utilizar para obtener resultados útiles. Este método ayuda a determinar cómo recopilar y analizar datos, así como a interpretar los resultados para responder a las preguntas de investigación. (Hernandez et al., 2014).

El enfoque de este estudio es **cuantitativo**, ya que implica principalmente datos numéricos derivados de mediciones estructurales (deflexiones, módulos de elasticidad, resistencia) e indicadores de transitabilidad (IRI, PCI).

3.2. Tipo de la investigación

Este tipo de estudio busca aplicar conocimientos científicos y tecnológicos para abordar problemas del mundo real. Su objetivo es mejorar diversos aspectos, como procedimientos, productos, servicios o circunstancias. (Kerlinger, 2002).

El estudio emplea el tipo de investigación **aplicada**, para generar información técnica que permita abordar un problema tangible en la infraestructura vial. El objetivo del



análisis es proporcionar información precisa sobre el estado estructural del pavimento para optimizar el mantenimiento y la fluidez del tráfico.

3.3. Nivel de la investigación

El nivel de estudio se refiere a la relación que se obtiene los datos a través de la experimentación, donde se manipula intencionalmente una variable independiente para observar su efecto en una variable dependiente. Este tipo de investigación busca establecer relaciones de causa y efecto mediante un protocolo de control riguroso y el manejo de variables. (Kerlinger, 2002).

El nivel de la investigación es **descriptivo**, ya que busca ofrecer una descripción técnica y objetiva de las características actuales del pavimento flexible en la ruta Juliaca-Lampa, determinando su capacidad estructural y nivel de transitabilidad. El estudio no pretende alterar la realidad observable; en cambio, busca evaluar y caracterizar su comportamiento bajo carga, ofreciendo así un diagnóstico del estado de la infraestructura.

3.4. Diseño de la investigación

Según Creswell (2014), el diseño experimental se refiere a un marco organizado o una secuencia de métodos sistemáticos que alteran intencionalmente una o más variables independientes para evaluar su impacto en una o más variables dependientes. Este enfoque busca determinar las relaciones causales en entornos controlados y obtener datos cuantitativos fiables, lo que permite examinar hipótesis específicas y desarrollar un conocimiento científico sólido.

El diseño empleado en este estudio es **no experimental**, ya que no se manipularán deliberadamente las variables de estudio, sino que se observarán y analizarán tal como se presentan en la realidad. La evaluación de la capacidad estructural y el grado de transitabilidad del pavimento flexible en la vía Juliaca – Lampa se realizó mediante la

recopilación de datos en campo, producto de la aplicación de cargas de tránsito y la medición de deflexiones, sin intervenir en las condiciones físicas de la vía.

3.5. Método de la investigación

El método científico es un proceso sistemático y riguroso utilizado para investigar fenómenos, adquirir nuevos conocimientos o corregir los existentes mediante la observación empírica, la formulación de hipótesis comprobables, la experimentación controlada y el análisis objetivo de los datos, con el fin de generar resultados verificables, reproducibles y libres de subjetividad, que permitan explicar y comprender la realidad de manera objetiva y fundamentada. (Hernandez et al., 2014).

El método para la presente investigación es **científico**, ya que se estructura en la observación, formulación de hipótesis, experimentación y análisis de resultados. Se comenzó con la recopilación de información sobre el estado actual del pavimento, seguido por la formulación de hipótesis sobre su capacidad estructural y grado de transitabilidad.

3.6. Población y muestra

3.6.1. Población

Es el conjunto definido y accesible de individuos, objetos o casos que comparten características específicas y sobre los cuales el investigador desea obtener información para responder a una pregunta de investigación; esta población, también llamada población accesible o universo de estudio, está delimitada en términos de tiempo, espacio y criterios de inclusión y exclusión, y constituye el referente del cual se extrae la muestra para realizar el análisis de los resultados obtenidos. (Hernandez et al., 2014).

La población de este estudio está conformada por la totalidad de la infraestructura vial del pavimento flexible en la vía Juliaca – Lampa. Así mismo, se considera dentro de la población a los elementos estructurales del pavimento, tales como la subrasante, la base

y la carpeta asfáltica, así como a las condiciones del tránsito y factores ambientales que influyen en su desempeño estructural y grado de transitabilidad.

3.6.2. Muestra

La muestra del estudio es un subconjunto representativo y manejable extraído de la población total sobre la cual se realiza la investigación, seleccionada mediante procedimientos específicos para que refleje las características fundamentales del universo de estudio, con el propósito de obtener datos que permitan generalizar los resultados y conclusiones a toda la población. (Hernandez et al., 2014).

La muestra estará determinada por los tramos específicos de la vía seleccionados para la evaluación que abarca del kilómetro 4+000 al 5+000. La presente investigación evaluó los carriles derecho e izquierdo de la vía Juliaca – Lampa.

3.7. Técnicas e instrumentos

3.7.1. Técnicas

Las técnicas de estudio son los pasos y herramientas exactos que el investigador utiliza para recopilar, medir y evaluar datos durante el proceso de investigación. Esto le permite obtener información precisa y útil sobre las variables. Creswell (2014).

Para el análisis de la capacidad estructural y el grado de transitabilidad del pavimento flexible en la vía Juliaca – Lampa, se emplearán diversas técnicas de recolección de datos y medición estructural, combinadas con instrumentos especializados.

1. Observación de campo.

Se realizó una inspección del pavimento para identificar fallas superficiales como grietas, fisuras, deformaciones y ahuellamiento.

2. Medición de deflexiones.

Se aplicarán cargas de tránsito en puntos estratégicos del pavimento para medir la respuesta estructural y su capacidad de soporte.

3. Pruebas de rugosidad y regularidad superficial.

Se evaluará el nivel de transitabilidad midiendo irregularidades del pavimento que afectan la comodidad de los usuarios.

4. Análisis de cargas de tránsito.

Se recopilarán datos sobre el volumen y tipo de vehículos que circulan en la vía para evaluar su impacto en el pavimento flexible.

3.7.2. Instrumentos

Según (Hernandez et al., 2014), los instrumentos del estudio son las herramientas o dispositivos concretos que el investigador utiliza para aplicar las técnicas de recolección de datos, facilitando la obtención de información de manera sistemática, precisa y organizada.

Los instrumentos utilizados en esta investigación fueron los siguientes:

- Viga Benkelman.
- Rugosímetro de MERLIN.
- Fichas de recolección de datos.

3.8. Plan de recolección y procesamiento de datos

3.8.1. Desarrollo del plan de recolección de datos

Este estudio se dividió en varias etapas con el fin de alcanzar los objetivos y lograr el mayor progreso posible. Las secciones siguientes describen cada uno de los pasos.

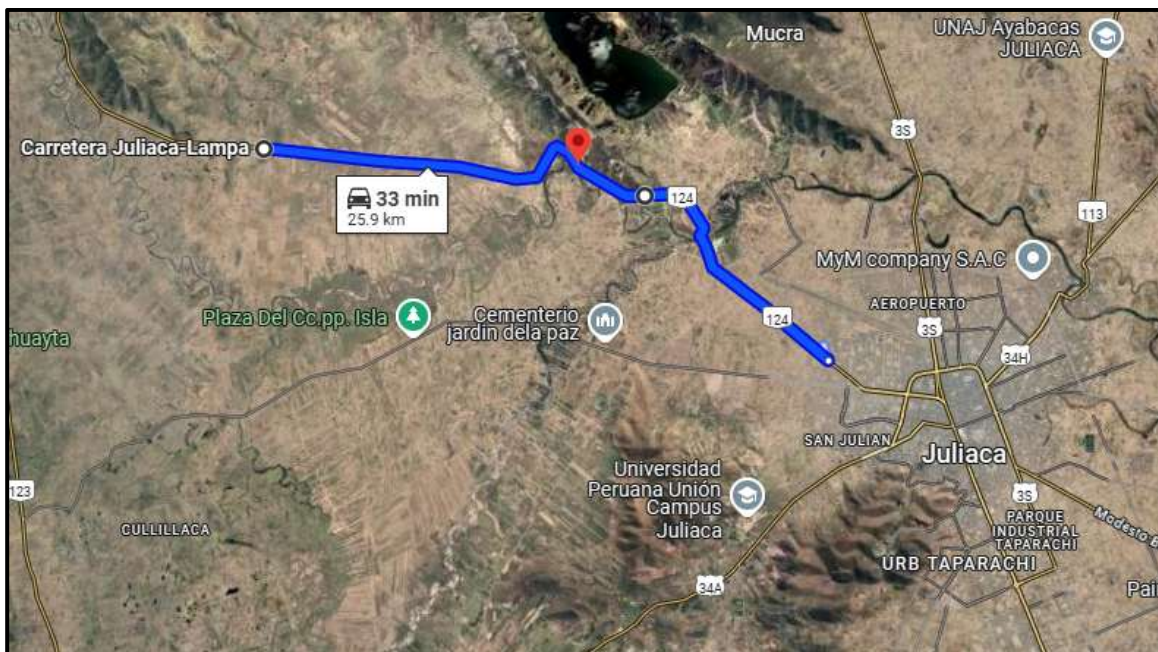
3.8.1.1. Fase I: Recopilación de la información

Este paso implica recopilar y analizar los datos pertinentes para el estudio. Se realiza un análisis exhaustivo de las publicaciones académicas, incluyendo tesis, artículos científicos, textos especializados y normas relevantes relacionadas con el tema de investigación. Los objetivos de la revisión bibliográfica son dilucidar los fundamentos teóricos y empíricos que han abordado desafíos similares, comprender la metodología utilizada en investigaciones previas e identificar los hallazgos y las limitaciones que puedan aportar información valiosa.

3.8.1.2. Fase II: Localización de la vía

Figura 6

Localización de la vía Juliaca - Lampa



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

3.8.1.3. Fase III: Procedimiento de los métodos de medición.

Esta parte de la investigación incluyó experimentos de campo con ensayos in situ. Las pruebas fueron cruciales para asegurar la eficacia de las soluciones propuestas y se

realizaron en momentos clave del proceso de construcción, especialmente durante la evaluación de la estructura vial.

3.8.1.4. Viga Benkelman.

La prueba de la viga Benkelman mide la flexión del pavimento flexible al aplicarle una carga elevada, como la de un automóvil pesado al pasar sobre él. Los procedimientos para realizar esta prueba se describen a continuación:

Procedimiento:

1. Preparación del sitio y equipo.

- **Selección de la ubicación:** Debe elegir un tramo de pavimento representativo que tenga un tráfico normal y que no haya sido reparado recientemente ni presente problemas estructurales importantes. No debe haber ningún obstáculo que pueda interferir con la prueba.
- **Instalación de la viga:** La viga de Benkelman, que es una estructura de metal o acero, debe colocarse sobre la superficie del pavimento. La viga tiene dos apoyos, uno sobre el pavimento y otro sobre el suelo o la base del pavimento. En uno de los extremos de la viga se instala un medidor de desplazamiento o medidor de deflexión que registrará la deformación del pavimento.

2. Aplicación de la carga.

- **Vehículo de carga:** El ensayo se realiza utilizando un vehículo de prueba, normalmente un camión con carga estandarizada que simula el peso de los vehículos que circulan regularmente por la carretera. Este camión debe tener un peso conocido y debe pasar a una velocidad controlada sobre el pavimento.
- **Posicionamiento del vehículo:** El vehículo debe posicionarse de manera que pase directamente sobre el tramo donde se encuentra la viga de Benkelman. Generalmente, el camión debe atravesar la viga en línea recta y a velocidad

constante, permitiendo que la carga se aplique de manera controlada y repetida sobre la superficie del pavimento.

3. Medición de deflexión.

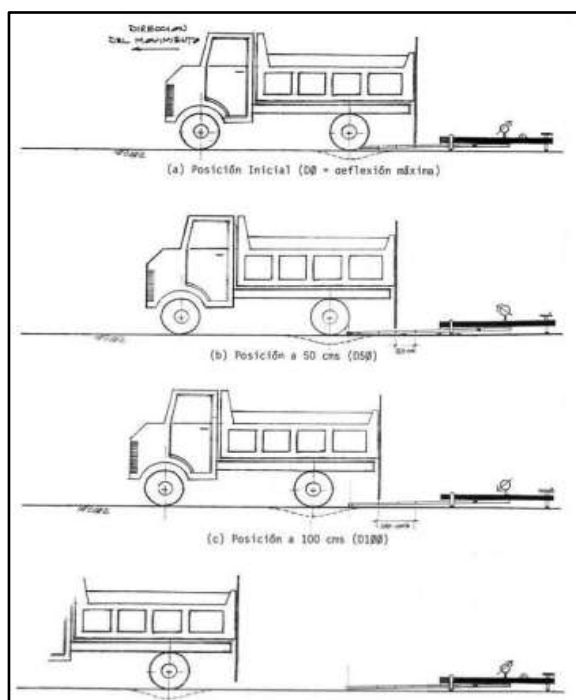
- **Paso del vehículo:** A medida que el vehículo pasa sobre la viga de Benkelman, el pavimento se deforma bajo el peso del camión. Esta deformación provoca que la viga se flexione, y la deflexión máxima del pavimento se mide en el extremo de la viga, utilizando el medidor de desplazamiento.
- **Lectura de la deflexión:** El medidor de desplazamiento captura la máxima deflexión alcanzada por el pavimento en el momento del paso del vehículo. Esta medición refleja la deformación puntual en el punto de carga.

4. Repetición del ensayo.

Repetir la medición: El ensayo debe repetirse en varios puntos del tramo evaluado, a lo largo del recorrido de la viga. Esto ayuda a nivelar áreas de mayor deformación que podrían indicar fallas estructurales o puntos débiles en la infraestructura vial.

Figura 7

Prueba de la Viga Benkelman



Nota. Esquema del proceso de medición

5. Registro y análisis de resultados.

Análisis de deflexión: Es importante registrar y analizar los datos de deflexión recopilados en cada sitio. Se pueden comparar las mediciones con umbrales conocidos para determinar la resistencia del pavimento. En general, una mayor deflexión indica que el pavimento es más débil, lo que puede implicar la necesidad de reparaciones o refuerzo.

3.8.1.5. Rugosímetro de Merlín.

El rugosímetro MERLIN es una herramienta que mide la rugosidad de la superficie de una carretera. Dispone de un índice que indica el grado de suavidad o rugosidad de la superficie. Esta herramienta evalúa el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), un factor importante para determinar la seguridad y la comodidad de la carretera en caso de circular.

Procedimiento:

1. Preparación del equipo.

- **Revisión del Rugosímetro:** Compruebe que el rugosímetro MERLIN funciona correctamente antes de comenzar. Asegúrese de que todos los componentes del equipo, incluidas las ruedas, funcionan correctamente.
- **Calibración:** Para obtener mediciones precisas, el equipo debe configurarse correctamente según las instrucciones del fabricante. Algunos rugosímetros MERLIN requieren calibración antes de su uso. Se recomienda realizar este paso antes de tomar cualquier medida.

2. Selección de la ruta y puntos de medición.

- **Elección del tramo:** El rugosímetro MERLIN debe utilizarse en una sección de pavimento representativa, sin barreras, baches grandes ni otros obstáculos que puedan interferir con el equipo. El segmento debe ser lo suficientemente largo para obtener una muestra representativa del pavimento.

- **Posicionamiento inicial:** Marca el inicio y final de la ruta a recorrer con el Rugosímetro, generalmente un tramo de 100 a 500 metros, dependiendo de las normativas o de los objetivos del análisis.

3. Configuración del equipo.

- **Ajustes del Rugosímetro:** Ajusta el Rugosímetro MERLIN de acuerdo con las condiciones específicas del pavimento. Esto puede incluir la configuración de la velocidad de medición, el tipo de pavimento, y otros parámetros del equipo.
- **Ubicación del dispositivo:** El Rugosímetro se instala en el vehículo que lo llevará a lo largo del tramo de pavimento. El dispositivo debe estar colocado de manera que las ruedas del equipo se encuentren en contacto directo con la superficie.

4. Medición de la rugosidad.

- **Desplazamiento del vehículo:** Con el equipo correctamente instalado, comienza a mover el vehículo a una velocidad constante especificada por el fabricante del Rugosímetro (generalmente entre 30 y 60 km/h). El Rugosímetro MERLIN tomará mediciones continuas de las variaciones a medida que el vehículo avanza.
- **Registro de datos:** A medida que el vehículo se desplaza, el Rugosímetro MERLIN va registrando las irregularidades de la superficie del pavimento mediante los sensores de medición de variación vertical que detectan las fluctuaciones en la superficie de la carretera. Estos datos se procesan en tiempo real para generar el índice de rugosidad.

5. Análisis de los resultados.

- **Obtención del IRI:** El rugosímetro MERLIN calcula automáticamente el IRI a partir de las mediciones de deflexión. Este índice mide la irregularidad de la superficie y se utiliza para clasificar la suavidad o rugosidad del pavimento. Un IRI bajo indica una superficie más suave, mientras que un IRI alto indica una superficie más rugosa.
- **Interpretación de los resultados:** La pantalla del rugosímetro suele mostrar los resultados en tiempo real, pero también se pueden guardar para su posterior



análisis. Puede comparar el IRI obtenido con valores estándar o de referencia para determinar si el pavimento está en buen estado o necesita reparaciones.

3.8.1.6. Fase IV: Evaluación de los resultados

Estos resultados se expondrán en cuadros comparativos, que ilustrarán los resultados de las evaluaciones realizadas.

3.8.2. *Procesamiento y análisis de datos*

El procesamiento y el análisis de los datos se llevarán a cabo manipulando una serie de herramientas, como tablas, gráficos y cálculos. Los datos se conseguirán mediante ensayos realizados de acuerdo con técnicas fiables que permitan la recopilación metódica de información.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados obtenidos

A continuación, se presentan todos los resultados obtenidos en la etapa de campo y el procesamiento de los mismos, los cuales se presentan en resúmenes de tablas y gráficos, donde se describe cada variación obtenida respecto a lo que debe de cumplir y su interpretación más allá de lo obtenido para llegar a cumplir con los objetivos trasados desde el principio de la investigación.

4.1.1. Capacidad estructural con la aplicación de cargas de tránsito estimado por deflectometría en el pavimento

4.1.1.1. Deflexión de la vía

Se realizó un estudio de deflexión en la carretera Juliaca-Lampa mediante el ensayo de viga Benkelman, un método no destructivo comúnmente utilizado para evaluar pavimentos flexibles. Este ensayo permitió observar la deformación del pavimento bajo carga, información crucial para determinar su resistencia y la necesidad de reparaciones. El manual de ensayos de materiales del MTC indica que el ensayo se realizó conforme a la norma MTC E1002. La siguiente tabla, elaborada a partir de los datos recopilados,

muestra los valores de deflexión registrados a lo largo de la carretera, lo que contribuirá a un diagnóstico preciso de su estado actual y a la propuesta de soluciones alternativas.

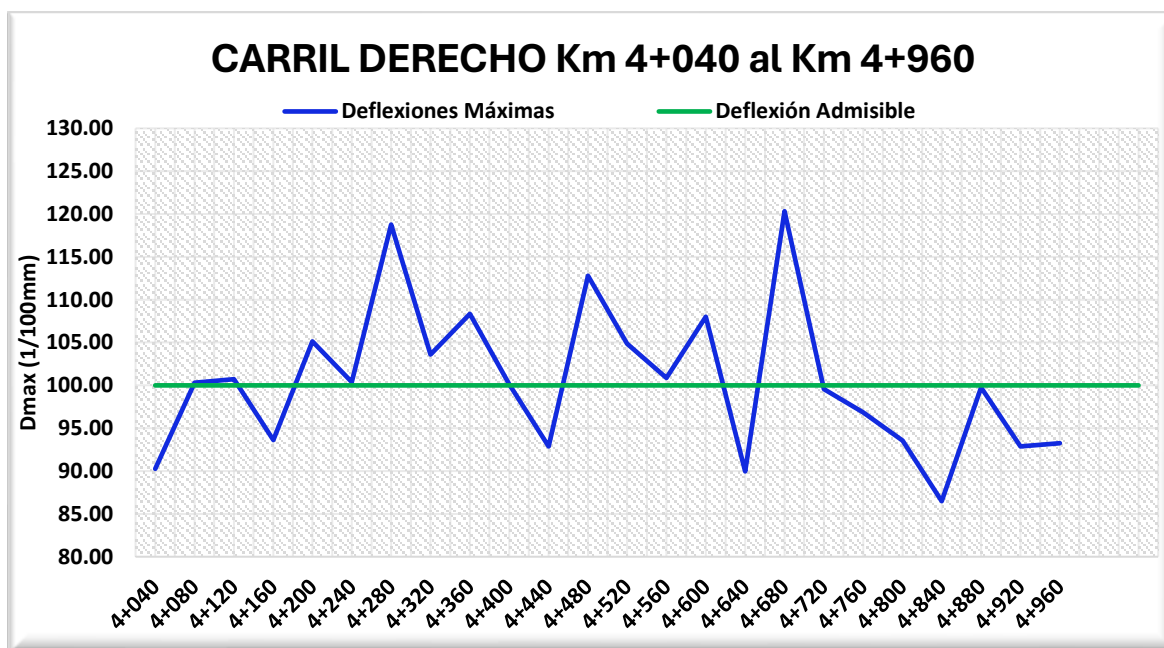
Tabla 2*Análisis de deflexión de la vía, carril derecho*

Progresiva (Km)	Lado	ENSAYO DE VIGA BENKELMAN				Temp. Pavimento °C
		Lectura de vigas en diales				
		Lo (0cm)	L (25cm)	L (75cm)	Lf (Dmax)	
4+040	Derecho	0.00	6	15	27	18.00
4+080	Derecho	0.00	8	21	30	19.50
4+120	Derecho	0.00	11	19	24	19.00
4+160	Derecho	0.00	9	24	29	18.50
4+200	Derecho	0.00	10	16	27	18.20
4+240	Derecho	0.00	6	20	31	19.40
4+280	Derecho	0.00	9	18	30	19.60
4+320	Derecho	0.00	10	21	26	20.00
4+360	Derecho	0.00	5	22	29	18.80
4+400	Derecho	0.00	8	19	28	19.70
4+440	Derecho	0.00	11	18	30	19.50
4+480	Derecho	0.00	9	21	29	18.00
4+520	Derecho	0.00	6	23	28	18.50
4+560	Derecho	0.00	7	20	27	18.80
4+600	Derecho	0.00	12	25	31	19.20
4+640	Derecho	0.00	5	21	26	18.40
4+680	Derecho	0.00	8	22	27	18.00
4+720	Derecho	0.00	6	20	28	20.40
4+760	Derecho	0.00	11	24	32	19.20
4+800	Derecho	0.00	8	19	27	18.60
4+840	Derecho	0.00	12	19	30	18.00
4+880	Derecho	0.00	6	18	26	20.20
4+920	Derecho	0.00	5	24	25	19.50
4+960	Derecho	0.00	9	21	27	19.00

Se presenta en la tabla la evaluación de las deflexiones de la vía, realizada en 48 puntos distribuidos entre los carriles derecho e izquierdo. Cada punto muestra diversas lecturas obtenidas mediante las mediciones de las vigas en diales, lo que permite observar las variaciones de deflexión a lo largo de la superficie de la vía.

Figura 8

Deflectograma (4+040 – 4+960) carril derecho



En la figura se ilustra el comportamiento de las deflexiones a lo largo del pavimento flexible en todo el tramo del carril derecho. Los cálculos se realizaron conforme a lo establecido en la normativa del MTC para suelos y pavimentos.

Tabla 3

Análisis de deflexión de la vía, carril izquierdo

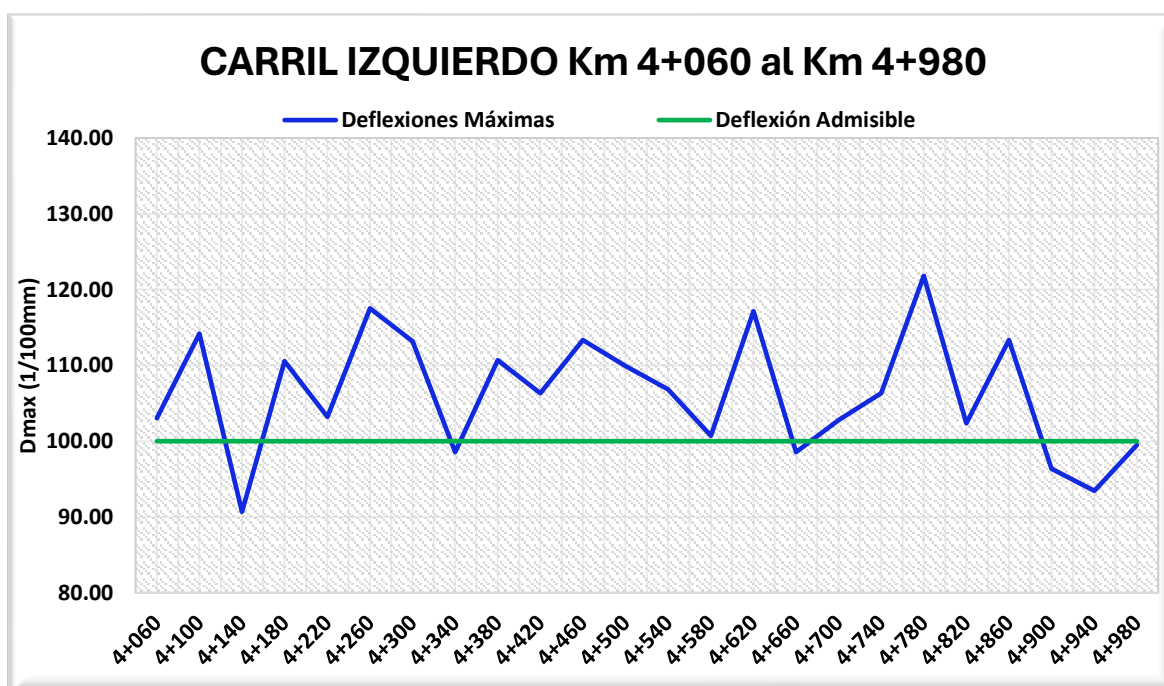
ENSAYO DE VIGA BENKELMAN						
Progresiva (Km)	Lado	Lectura de vigas en Diales				Temp. Pavimento °C
		Lo (0cm)	L (25cm)	L (75cm)	Lf (Dmax)	
4+060	Izquierdo	0.00	6	15	27	16.20
4+100	Izquierdo	0.00	8	21	30	16.50
4+140	Izquierdo	0.00	11	19	24	17.40
4+180	Izquierdo	0.00	9	24	29	16.30
4+220	Izquierdo	0.00	10	16	27	16.00
4+260	Izquierdo	0.00	6	20	31	17.00
4+300	Izquierdo	0.00	9	18	30	17.60
4+340	Izquierdo	0.00	10	21	26	17.00
4+380	Izquierdo	0.00	5	22	29	16.20
4+420	Izquierdo	0.00	8	19	28	16.80

4+460	Izquierdo	0.00	11	18	30	17.40
4+500	Izquierdo	0.00	9	21	29	17.00
4+540	Izquierdo	0.00	6	23	28	16.20
4+580	Izquierdo	0.00	7	20	27	19.00
4+620	Izquierdo	0.00	12	25	31	17.40
4+660	Izquierdo	0.00	5	21	26	17.00
4+700	Izquierdo	0.00	8	22	27	16.50
4+740	Izquierdo	0.00	6	20	28	16.80
4+780	Izquierdo	0.00	11	24	32	16.50
4+820	Izquierdo	0.00	8	19	27	17.00
4+860	Izquierdo	0.00	12	19	30	17.40
4+900	Izquierdo	0.00	6	18	26	19.80
4+940	Izquierdo	0.00	5	24	25	18.70
4+980	Izquierdo	0.00	9	21	27	20.50

Se presenta en la tabla la evaluación de las deflexiones de la vía, realizada en 48 puntos distribuidos entre los carriles derecho e izquierdo. Cada punto muestra diversas lecturas obtenidas mediante las mediciones de las vigas en diales, lo que permite observar las variaciones de deflexión a lo largo de la superficie de la vía.

Figura 9

Deflectograma (4+060 – 4+980) carril izquierdo



En la figura se ilustra el comportamiento de las deflexiones a lo largo del pavimento flexible en todo el tramo del carril izquierdo. Los cálculos se realizaron conforme a lo establecido en la normativa del MTC para suelos y pavimentos.

4.1.1.2. Radio de la curvatura

Del mismo modo, para determinar los radios de curvatura de la vía, se llevó a cabo una prueba no destructiva con viga Benkelman. Tal y como se especifica en el documento de ensayo de materiales disponible en el sitio web del MTC. En consecuencia, se elaboró la siguiente tabla con los datos recopilados relativos al radio de curvatura de la vía.

Tabla 4

Análisis de deflexión de la vía, carril derecho

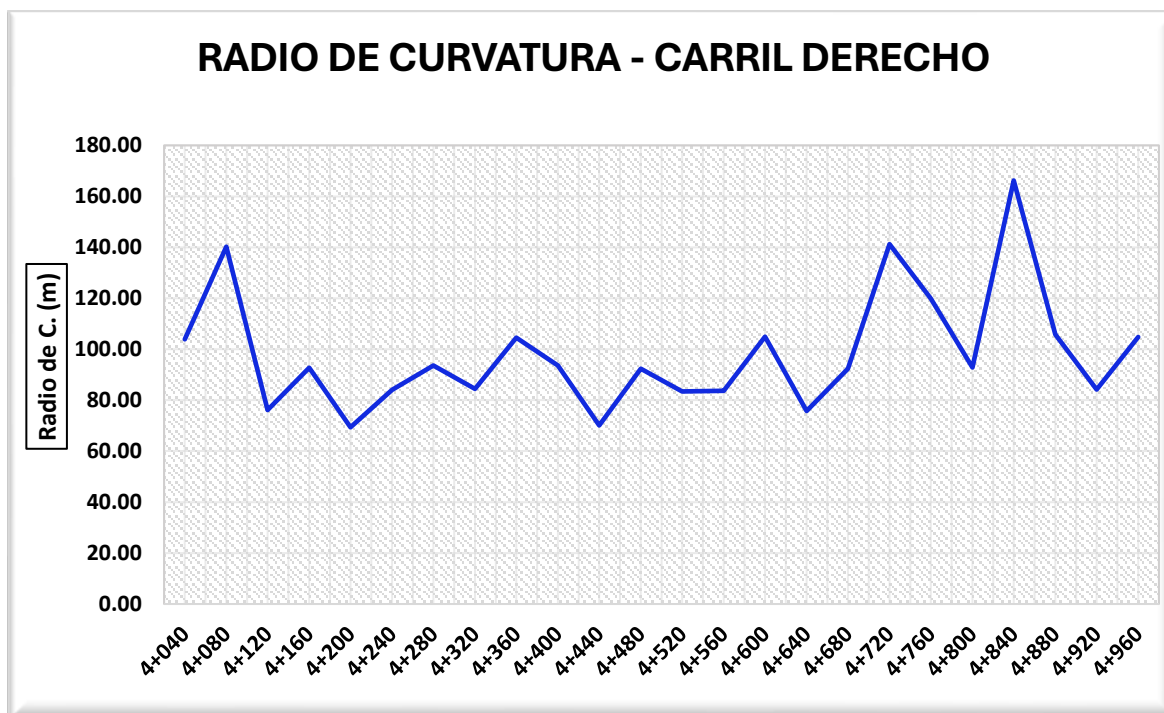
ENSAYO DE VIGA BENKELMAN				
Progresiva (Km)	Lado	Deflexiones mm/100		Radio de curvatura (m)
		Do (0cm)	D25 (25cm)	
4+040	Derecho	90.24	60.16	103.89
4+080	Derecho	100.30	78.01	140.20
4+120	Derecho	100.71	59.68	76.17
4+160	Derecho	93.62	59.92	92.72
4+200	Derecho	105.11	60.06	69.37
4+240	Derecho	100.38	63.20	84.05
4+280	Derecho	118.78	85.37	93.54
4+320	Derecho	103.60	66.60	84.46
4+360	Derecho	108.34	78.45	104.56
4+400	Derecho	100.14	66.76	93.62
4+440	Derecho	92.87	48.29	70.10
4+480	Derecho	112.80	78.96	92.34
4+520	Derecho	104.86	67.41	83.45
4+560	Derecho	100.87	63.51	83.65
4+600	Derecho	107.99	78.20	104.90
4+640	Derecho	89.95	48.72	75.80
4+680	Derecho	120.33	86.48	92.34
4+720	Derecho	99.58	77.45	141.22

4+760	Derecho	96.82	70.75	119.88
4+800	Derecho	93.55	59.87	92.79
4+840	Derecho	86.48	67.68	166.22
4+880	Derecho	99.74	70.19	105.74
4+920	Derecho	92.87	55.72	84.12
4+960	Derecho	93.25	63.41	104.73

Se presentan los resultados de los cálculos del radio de curvatura, los cuales fueron obtenidos a través de las mediciones realizadas con el ensayo de la Viga Benkelman. En total, se tomaron 24 lecturas en el carril derecho, resultando en un valor promedio de radio de curvatura de 98.33 metros, con una desviación estándar de 23.52 metros. Estos datos permiten evaluar la uniformidad y consistencia de las curvas en esa sección de la vía.

Figura 10

Deflectograma (4+040 – 4+960) carril derecho



En la figura se ilustra el comportamiento de los radios de curvatura a lo largo del pavimento flexible en todo el tramo del carril derecho. Los cálculos se realizaron conforme a lo establecido en la normativa del MTC para suelos y pavimentos.

Tabla 5*Comportamiento del pavimento según resultados*

Vía	DC (mm)	Dadm. promedio (mm)	RC promedio (M)
Juliaca – Lampa (carril derecho)	117.53	100	98.33

La tabla presenta el análisis estructural del pavimento, basado en los valores obtenidos tanto para la subrasante como para el pavimento en el carril derecho de la vía Juliaca – Lampa. Se observa que la deflexión característica registrada es de 117.53, mientras que la deflexión admisible es de 100, y el radio de curvatura es de 98.33 metros.

Tabla 6*Análisis de deflexión de la vía, carril izquierdo*

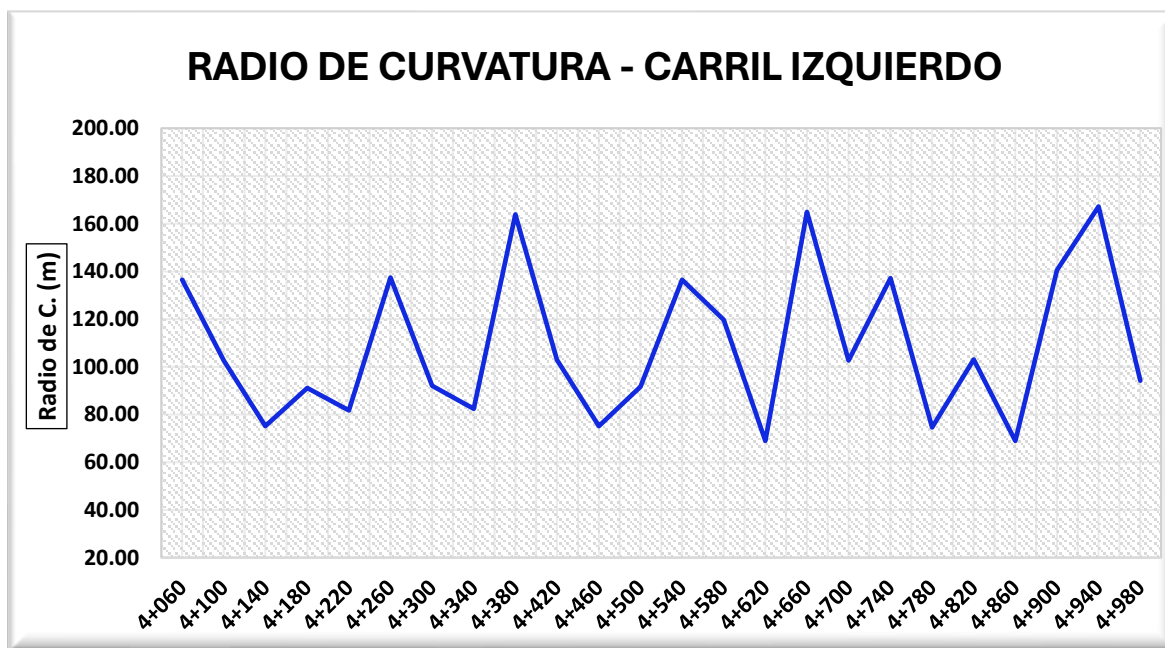
ENSAYO DE VIGA BENKELMAN				
Progresiva (Km)	Lado	Deflexiones mm/100		Radio de curvatura (m)
		Do (0cm)	D25 (25cm)	
4+060	Izquierdo	103.03	80.14	136.49
4+100	Izquierdo	114.20	83.74	102.62
4+140	Izquierdo	90.69	49.12	75.18
4+180	Izquierdo	110.57	76.26	91.07
4+220	Izquierdo	103.20	64.98	81.76
4+260	Izquierdo	117.52	94.77	137.39
4+300	Izquierdo	113.17	79.22	92.04
4+340	Izquierdo	98.57	60.66	82.43
4+380	Izquierdo	110.66	91.58	163.78
4+420	Izquierdo	106.32	75.94	102.87
4+460	Izquierdo	113.36	71.79	75.18
4+500	Izquierdo	109.94	75.82	91.59
4+540	Izquierdo	106.85	83.95	136.49
4+580	Izquierdo	100.71	74.60	119.69
4+620	Izquierdo	117.14	71.79	68.92
4+660	Izquierdo	98.57	79.61	164.86
4+700	Izquierdo	102.78	72.33	102.62

4+740	Izquierdo	106.32	83.54	137.16
4+780	Izquierdo	121.81	79.94	74.63
4+820	Izquierdo	102.36	72.03	103.04
4+860	Izquierdo	113.36	68.01	68.92
4+900	Izquierdo	96.35	74.12	140.54
4+940	Izquierdo	93.47	74.78	167.16
4+980	Izquierdo	99.50	66.33	94.22

Se presentan los resultados de los cálculos del radio de curvatura, los cuales fueron obtenidos a través de las mediciones realizadas con el ensayo de la Viga Benkelman. En total, se tomaron 24 lecturas en el carril izquierdo, resultando en un valor promedio de radio de curvatura de 108.78 metros, con una desviación estándar de 31.72 metros. Estos datos permiten evaluar la uniformidad y consistencia de las curvas en esa sección de la vía.

Figura 11

Deflectograma (4+060 – 4+980) carril izquierdo



En la figura se ilustra el comportamiento de los radios de curvatura a lo largo del pavimento flexible en todo el tramo del carril izquierdo. Los cálculos se realizaron conforme a lo establecido en la normativa del MTC para suelos y pavimentos.

Tabla 7*Comportamiento del pavimento según resultados*

Vía	DC (mm)	Dadm. promedio (mm)	RC promedio (M)
Juliaca – Lampa (carril izquierdo)	121.42	100	108.78

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 – Lampa. Se observa que la deflexión característica registrada es de 121.42, mientras que la deflexión admisible es de 100, y el radio de curvatura es de 108.78 metros.

4.1.2. Grado de transitabilidad mediante la prueba de IRI

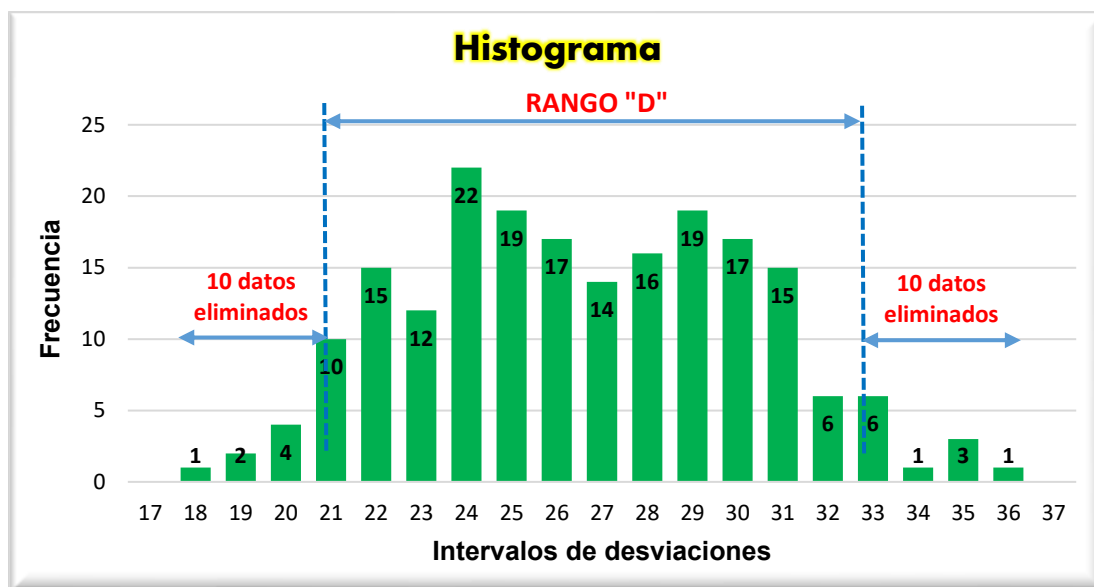
4.1.2.1. Grado de transitabilidad Mediante IRI (derecho)

Tabla 8*Datos de campo para la medición IRI, Km 4+000 - 4+200*

Lecturas en campo									
25	24	28	27	21	30	22	24	32	23
29	21	25	29	23	26	24	28	25	31
22	23	27	24	24	26	25	21	26	28
33	28	27	31	22	25	24	33	21	19
26	28	29	21	30	20	35	26	24	20
30	22	33	24	31	24	27	19	34	26
28	21	27	32	29	35	25	31	29	22
25	23	21	28	25	30	26	31	28	21
18	27	26	25	33	24	31	26	22	30
26	23	30	27	31	22	23	30	29	22
25	26	30	26	25	29	24	27	33	24
20	24	23	32	23	24	26	29	31	21
29	30	30	28	29	22	27	26	25	22
30	28	29	25	24	26	22	24	25	28
29	31	25	28	27	24	29	30	30	27
31	28	22	25	21	30	32	23	29	22
29	24	30	35	20	23	24	27	31	29
26	24	25	28	29	22	27	32	25	31
23	28	29	36	31	30	24	23	27	26
31	33	29	25	24	32	28	31	22	30

Tabla 9

Distribución de frecuencias, Km 4+000 - 4+200



F.C = 0.954 mm **D** = 56.59 mm **IRI** = 3.26 m/km

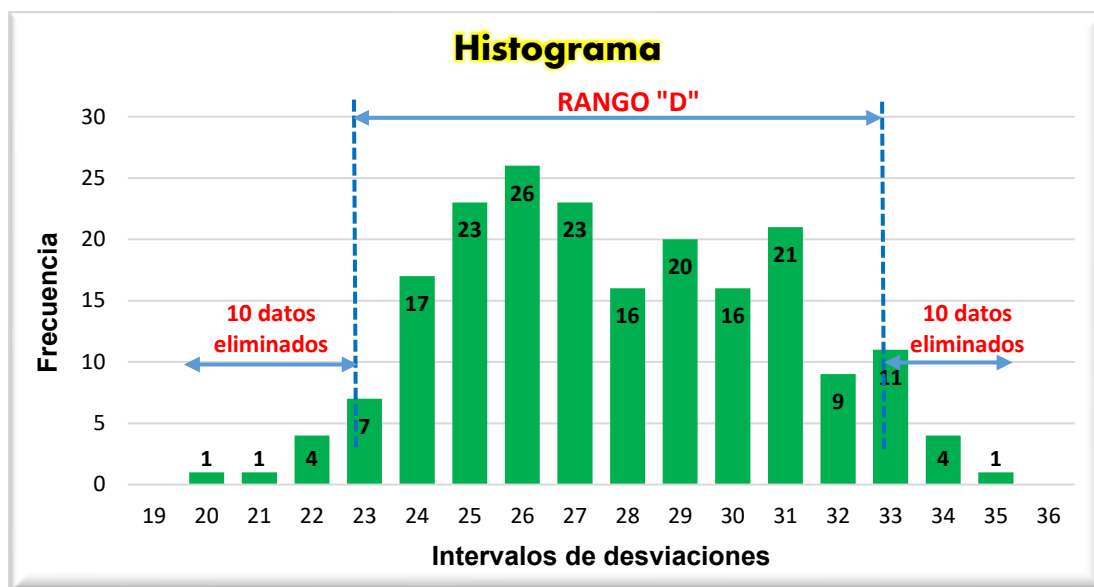
Tabla 10

Datos de campo para la medición IRI, Km 4+200 - 4+400

Lecturas en campo									
22	27	30	25	23	31	23	25	33	24
28	25	28	30	24	25	25	27	26	32
25	22	30	26	25	27	26	24	27	29
31	26	26	33	26	26	24	31	23	22
27	25	31	24	31	20	33	28	25	27
33	24	32	23	30	25	29	24	33	25
29	26	29	31	27	33	24	31	28	24
26	28	26	26	29	29	27	33	29	23
21	30	23	23	33	26	31	29	27	30
24	24	27	27	32	23	25	30	24	26
28	30	29	23	27	30	26	28	31	27
29	25	23	31	25	26	27	30	23	28
26	31	28	29	28	23	28	25	26	24
31	29	27	26	26	28	23	27	25	26
27	30	26	27	30	26	30	31	31	25
33	29	28	23	22	31	32	26	28	23
28	27	31	35	23	23	27	25	30	30
25	25	26	27	30	24	26	33	25	25
24	29	27	33	33	31	23	27	28	26
31	33	29	24	25	32	29	31	24	31

Tabla 11

Distribución de frecuencias, Km 4+200 - 4+400



F.C = 0.954 mm

D = 46.43 mm

IRI = 2.78 m/km

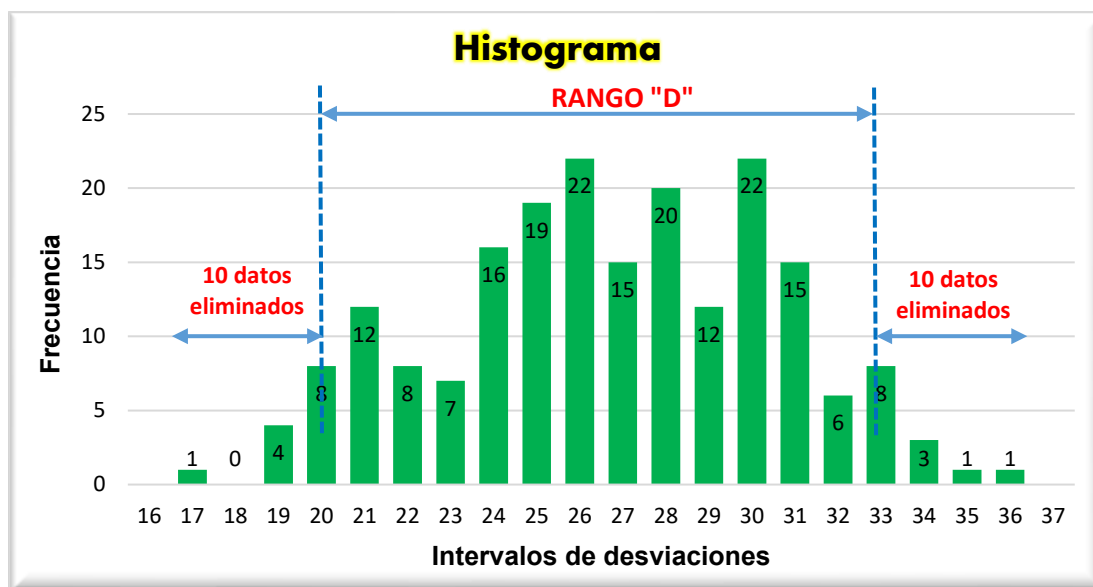
Tabla 12

Datos de campo para la medición IRI, Km 4+400 - 4+600

Lecturas en campo									
22	25	29	28	24	31	24	25	33	25
27	22	26	27	26	28	25	27	27	30
19	27	28	26	27	26	26	22	28	29
31	30	30	30	24	24	21	31	25	20
24	29	31	19	31	21	32	28	21	21
32	23	30	20	34	25	28	20	33	24
26	24	28	28	28	33	26	30	30	20
27	26	26	30	23	34	28	32	29	19
17	25	24	21	31	19	30	27	26	30
20	20	29	26	32	22	24	31	24	23
21	24	31	25	30	28	25	28	31	25
25	22	26	32	28	21	21	30	30	22
28	33	30	24	26	23	20	25	21	23
30	29	28	21	25	27	23	23	22	29
25	29	27	30	30	25	26	31	29	28
32	27	26	28	24	31	30	24	24	21
28	26	31	33	20	27	28	26	30	26
27	25	24	29	22	26	29	31	28	33
25	27	21	35	30	31	26	25	29	26
31	34	33	27	26	33	30	30	25	36

Tabla 13

Distribución de frecuencias, Km 4+400 - 4+600



F.C = 0.954 mm

D = 60.81 mm

IRI = 3.46 m/km

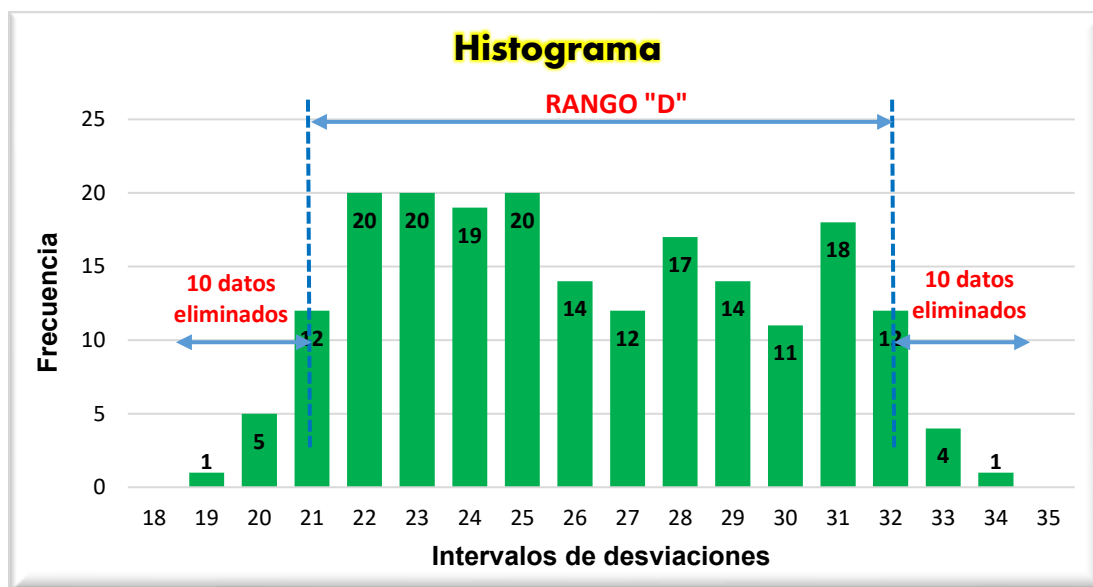
Tabla 14

Datos de campo para la medición IRI, Km 4+600 - 4+800

Lecturas en campo									
25	24	27	29	25	31	23	24	31	21
26	22	28	26	24	29	24	26	25	32
20	25	24	27	26	25	25	23	27	28
28	30	26	32	23	23	22	28	24	21
26	28	31	21	30	22	30	25	23	21
31	22	30	22	29	23	27	22	30	23
28	23	27	29	24	32	28	31	31	25
26	25	23	31	22	31	29	32	28	22
19	24	25	23	32	21	31	24	22	32
20	21	22	24	30	22	23	32	23	20
22	23	31	25	28	24	22	29	32	25
26	21	24	31	27	22	21	33	34	20
29	31	31	22	21	25	24	23	22	27
31	25	26	23	23	26	25	22	21	29
26	28	25	32	31	23	27	30	28	28
31	29	23	27	25	30	32	24	23	20
29	24	22	30	22	29	29	25	27	32
24	26	25	25	21	28	27	33	24	33
28	29	21	33	31	30	24	26	26	28
30	32	31	24	28	28	23	27	22	29

Tabla 15

Distribución de frecuencias, Km 4+600 - 4+800



F.C = 0.954 mm

D = 53.65 mm

IRI = 3.12 m/km

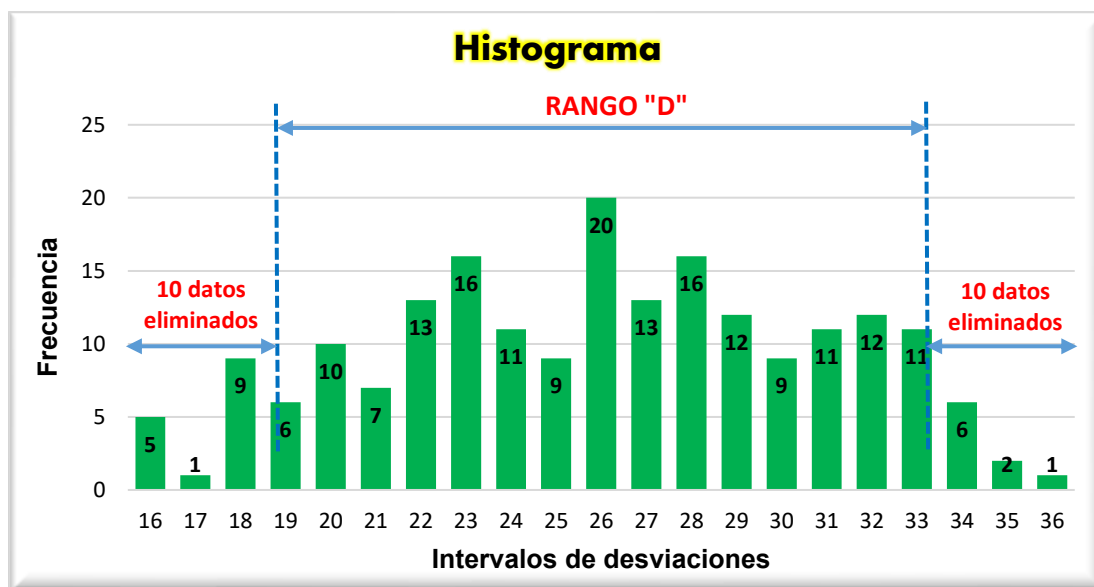
Tabla 16

Datos de campo para la medición IRI, Km 4+800 - 5+000

Lecturas en campo									
22	23	25	35	25	31	22	25	31	21
24	26	26	29	20	29	26	27	25	32
16	24	23	33	27	25	23	19	26	28
23	31	28	31	23	23	20	27	19	26
28	29	32	21	31	22	33	24	23	21
30	27	33	19	28	23	26	23	28	23
27	26	24	27	29	32	28	32	31	26
21	24	20	34	21	31	28	32	18	22
20	22	24	18	33	21	33	27	22	32
26	20	18	22	31	22	22	32	23	20
29	24	21	20	30	24	25	29	32	26
30	19	27	30	28	22	20	33	34	23
31	32	29	24	25	25	19	23	23	27
29	29	28	22	29	26	25	22	21	29
28	26	26	28	31	23	27	30	28	34
26	30	17	35	16	30	32	32	23	20
27	21	19	30	20	29	28	25	27	32
25	22	33	18	26	28	26	33	32	33
24	28	26	31	30	30	24	26	26	34
29	30	34	24	36	28	34	27	26	19

Tabla 17

Distribución de frecuencias, Km 4+800 - 5+000



F.C = 0.954 mm

D = 73.75 mm

IRI = 4.07 m/km

4.1.2.2. Grado de transitabilidad Mediante IRI (izquierdo)

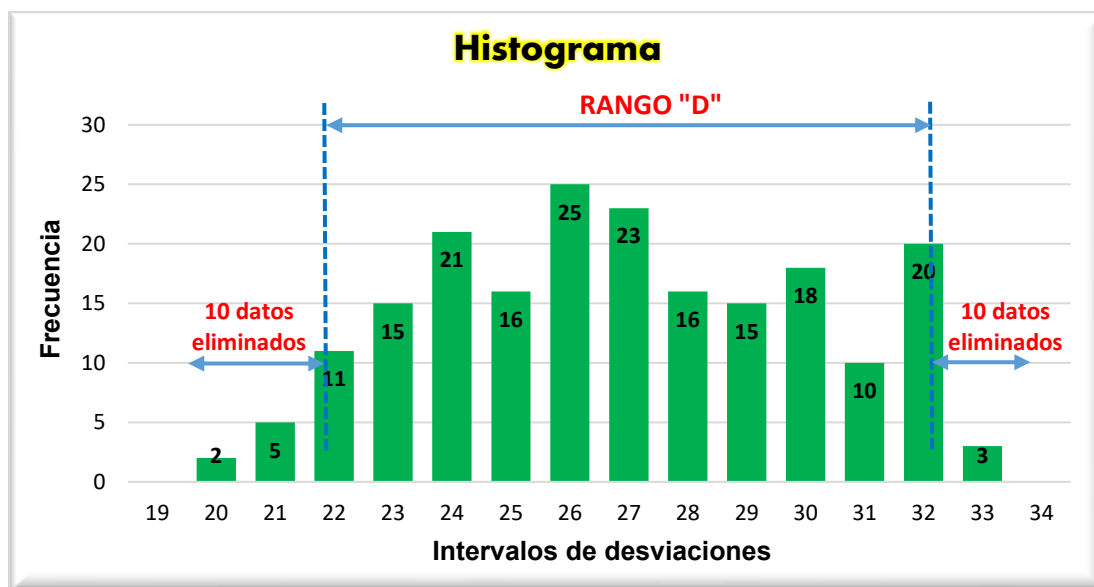
Tabla 18

Datos de campo para la medición IRI, Km 4+000 - 4+200

Lecturas en campo									
26	26	29	28	21	33	26	25	32	23
28	23	26	27	23	26	24	26	22	32
23	25	28	24	25	27	28	25	26	30
31	29	27	30	23	27	27	32	23	22
27	27	30	22	30	21	30	25	26	23
30	24	32	25	29	22	29	24	32	24
28	23	29	30	30	33	24	32	26	25
28	22	22	29	23	30	25	31	22	23
20	28	27	27	30	26	30	24	21	31
24	26	31	28	32	27	24	32	26	24
27	25	33	25	23	28	25	27	32	25
20	24	25	31	22	26	28	26	30	22
28	31	31	29	25	22	25	24	26	23
31	29	28	24	21	27	24	26	27	28
27	30	29	29	22	23	30	32	30	27
32	27	24	27	21	32	31	24	28	23
28	26	31	32	23	24	26	27	32	29
27	25	26	29	26	24	24	32	26	30
24	29	29	30	27	30	27	24	27	26
32	32	28	26	26	32	29	32	26	32

Tabla 19

Distribución de frecuencias, Km 4+000 - 4+200



F.C = 0.954 mm **D** = 49.49 mm **IRI** = 2.92 m/km

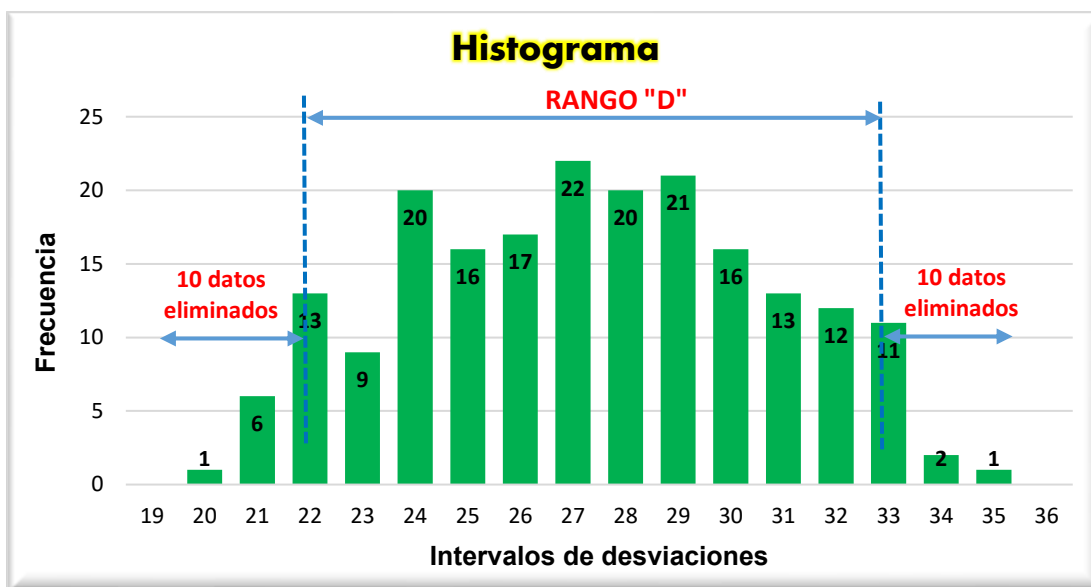
Tabla 20

Datos de campo para la medición IRI, Km 4+200 - 4+400

Lecturas en campo									
26	28	33	26	25	32	25	28	32	24
29	26	29	31	27	27	20	26	22	33
21	24	31	28	26	29	27	22	23	27
30	22	27	31	29	24	23	34	28	24
29	23	30	27	30	21	32	28	22	33
32	25	33	26	33	23	30	26	33	24
30	28	28	30	29	31	26	30	29	28
28	29	24	27	24	23	29	35	28	22
25	31	25	25	31	28	27	27	22	33
26	21	22	22	30	25	24	28	23	25
24	32	24	21	28	32	25	29	32	27
27	27	28	30	26	28	22	30	29	29
22	30	29	28	29	25	29	24	23	24
30	27	26	27	27	27	24	22	25	23
31	31	25	25	28	24	31	30	31	24
29	28	29	24	24	30	33	27	29	21
24	26	32	32	25	24	29	22	32	33
26	24	27	28	31	26	25	32	27	23
21	27	29	31	34	30	26	25	29	27
32	31	26	28	26	33	27	30	22	33

Tabla 21

Distribución de frecuencias, Km 4+200 - 4+400



F.C = 0.954 mm

D = 53.10 mm

IRI = 3.09 m/km

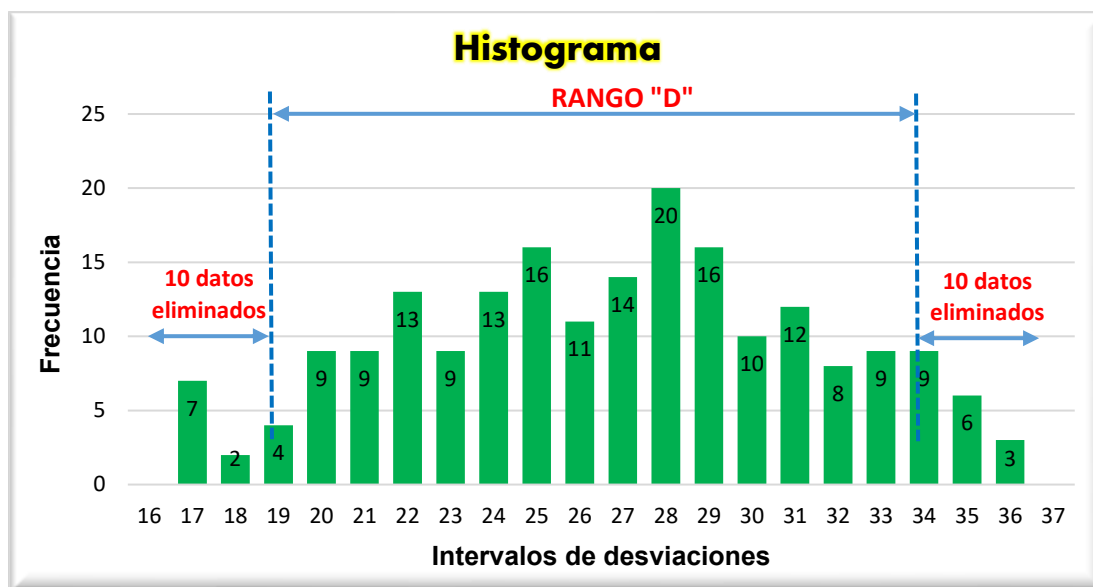
Tabla 22

Datos de campo para la medición IRI, Km 4+400 - 4+600

Lecturas en campo									
24	27	28	29	26	32	22	19	33	19
28	18	24	26	24	27	23	25	27	30
21	23	29	27	28	28	27	23	28	29
32	29	31	32	23	22	22	30	25	20
22	25	30	17	30	20	33	24	17	21
33	20	33	20	36	27	31	25	33	34
29	27	24	25	29	31	27	32	30	20
28	29	28	31	21	35	28	33	29	17
17	21	25	20	33	17	31	23	34	30
20	22	28	26	30	19	22	34	24	23
22	28	35	25	29	22	26	28	31	25
26	24	27	33	25	21	21	35	35	22
27	35	32	23	22	28	20	25	18	23
32	27	29	21	27	29	26	19	22	29
28	28	25	31	34	26	24	31	29	28
34	25	24	29	26	31	31	24	17	20
29	28	30	32	21	27	27	26	30	26
24	22	28	28	23	25	29	31	28	33
22	25	24	35	32	30	25	25	36	26
34	31	34	24	28	34	34	17	21	36

Tabla 23

Distribución de frecuencias, Km 4+400 - 4+600



F.C = 0.954 mm

D = 74.59 mm

IRI = 4.11 m/km

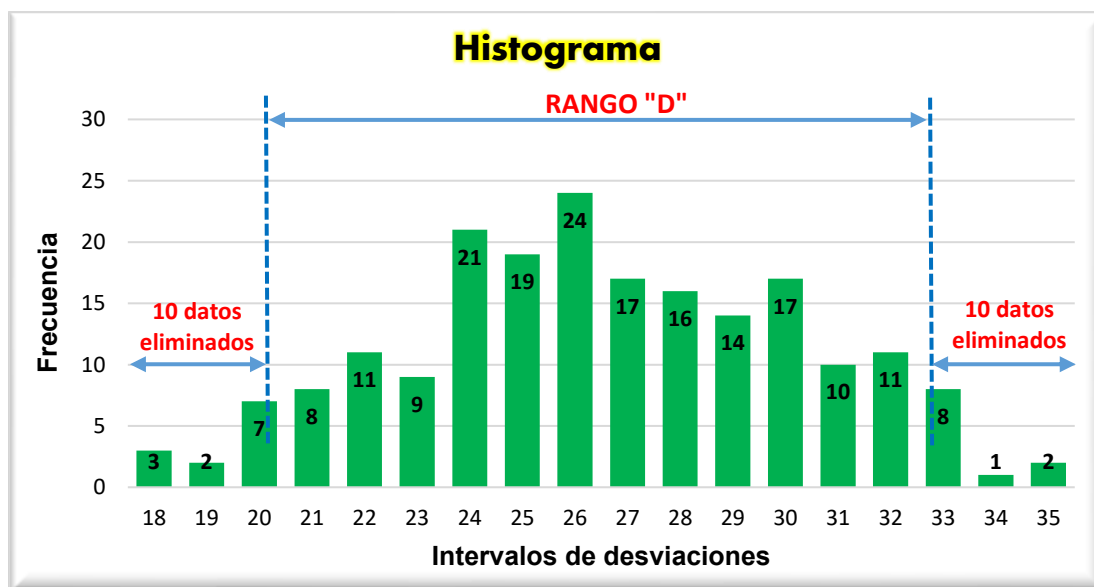
Tabla 24

Datos de campo para la medición IRI, Km 4+600 - 4+800

Lecturas en campo									
28	23	25	30	25	30	25	24	31	21
25	21	26	24	26	28	26	26	25	32
22	26	29	26	27	27	24	23	27	28
29	31	27	31	26	25	21	28	24	21
24	29	32	20	32	21	33	25	23	21
30	24	33	24	27	24	28	22	30	23
25	25	28	26	25	30	29	31	31	25
24	26	26	32	23	32	30	35	28	22
19	22	24	25	31	26	33	24	22	35
22	20	22	26	33	27	18	32	23	20
26	27	30	28	27	25	24	29	32	25
24	24	26	30	29	20	26	33	34	20
28	30	30	18	26	21	28	23	22	27
30	26	27	24	18	26	29	22	21	29
25	28	29	33	30	29	24	30	28	28
30	27	25	28	24	31	31	24	23	20
27	26	23	29	19	27	30	25	27	32
25	30	26	26	20	29	27	33	24	33
29	28	24	31	32	32	26	26	26	28
32	31	30	25	27	24	22	27	22	29

Tabla 25

Distribución de frecuencias, Km 4+600 - 4+800



F.C = 0.954 mm

D = 59.19 mm

IRI = 3.38 m/km

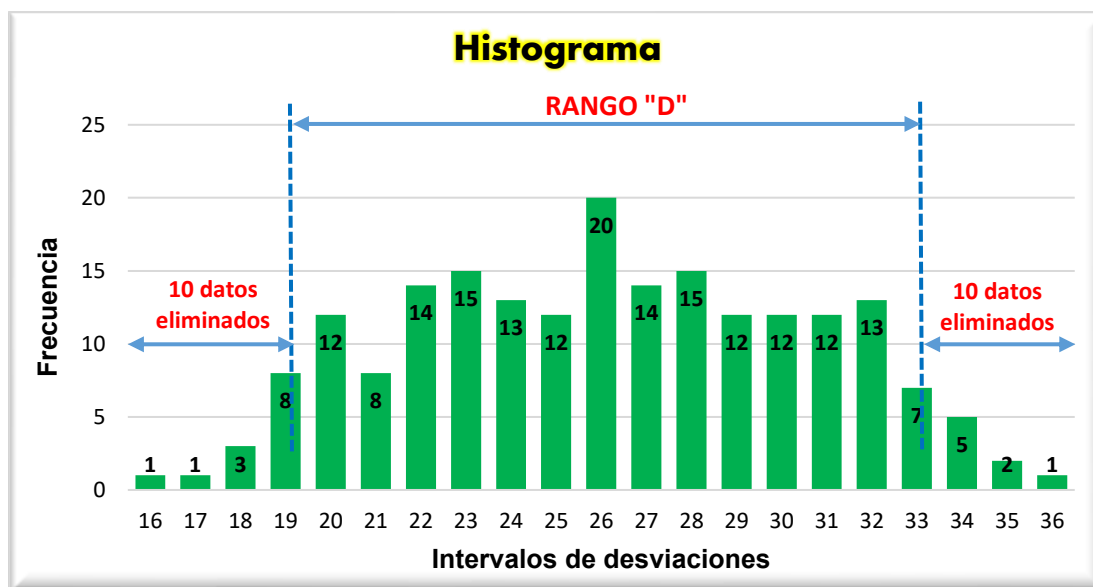
Tabla 26

Datos de campo para la medición IRI, Km 4+800 - 5+000

Lecturas en campo									
23	23	24	35	25	31	22	25	31	21
26	26	29	29	20	29	26	27	25	32
17	24	27	33	27	25	23	19	26	28
24	31	25	31	23	23	20	27	19	26
29	29	30	21	31	22	33	24	23	21
26	27	31	19	28	23	26	23	28	23
25	26	26	27	29	32	28	32	31	26
20	24	20	34	21	31	28	32	18	22
21	22	22	18	33	21	33	27	22	32
26	20	19	22	31	22	22	32	23	20
28	24	20	20	30	24	25	29	32	26
32	19	24	30	28	22	20	33	34	23
30	32	28	24	25	25	19	23	23	27
27	29	27	22	29	26	25	22	21	29
24	26	24	28	31	23	27	30	28	34
25	30	20	35	16	30	32	32	23	20
26	21	19	30	20	29	28	25	27	32
29	22	31	18	26	28	26	33	32	33
22	28	28	31	30	30	24	26	26	34
30	30	27	24	36	28	34	27	26	19

Tabla 27

Distribución de frecuencias, Km 4+800 - 5+000



F.C = 0.954 mm

D = 67.20 mm

IRI = 3.76 m/km

4.1.2.3. Resumen de los resultados del IRI

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se llevó a cabo una recopilación y síntesis de los valores obtenidos a partir de los procedimientos aplicados para la determinación del IRI. Esta información ha sido organizada de manera estructurada y se presenta en la siguiente tabla para su mejor comprensión y análisis.

Tabla 28

Resumen del IRI, carril derecho

Rugosidad IRI (derecho)				
Inicio	Final	Longitud (m)	Carril	IRI (m/km)
4+000	4+200	200	Derecho	3.26
4+200	4+400	200	Derecho	2.78
4+400	4+600	200	Derecho	3.46
4+600	4+800	200	Derecho	3.12
4+800	5+000	200	Derecho	4.07
Promedio				3.16

Presentamos el índice de rugosidad correspondiente al carril derecho de la vía, registrándose un promedio de 3.16 m/km. Estos valores fueron obtenidos a partir de evaluaciones realizadas en el tramo comprendido entre las progresivas del km 4+000 y 5+000 de la vía Juliaca – Lampa.

Tabla 29*Resumen del IRI, carril izquierdo*

Rugosidad IRI (izquierdo)				
Inicio	Final	Longitud (m)	Lado	IRI (m/km)
4+000	4+200	200	Izquierdo	2.92
4+200	4+400	200	Izquierdo	3.09
4+400	4+600	200	Izquierdo	4.11
4+600	4+800	200	Izquierdo	3.38
4+800	5+000	200	Izquierdo	3.76
Promedio				3.48

Presentamos el índice de rugosidad correspondiente al carril izquierdo de la vía, registrándose un promedio de 3.48 m/km. Estos valores fueron obtenidos a partir de evaluaciones realizadas en el tramo comprendido entre las progresivas del km 4+000 y 5+000 de la vía Juliaca – Lampa.

4.1.2.4. Resultados del IRI promedio

A partir del promedio ponderado de los resultados obtenidos en los carriles derecho e izquierdo del tramo Juliaca – Lampa, se determinó un valor de IRI de 3.32 m/km. Este resultado permitió clasificar el estado funcional del pavimento flexible de la vía como REGULAR.

4.1.2.5. Determinación del nivel de transitabilidad

La transitabilidad de la vía, entendida como la calificación del nivel de servicio que ofrece el pavimento, fue evaluada en función de los valores del PSI obtenidos, conforme a los rangos establecidos para su interpretación:

$$PSI = 5.85 - 1.68(IRI^{0.5})$$

$$PSI = 2.79$$

Tabla 30

Clasificación de la transitabilidad

PSI	Transitabilidad
0 - 1	Muy mala
1 - 2	Mala
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy buena

Tras el análisis integral de los resultados y el valor ponderado del IRI correspondiente a la rugosidad superficial, se estableció la calificación de la transitabilidad de la vía Juliaca – Lampa al momento de la evaluación. Para ello, se aplicó la ecuación propuesta por William Paterson, la cual permitió calcular un PSI de 2.79, valor que ubica a la vía dentro de una categoría de transitabilidad REGULAR.



4.1.3. Alternativas de intervención según la capacidad estructural y el grado de transitabilidad en el pavimento

Tabla 31

Alternativas de intervención

Nº	Margen	Deflexión Caract. (Dc)	Deflexión Admisible (Dadm)	Alternativas de intervención			Medidas correctivas
				Condición del pavimento	IRI	Estado del pavimento	
1	Der.	117.53	100	Dc > Dad. -> Regular	3.26	Regular	Mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos
2	Izq.	121.42	100	Dc > Dad. -> Regular	2.92	Regular	Mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos
3	Der.	117.53	100	Dc > Dad. -> Regular	2.78	Bueno	Correcciones en la superficie y sellado de fisuras
4	Izq.	121.42	100	Dc > Dad. -> Regular	3.09	Regular	Mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos
5	Der.	117.53	100	Dc > Dad. -> Regular	3.46	Regular	Mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos
6	Izq.	121.42	100	Dc > Dad. -> Regular	4.11	Malo	Refuerzo estructural
7	Der.	117.53	100	Dc > Dad. -> Regular	3.12	Regular	Mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos
8	Izq.	121.42	100	Dc > Dad. -> Regular	3.38	Regular	Mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos
9	Der.	117.53	100	Dc > Dad. -> Regular	4.07	Malo	Refuerzo estructural
10	Izq.	121.42	100	Dc > Dad. -> Regular	3.76	Regular	Mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos
Resultado de la evaluación						Regular	Mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos

Nota. resultados de alternativas de intervención por nivel de estado.

Se muestran los valores de la evaluación estructural realizada mediante deflectometría, donde se estableció que la deflexión característica es mayor que la deflexión admisible ($D_c > D_{adm.}$) en ambos carriles, esto indica que la capacidad estructural de la sección del pavimento no cumple con la solicitud requerida, lo que implica una deficiencia en la resistencia de la vía. De acuerdo con las normativas establecidas por el MTC, esta situación clasifica el pavimento como REGULAR. Asimismo, la evaluación del grado de transitabilidad se efectuaron en función de los valores del PSI, calculado en base al IRI clasifica al pavimento como REGULAR con un mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos.

4.2. Discusión de resultados

En la actualidad, los estudios que comparan métodos no destructivos para la evaluación de pavimentos se enfocan en la aplicación de la Viga Benkelman como una alternativa eficaz para el control de calidad en obras viales. Estos estudios analizan tanto su empleo como su confiabilidad en diferentes tipos de bases, como bases granulares o subrasantes. Una característica interesante del dinamómetro Benkelman es su capacidad para generar fuerzas dinámicas al aplicarse directamente sobre estructuras de pavimento, especialmente en capas asfálticas. Esta característica permite obtener información precisa sobre el comportamiento de la estructura del pavimento, lo que facilita la toma de decisiones para prolongar la vida útil y mejorar el funcionamiento de la infraestructura vial.

Como parte de este estudio, se utilizó el ensayo de viga Benkelman para realizar un análisis deflectométrico y observar el comportamiento de la estructura del pavimento flexible. Se obtuvieron los valores de deflexión para los carriles derecho e izquierdo del tramo estudiado. Los resultados mostraron que el pavimento puede flexionarse de forma segura hasta 110 mm; sin embargo, ambas deflexiones características fueron superiores a este valor, lo que indica que el rendimiento estructural del pavimento es inferior al necesario. Esta condición se corroboró mediante los deflectogramas, donde se observaron



valores elevados de deflexión que sobrepasaron significativamente el límite admisible, especialmente en un tramo crítico de aproximadamente 200 metros, comprendido entre las progresivas 0+400 y 0+800, donde se concentraron las cuencas de deflexión máximas. En contraste, el estudio desarrollado por De la Cruz (2021), aplicando el mismo método de evaluación, concluyó que el comportamiento estructural del pavimento era favorable, dado que la deflexión característica obtenida (67×10^{-2} mm) fue menor que la deflexión admisible (71×10^{-2} mm) y la crítica (85×10^{-2} mm), lo que indicaba un buen desempeño. En comparación con nuestra investigación, los resultados son claramente opuestos, reflejando una situación más crítica en el tramo analizado. Esta diferencia también se presenta respecto a los hallazgos reportados por Espinoza y Jintiach (2022), cuyas conclusiones muestran condiciones estructurales más estables que las identificadas en el presente estudio.

De igual manera, en la investigación realizada por Guzmán (2021), se concluyó que el pavimento evaluado resultaba adecuado frente a las cargas vehiculares presentes, presentando deflexiones por debajo de los límites permisibles, así como radios de curvatura amplios, lo cual evidencia su correspondencia con los criterios establecidos para el periodo de diseño. En relación con los resultados obtenidos en el presente estudio, el análisis de los radios de curvatura arrojó un valor promedio de 223.69 m, con un máximo de 781.25m y un valor mínimo excepcional de 97.66m. Cabe resaltar que el 97.70% de los radios evaluados superan los 100m, lo que indica que en su mayoría, el trazado horizontal de la vía cumple con parámetros que favorecen la comodidad y seguridad del tránsito vehicular. Este comportamiento es coherente con los hallazgos de Farfán (2022), quien también identificó radios de curvatura elevados en su estudio, asociándolos a una buena condición estructural de la infraestructura vial. Por tanto, se puede afirmar que los resultados obtenidos refuerzan la idea de que radios amplios contribuyen favorablemente al desempeño funcional y estructural del pavimento.

CONCLUSIONES

General, la investigación ha determinado que el pavimento de la vía Juliaca - Lampa presenta deficiencias estructurales y de transitabilidad en ambos carriles. Los resultados obtenidos a través de la evaluación de la capacidad estructural por deflectometría y la medición del grado de rugosidad mediante el índice IRI muestran que el pavimento es deficiente, clasificándose como regular en cuanto a transitabilidad. Se propusieron alternativas de intervención que consideran tanto la capacidad estructural como la mejora en el grado de transitabilidad, sugiriendo mantenimiento rutinario con parches y reforzamiento del diseño estructural del pavimento.

Primera, se determinó la capacidad estructural del pavimento con la aplicación de cargas de tránsito estimada por deflectometría. De acuerdo a la evaluación estructural por deflectometría utilizando la viga Benkelman, se logró determinar que las deflexiones en el pavimento son deficientes, donde la deflexión característica (D_c) y las deflexiones en general son mayores a la deflexión admisible (D_{adm}), $D_c = 117.53 \text{ mm} > D_{adm} = 100 \text{ mm}$ (carril derecho) y $D_c = 121.42 \text{ mm} > D_{adm} = 100 \text{ mm}$ (carril izquierdo), por lo que la estructura del pavimento en ambos carriles tiene problemas o deficiencias en el diseño estructural.

Segunda, se determinó el grado de transitabilidad de la vía Juliaca – Lampa utilizándola prueba del IRI para evaluar la rugosidad del pavimento. Los resultados obtenidos para ambos carriles, con un valor promedio de IRI igual a 3.32 m/km y un PSI de 2.79, permitieron clasificar el estado del pavimento como REGULAR y la transitabilidad de la vía también como REGULAR, lo que indica que la infraestructura presenta ciertas irregularidades que afectan la comodidad del tránsito.

Tercera, se propusieron alternativas de intervención según la capacidad estructural y el grado de transitabilidad en el pavimento flexible. Los resultados de la evaluación estructural



realizada mediante deflectometría, donde se determinó que la deflexión característica es mayor que la deflexión admisible ($D_c > D_{adm.}$) en ambos carriles, por consiguiente, según el reglamento del MTC se clasifica como REGULAR. Asimismo, la evaluación del grado de transitabilidad se evaluaron en función de los valores del PSI, calculado en base al IRI clasifica al pavimento como REGULAR con un mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos.



RECOMENDACIONES

Primera, a los futuros tesisistas, se recomienda que se enfoquen en realizar una evaluación detallada de la capacidad estructural y la rugosidad del pavimento utilizando herramientas como la deflectometría y el índice IRI. Es necesario proporcionar formas específicas de mejorar la estructura del pavimento y facilitar el tránsito, teniendo en cuenta el mantenimiento regular con parches y el refuerzo estructural en función de los resultados.

Segunda, basándose en los resultados de la evaluación estructural realizada con la viga Benkelman y las reglas del manual MTC, se sugiere que los futuros estudiantes de tesis realicen una reconstrucción parcial o total de la carretera Juliaca - Lampa, centrándose en el nivel del asfalto.

Tercera, lo ideal es que personal cualificado y con experiencia realice la evaluación de un pavimento utilizando herramientas de medición de rugosidad como MERLIN y la viga Benkelman. Para garantizar la rápida identificación de las características del pavimento y la correcta recopilación de datos de campo, es fundamental capacitar adecuadamente a los equipos.

Cuarta, para las futuras líneas de investigación, se recomienda una evaluación detallada de los costos y la sostenibilidad de las soluciones propuestas. Ya que es crucial que, además de considerar la efectividad técnica de las intervenciones, se analicen también su viabilidad económica e impacto ambiental.

BIBLIOGRAFÍA



- Arriaga et al. (2004). *Índice de Rugosidad Internacional*. México. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>
- Barrientos, N., & Matamoros, S. (2024). *Diseño geométrico para mejorar la transitabilidad vehicular de la carretera CU-1204 Y CU-1206 en el tramo: Huarcocondo (KM 0+000)-Munaypata (km 10+000), distrito de Huarcocondo, provincia de Anta, departamento de cusco*. Cusco: Universidad Continental. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/16126/1/IV_FIN_106_TE_Barrientos_%20Matamoros_2024.pdf
- Carrasco, S., & Vizñay, C. (2019). *Evaluación estructural vial para Azogues mediante el análisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman*. Ecuador: Universidad de Cuenca. Obtenido de <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/c66704cf-59b0-4b25-a27a-1e72fa7a0fda/content>
- Castillo, C. (2021). *Que son los pavimentos flexibles*. Obtenido de <https://hymserco.es/que-son-los-pavimentos-flexibles/>
- Coapaza, S. (2021). *Uso de la Viga Benkelman*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/viga-benkelman/249324124>
- 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, I. (2021). *Evaluación de la condición estructural del pavimento flexible mediante análisis deflectométrico para establecer acciones correctivas puente Stuart - Ovalo Aeropuerto Jauja*. Huancayo - Perú: Universidad Peruana los Andes. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/T037_71278135_T.pdf
- Espinoza, M., & Jintiach, R. (2022). *Evaluación de la superficie del pavimento flexible en la vía de conexión entre la Panamericana Norte y la calle Julián Bernal, mediante el análisis de la Viga Benkelman aplicando el método del retrocálculo*. Ecuador: Universidad Católica de Cuenca. Obtenido de



<https://dspace.ucacue.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3dee5859-7417-4b83-8e6f-a19f706c4bbc/content>

Farfan, R. (2022). *Deflectómetro de impacto liviano y Viga Benkelman para el análisis de deflexiones en pavimentos básicos con Slurry Seal, carretera Pischa - Pacaycasa.*

Huancayo - Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9153/T010_46104679_T.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Ferero, P. (2021). *Guía para el uso del deflectómetro de impacto (FWD) en el diagnóstico y diseño de pavimento flexible.* Obtenido de

<https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/cee28449-ead8-4bbe-8e24-e4e7e4026cfe/content>

Fernandez, A. (2022). *Manual de uso del equipo de MERLIN.* Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/manejodelequipomerlinpdf/251750520>

Gaete, R. (2022). *Uso del deflectómetro de impacto para la evaluación estructural de recapadosasfálticos sobre pavimentos de hormigon.* Chile. Obtenido de

https://www2.udec.cl/~provincial/trabajos_pdf/27GaeteRecapadosobrehormigon.pdf

Giordani, C. (2010). *Pavimentos.* Obtenido de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf

Gómez et al. (2019). *Evaluación estructural de pavimentos utilizando el deflectómetro de impacto HWD (Heavy Weight Deflectometer).* Obtenido de [https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=311&IdBoletin=109#:~:text=Deflect%C3%B3metro%20de%20Impacto%2C%20HWD%20\(Orozco, capacidad%20estructural%20de%20una%20carretera.](https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=311&IdBoletin=109#:~:text=Deflect%C3%B3metro%20de%20Impacto%2C%20HWD%20(Orozco, capacidad%20estructural%20de%20una%20carretera.)

Guzman, V. (2021). *Comportamiento estructural de pavimento asfáltico en zonas de pendiente mediante la deflectometría calles del distrito Abancay - Apurímac.* Lima

- Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de



https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/92624/Guzman_CV A-SD.pdf?sequence=1

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

Jinchuña, M. (2020). *Evaluación por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghamurst, Tramo: Av. Bolognesi - Av. Tarapacá - Tacna*. Tacna - Perú: Universidad Privada de Tacna. Obtenido de <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1583/Jinchuna-Alanoca-Miguel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

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>

Lema, M., & Unapucha, B. (2024). *Aplicación del método IRI y el modelo Servqual para la valorización técnica de las vías de segundo orden del Cantón Salcedo*. Ecuador: Universidad Nacional de Chimborazo. Obtenido de http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/12796/1/Lema%20C.%20Mario%20F.%20%3B%20Unapucha%20Ch.%20Bertha%20S.%282024%29_aplicaci%C3%B3n%20del%20m%C3%A9todo%20iri%20y%20el%20modelo%20servqual.pdf

Mamani, J., & Torres, J. (2021). *Evaluación del pavimento flexible para plantear el mejoramiento de la serviciabilidad utilizando parámetros de rugosidad – deflectometría, carretera Puno - Mañazo*. Lima - Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/86150/Mamani_NJR-Torres_SJA-SD.pdf

Mamani, S., & Pilco, W. (2021). *Evaluación estructural por deflectometría e IRI para determinar la vida remanente del pavimento flexible en la av. Circunvalación - Puno*.



- Lima - Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Mamani_ASM-Pilco_CWC-SD.pdf
- Miranda, E. (2024). *Objetivo del diseño sismoresistente*. Obtenido de [https://sismica-institute.com/disenosismico-por-desempeno/#:~:text=La%20capacidad%20estructural%20depende%20de,\(an%C3%A1lisis%20de%20cedencia%20secuencial\)](https://sismica-institute.com/disenosismico-por-desempeno/#:~:text=La%20capacidad%20estructural%20depende%20de,(an%C3%A1lisis%20de%20cedencia%20secuencial)).
- Niño, E., & Torres, B. (2021). *Evaluación superficial del pavimento flexible mediante IRI, PCI y propuesta de rehabilitación para mejorar la transitabilidad vehicular de la av. Sáenz Peña, JLO*. Chiclayo - Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Ni%C3%B1o_DEA_Torres_ABL-SD.PDF
- Rattia, J. (2022). *Definición y características de los pavimentos flexibles*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/233881453/Definicion-y-Caracteristicas-de-Los-Pavimentos-Flexibles#:~:text=Definici%C3%B3n%20y%20Caracter%C3%ADsticas%20de%20Los%20Pavimentos%20Flexibles,que%20se%20flexiona%20bajo%20cargas%20de%20tr%C3%A1fico.&text=%20Est%C3%A1>
- Soberon, A. (2023). *Diseño del pavimento para el mejoramiento de la transitabilidad vehicular del pueblo joven Diego Ferré, distrito y provincia de Chiclayo, región Lambayeque*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Obtenido de file:///C:/Users/INTEL/Downloads/TL_SoberonLuceroAlberto.pdf
- Solorio, J., & Montoya, M. (2021). *Capacidad estructural y conservación de pavimentos asfálticos a nivel de red*. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt642.pdf>
- Vilca, R., & Cuba, A. (2020). *Evaluación superficial en pavimentos flexibles aplicando la metodología PCI, IRI y Deflectometría en las Avs. Floral y El Sol de la ciudad de Puno*. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/16428/Vilca_Roy_Cuba_Arnaldo.pdf?sequence=1&isAllowed=y





ANEXOS



Anexo A. Matriz de consistencia

TÍTULO DE LA TESIS: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA – LAMPA 2025				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p>Problema General:</p> <p>¿Cuál es la capacidad estructural y el grado de transitabilidad por medio de la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa 2025?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Evaluar la capacidad estructural y el grado de transitabilidad mediante la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa 2025.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>La capacidad estructural y el grado de transitabilidad mediante la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa 2025, se encuentra en regular y transitabilidad regular respectivamente.</p>	<p>Variable de Caracterización</p> <p>CAPACIDAD ESTRUCTURAL</p> <p>Indicadores: <i>Deflexiones máximas</i> <i>Deflexiones características</i> <i>Radio de curvatura</i></p> <p>NIVEL DE TRANSITABILIDAD</p> <p>Indicadores: <i>Nivel A, B, C, D, E y F</i></p> <p>Variable de Interés</p> <p>PAVIMENTO FLEXIBLE</p> <p>Indicadores: <i>Estado estructural</i> <i>Estado superficial</i></p>	<p>Viga Benkelman</p> <p>IRI</p> <p>Inspección visual</p>
<p>Problemas Específicos</p>	<p>Objetivos Específicos</p>	<p>Hipótesis Específicas</p>		
<p>¿Cuál es la capacidad estructural mediante la aplicación de cargas de tránsito estimada por deflectometría en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa?</p> <p>¿Cuál es el grado de transitabilidad mediante prueba de índice de rugosidad internacional en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa?</p> <p>¿Cuál es la alternativa de intervención según la capacidad estructural y el grado de transitabilidad en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa?</p>	<p>Determinar la capacidad estructural mediante la aplicación de cargas de tránsito estimada por deflectometría en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa.</p> <p>Determinar el grado de transitabilidad mediante prueba de índice de rugosidad internacional en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa.</p> <p>Proponer una alternativa de intervención según la capacidad estructural y el grado de transitabilidad en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa.</p>	<p>La capacidad estructural mediante la aplicación de cargas de tránsito estimada por deflectometría en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa, es regular debido a deflexiones que sobrepasan las deflexiones admisibles.</p> <p>El grado de transitabilidad mediante prueba de índice de rugosidad internacional en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa, es regular puesto que solo se tiene fallas a nivel superficial.</p> <p>La alternativa de intervención según la capacidad estructural y el grado de transitabilidad en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Lampa, es un mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos.</p>		



Anexo C. Certificados de Calidad de Laboratorio



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



TEMA

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025

SOLICITANTE

Bach. GERSON SAULO MAMANI MAMANI

LUGAR

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV - JULIACA

FECHA

04 DE ABRIL DEL 2025

PRUEBA DE RUGOSIMETRO DE MERLIN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	25	24	28	27	21	30	22	24	32	23
2	29	21	25	29	23	26	24	28	25	31
3	22	23	27	24	24	26	25	21	26	28
4	33	28	27	31	22	25	24	33	21	19
5	26	28	29	21	30	20	35	26	24	20
6	30	22	33	24	31	24	27	19	34	26
7	28	21	27	32	29	35	25	31	29	22
8	25	23	21	28	25	30	26	31	28	21
9	18	27	26	25	33	24	31	26	22	30
10	26	23	30	27	31	22	23	30	29	22
11	25	26	30	26	25	29	24	27	33	24
12	20	24	23	32	23	24	26	29	31	21
13	29	30	30	28	29	22	27	26	25	22
14	30	28	29	25	24	26	22	24	25	28
15	29	31	25	28	27	24	29	30	30	27
16	31	28	22	25	21	30	32	23	29	22
17	29	24	30	35	20	23	24	27	31	29
18	26	24	25	28	29	22	27	32	25	31
19	23	28	29	36	31	30	24	23	27	26
20	31	33	29	25	24	32	28	31	22	30



5%(10dato) I= 0.7
 5%(10dato) D= 0.166666667
 Barras de "D" = 11
 Rango D= 11.86666667
 F.C= 0.953846154
 D= 56.59487179
 EP = 6.2
 LI = 25
 LF = 12
 IRI= 3.258618462 **REGULAR**



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



TEMA: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA- LAMPA 2025
SOLICITANTE: Bach. GERSON SAULO MAMANI MAMANI
LUGAR: LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV - JULIACA
FECHA: 04 DE ABRIL DEL 2025

PRUEBA DE RUGOSIMETRO DE MERLIN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	22	27	30	25	31	31	34	25	33	24
2	28	25	28	30	24	25	25	27	26	32
3	25	22	30	26	25	27	26	24	27	29
4	31	26	26	33	26	26	24	31	32	22
5	27	25	31	24	31	20	33	28	25	27
6	33	24	32	23	30	25	29	24	33	25
7	29	26	29	31	27	33	24	31	28	24
8	26	28	26	26	29	29	27	33	29	29
9	21	30	23	34	33	26	31	29	27	30
10	24	24	27	27	32	29	25	30	24	26
11	28	30	29	29	27	30	26	28	31	27
12	29	25	23	31	25	26	27	30	23	28
13	26	31	28	29	28	23	28	25	26	24
14	31	29	27	26	26	28	23	27	25	26
15	27	30	26	27	30	26	30	31	31	25
16	33	29	28	34	22	31	32	26	28	34
17	28	27	31	35	29	23	27	25	30	30
18	25	25	26	27	30	24	26	32	25	25
19	24	29	27	33	33	31	32	27	28	26
20	31	32	29	24	25	32	29	31	24	31



$5\%(10\text{datos})L = 0.428571429$
 $5\%(10\text{datos})D = 0.307692308$
 Barras de "D" = 9
 Rango D = 9.736263736
 F.C. = 0.953846154
 D = 46.43448859
 IRI = 2.780064413 BUENO

EP = 6.2
 LI = 25
 LF = 12



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - CIVIL 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



TEMA

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025

SOLICITANTE

Bach. GERSON SAULO MAMANI MAMANI

LUGAR

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV - JULIACA

FECHA

04 DE ABRIL DEL 2025

PRUEBA DE RUGOSIMETRO DE MERLIN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	22	25	29	28	24	31	24	25	33	25
2	27	22	26	27	26	28	25	27	27	30
3	19	27	28	26	27	26	26	22	28	29
4	31	30	30	30	24	24	21	31	25	20
5	24	29	31	19	31	21	32	28	21	21
6	32	23	30	20	34	25	28	20	33	24
7	26	24	28	28	28	33	26	30	30	20
8	27	26	26	30	23	34	28	32	29	19
9	17	25	24	21	31	19	30	27	26	30
10	20	20	29	26	32	22	24	31	24	23
11	21	24	31	25	30	28	25	28	31	25
12	25	22	26	32	28	21	21	30	30	22
13	28	33	30	24	26	23	20	25	21	23
14	30	29	28	21	25	27	23	23	22	29
15	25	29	27	30	30	25	26	31	29	28
16	32	27	26	28	24	31	30	24	24	21
17	28	26	31	33	20	27	28	26	30	26
18	27	25	24	29	22	26	29	31	28	33
19	25	27	21	35	30	31	26	25	29	26
20	31	34	33	27	26	33	30	30	25	36



5%(10dato) I = 0.375
 5%(10dato) D = 0.375
 Barras de "D" = 12
 Rango D = 12.75
 F.C = 0.953846154 EP = 6.2
 D = 60.80769231 LI = 25
 LF = 12
 IRI = 3.457042308 **REGULAR**



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



TEMA : ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025
SOLICITANTE : Bach. GERSON SAULO MAMANI MAMANI
LUGAR : LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV - JULIACA
FECHA : 04 DE ABRIL DEL 2025

PRUEBA DE RUGOSIMETRO DE MERLIN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	25	24	27	29	25	31	23	24	31	21
2	26	22	28	26	24	29	24	26	25	32
3	20	25	24	27	26	25	25	23	27	28
4	28	30	26	32	23	23	22	28	24	21
5	26	28	31	21	30	22	30	25	23	21
6	31	22	30	22	29	23	27	22	30	23
7	28	23	27	29	24	32	28	31	31	25
8	26	25	23	31	22	31	29	32	28	22
9	19	24	25	23	32	21	31	24	22	32
10	20	21	22	24	30	22	23	32	23	20
11	22	23	31	25	28	24	22	29	32	25
12	26	21	24	31	27	22	21	33	34	20
13	29	31	31	22	21	25	24	23	22	27
14	31	25	26	23	23	26	25	22	21	29
15	26	28	25	32	31	23	27	30	28	28
16	31	29	23	27	25	30	32	24	23	20
17	29	24	22	30	22	29	29	25	27	32
18	24	26	25	25	21	28	27	33	24	33
19	28	29	21	33	31	30	24	26	26	28
20	30	32	31	24	28	28	23	27	22	29



5%(10dato) I = 0.666666667
 5%(10dato) D = 0.583333333
 Barras de "D" = 10
 Rango D = 11:25
 F.C = 0.953846154
 D = 53.65384615
 EP = 6.2
 LI = 25
 LF = 12
 IRI = 3.120096154 **REGULAR**

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO M.E.G.A.
 JEFATURA
 Dr. Arnulfo Yana Torres
 J.C.I.P. 103257

BIE: B014 - 00232496



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



TEMA : ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025
SOLICITANTE : Bach. GERSON SAULO MAMANI MAMANI
LUGAR : LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV - JULIACA
FECHA : 04 DE ABRIL DEL 2025

PRUEBA DE RUGOSIMETRO DE MERLIN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	26	26	29	28	21	33	26	25	32	23
2	28	23	26	27	23	26	24	26	22	32
3	23	25	28	24	25	27	28	25	26	30
4	31	29	27	30	23	27	27	32	23	22
5	27	27	30	22	30	21	30	25	26	23
6	30	24	32	25	29	22	29	24	32	24
7	28	23	29	30	30	33	24	32	26	25
8	28	22	22	29	23	30	25	31	22	23
9	20	28	27	27	30	26	30	24	21	31
10	24	26	31	28	32	27	24	32	26	24
11	27	25	33	25	23	28	25	27	32	25
12	20	24	25	31	22	26	28	26	30	22
13	28	31	31	29	25	22	25	24	26	23
14	31	29	28	24	21	27	24	26	27	28
15	27	30	29	29	22	23	30	32	30	27
16	32	27	24	27	21	32	31	24	28	23
17	28	26	31	32	23	24	26	27	32	29
18	27	25	26	29	26	24	24	32	26	30
19	24	29	29	30	27	30	27	24	27	26
20	32	32	28	26	26	32	29	32	26	32



$5\%(10\text{dato}) I = 0.727272727$
 $5\%(10\text{dato}) D = 0.65$
 Barras de "D" = 9
 Rango D = 10.37727273
 F.C = 0.953846154
 D = 49.49160839
 IRI = 2.924054755 **REGULAR**

EP = 6.2
 LI = 25
 LF = 12



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



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



TEMA

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025

SOLICITANTE

Bach. GERSON SAULO MAMANI MAMANI

LUGAR

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV - JULIACA

FECHA

04 DE ABRIL DEL 2025

PRUEBA DE RUGOSIMETRO DE MERLIN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	26	28	33	26	25	32	25	28	32	24
2	29	26	29	31	27	27	20	26	22	33
3	21	24	31	28	26	29	27	22	23	27
4	30	22	27	31	29	24	23	34	28	24
5	29	23	30	27	30	21	32	28	22	33
6	32	25	33	26	33	23	30	26	33	24
7	30	28	28	30	29	31	26	30	29	28
8	28	29	24	27	24	23	29	35	28	22
9	25	31	25	25	31	28	27	27	22	33
10	26	21	22	22	30	25	24	28	23	25
11	24	32	24	21	28	32	25	29	32	27
12	27	27	28	30	26	28	22	30	29	29
13	22	30	29	28	29	25	29	24	23	24
14	30	27	26	27	27	27	24	22	25	23
15	31	31	25	25	28	24	31	30	31	24
16	29	28	29	24	24	30	33	27	29	21
17	24	26	32	32	25	24	29	22	32	33
18	26	24	27	28	31	26	25	32	27	23
19	21	27	29	31	34	30	26	25	29	27
20	32	31	26	28	26	33	27	30	22	33



$5\%(10\text{dato}) I = 0.769230769$
 $5\%(10\text{dato}) D = 0.363636364$
 Barras de "D" = 10
 $F.C = 0.953846154$ $EP = 6.2$
 $D = 53.09521248$ $LI = 25$
 $LF = 12$
IRI = 3.093784508 REGULAR

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA
 JULIACA, PERÚ
 Dr. Amalio 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



TEMA

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025

SOLICITANTE

Bach. GERSON SAULO MAMANI MAMANI

LUGAR

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV - JULIACA

FECHA

04 DE ABRIL DEL 2025

PRUEBA DE RUGOSIMETRO DE MERLIN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	24	27	28	29	26	32	22	19	33	19
2	28	18	24	26	24	27	23	25	27	30
3	21	23	29	27	28	28	27	23	28	29
4	32	29	31	32	23	22	22	30	25	20
5	22	25	30	17	30	20	33	24	17	21
6	33	20	33	20	36	27	31	25	33	34
7	29	27	24	25	29	31	27	32	30	20
8	28	29	28	31	21	35	28	33	29	17
9	17	21	25	20	33	17	31	23	34	30
10	20	22	28	26	30	19	22	34	24	23
11	22	28	35	25	29	22	26	28	31	25
12	26	24	27	33	25	21	21	35	35	22
13	27	35	32	23	22	28	20	25	18	23
14	32	27	29	21	27	29	26	19	22	29
15	28	28	25	31	34	26	24	31	29	28
16	34	25	24	29	26	31	31	24	17	20
17	29	28	30	32	21	27	27	26	30	26
18	24	22	28	28	23	25	29	31	28	33
19	22	25	24	35	32	30	25	25	36	26
20	34	31	34	24	28	34	34	17	21	36



$5\%(10\text{dato}) I = 0.75$
 $5\%(10\text{dato}) D = 0.888888889$
 Barras de "D" = 14
 Rango D = 15.63888889
 F.C = 0.953846154
 D = 74.58547009
 EP = 6.2
 LI = 25
 LF = 12

IRI = 4.105975641 MALO



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
VICER- CAP. INGENIERÍA CIVIL

Dr. Amalindo Yana Torres
CIF 103267



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



TEMA

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025

SOLICITANTE

Bach. GERSON SAULO MAMANI MAMANI

LUGAR

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV - JULIACA

FECHA

04 DE ABRIL DEL 2025

PRUEBA DE RUGOSIMETRO DE MERLIN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28	23	25	30	25	30	25	24	31	21
2	25	21	26	24	26	28	26	26	25	32
3	22	26	29	26	27	27	24	23	27	28
4	29	31	27	31	26	25	21	28	24	21
5	24	29	32	20	32	21	33	25	23	21
6	30	24	33	24	27	24	28	22	30	23
7	25	25	28	26	25	30	29	31	31	25
8	24	26	26	32	23	32	30	35	28	22
9	19	22	24	25	31	26	33	24	22	35
10	22	20	22	26	33	27	18	32	23	20
11	26	27	30	28	27	25	24	29	32	25
12	24	24	26	30	29	20	26	33	34	20
13	28	30	30	18	26	21	28	23	22	27
14	30	26	27	24	18	26	29	22	21	29
15	25	28	29	33	30	29	24	30	28	28
16	30	27	25	28	24	31	31	24	23	20
17	27	26	23	29	19	27	30	25	27	32
18	25	30	26	26	20	29	27	33	24	33
19	29	28	24	31	32	32	26	26	26	28
20	32	31	30	25	27	24	22	27	22	29



5%(10dato) I = 0.285714286
 5%(10dato) D = 0.125
 Barras de "D" = 12
 Rango D = 12.41071429
 F.C = 0.953846154
 D = 59.18956044
 EP = 6.2
 LI = 25
 LF = 12
 IRI = 3.380828297 **REGULAR**



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



TEMA

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025

SOLICITANTE

Bach. GERSON SAULO MAMANI MAMANI

LUGAR

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV - JULIACA

FECHA

04 DE ABRIL DEL 2025

PRUEBA DE RUGOSIMETRO DE MERLIN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	23	23	24	35	25	31	22	25	31	21
2	26	26	29	29	20	29	26	27	25	32
3	17	24	27	33	27	25	23	19	26	28
4	24	31	25	31	23	23	20	27	19	26
5	29	29	30	21	31	22	33	24	23	21
6	26	27	31	19	28	23	26	23	28	23
7	25	26	26	27	29	32	28	32	31	26
8	20	24	20	34	21	31	28	32	18	22
9	21	22	22	18	33	21	33	27	22	32
10	26	20	19	22	31	22	22	32	23	20
11	28	24	20	20	30	24	25	29	32	26
12	32	19	24	30	28	22	20	33	34	23
13	30	32	28	24	25	25	19	23	23	27
14	27	29	27	22	29	26	25	22	21	29
15	24	26	24	28	31	23	27	30	28	34
16	25	30	20	35	16	30	32	32	23	20
17	26	21	19	30	20	29	28	25	27	32
18	29	22	31	18	26	28	26	33	32	33
19	22	28	28	31	30	30	24	26	26	34
20	30	30	27	24	36	28	34	27	26	19



5%(10datos) I = 0.375

5%(10datos) D = 0.714285714

Barras de "D" = 13

Rango D = 14.08928571

F.C = 0.953846154

D = 67.19505495

EP = 6.2

LI = 25

LF = 12

IRI = 3.757887088 **REGULAR**



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

Dr. Arnaldo Irujo Torres
CIF: 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 DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPÍA, 2025

SOLICITANTE: GERSON SAUJO MAMANI MAMANI
ESTRUCTURA: PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPÍA
TRAMO: 103+24
FECHA: 10/04/2025
CARRIL: DERECHO - IDA

EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

RELACION DE LONGITUDES DE BRAZO
UNIDAD DE LECTURA 1/1000 mm

3.7' ±
0.01 mm

FACTOR FI CORRELACIONAL 1.0
DEFLEXIÓN MÁXIMA ADMISIBLE: 1 x 10⁻³ mm 1.0

PROFUNDIDAD (mm)	VALOR (mm)	LECTURA DE VIGAS EN GUALES		Temp. Ambiente °C	Temp. Pavimento °C	Hora	Deflectas (mm)		Corrección de Temp.		DMP	Deflexión corregida en 1.50 (mm)	D ₂₅ (mm)	Radio de curvatura (m)
		0 cm.	25 cm.				0 cm.	25 cm.	W ₁	W ₂				
4-100	0.00	8	16	16.40	18.00	06:45	24	59.80	1.02	59.20	0.00	60.18	167.88	
4-150	0.00	8	16	16.50	19.50	07:45	27	99.90	1.00	77.20	100.30	140.20	101.80	
4-210	0.00	8	16	16.40	19.00	08:45	21	99.90	1.01	59.20	100.71	59.08	76.31	
4-260	0.00	8	25	16.00	18.50	09:45	25	92.50	1.01	59.20	95.22	59.52	92.72	
4-310	0.00	8	16	16.00	19.00	10:45	28	103.60	1.01	59.20	105.31	60.06	60.37	
4-340	0.00	8	17	16.30	19.40	11:45	27	99.90	1.00	62.90	100.38	81.20	84.05	
4-380	0.00	8	15	16.70	19.60	12:45	21	118.40	1.00	85.30	106.97	85.37	84.50	
4-430	0.00	8	10	16.40	20.00	13:45	28	103.60	1.00	66.60	103.60	66.60	101.36	
4-500	0.00	8	10	16.40	18.80	14:45	29	107.30	1.01	77.70	108.34	78.45	83.42	
4-550	0.00	8	21	15.90	18.80	15:45	27	99.90	1.00	66.60	100.54	66.76	70.70	
4-600	0.00	8	19	15.70	19.70	16:45	25	92.50	1.00	48.10	92.87	48.29	70.70	
4-650	0.00	12	24	15.80	19.00	16:45	25	111.00	1.02	77.70	102.54	78.96	81.34	
4-700	0.00	8	18	16.40	18.00	17:45	30	103.60	1.03	66.60	104.86	67.43	81.85	
4-750	0.00	8	28	17.00	18.50	18:45	28	99.90	1.01	62.90	100.87	63.91	81.65	
4-800	0.00	8	27	17.00	18.80	19:45	27	99.90	1.01	62.90	100.87	63.91	81.65	
4-850	0.00	8	28	17.30	19.20	20:45	29	107.30	1.01	77.70	107.89	78.20	79.81	
4-900	0.00	8	24	17.40	18.60	21:45	24	88.80	1.01	48.10	89.58	48.72	79.81	
4-950	0.00	8	22	17.10	18.00	22:45	32	118.40	1.02	85.30	120.38	88.72	81.85	
4-1000	0.00	8	18	16.40	20.40	23:45	27	99.90	1.00	77.70	100.87	63.91	81.65	
4-1050	0.00	8	21	16.30	20.00	00:45	26	96.20	1.01	70.30	99.58	61.48	80.48	
4-1100	0.00	8	25	16.10	18.80	01:45	25	92.50	1.01	59.20	102.54	67.43	81.85	
4-1150	0.00	5	17	16.10	18.50	02:45	23	85.10	1.02	66.60	85.48	67.68	70.70	
4-1200	0.00	8	22	16.40	20.20	03:45	27	99.90	1.00	70.30	99.74	67.68	70.70	
4-1250	0.00	8	25	16.60	19.50	04:45	25	92.50	1.00	59.20	92.87	58.72	60.37	
4-1300	0.00	8	24	16.40	19.50	05:45	25	92.50	1.01	62.90	93.25	58.72	60.37	
4-1350	0.00	8	25	17.10	19.00	06:45	25	92.50	1.01	62.90	93.25	58.72	60.37	

MAX.	122.45
MIN.	69.97
PROM.	111.56
DESV.	8.46

PROMEDIO	1.01
DESVIACION ESTANDAR	10
COEFICIENTE DE VARIACION %	3
DEFLEXION ADMISIBLE 1 x 10 ⁻²	116.7
DEFLEXION CARACTERISTICA	0.01

MAX.	130.83
MIN.	85.48
DE.	117.53

INFORMACION DE INVESTIGACION
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL
Dr. Arnaldo Jara Torres
CIP: 103267





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 DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSIBILIDAD POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025

TESIS
SOLICITANTE
ESTRUCTURA
TRAMO
FECHA
CARRIL

EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

RELACION DE LONGITUDES DE BRAZOS
UNIDAD DE LECTURA

3,7 : 31
0,01 mm

FACTOR DE CORRECCIONAL
DEFLEXIÓN MÁXIMA ADMISIBLE 1 x 10⁻³ mm

1,0
110

PROGRAMA (N)	L ₁ (0,01 m)	L ₂ (0,01 m)	L ₃ (0,01 m)	Temp. Ambiente (°C)	Temp. Pavimento (°C)	Hora	Deflexión (mm)			Deflexión (mm x 10 ⁻³)		Corrección de Temp. (%)	D ₁₀ (mm)	D ₂₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₄₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₇₅ (mm)	D ₁₀₀ (mm)	Radio de curvatura (BC/m)
							9 mm	24 cm	30 cm	0 cm	25 cm										
41080	0,00	6	15	15,40	16,30	06:45	27	21	99,90	77,70	1,03	80,14	121,71	80,14	121,71	80,14	121,71	80,14	121,71	128,49	
41100	0,00	8	21	15,40	16,50	07:05	30	22	111,00	81,40	1,03	82,74	127,41	82,74	127,41	82,74	127,41	82,74	127,41	102,42	
41140	0,00	11	15	17,00	17,50	08:45	34	33	88,80	48,10	1,02	89,12	121,03	89,12	121,03	89,12	121,03	89,12	121,03	75,18	
41200	0,00	9	24	15,20	16,10	09:45	29	30	107,30	74,00	1,03	110,57	149,62	110,57	149,62	110,57	149,62	110,57	149,62	91,70	
41220	0,00	10	16	16,10	16,20	10:45	27	17	90,40	62,80	1,03	89,20	121,03	89,20	121,03	89,20	121,03	89,20	121,03	81,70	
41260	0,00	5	20	15,60	17,00	11:45	31	25	114,70	92,50	1,02	117,52	151,03	117,52	151,03	117,52	151,03	117,52	151,03	137,19	
41300	0,00	9	18	14,50	17,60	12:45	30	21	111,80	72,70	1,02	113,17	149,62	113,17	149,62	113,17	149,62	113,17	149,62	92,84	
41340	0,00	10	21	14,00	17,05	13:45	28	24	96,20	59,20	1,02	98,57	127,41	98,57	127,41	98,57	127,41	98,57	127,41	84,41	
41380	0,00	8	22	14,90	16,30	14:45	29	24	107,30	88,80	1,03	110,66	149,62	110,66	149,62	110,66	149,62	110,66	149,62	102,47	
41420	0,00	8	19	16,70	16,82	15:45	28	30	103,60	74,00	1,03	106,32	149,62	106,32	149,62	106,32	149,62	106,32	149,62	78,18	
41460	0,00	11	20	16,40	17,40	16:45	30	19	111,00	70,50	1,02	113,36	149,62	113,36	149,62	113,36	149,62	113,36	149,62	91,59	
41500	0,00	9	21	15,30	17,00	17:45	29	20	107,30	74,00	1,03	109,94	149,62	109,94	149,62	109,94	149,62	109,94	149,62	106,49	
41540	0,00	8	23	15,10	16,20	18:45	28	22	103,60	81,40	1,03	106,85	149,62	106,85	149,62	106,85	149,62	106,85	149,62	106,49	
41580	0,00	7	20	15,40	19,80	19:45	27	20	99,90	74,00	1,01	100,75	149,62	100,75	149,62	100,75	149,62	100,75	149,62	106,49	
41620	0,00	12	25	15,00	17,40	20:45	31	30	114,70	70,30	1,02	117,14	149,62	117,14	149,62	117,14	149,62	117,14	149,62	106,49	
41660	0,00	9	21	15,90	17,00	21:45	26	21	96,20	77,70	1,02	98,57	127,41	98,57	127,41	98,57	127,41	98,57	127,41	106,49	
41700	0,00	8	22	15,40	16,50	22:45	27	19	99,90	70,30	1,03	103,78	149,62	103,78	149,62	103,78	149,62	103,78	149,62	106,49	
41740	0,00	8	20	15,30	16,50	23:45	28	22	103,60	81,40	1,03	106,32	149,62	106,32	149,62	106,32	149,62	106,32	149,62	106,49	
41780	0,00	11	24	14,10	16,50	00:45	32	21	118,40	77,70	1,03	121,81	149,62	121,81	149,62	121,81	149,62	121,81	149,62	106,49	
41820	0,00	8	26	15,10	17,05	01:45	27	19	99,90	70,30	1,02	103,36	149,62	103,36	149,62	103,36	149,62	103,36	149,62	106,49	
41860	0,00	13	30	14,80	17,40	02:45	30	18	111,00	66,60	1,02	113,36	149,62	113,36	149,62	113,36	149,62	113,36	149,62	106,49	
41900	0,00	8	18	16,50	19,80	03:45	25	20	96,20	74,00	1,00	96,35	149,62	96,35	149,62	96,35	149,62	96,35	149,62	106,49	
41940	0,00	1	24	16,80	19,70	04:45	26	20	92,50	74,00	1,01	92,47	149,62	92,47	149,62	92,47	149,62	92,47	149,62	106,49	
41980	0,00	8	21	16,70	19,50	05:45	27	18	99,90	66,60	1,00	100,67	149,62	100,67	149,62	100,67	149,62	100,67	149,62	106,49	

PROMEDIO	106
DESVIACION ESTANDAR	9
COEFICIENTE DE VARIACION %	8
DEFLEXION CARACTERISTICA	110,1
DEFLEXION ADMISIBLE 1 x 10 ⁻³	110,1
MAX	121,81
MIN	96,09
DE	122,42

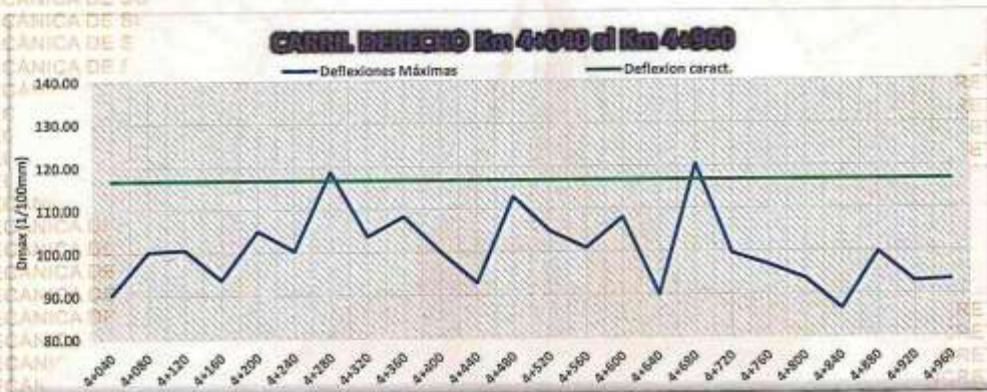
MAX	121,81
MIN	104,84
PRIM	119,83
DEVC	3,51
MEC	0,003

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





CARRIL DERECHO-Km 4+000 al Km 5+000					
	Progresivas KM	Do max (1/100mm)	Radio de curvatura	D caract.	D adm.
km	4+040	90.24	103.89	116.7	100
km	4+080	100.30	140.20	116.7	100
km	4+120	100.71	76.17	116.7	100
km	4+160	93.62	92.72	116.7	100
km	4+200	105.11	69.37	116.7	100
km	4+240	100.38	84.05	116.7	100
km	4+280	118.78	93.54	116.7	100
km	4+320	103.60	84.46	116.7	100
km	4+360	108.34	104.56	116.7	100
km	4+400	100.14	93.62	116.7	100
km	4+440	92.87	70.10	116.7	100
km	4+480	112.80	92.34	116.7	100
km	4+520	104.85	83.45	116.7	100
km	4+560	100.87	83.65	116.7	100
km	4+600	107.99	104.90	116.7	100
km	4+640	89.95	75.80	116.7	100
km	4+680	120.33	92.34	116.7	100
km	4+720	99.58	141.22	116.7	100
km	4+760	96.82	119.88	116.7	100
km	4+800	93.55	92.79	116.7	100
km	4+840	86.48	166.22	116.7	100
km	4+880	99.74	105.74	116.7	100
km	4+920	92.87	84.12	116.7	100
km	4+960	93.25	104.73	116.7	100



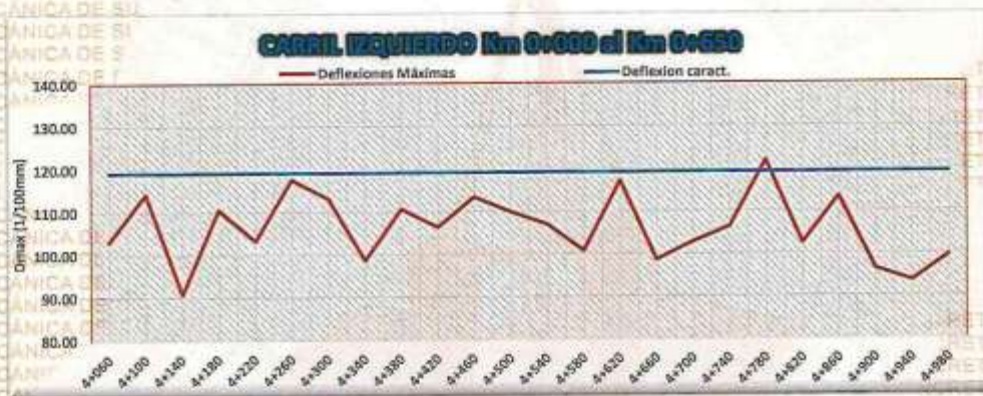
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
 CIP: 103257

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN
 M.S.C.A. JEFATURA
 JULIACA



CARRIL IZQUIERDO Km 4+000 al Km 5+000					
	Progresivas KM	Do max (1/100mm)	Radio de curvatura	D caract.	D adm.
km	4+000	103.03	136.49	119.1	100
km	4+100	114.20	102.62	119.1	100
km	4+140	90.69	75.18	119.1	100
km	4+180	110.57	91.07	119.1	100
km	4+220	103.20	81.76	119.1	100
km	4+260	117.52	137.39	119.1	100
km	4+300	113.17	92.04	119.1	100
km	4+340	98.57	87.43	119.1	100
km	4+380	110.66	163.78	119.1	100
km	4+420	106.32	102.87	119.1	100
km	4+460	113.36	75.18	119.1	100
km	4+500	109.94	91.59	119.1	100
km	4+540	106.85	136.49	119.1	100
km	4+580	100.71	119.69	119.1	100
km	4+620	117.14	68.92	119.1	100
km	4+660	98.57	164.86	119.1	100
km	4+700	102.78	102.62	119.1	100
km	4+740	106.32	137.16	119.1	100
km	4+780	121.81	74.63	119.1	100
km	4+820	102.36	103.04	119.1	100
km	4+860	113.36	68.92	119.1	100
km	4+900	96.35	140.54	119.1	100
km	4+940	93.47	167.16	119.1	100
km	4+980	99.50	94.22	119.1	100



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 FICP - CAS INGENIERÍA CIVIL
 M.S.C. JEFERSON
 Dr. Arnaldo Yana Torres
 CIP. 103257



Progresivas (km)	Deflexión izquierdo	Deflexión derecho
4+040	-103.0	90.2
4+080	-114.2	100.3
4+120	-90.7	100.7
4+160	-110.6	93.6
4+200	-103.2	105.1
4+240	-117.5	100.4
4+280	-113.2	118.8
4+320	-98.6	103.6
4+360	-110.7	108.3
4+400	-106.3	100.1
4+440	-113.4	92.9
4+480	-109.9	112.8
4+520	-106.8	104.9
4+560	-100.7	100.9
4+600	-117.1	108.0
4+640	-98.6	90.0
4+680	-102.8	120.3
4+720	-106.3	99.6
4+760	-121.8	96.8
4+800	-102.4	93.5
4+840	-113.4	86.5
4+880	-96.4	99.7
4+920	-93.5	92.9
4+960	-99.5	93.2



UNIVERSIDAD NACIONAL VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana 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: 07-10-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: GERSON SAULO MAMANI MAMANI

Dirección: Jr. MIRAFLORES S/N BARRIO EZEQUIEL URVIOLA Mz. H Lt. 4

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70238093

Teléfono: 981 702 606 email: sean_me_li@hotmail.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: INGENIERIA CIVIL

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

Asesor: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL GRADO DE TRANSITABILIDAD POR

MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO

FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - LAMPA 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): CAPACIDAD ESTRUCTURAL, GRADO DE TRANSITABILIDAD, VIGA BENKELMAN, IRI

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

1

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

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



2. Referencia de tesis:

- Bachiller
- Título
- 2da Especialidad
- Maestría
- Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

Autorizo su publicación (marque con una X)

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

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

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

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P17


Firma de Autor



huella digital

07-10-2025

Fecha