



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL  
DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE  
CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE  
DE LA VÍA JULIACA – PAUCARCOLLA 2025**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. RONI VILEAN ZAPATA ARAPA**

**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**  
**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL**  
**DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE**  
**CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
**DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. RONI VILEAN ZAPATA ARAPA**

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

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

<b>PRESIDENTE</b>	:	 Dr. LEONEL SUASAGA PELINCO
<b>PRIMER MIEMBRO</b>	:	 Dr. ARNALDO YANA TORRES
<b>SEGUNDO MIEMBRO</b>	:	 Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA
<b>ASESOR DE TESIS</b>	:	 M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
<b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN</b>	:	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P17



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 916-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 27 de agosto del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025- CU-7193 presentado por el (la) Bachiller: RONI VILEAN ZAPATA ARAPA 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. RONI VILEAN ZAPATA ARAPA, quien solicita NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN de la Tesis Titulado: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 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. LEONEL SUASACA PELINCO
- \* **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: RONI VILEAN ZAPATA ARAPA; del informe final de la investigación (tesis) titulado: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 2025 para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

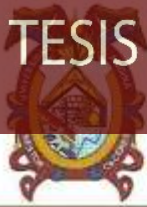
- \* **FECHA** : jueves 04 de setiembre del 2025
- \* **HORA** : 11:00 horas
- \* **LUGAR** : Aula 406 - FICP

**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.



cc. Archivo interesado (a)



### RESOLUCIÓN DECANAL N° 873-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 22 de agosto del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU- 2175, presentado por el señor (a) **RONI VILEAN ZAPATA ARAPA** solicitando **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, el Proveído del Director de la Unidad de Investigación de la FICP, y la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 165-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 479-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **RONI VILEAN ZAPATA ARAPA** ha presentado cambio de asesor de tesis del tema investigación Titulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 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° 165-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 479-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**.

Estando, a la solicitud del ejecutante y en cumplimiento al reglamento al Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención Grados Académicos y Títulos Profesionales; el Director de la Unidad de Investigación **Dr. Fritz Willy Mamani Apaza** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió el proveído favorable del cambio de asesor de investigación del tema titulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 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): **RONI VILEAN ZAPATA ARAPA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 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) 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"  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y CIENCIAS PURAS  
  
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo 2025  
Interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 479-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 19 de junio del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU - 5879 por el señor (a): **RONI VILEAN ZAPATA ARAPA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 317- 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 034- 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): **RONI VILEAN ZAPATA ARAPA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 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 Najar 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° 034- 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 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): **RONI VILEAN ZAPATA ARAPA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 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  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS



Dr. Fritzy Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 165-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 28 de marzo del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU- 002959, presentado el señor (a) **RONI VILEAN ZAPATA ARAPA** solicitando **AFROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 113-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 002-2025 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): **RONI VILEAN ZAPATA ARAPA** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 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° 002-2025- aprobando la propuesta de investigación titulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 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): **RONI VILEAN ZAPATA ARAPA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 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<sup>te.</sup> WALTER LIZARRAGA ARMAZA  
DECANO (e)  
CIP: 70808



Dr. Pele Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo: 30.25  
Intramundo (s)



## ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 2025

### INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

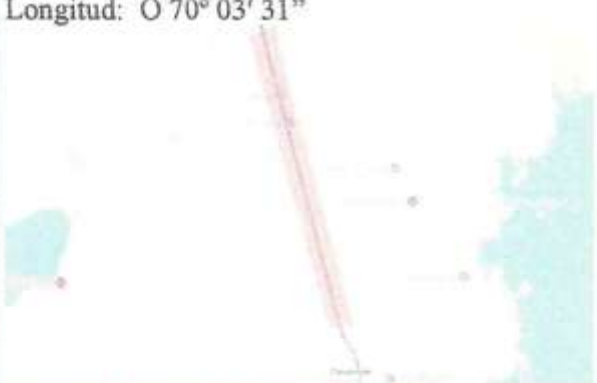
1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	5%
2	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1%
5	tesis.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante	<1%



### Metadatos Complementarios

<b>Título de la tesis</b>	
<b>ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA – PAUCARCOLLA 2025</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	RONI VILEAN ZAPATA ARAPA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70774099
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0005-3749-6067">https://orcid.org/0009-0005-3749-6067</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0003-4595-7589">https://orcid.org/0000-0003-4595-7589</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
<b>Miembro del jurado 2</b>	
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: Puno            Distrito: Paucarcolla            Latitud: S 15° 44' 46"            Longitud: O 70° 03' 31"</p>  <p><a href="https://maps.app.goo.gl/LNkL4www2UUUJRw5">https://maps.app.goo.gl/LNkL4www2UUUJRw5</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2025 - Agosto 2025
URL de disciplinas OCDE - Librería	<p><b>Ingeniería Civil</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</a></p> <p><b>Ingeniería de la construcción</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a></p>


  
 Dr. Priscilla Manóvil Agosta  
 DIRECTOR  
 Oficina de Investigación



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo RONI VILEAN ZAPATA ARAPA, identificado con DNI Nro. 70774099, 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 NIVEL DE TRANSITABILIDAD

MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO

FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA - PAUCARCOLLA 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 22 de setiembre del 2025

  
Firma del Asesor (obligatoria)

  
Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

Gracias a Dios por enseñarme el camino para poder concretar mi carrera. Su guía, sabiduría y fuerza me han permitido superar los desafíos y llegar hasta aquí. Este logro es el reflejo de Su amor y apoyo constante.

A mi padre quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcarme de no temer a las adversidades porque Dios está con nosotros siempre.

A mi familia y amigos por darme consejos y palabras de aliento, hicieron de que sea una mejor persona y de una u otra forma me acompañaron en todo mis sueños y metas.



## AGRADECIMIENTO

El principal agradecimiento a Dios quién me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

En honor a mi madre Juana, mi fuente de inspiración y sabiduría. Aunque ya no estés físicamente conmigo, tu espíritu y amor continúan guiándome en cada paso de este camino.

A mi familia por su comprensión, cariño y apoyo condicional, durante todo este proceso, por estar con conmigo en todo momento.

Y a todas las personas que de una y otra forma me apoyaron en la realización de este trabajo.



## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>II</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IX</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>X</b>

### CAPÍTULO I

#### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1	Análisis de la situación problemática.....	12
1.2	Planteamiento del problema.....	14
	1.2.1 Problema general.....	14
	1.2.2 Problemas específicos.....	14
1.3	Objetivos de la investigación.....	14
	1.3.1 Objetivo general.....	14
	1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4	Justificación de la investigación.....	15
	1.4.1 Justificación técnica.....	15
	1.4.2 Justificación económica.....	15
	1.4.3 Justificación social.....	16
	1.4.4 Justificación ambiental.....	16
1.5	Hipótesis de la investigación.....	17
	1.5.1 Hipótesis general.....	17
	1.5.2 Hipótesis específicas.....	17
1.6	Variables e indicadores.....	17
	1.6.1 Variable independiente.....	17
	1.6.2 Variable dependiente 1.....	17
	1.6.3 Variable dependiente 2.....	18



1.7 Operacionalización de variables..... 18

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación ..... 19
2.1.1 Antecedentes internacionales ..... 19
2.1.2 Antecedente nacional..... 21
2.1.3 Antecedente de ámbito local..... 22
2.2 Bases teóricas ..... 24
2.2.1 Análisis de la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad ..... 24
2.2.2 Pavimentos Flexibles ..... 25
2.2.2.1 Definición y características ..... 26
2.2.2.2 Comportamiento estructural..... 28
2.2.2.3 Componentes del pavimento flexible ..... 31
2.2.3 Capacidad estructural de pavimentos flexibles ..... 34
2.2.3.1 Definición y fundamentos teóricos ..... 38
2.2.3.2 Métodos de evaluación estructural ..... 39
2.2.3.3 Parámetros de medición ..... 42
2.2.4 Transitabilidad en Pavimentos Flexibles ..... 46
2.2.4.1 Concepto y factores determinantes ..... 48
2.2.4.2 Parámetros de evaluación ..... 51
2.2.4.3 Relación entre capacidad estructural y transitabilidad..... 55
2.2.5 Aplicación de Cargas de Tránsito en Pavimentos Flexibles ..... 59
2.2.5.1 Tipos de cargas de tránsito..... 63
2.2.5.2 Métodos de simulación de cargas vehiculares ..... 65
2.3 Marco conceptual..... 69
2.3.1 Construcción de pavimentos ..... 69
2.3.2 Implicaciones técnicas ..... 70
2.3.3 Capacidad estructural ..... 70
2.3.4 Nivel de transitabilidad ..... 70
2.3.5 Cargas de transito ..... 70
2.3.6 Pavimento flexible ..... 70



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque de la investigación ..... 72

3.2 Tipo de la investigación ..... 72

3.3 Nivel de la investigación ..... 73

3.4 Diseño de la investigación ..... 73

3.5 Método de la investigación ..... 74

3.6 Población y muestra de la investigación ..... 75

    3.6.1 Población ..... 75

    3.6.2 Muestra ..... 76

3.7 Técnicas e instrumentos ..... 77

    3.7.1 Técnicas ..... 77

    3.7.2 Instrumentos ..... 78

3.8 Validación y confiabilidad del instrumento ..... 79

    3.8.1 Validación de los instrumentos ..... 79

    3.8.2 Confiabilidad de instrumentos ..... 80

3.9 Procedimiento y recolección de datos ..... 81

    3.9.1 Procedimiento y recolección de información ..... 82

3.10 Procesamiento de datos y análisis ..... 85

CAPÍTULO IV ..... 88

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS ..... 88

**CAPITULO IV:** ..... 88

4.1 Información general del proyecto de estudio ..... 88

    4.1.1 Capacidad estructural por medio de aplicación de cargas ..... 91

    4.1.2 Nivel de transitabilidad según IRI en la vía Juliaca – Paucarcolla ..... 107

    4.1.3 Alternativas de intervención y estado actual de las vías ..... 114

4.2 Discusión de resultados ..... 121

**CONCLUSIONES ..... 124**

**RECOMENDACIONES ..... 126**

**REFERENCIAS ..... 127**

**ANEXOS ..... 133**



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables.....	18
<b>Tabla 2</b> Lugar en coordenadas.....	89
<b>Tabla 3</b> Cantidad de tramos y otros.....	90
<b>Tabla 4</b> Media diaria de tránsito .....	90
<b>Tabla 4</b> Dimensiones de las distancias para tomar datos .....	92
<b>Tabla 6</b> Dimensiones de las distancias para tomar dato, lado derecho .....	94
<b>Tabla 7</b> Dimensiones de las distancias para tomar dato, lado izquierdo.....	95
<b>Tabla 8</b> Datos deflectometría lado derecho .....	97
<b>Tabla 9</b> Datos deflectometría lado izquierdo .....	98
<b>Tabla 10</b> Datos de corrección de curvatura (derecha) .....	99
<b>Tabla 10</b> Datos de corrección de curvatura (izquierda).....	100
<b>Tabla 12</b> Resumen comparativo de los parámetros relativos de las deflexiones establecidas.....	103
<b>Tabla 13</b> Resumen de la subrasante y también del pavimento.....	106
<b>Tabla 14</b> Resumen, características y radio de curvatura .....	106
<b>Tabla 15</b> Estado según IRI .....	108
<b>Tabla 16</b> Cálculo de las cotas.....	111
<b>Tabla 17</b> Datos resultados del aplicativo (IRI) .....	112



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Mapa de ubicación</i> .....	76
<b>Figura 2</b> <i>Procedimiento de la investigación</i> .....	85
<b>Figura 3</b> <i>Fragmentos de la obra</i> .....	89
<b>Figura 4</b> <i>Dinámica de la viga (máxima deflexión)</i> .....	92
<b>Figura 5</b> <i>Dinámica de la viga (25cm)</i> .....	93
<b>Figura 6</b> <i>Dinámica de la viga (posición final)</i> .....	93
<b>Figura 7</b> <i>Flujograma del procedimiento realizado</i> .....	109
<b>Figura 8</b> <i>Diferencias de alturas con datos sin filtrar</i> .....	109
<b>Figura 9</b> <i>Diferencias de alturas con corrección</i> .....	110
<b>Figura 10</b> <i>Comparativa de los datos recabados</i> .....	113



## RESUMEN

El estudio "Análisis de la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad mediante la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025" tiene como objetivo evaluar la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad del pavimento flexible a través de la aplicación de cargas de tránsito. Se utilizó una metodología cuantitativa de tipo observacional, empleando deflectometría con la viga Benkelman para medir la capacidad estructural y pruebas del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para evaluar la transitabilidad. Se realizaron mediciones en un tramo de 20 km, con 40 puntos de muestreo distribuidos equitativamente en ambos márgenes de la vía. Los resultados muestran que la deflexión característica es de 21.97 (1/100 mm), lo que es inferior a la deflexión admisible de 35.28 (1/100 mm), indicando que la estructura del pavimento es adecuada en la mayoría de los tramos, aunque con sectores críticos donde se presentan radios de curvatura reducidos y deflexión corregida elevada. En términos de transitabilidad, los valores de IRI oscilaron entre 1.53 y 7.55 m/km, evidenciando tramos en estado óptimo y otros con rugosidad significativa que afecta la comodidad y seguridad del usuario. Con base en estos hallazgos, se propone una intervención diferenciada: mantenimiento preventivo en las secciones en buen estado, mantenimiento correctivo en tramos con deterioro moderado y rehabilitación estructural en zonas críticas. En conclusión, este enfoque no solo optimiza los recursos disponibles y prolonga la vida útil del pavimento, sino que también mejora significativamente la seguridad vial en la región, permitiendo una toma de decisiones informadas y focalizadas para garantizar la sostenibilidad de la infraestructura vial.

**Palabras clave:** capacidad estructural, transitabilidad, pavimento flexible, deflectometría, Índice de Rugosidad Internacional (IRI).



## ABSTRACT

The study "Analysis of structural capacity and the level of transitivity through the application of traffic loads in the flexible pavement of the Juliaca - Paucarcolla 2025" route aims to evaluate the structural capacity and the level of transitivity of the flexible pavement through the application of traffic loads. A quantitative observational methodology was used, using deflectometry with the benkelman beam to measure the structural capacity and tests of the International Roughness Index (IRI) to evaluate the transitivity. Measurements were made in a section of 20 km, with 40 sampling points equally distributed on both margins of the road. The results show that the characteristic deflection is 21.97 (1/100 mm), which is lower than the permissible deflection of 35.28 (1/100 mm), indicating that the pavement structure is adequate in most of the sections, although with critical sectors where reduced radii of curvature and high corrected deflection are presented. In terms of transitivity, IRI values ranged between 1.53 and 7.55 m/km, evidencing sections in an optimal state and others with significant roughness that affects the user's comfort and safety. Based on these findings, a differentiated intervention is proposed: preventive maintenance in sections in good condition, corrective maintenance in sections with moderate deterioration and structural rehabilitation in critical areas. In conclusion, this approach not only optimizes available resources and prolongs the useful life of the pavement, but also significantly improves road safety in the region, allowing informed and focused decision making to guarantee the sustainability of road infrastructure.

**Keywords:** Structural capacity, transitivity, flexible pavement, deflectometry, International roughness index (IRI).



## INTRODUCCIÓN

El estudio del comportamiento estructural de los pavimentos flexibles es un aspecto fundamental dentro de la ingeniería de carreteras, ya que su desempeño afecta de manera directa la seguridad, el confort y la eficiencia del transporte vehicular. Considerando el creciente flujo vehicular y el aumento constante de cargas en las vías, el deterioro de los pavimentos se ha intensificado, reduciendo su vida útil y comprometiendo la calidad del tránsito. Factores como el volumen de tráfico, las condiciones climáticas y la calidad de los materiales inciden notablemente en la tasa de desgaste, generando fallas tempranas como fisuras, deformaciones permanentes y baches, lo que repercute negativamente tanto en la infraestructura como en la seguridad de los usuarios y en el desarrollo económico de la región. En este contexto, resulta indispensable evaluar el desempeño de la carretera Juliaca – Paucarcolla, la cual representa un eje estratégico que conecta áreas urbanas relevantes y facilita el traslado de personas y mercancías. Analizar la respuesta del pavimento flexible bajo condiciones reales de tráfico permite obtener una visión precisa sobre su capacidad estructural y nivel de servicio, sentando las bases para propuestas de intervención técnica que contribuyan a preservar y optimizar la infraestructura vial.

El propósito central de la investigación es analizar la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad de la carretera Juliaca – Paucarcolla, a partir de la aplicación de cargas reales de tránsito sobre su pavimento flexible. Para ello, se plantea identificar el comportamiento estructural del pavimento mediante la simulación de cargas de tránsito con pruebas de deflectometría, permitiendo estimar el estado de resistencia y deformabilidad de las capas que lo conforman. Asimismo, se pretende determinar el nivel de transitabilidad a través de la evaluación de la rugosidad internacional, lo que aporta una medida objetiva sobre la calidad del rodamiento y la comodidad del usuario. Finalmente, la investigación propone alternativas de intervención basadas en los resultados obtenidos sobre la capacidad estructural y la transitabilidad, orientando acciones técnicas que



contribuyan a mejorar la gestión, el mantenimiento y la conservación de la infraestructura vial en el tramo estudiado.

Para alcanzar estos fines, el estudio adopta un diseño no experimental, haciendo uso del método científico como marco orientador. El nivel de la investigación es explicativo, pues busca no solo describir, sino también comprender las causas y efectos del deterioro en el pavimento flexible bajo condiciones reales de carga. El enfoque empleado es cuantitativo, ya que la recolección y el análisis de datos se apoyan en la medición objetiva a través de pruebas de campo, como la deflectometría, la evaluación de la rugosidad y el análisis de la respuesta tensión-deformación. Se trata de una investigación de tipo aplicada, cuyo objetivo es generar conocimientos útiles y recomendaciones prácticas que contribuyan a optimizar la vida útil y el desempeño de las carreteras, asegurando así una infraestructura vial más segura, eficiente y sostenible para la región.



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Análisis de la situación problemática

##### Análisis Internacional

El rápido crecimiento de la flota de vehículos globales ha llevado a un aumento significativo en la demanda de infraestructura vial, acelerando así el deterioro de pavimentos flexibles. En muchas regiones metropolitanas, especialmente aquellas con congestión de tráfico sustancial, los pavimentos han mostrado signos de fatiga estructural, grietas tempranas y deformaciones permanentes, poniendo en peligro la accesibilidad y la seguridad de las carreteras. Estudios recientes revelan que la planificación inadecuada en el diseño del pavimento y el uso de materiales de calidad inferior son factores significativos que conducen a la vida útil reducida de las carreteras (Baque, 2020).

La deficiencia de programas de mantenimiento de carreteras eficientes en las naciones emergentes ha intensificado este problema, lo que lleva a un aumento de los gastos de rehabilitación y los impactos perjudiciales en la economía local. Las naciones que invierten sustancialmente en infraestructura vial han empleado tecnología novedosa para aumentar la capacidad estructural del pavimento, incluidas las mezclas avanzadas de asfalto y los sistemas de monitoreo estructural en tiempo real. A nivel mundial, el problema principal identificado es la sobrecarga de vehículos y la gestión de mantenimiento



insuficiente, lo que lleva a una condición de carretera deteriorada y al aumento de los riesgos de accidentes (Putra, 2019).

### **Análisis Nacional**

En Perú, la infraestructura vial está experimentando un deterioro progresivo debido al aumento del tráfico y la reparación oportuna inadecuada. El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) informa que más del 50% de las carreteras del país exhiben una degradación sustancial, evidenciada por grietas, baches y asentamientos diferenciales, por lo tanto, comprometiendo la accesibilidad y la seguridad del usuario. El factor principal que contribuye a este deterioro es la tensión indebida impuesta por grandes vehículos en las carreteras diseñadas para capacidades de carga menores, lo que lleva a la degradación acelerada de las capas de asfalto.

Un problema importante es la falta de un programa eficiente de mantenimiento y preservación de la carretera, lo que lleva a muchas carreteras que se deterioran significativamente antes de que se produzca cualquier intervención. Esto se debe principalmente a una asignación de presupuesto limitada y una planificación inadecuada en la gestión de la carretera. Además, los estudios demuestran que las condiciones climáticas severas, como las fuertes lluvias y las variaciones sustanciales de temperatura, aceleran la degradación del pavimento, socavan su integridad estructural y reducen su longevidad (Morales, 2019).

### **Análisis Local**

La carretera Juliaca - Paucarcolla se ha convertido en una ruta esencial para el transporte local de pasajeros y mercancías, lo que lleva a un mayor tráfico motorizado y la degradación de infraestructura acompañante. Actualmente, este camino exhibe una degradación significativa de la capa de asfalto, distorsiones estructurales y baches, afectando negativamente la calidad del tráfico y aumentando el riesgo de accidentes. Los datos de las autoridades locales revelan que el mantenimiento de rutina inadecuado y la



sobrecarga de vehículos son las principales causas de la degradación acelerada del pavimento (Salazar, 2019).

La influencia de las condiciones climáticas severas en la degradación del pavimento es un factor relevante. En la región de Puno, las variaciones de temperatura causan contracciones y expansiones considerables en la estructura del pavimento, lo que facilita el desarrollo de grietas y fisuras. Además, la precipitación sustancial que ocurre en algunas temporadas (Romero & Calderon, 2023).

## **1.2 Planteamiento del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuál es la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad mediante la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025?

### **1.2.2 Problemas específicos.**

1. ¿Cuál es la capacidad estructural por medio de la aplicación de cargas de tránsito simulada por deflectometría en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025?
2. ¿Cuál es el nivel de transitabilidad por medio de pruebas de índice de rugosidad internacional en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025?
3. ¿Cuál es la alternativa de intervención según la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025?

## **1.3 Objetivos de la investigación.**

### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad mediante la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025.



### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Analizar la capacidad estructural por medio de la aplicación de cargas de tránsito simulada por deflectometría en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025.
2. Analizar el nivel de transitabilidad por medio de pruebas de índice de rugosidad internacional en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025.
3. Proponer la alternativa de intervención según la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025.

## **1.4 Justificación de la investigación**

### **1.4.1 Justificación técnica**

La evaluación técnica del rendimiento flexible del pavimento bajo las cargas de tráfico reales proporcionará datos precisos sobre su capacidad de carga, deformaciones y niveles de deterioro. El comportamiento mecánico del pavimento en circunstancias de servicio se puede describir utilizando técnicas de instrumentación modernas, incluidas las pruebas de deflectometría, el análisis de esfuerzo de esfuerzo y las pruebas de carga dinámica. Este análisis ayudará a identificar fallas prematuras, grietas, baches y deformaciones plásticas, por lo tanto, facilitar la optimización de los procedimientos de diseño, mantenimiento y rehabilitación de carreteras.

### **1.4.2 Justificación económica**

Este estudio facilitará la optimización de recursos asignados para el mantenimiento y la rehabilitación del pavimento, reduciendo así los gastos vinculados a reparaciones no anticipadas y extendiendo la vida útil de la carretera. La implementación de técnicas basadas en el análisis estructural y la gestión del tráfico disminuirá la necesidad de medidas correctivas recurrentes, lo que dará como resultado ahorros sustanciales en el gasto público. La mejora de la transitabilidad de la carretera Juliaca - Paucarcolla facilitará



la restauración del comercio y el transporte de productos y servicios, por lo que beneficiará a la economía local.

### **1.4.3 Justificación social**

Desde el punto de vista social, la infraestructura vial es esencial para garantizar el bienestar y la seguridad de la población. Un pavimento bien mantenido mitiga el riesgo de accidentes, mejora la calidad del transporte y promueve el acceso a servicios esenciales como la atención médica, la educación y el comercio. La degradación de las carreteras afecta la comodidad del usuario y plantea riesgos de seguridad debido a baches, irregularidades y signos insuficientes. La ruta Juliaca - Paucarcolla es utilizada diariamente por miles, que abarca operadores públicos, privados y de transporte de carga; Por lo tanto, garantizar su operación óptima mejorará la calidad de vida de la población.

### **1.4.4 Justificación ambiental**

Desde una perspectiva ambiental, analizar la capacidad estructural del pavimento facilitaría el desarrollo de soluciones de reparación sostenible, reduciendo así el efecto ambiental vinculado a la utilización excesiva de materiales y recursos naturales. La implementación de los enfoques de evaluación estructural mejorará la planificación del mantenimiento preventivo, minimizando el desperdicio de materiales y disminuyendo la producción de escombros a partir de la eliminación de pavimentos degradados.

Del mismo modo, la infraestructura vial bien mantenida disminuye las emisiones de contaminantes del aire, ya que los vehículos utilizan menos gasolina en superficies protegidas, por lo tanto, disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, mejorar la transitabilidad disminuirá la dispersión del polvo y las partículas en el aire, por lo tanto, beneficiará la calidad del aire y el entorno natural de la región.

## 1.5 Hipótesis de la investigación.

### 1.5.1 Hipótesis general

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

### 1.5.2 Hipótesis específicas.

1. La capacidad estructural por medio de la aplicación de cargas de tránsito simulada por deflectometría en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025, es regular debido a deflexiones que sobrepasan las deflexiones admisibles.
2. El nivel de transitabilidad por medio de pruebas de índice de rugosidad internacional en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025, es bueno puesto que solo se tiene fisuras transversales y longitudinales.
3. La alternativa de intervención según la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025, es un mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos.

## 1.6 Variables e indicadores.

### 1.6.1 Variable independiente

- Aplicación de cargas de tránsito

#### Dimensión

- Intensidad de la carga de tránsito

### 1.6.2 Variable dependiente 1

- Capacidad estructural

#### Dimensión

- Deflexión

- Condiciones de los materiales

### 1.6.3 Variable dependiente 2

- Nivel de transitabilidad

#### Dimensión

- IRI

## 1.7 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos De Medición
APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO	Corresponde a la acción de someter el pavimento flexible a la circulación de vehículos con diferentes magnitudes y frecuencias, simulando el tránsito real de la vía.	Intensidad de carga Frecuencia de tránsito.	Repetición de ciclos de carga	Deflectometro de impacto Inspección visual
Variable Dependiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos De Medición
CAPACIDAD ESTRUCTURAL	Es la capacidad que tiene el pavimento flexible para resistir las cargas del tránsito sin que se generen daños o deformaciones que comprometan su funcionalidad.	Resistencia estructural Deformabilidad	Deflexiones máximas y características Radio de curvatura	Perfilómetro laser y viga de benkelman Inspección visual y mapeo de deterioro.
NIVEL DE TRANSITABILIDAD	Hace referencia a la facilidad, comodidad y seguridad con que los vehículos pueden circular sobre el pavimento bajo condiciones operativas normales.	Regularidad superficial Fluidez del tráfico	Índice de rugosidad internacional (IRI)	

**Nota.** Elaborado por el autor

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 *Antecedentes internacionales*

Para, Karjalainen et al., (2023) titulado "Predicción de la capacidad portante y las clases de transitabilidad de caminos forestales utilizando las propiedades de los caminos y la información del terreno circundante", se aborda una problemática relevante para el mantenimiento y gestión de la infraestructura vial en contextos de alta exigencia operativa. La investigación parte del desafío que enfrentan las industrias forestales en Finlandia para asegurar un abastecimiento continuo de recursos, considerando las limitaciones que presentan los caminos forestales, especialmente durante épocas de condiciones adversas. El trabajo se centra en el desarrollo de métodos para predecir la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad de los caminos, utilizando propiedades fácilmente medibles del camino y del entorno, obtenidas a través de sensores remotos. Este enfoque surge como alternativa a las evaluaciones manuales tradicionales, que suelen ser complejas y demandar recursos significativos. Entre los hallazgos principales, el estudio determina que el ancho del camino es uno de los factores más determinantes para la capacidad estructural, y resalta el potencial del uso de datos LiDAR para la obtención precisa de esta



variable. Aunque los modelos de predicción lograron resultados razonables en la estimación de la capacidad portante, la clasificación del nivel de transitabilidad mostró limitaciones en cuanto a precisión, alcanzando valores moderados. Además, se identificó que otros indicadores, como los datos de rayos gamma, aportaron escasa utilidad para predecir la capacidad del camino, en comparación con la relevancia que tienen parámetros geométricos como el ancho.

Finalmente, para Adeke, (2022) titulada “Análisis de correlación del estado de la superficie del pavimento flexible de la carretera y la capacidad de carga del suelo de la subrasante”, Debido al notable desgaste observado en los pavimentos flexibles de las rutas principales en el norte de Nigeria, cuyas causas suelen estar asociadas tanto a la debilidad estructural de la subrasante como a posibles deficiencias en el proceso constructivo, este trabajo se enfocó en analizar si existe alguna vinculación entre el estado superficial del pavimento y los valores de soporte del suelo subyacente, medidos mediante el índice CBR. El estudio contempló una revisión detallada de 60 kilómetros pertenecientes a la autopista federal Zaria-Kaduna, donde se documentó el estado del pavimento en diversos tramos, considerando manifestaciones de deterioro tales como fisuración, formación de baches, deformaciones por tránsito y pérdida de borde. Los datos sobre las características físicas y mecánicas de la subrasante —incluyendo humedad natural, compacidad, plasticidad, límites de Atterberg, porcentaje de finos, clasificación AASHTO, y valores de CBR— fueron extraídos de informes oficiales emitidos por el Ministerio Federal de Energía, Obras y Vivienda. A través del procesamiento estadístico, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson, estableciendo un intervalo de confianza del 95 %, con el fin de identificar posibles relaciones entre la condición del pavimento y la capacidad de soporte del suelo medida en los diferentes tramos evaluados. Los resultados obtenidos no evidenciaron correlación significativa entre el deterioro superficial de la carretera y los valores de CBR de la subrasante, sugiriendo que otros factores —como el diseño estructural, la calidad de los



materiales, o la ejecución de la obra— podrían tener un peso determinante en la manifestación de fallas en el pavimento flexible en esa región.

### **2.1.2 Antecedente nacional**

Para, Quispe, (2025), su investigación titulada “Influencia de las propiedades mecánicas de suelos con alta capacidad portante en el dimensionamiento de pavimento flexible, Chupaca, 2024” En el presente trabajo se propuso la siguiente premisa: la resistencia mecánica superior de los suelos con elevado índice de soporte incide de manera determinante en la selección y configuración estructural de los pavimentos flexibles, según se evaluó en la provincia de Chupaca durante el año 2024. La investigación se orientó bajo un enfoque científico, adoptando una metodología aplicada, con un nivel de análisis que permitió explorar las relaciones existentes entre variables, caracterizándose por su naturaleza correlacional. El diseño experimental permitió someter a prueba diferentes alternativas de estructura de pavimento, utilizando como universo de estudio tanto la población general de sistemas viales con base en suelos potencialmente colapsables, como una muestra focalizada en un paquete estructural específico evaluado en el distrito de Lampa. Durante el desarrollo del estudio, se recopilaron y analizaron parámetros de capacidad de carga, resistencia y comportamiento físico de los suelos, integrando dichos resultados al proceso de cálculo y optimización del diseño del pavimento flexible. Los hallazgos mostraron que los suelos con mayor capacidad portante presentan características que favorecen la eficiencia del diseño, permitiendo reducir el espesor total requerido de las capas y contribuyendo así a la optimización de recursos constructivos. El análisis del número estructural evidenció que la presencia de suelos de alta resistencia posibilita una configuración más racional y económica de la estructura del pavimento, lo que representa una ventaja significativa para proyectos viales en contextos con suelos favorables desde el punto de vista geotécnico.

Para, Mamani Y Corrales, (2024) Esta tesis, titulada " Diagnóstico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la avenida Collpa, Tacna-2024", La finalidad central del presente estudio fue analizar el estado de la superficie de rodadura con el fin de caracterizar la transitabilidad vehicular a lo largo de la avenida Collpa, específicamente en el tramo comprendido entre el Óvalo Cuzco y el Óvalo Tarapacá. Para cumplir con este objetivo, se recurrió tanto a tecnologías actuales como a técnicas tradicionales para la medición de la rugosidad, empleando aplicaciones digitales como Total Pave y Abakal Iri, así como el procedimiento clásico mediante el instrumento Merlin. Los valores obtenidos para el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la vía bajo análisis fueron consistentes en las diferentes metodologías: 4,16 m/km mediante Abakal Iri, 4,13 m/km a través de Total Pave y 4,11 m/km utilizando el rugosímetro Merlin, cifras que situaron la condición de transitabilidad del corredor vial en una categoría intermedia, definida como "regular". A partir de estos resultados, se pudo comprobar que las plataformas modernas, como Abakal Iri y Total Pave, ofrecen información precisa y pormenorizada sobre la calidad del pavimento, facilitando un diagnóstico ágil y confiable de la superficie de rodadura. No obstante, la técnica convencional basada en el dispositivo Merlin demostró seguir siendo una alternativa válida, sobre todo en escenarios donde el acceso a recursos tecnológicos resulta limitado. En conclusión, la implementación simultánea de diferentes estrategias metodológicas permitió obtener un panorama exhaustivo de la situación de la avenida, subrayando la importancia de seleccionar adecuadamente las herramientas de evaluación para optimizar las intervenciones orientadas a la mejora y conservación de la infraestructura vial.

### **2.1.3 Antecedente de ámbito local.**

Para, Ccama Y Turpo, (2021) Este estudio, titulado "Evaluación superficial de la condición del pavimento flexible y la verificación de secciones con fallas estructurales a través de la deflectometría, Juliaca - Lampa, Puno", tiene como objetivo evaluar la



integridad superficial y estructural del pavimento flexible. Emplea una estrategia de investigación de métodos mixtos, en la que las variables se definirán y medirán de acuerdo con los procedimientos establecidos, utilizando un diseño no experimental que evita la manipulación variable. La investigación empleó un nivel de aplicación descriptivo, evaluando el pavimento con la metodología del índice de condición de pavimento (PCI) y una técnica no destructiva conocida como Benkelman Beam, concluyendo que la Sección 5 de la Carretera Juliaca-Lampa ... la evaluación inicial cede Un valor PCI de 4.13, que lo clasifica como falla y requiere reconstrucción del pavimento. La evaluación estructural revela una desviación de 107.86 mm/100 en el carril izquierdo y 150.35 mm/100 en el carril derecho, ambos superan la desviación permitida de 88.98 mm/100, lo que indica que el pavimento está en fatiga. El subgrado exhibe un CBR de 3.54%, clasificándolo como pobre e indicando la necesidad de reconstrucción y mejora de la capa de subgrado.

Para, Larico, (2024) Este estudio, titulado "Evaluación de la condición de serviciabilidad del pavimento flexible por métodos no destructivos de la Carretera Yunguyo – Tinicachi del Departamento de Puno", Este estudio tuvo como propósito analizar el estado funcional del pavimento flexible en el segmento vial que conecta Yunguyo con Tinicachi, ubicado en el departamento de Puno, con el objetivo de identificar el grado de deterioro y daño presente en la infraestructura. La investigación adoptó un enfoque no experimental y de carácter descriptivo, empleando el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI) como herramienta principal para la evaluación técnica. El diagnóstico se llevó a cabo a partir de la observación detallada de la superficie de rodadura, donde se documentaron diversas manifestaciones de desgaste estructural, tales como fisuras, desprendimientos y deformaciones. Mediante la aplicación del método PCI en una muestra representativa de veinte puntos a lo largo del tramo analizado, se obtuvo un valor promedio de 44.2, lo que corresponde a una clasificación general del estado del pavimento como "regular". La inspección reveló la existencia de al menos ocho tipos distintos de fallas



distribuidas en diferentes sectores del corredor vial, lo que evidenció la necesidad de definir acciones correctivas a corto y mediano plazo. Como resultado, se recomienda la implementación de un programa de mantenimiento rutinario o periódico, orientado a fortalecer la capacidad estructural y a elevar el nivel de servicio de la vía. En definitiva, los hallazgos del estudio subrayan la importancia de intervenir oportunamente el tramo en cuestión para optimizar las condiciones de transitabilidad y prolongar la vida útil del pavimento flexible bajo análisis.

## **2.2 Bases teóricas**

### ***2.2.1 Análisis de la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad***

El análisis de la capacidad estructural en carreteras se refiere al proceso de evaluación de la resistencia y comportamiento del pavimento ante la aplicación de cargas de tránsito a lo largo del tiempo. Este análisis implica determinar hasta qué punto la estructura del pavimento puede soportar el paso repetido de vehículos, sin que se produzcan deformaciones permanentes, fisuras u otros tipos de daños que comprometan su funcionalidad. Para ello, se consideran factores como el espesor y calidad de las capas del pavimento, las características del suelo de fundación, el diseño estructural original y las condiciones actuales de conservación (AASHTO). Los métodos más utilizados para el análisis estructural incluyen ensayos de deflectometría, modelado computacional y análisis de vida útil, permitiendo diagnosticar la capacidad portante y prever necesidades de intervención (Vergara, 2018).

Por su parte, el nivel de transitabilidad hace referencia a la facilidad, comodidad y seguridad con que los vehículos pueden circular por una vía en condiciones operativas normales. Esta característica se evalúa a través de indicadores como la regularidad superficial, la presencia de deformaciones, el índice de rugosidad internacional (IRI), el grado de deterioro visible y la velocidad de circulación promedio (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]). El análisis del nivel de transitabilidad permite identificar el



impacto de los daños estructurales y funcionales sobre la experiencia del usuario y la eficiencia del transporte, siendo un criterio clave para priorizar acciones de mantenimiento y rehabilitación (Pachay, 2017).

En conjunto, el análisis de la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad constituye una herramienta fundamental para la gestión eficiente de la infraestructura vial, ya que permite anticipar fallas, optimizar recursos y asegurar la prestación de un servicio adecuado a los usuarios. Evaluar ambos aspectos de manera integrada facilita la toma de decisiones técnicas orientadas a prolongar la vida útil de los pavimentos y mejorar la seguridad vial, factores que inciden directamente en el desarrollo económico y social de las regiones.

### **2.2.2 Pavimentos Flexibles**

Los pavimentos flexibles son sistemas de carretera diseñados para soportar cargas de tráfico distribuyendo fuerzas en múltiples niveles. La principal característica es la capacidad de experimentar la deformación elástica bajo tensiones aplicadas sin dar lugar a una descomposición estructural inmediata. Comprenden capas superpuestas con funciones específicas, incluidas la capa rodante, la base, la subbase y el subgrado. Estos pavimentos exhiben flexibilidad, lo que permite la dispersión gradual de las tensiones a las capas subyacentes, lo que reduce las grandes concentraciones de estrés en cualquier lugar particular (Vergara, 2018).

El rendimiento de los pavimentos flexibles depende de la fuerza y la rigidez de sus materiales, así como el tráfico y las condiciones ambientales. El diseño se basa en la hipótesis multicapa, que afirma que cada capa contribuye a la capacidad general del pavimento para distribuir cargas vehiculares. A diferencia de los pavimentos rígidos, que exhiben una capacidad de soporte sustancial distribuida a través de la losa de concreto, los pavimentos flexibles transmiten tensiones a través de la deformación de capas individuales. El diseño adecuado de estos pavimentos depende de factores como la



intensidad y frecuencia del tráfico, las propiedades mecánicas de los materiales utilizados y la estabilidad del subgrado (Pachay, 2017).

Los pavimentos flexibles se utilizan ampliamente en caminos de tráfico alto y mediano debido a su simple construcción, adaptabilidad a diversos terrenos y la capacidad de ser rehabilitado a través de técnicas de superposición de asfalto. Además, proporcionan ventajas de menores costos de inicio en comparación con los pavimentos rígidos; Sin embargo, el mantenimiento constante es esencial para mantener su eficacia a largo plazo. La evaluación de su rendimiento estructural se realiza utilizando experimentos de desviación y modelado por computadora, considerando factores como la fatiga, la acumulación de deformaciones plásticas y la resistencia al agrietamiento térmico y las cargas cíclicas.

El diseño y mantenimiento de pavimentos flexibles se adhieren a los estándares internacionales y nacionales, los criterios ASTM D1557 para el suelo y la compactación agregada, y las especificaciones de la Administración Federal de Carreteras (FHWA). Estos estándares especifican criterios técnicos para el tamaño y la evaluación de los pavimentos, en función de los estudios de tráfico, la capacidad de soporte de subgrado y los coeficientes de drenaje y fatiga de los materiales utilizados (Pachay, 2017).

En resumen, los pavimentos flexibles representan una solución competente y versátil para la infraestructura vial, lo que permite que las carreteras se adapten a diversas condiciones geotécnicas y de tráfico. Su diseño y mantenimiento apropiados garantizan una durabilidad prolongada y una mayor accesibilidad para los usuarios.

### **2.2.2.1 Definición y características**

Los pavimentos flexibles son estructuras de ingeniería vial diseñadas para diseminar las cargas del tráfico a las capas subyacentes mediante un mecanismo de deformación gradual. La principal característica es su flexibilidad ante cargas dinámicas, facilitando la transmisión progresiva de las fuerzas generadas por el tráfico a través de



cada capa, reduciendo así el impacto directo sobre la subrasante (Vergara, 2018). Este tipo de pavimento generalmente consiste en una capa superficial de asfalto, una base granular o tratada con cemento, una subbase y una subrasante compactada que proporciona soporte estructural al sistema (Larico, 2024).

Los pavimentos flexibles se caracterizan por su capacidad para soportar deformaciones sin producir grietas sustanciales, lo que les permite absorber tensiones y cargas recurrentes manteniendo la integridad estructural. Además, su rendimiento depende de la calidad de los materiales empleados, así como del tráfico y las circunstancias climáticas. La longevidad de estos pavimentos se ve afectada por factores como la adecuada compactación de la subrasante, el diseño de espesor apropiado y la resistencia a la fatiga de los materiales bituminosos (Larico, 2024).

Una característica destacable de los pavimentos flexibles es su sencillez en el mantenimiento y restauración. A diferencia de los pavimentos rígidos, que requieren procesos de reparación costosos y que requieren mucho tiempo, los pavimentos flexibles se pueden rehabilitar utilizando métodos de recubrimiento que utilizan mezclas asfálticas, así como fresado y reconstrucción de capas comprometidas. Cuando se diseñan adecuadamente, poseen capacidades de drenaje superiores, evitando la acumulación de agua que podría poner en peligro su integridad estructural (Pachay, 2017).

Desde un punto de vista funcional, los pavimentos flexibles se utilizan ampliamente en carreteras urbanas y rurales debido a su reducido coste inicial en comparación con los pavimentos de hormigón. Sin embargo, requieren una supervisión continua para evitar fallas tempranas resultantes de deformaciones plásticas, grietas por fatiga y pérdida de cohesión en la capa rodante. El diseño y mantenimiento adecuados de estos pavimentos son esenciales para garantizar su eficacia a largo plazo y mejorar el flujo del tráfico (Vergara, 2018).



### 2.2.2.2 Comportamiento estructural

El desempeño estructural de los pavimentos flexibles depende de su capacidad para transmitir cargas vehiculares a través de varios niveles sin incurrir en fallas prematuras. A diferencia de los pavimentos rígidos, que distribuyen equitativamente las tensiones a lo largo de una losa de concreto, los pavimentos flexibles transfieren progresivamente compresión y tensión a la subrasante, facilitando una lenta disipación de la carga impuesta. Este mecanismo estructural se ve afectado por factores como la calidad del material, el espesor de la capa, las condiciones climáticas y la intensidad del tráfico pesado impuesto sobre el pavimento (Vergara, 2018).

Desde una perspectiva mecánica, los pavimentos flexibles operan según el principio de varias capas, donde la capa superior o capa de rodadura debe poseer la mayor resistencia, ya que soporta la mayor magnitud de tensiones. A medida que la estructura del pavimento se profundiza, la resistencia de las capas disminuye, facilitando una distribución eficiente de la carga sin crear concentraciones excesivas de tensiones en la subrasante. Se emplean modelos elásticos de capas superpuestas para evaluar este comportamiento, teniendo en cuenta las propiedades robustas de los materiales y sus reacciones a cargas dinámicas repetitivas (Pachay, 2017).

La integridad estructural del pavimento está influenciada por la fatiga y la deformación acumuladas dentro de la estructura. La fatiga surge cuando las tensiones inducidas por el tráfico crean microfisuras en la capa de asfalto, lo que puede provocar grietas y degradación prematura. Por el contrario, la deformación plástica se produce cuando las cargas vehiculares comprimen demasiado las subcapas, lo que resulta en deformación y disminución de la capacidad de carga de la carretera (Pachay, 2017).

El examen del comportamiento estructural de los pavimentos flexibles se realiza mediante ensayos de deflexión, que determinan la capacidad de la estructura para soportar cargas sin sufrir deformaciones severas. Las tecnologías más utilizadas incluyen la deflectometría de impacto (FWD) y los modelos de simulación numérica, que proporcionan



la predicción del rendimiento del pavimento en diferentes circunstancias climáticas y de tráfico. Estos estudios son fundamentales para optimizar el diseño de los pavimentos, asegurando su longevidad y funcionalidad en el tiempo.

### **Propagación de esfuerzos en capas del pavimento**

La transferencia de fuerzas entre las capas de pavimento flexible es esencial para su diseño estructural y rendimiento. Este tipo de pavimento se introdujo en 2021. Este atributo permite que el pavimento soportar el tráfico sin fallas prematuras y mejora la integridad estructural de cada capa.

En la capa rodante, el receptor principal de las cargas de tráfico, las fuerzas de compresión se intensifican debido al contacto directo con los neumáticos del vehículo. Como las tensiones se transmiten a la base y la subbase, la magnitud del esfuerzo disminuye, a medida que cada capa se disipa y redistribuye la carga en un área más amplia (Vergara, 2018). El subgrado, como la capa final de construcción, experimenta la tensión menos extrema; Sin embargo, su estabilidad y fuerza son esenciales para evitar las deformaciones crónicas que podrían comprometer la funcionalidad del pavimento (Pachay, 2017).

El análisis de la distribución del estrés en pavimentos flexibles emplea modelos de capa elástica y métodos de simulación computacional para predecir el rendimiento estructural en diversas condiciones de carga y tráfico. Métodos como el análisis de elementos finitos y la deflectometría de impacto (FWD) se utilizan ampliamente para evaluar la capacidad del pavimento y determinar la necesidad de reparación o rehabilitación.

Un elemento crucial en la asignación de esfuerzo es la rigidez relativa de las capas. Las discrepancias sustanciales en el módulo del material pueden causar interrupciones en la transferencia de carga, lo que facilita la formación de grietas y fallas. Por lo tanto, es



esencial seleccionar materiales con propiedades mecánicas compatibles y proporcionar una compactación adecuada en cada capa de pavimento (Vergara, 2018).

La distribución de los esfuerzos de pavimento flexible depende de la interacción de sus capas, calidad del material y condiciones de carga. Un diseño apropiado que considera estos factores aumentará la durabilidad del pavimento y promoverá la transitabilidad en la infraestructura vial.

### **Factores que afectan la capacidad estructural**

La integridad estructural de los pavimentos flexibles está influenciada por varios factores que determinan su eficacia y durabilidad. Las características incluyen las características de los materiales utilizados, las condiciones del tráfico, el clima y los métodos de construcción y mantenimiento. Cada uno de estos elementos es esencial para la durabilidad del pavimento contra las tensiones aplicadas y para prevenir fallas prematuras (Vergara, 2018).

El calibre de los materiales empleados en cada capa de pavimento es un factor crucial. La resistencia de la mezcla de asfalto, el módulo resistente de la base y la subbase, y la capacidad de carga de la subgrados son críticas para asegurar un rendimiento estructural óptimo. Un material con baja resistencia mecánica o compactación inadecuada puede causar deformaciones plásticas y socavar la estabilidad del pavimento (Pachay, 2017).

El tráfico de vehículos afecta sustancialmente la integridad estructural del pavimento, especialmente bajo estrés intenso y repetido. Las carreteras con un volumen sustancial de camiones y vehículos grandes tienen degradación acelerada debido a la acumulación de tensiones de superficie y subcampos. Un diseño inapropiado que descuida el tráfico esperado puede provocar grietas, depresiones y degradación temprana de la estructura del pavimento (Vergara, 2018).

Las condiciones climáticas son otro factor crucial. Las variaciones de temperatura, los niveles de humedad y los ciclos de congelación-descongelación pueden afectar la cohesión del material y la estabilidad del pavimento. La exposición prolongada al agua reduce la adhesión entre las partículas de asfalto y puede provocar fallas en la erosión, mientras que las altas temperaturas pueden causar deformaciones plásticas y exudación del aglutinante de asfalto (Vergara, 2018).

En última instancia, los protocolos de construcción y mantenimiento son esenciales para la integridad estructural del pavimento. Compactación inadecuada de la base y la subbase, el uso de mezclas de asfalto mal formuladas o deficiencias en el control de calidad puede reducir la durabilidad de la carretera. Además, la falta de mantenimiento preventivo, como el sellado de grietas y la corrección de liquidación, puede acelerar el deterioro y requerir una restauración costosa.

En conclusión, la integridad estructural del pavimento flexible depende de una combinación de elementos interrelacionados, incluida la calidad del material, el volumen de tráfico, las condiciones climáticas y las técnicas de construcción. El diseño óptimo y la gestión de mantenimiento competente pueden mejorar el rendimiento del pavimento y extender su longevidad.

### **2.2.2.3 Componentes del pavimento flexible**

El pavimento flexible consta de varias capas superpuestas, cada una diseñada para funciones específicas en la distribución de carga, resiliencia climática y durabilidad del sistema vial. Estas capas trabajan juntas para mantener el flujo de tráfico sin deformaciones sustanciales o fallas estructurales prematuras. A diferencia de los pavimentos rígidos, los pavimentos flexibles distribuyen las cargas gradualmente desde la superficie hasta la subrasante, evitando así concentraciones de tensión en cualquier lugar específico. El diseño y el mantenimiento eficaces son esenciales para mantener el



rendimiento en el tiempo y minimizar la necesidad de intervenciones costosas (Pachay, 2017).

El pavimento flexible consta de varias capas que cumplen funciones estructurales y de soporte. La capa superficial es el principal receptor de cargas y presiones ambientales, mientras que la base y la subbase distribuyen fuerzas y proporcionan estabilidad al pavimento. Por el contrario, la subrasante proporciona el soporte fundamental de la estructura, mientras que los sistemas de drenaje evitan que la humedad socave la capacidad portante del pavimento. Todos los elementos deben ajustarse a criterios técnicos precisos para garantizar que el pavimento funcione correctamente en diversas condiciones ambientales y de tráfico (Vergara, 2018).

### **Capa giratoria**

La capa rodante representa la porción más superior del pavimento, expuesta a cargas y factores ambientales. El objetivo principal es proporcionar una superficie de tránsito duradera que sea resistente al desgaste y tenga propiedades de adhesión adecuadas para garantizar la seguridad del usuario. Esta capa debe soportar las cargas dinámicas generadas por los vehículos, así como los efectos de la temperatura y la humedad. Además, su diseño debe proporcionar un drenaje de agua adecuado para evitar la acumulación de humedad que podría dañar las capas subyacentes (Vergara, 2018).

La capa superficial a menudo comprende mezclas asfálticas, diseñadas para ofrecer resistencia mecánica y flexibilidad bajo tensiones repetidas. Las formulaciones asfálticas más utilizadas comprenden mezcla asfáltica en caliente (HMA), mezcla asfáltica porosa y mezclas modificadas con polímeros. Estas combinaciones mejoran la resistencia a la fatiga y alivian problemas como grietas, abultamientos y desprendimientos. Además, la capa rodante puede incorporar químicos y materiales reciclados para mejorar su desempeño estructural y reducir el impacto ambiental de su producción (Vergara, 2018).

### **Sustrato para pavimento**

La base es la capa ubicada directamente debajo del rodillo, cuya tarea principal es dispersar uniformemente las cargas del tráfico a los estratos subyacentes. También proporciona rigidez estructural al pavimento y mejora su capacidad portante. Esta capa está formada por materiales granulares o suelos estabilizados mediante cemento o asfalto, dependiendo de las características del terreno y requisitos de diseño (Vergara, 2018).

Están presentes diversas categorías de bases, en particular las distintas bases granulares formadas a partir de agregados compactados y las bases tratadas con cemento o asfalto que ofrecen mayor integridad estructural y durabilidad. Una compactación adecuada de la cimentación es esencial para evitar deformaciones plásticas y fallas prematuras, ya que una compactación insuficiente puede provocar asentamientos diferenciales y agrietamiento de la superficie. La base debe exhibir una resiliencia adecuada para permitir la regeneración del pavimento sin requerir una restauración estructural completa (Pachay, 2017).

### **Subbase**

La subbase es una capa opcional ubicada entre la base y la subrasante, destinada a mejorar la integridad estructural del pavimento y ayudar en la distribución de la carga. Su presencia es crucial en pavimentos expuestos a cargas vehiculares significativas, funcionando como una barrera de transición entre la base y el suelo natural, evitando así la transmisión de tensiones excesivas a la subrasante (Pachay, 2017).

El material de subbase a menudo comprende agregados gruesos bien clasificados, suelos estabilizados o mezclas con aditivos químicos que mejoran su capacidad de carga y resistencia a la humedad. Una subbase bien construida mejora el drenaje del pavimento, evitando la acumulación de agua en la subrasante y reduciendo la probabilidad de daños estructurales. El espesor y el tipo de material dependen de las condiciones del terreno y del tipo de tráfico que soportará la carretera.

### **Subrasante**



La subrasante es la capa natural debajo de las capas superiores del pavimento y proporciona un soporte esencial para la construcción general. La capacidad de carga es fundamental, ya que cualquier deficiencia en esta capa puede provocar asentamientos, hundimientos y fallas estructurales prematuras en la calzada. La subrasante puede requerir medidas de aumento o estabilización para cumplir con los criterios de diseño del pavimento, dependiendo de su resistencia (Pachay, 2017).

Para evaluar la capacidad de soporte de la subrasante, se utilizan pruebas como la relación de carga de California (CBR) y el módulo de resiliencia para determinar la resistencia del suelo a cargas repetidas. Si la subrasante demuestra una capacidad de carga insuficiente, se pueden utilizar técnicas como compactación, estabilización con cal o cemento y el uso de geotextiles para mejorar sus propiedades. En áreas con un nivel freático alto o suelos expansivos, es crucial implementar estrategias adicionales para evitar problemas de drenaje y degradación del pavimento.

### **Evaluación concluyente**

El pavimento flexible consta de varias capas, cada una de las cuales cumple funciones específicas en distribución de carga, estabilidad estructural y protección contra la humedad. Todas las capas deben cumplir rigurosos criterios técnicos para garantizar su durabilidad y capacidad de carga. La selección óptima de materiales, un estricto control de calidad durante la construcción y un diseño de drenaje eficiente son aspectos críticos para prolongar la vida útil del pavimento y mejorar su desempeño en condiciones ambientales y de tráfico. Un marco estructural cuidadosamente elaborado reducirá los costos de mantenimiento, mejorará la seguridad vial y garantizará una infraestructura resiliente y sostenible (Vergara, 2018).

### **2.2.3 Capacidad estructural de pavimentos flexibles**

Se refiere a su capacidad para soportar y distribuir las cargas del tráfico sin experimentar deformaciones permanentes ni fallas tempranas. La capacidad está



determinada por los materiales empleados en las diferentes capas de pavimento, sus respectivos espesores y la calidad de la subrasante subyacente que soporta la estructura. Un pavimento con capacidad estructural adecuada debe gestionar eficazmente las cargas aplicadas, distribuyendo las tensiones por toda su estructura sin comprometer su rendimiento o longevidad (Pachay, 2017).

La evaluación de la capacidad estructural de un pavimento se realiza utilizando varios modelos teóricos y metodologías prácticas que examinan el desempeño de la infraestructura bajo cargas dinámicas y repetitivas. Los factores que afectan la resistencia del pavimento incluyen la rigidez y el módulo de resiliencia de los materiales, la compactación de la capa, los volúmenes de tráfico esperados y las condiciones ambientales que encontraría. Para asegurar la suficiente capacidad estructural de un pavimento, es fundamental diseñarlo considerando las características del tráfico que soportará y las condiciones geotécnicas del sitio.

### **1. Factores que influyen en la capacidad estructural**

La capacidad estructural de los pavimentos flexibles depende de numerosos parámetros interconectados que afectan su desempeño en el tiempo. Los elementos esenciales comprenden:

- Las propiedades mecánicas de los materiales, como la rigidez y durabilidad de la capa, base y subbase asfáltica, determinan la distribución eficiente de las cargas. Los materiales de calidad inferior pueden provocar deformaciones prematuras y reducir la longevidad del pavimento.
- Espesor y composición del pavimento: Un pavimento diseñado con una estructura adecuada y espesor suficiente soportará cargas vehiculares sin presentar asentamientos diferenciales ni fallas estructurales (Pachay, 2017).

- Condiciones de subrasante: Un pavimento construido sobre una subrasante de baja capacidad es propenso a deformarse y asentarse. Para evitar esto, se pueden emplear métodos de estabilización o refuerzo como los geotextiles.
- Tráfico y carga vehicular: El volumen de vehículos que cruzan la acera y su masa inciden directamente en la fatiga del material. Un diseño adecuado debe considerar la intensidad del tráfico prevista para evitar fallas prematuras.
- Los factores climáticos, como la temperatura, la humedad y los ciclos de congelación y descongelación, pueden afectar la integridad del pavimento, provocando grietas y una reducción de la cohesión del material (Vergara, 2018).

### **Técnicas para evaluar la capacidad estructural**

Se utilizan diversos enfoques para evaluar la capacidad estructural de pavimentos flexibles analizando su desempeño bajo cargas vehiculares. Los principales comprenden:

#### **2. Métodos destructivos**

Las pruebas implican la extracción de muestras de pavimento para la investigación en laboratorio de sus propiedades mecánicas. Entre las tácticas más utilizadas se encuentran:

- Disertación de Marshall: Se emplea para evaluar la resiliencia y estabilidad de mezclas asfálticas bajo carga (AASHTO).
- Examen del módulo resiliente: evaluar la capacidad de los materiales para recuperar su forma bajo tensión cíclica (Vergara, 2018).

#### **3. Metodologías no destructivas**

Estos métodos proporcionan la evaluación de la integridad estructural del pavimento sin poner en riesgo su condición. Los más comúnmente empleados incluyen:

- Deflectometría de impacto (FWD): Evalúa la deflexión del pavimento bajo una carga controlada para evaluar su capacidad de soporte (Baque, 2020).
- La prueba de carga de placa evalúa el módulo de respuesta de la base y subbase mediante la aplicación de cargas incrementales.

#### 4. Métricas para evaluar la capacidad estructural

Los indicadores se utilizan para medir la capacidad estructural de un pavimento, facilitando la evaluación de su resiliencia y desempeño en situaciones de tráfico reales.

Los parámetros más frecuentemente empleados incluyen:

- **Módulo resiliente:** denota la capacidad del material de recuperar su forma tras la imposición de cargas cíclicas. Los niveles elevados indican una mejor resistencia a la fatiga (Pachay, 2017).
- **El Índice de Capacidad Estructural (SN - Número Estructural)** se emplea para determinar el espesor óptimo del pavimento considerando el tráfico y las condiciones de la subrasante (Baque, 2020).
- **Deflexión máxima:** mide la deformación del pavimento bajo carga. Los niveles elevados pueden indicar problemas relacionados con la fatiga o la integridad estructural.

#### 5. Importancia del análisis de capacidad estructural

Evaluar la integridad estructural de los pavimentos flexibles es fundamental para garantizar la seguridad y eficacia de la infraestructura viaria. Un pavimento insuficientemente diseñado para soportar las cargas del tráfico puede presentar fallas como grietas por fatiga, ahuellamientos y asentamientos diferenciales, disminuyendo así su funcionalidad y resultando en importantes costos de mantenimiento (Pachay, 2017).

El análisis estructural mejora la optimización del diseño del pavimento, asegurando que cada capa cumpla eficientemente su función en la distribución de carga. Facilita el desarrollo de programas de mantenimiento preventivo y de rehabilitación, reduciendo la necesidad de actividades de remediación y prolongando la vida útil de la infraestructura.

#### Evaluación

La capacidad estructural de los pavimentos flexibles es esencial en la ingeniería vial, ya que dicta su durabilidad y vida útil en respuesta al tráfico y a factores ambientales. La evaluación requiere la aplicación de métodos analíticos estructurales, tanto destructivos

como no destructivos, para determinar el desempeño del pavimento bajo cargas repetidas. Un diseño acertado, empleando materiales de primera calidad, espesores óptimos y protocolos de mantenimiento eficientes, puede garantizar un pavimento con capacidad estructural adecuada, mejorando su desempeño y reduciendo costos a largo plazo (Pachay, 2017).

### 2.2.3.1 Definición y fundamentos teóricos

El análisis de la capacidad estructural y transitabilidad en pavimentos flexibles es un dominio de investigación vital en ingeniería vial, ya que permite evaluar la resistencia y el desempeño de las redes de transporte en condiciones ambientales y de tráfico. El concepto de capacidad estructural se refiere a la capacidad del pavimento (Baque, 2020). Estos componentes son cruciales para garantizar la eficacia y durabilidad de la infraestructura vial, mitigando problemas como fisuras, surcos y degradación acelerada.

Teóricamente, la integridad estructural de los pavimentos flexibles se basa en la distribución en capas, donde cada capa cumple un papel específico en la absorción y disipación de las tensiones inducidas por el tráfico. La capa rodante interactúa directamente con los neumáticos del vehículo, mientras que la base, la subbase y la subrasante disipan secuencialmente las tensiones, reduciendo así el impacto en el campo de soporte. La transitabilidad está influenciada por factores como la regularidad de la superficie, la resistencia al deslizamiento y el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), que impactan la comodidad y seguridad de los usuarios de la vía (Baque, 2020).

Esta metodología se basa en modelos teóricos del comportamiento mecánico del pavimento, incluyendo teorías de elasticidad, plasticidad y fatiga estructural. La teoría de capas múltiples es un enfoque comúnmente empleado que facilita la predicción de la respuesta del pavimento a cargas repetidas considerando las características elásticas de cada capa. Esta teoría se ve reforzada por modelos de elementos finitos y evaluaciones experimentales, incluida la deflectometría de impacto (FWD), que permite evaluar la

capacidad de carga del pavimento sin causar daños a la infraestructura (AL-Qadi et al., 2023).

Un factor esencial en la evaluación estructural es la influencia de variables externas, como temperatura, humedad y nivel freático, que pueden modificar las propiedades mecánicas del pavimento y acelerar su deterioro. Las temperaturas elevadas pueden causar deformaciones plásticas en la mezcla asfáltica, mientras que la humedad en la subbase y la subrasante puede reducir la capacidad de carga del suelo, aumentando el riesgo de fallas estructurales (Baque, 2020).

En resumen, las definiciones y fundamentos teóricos del análisis de capacidad estructural y transitabilidad en pavimentos flexibles se basan en principios de distribución de carga, propiedades mecánicas de los materiales y modelos de evaluación estructural. Un diseño integral, respaldado por investigaciones empíricas y simulaciones computacionales, optimiza la infraestructura vial, garantizando su durabilidad, reduciendo los costos de mantenimiento y mejorando la seguridad de los usuarios (Pachay, 2017).

### **2.2.3.2 Métodos de evaluación estructural**

La evaluación estructural de pavimentos flexibles es esencial para determinar su capacidad portante, respuesta a tensiones recurrentes y grado de degradación en el tiempo. Varios enfoques pueden identificar posibles problemas, formular políticas de mantenimiento y garantizar la seguridad y funcionalidad de la infraestructura vial. Estas evaluaciones se basan en pruebas que miden la resistencia, la deflexión y la integridad de los materiales empleados en la construcción del pavimento (Baque, 2020).

Los métodos de evaluación estructural se clasifican en tipos destructivos y no destructivos. El primero implica la extracción de muestras de pavimento para análisis de laboratorio, mientras que el segundo facilita la medición del desempeño sin comprometer su integridad. Ambas metodologías son cruciales para lograr una evaluación precisa del



estado del pavimento y mejorar los métodos de rehabilitación y mantenimiento (Baque, 2020).

## 1. Técnicas destructivas

Las técnicas destructivas requieren muestras de pavimento para evaluar sus propiedades mecánicas en entornos controlados. Los ensayos más utilizados incluyen:

**Ensayo de Marshall:** Permite evaluar la resistencia a la deformación plástica de la mezcla asfáltica midiendo factores como estabilidad, fluidez y densidad del material. Esta prueba es esencial para evaluar la calidad del asfalto y su desempeño bajo cargas aplicadas (Baque, 2020).

**Prueba de módulo resiliente:** esta prueba evalúa la capacidad de los materiales de base y subbase para recuperar su forma después de soportar tensiones repetidas. Esta métrica es crucial para evaluar la resistencia y la capacidad de respuesta mecánica del pavimento al tráfico continuo.

**Ensayo de resistencia a la fatiga:** evalúa la capacidad del pavimento para soportar cargas repetitivas sin sufrir grietas tempranas. El estudio consiste en aplicar tensiones cíclicas a muestras de la capa rodante para determinar su límite de fatiga (Pachay, 2017).

Si bien los enfoques destructivos brindan conocimientos integrales sobre las cualidades de los materiales, su implementación en el campo puede ser costosa y dar lugar a modificaciones infraestructurales. En consecuencia, en numerosos casos se complementan con técnicas no destructivas que proporcionan mediciones sin alterar la continuidad del pavimento (Baque, 2020).

## 2. Técnicas no destructivas

Las tecnologías no destructivas se han vuelto importantes en la ingeniería vial porque evalúan la integridad estructural del pavimento sin requerir extracción de muestras ni dañar la calzada. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran:

**Deflectometría de impacto (FWD - Falling Weight Deflectometer):** Es una prueba ampliamente utilizada para evaluar la integridad estructural del pavimento. El proceso



implica entregar una carga dinámica similar a la de un vehículo en movimiento y medir la deflexión resultante utilizando sensores colocados en la superficie. Este método facilita la evaluación de la capacidad de carga del pavimento e identifica la necesidad de refuerzo o restauración (Pachay, 2017).

Realice pruebas de carga utilizando una placa: se utiliza para evaluar la capacidad de carga de la subrasante y las capas de base mediante la aplicación de cargas incrementales. Esta prueba es vital para evaluar el módulo de reacción del suelo y determinar su cumplimiento con las especificaciones estructurales del diseño del pavimento.

Especificaciones láser: Permite evaluar la rugosidad del pavimento y la uniformidad de la superficie mediante sensores láser colocados en los automóviles. Este método es esencial para evaluar la comodidad y transitabilidad de la carretera sin interrumpir el flujo del tráfico (Pachay, 2017).

El radar de penetración del suelo (GPR - Ground Penetrating Radar) es un método sofisticado que utiliza ondas electromagnéticas para capturar imágenes de la estructura subterránea del pavimento. Facilita la detección de huecos, fracturas internas y la evaluación del espesor de la capa sin necesidad de perforaciones.

Las técnicas no destructivas han transformado la evaluación estructural de los pavimentos al proporcionar datos en tiempo real con mayor eficiencia y precisión. Su utilización es crucial para el mantenimiento preventivo y la optimización de los recursos asignados para la conservación de carreteras (Pachay, 2017).

### **3. Comparación y aplicación de métodos**

La elección del método de evaluación estructural adecuado depende de varios criterios, incluida la naturaleza del problema a evaluar, el tipo de pavimento y las condiciones de la carretera. Se recomienda un método híbrido para lograr un diagnóstico integral del estado del pavimento. Los procedimientos destructivos brindan información integral sobre las propiedades de los materiales, pero los enfoques no destructivos brindan



la evaluación de su desempeño en situaciones del mundo real sin comprometer la infraestructura.

Un ejemplo de aplicación integrada es la utilización de la deflectometría de impacto (FWD) para evaluar la capacidad estructural del pavimento, complementada con la prueba del módulo resiliente en laboratorio para validar la resistencia del material. Este enfoque permite identificar regiones con deficiencias estructurales y formular estrategias de intervención específicas para extender la longevidad del pavimento (Pachay, 2017).

### **Evaluación final**

La evaluación estructural de pavimentos flexibles es fundamental para la gestión y mantenimiento de la infraestructura viaria. Se pueden obtener evaluaciones precisas de la capacidad de soporte del pavimento y la resistencia a cargas recurrentes mediante métodos tanto destructivos como no destructivos. La integración de ambas técnicas optimiza los planes de rehabilitación y conservación, garantizando el funcionamiento eficiente y seguro de la red viaria. La integración de tecnologías sofisticadas, incluida la deflectometría de impacto, el radar de penetración del suelo y la elaboración de perfiles láser, ha mejorado la precisión y la velocidad de las evaluaciones de pavimentos, mejorando así la toma de decisiones en proyectos de infraestructura vial (Pachay, 2017).

#### **2.2.3.3 Parámetros de medición**

La evaluación estructural de pavimentos flexibles requiere la utilización de ciertas características que faciliten la cuantificación del soporte, la resistencia mecánica y el comportamiento bajo cargas de tráfico. Estas normas actúan como referente para el diseño, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura vial, garantizando su funcionalidad y longevidad en el tiempo. El monitoreo preciso de estos indicadores es crucial para evaluar el estado del pavimento y pronosticar su desempeño bajo situaciones de carga repetitivas (AASHTO).

Los parámetros de medición se pueden clasificar en cualidades mecánicas, funcionales y estructurales, y cada una posee distintas metodologías de evaluación. Las indicaciones mecánicas se refieren a la resistencia y deformabilidad del pavimento, mientras que los factores funcionales evalúan la comodidad y seguridad del usuario. Por el contrario, los indicadores estructurales facilitan la evaluación de la capacidad de soporte del pavimento y su reacción a cargas cíclicas (Pachay, 2017).

### **1. Características mecánicas**

Los parámetros mecánicos pertenecen a las características físicas y resistivas de los materiales que constituyen el pavimento flexible. Estas métricas permiten evaluar la capacidad del pavimento para soportar cargas sin presentar roturas prematuras. Entre los más significativos se encuentran:

- **Módulo resiliente:** denota la capacidad de los materiales de base y subbase para recuperar su forma después de soportar tensiones repetidas. Esta es una métrica crucial en el diseño estructural de pavimentos, ya que valores elevados significan una mayor resistencia a la fatiga.
- **Resistencia a la fatiga:** Esta métrica evalúa la capacidad del pavimento para soportar tensiones dinámicas sin presentar grietas. Este valor es crucial para predecir la aparición de grietas por fatiga y evaluar la vida útil proyectada del pavimento.
- **Deformación plástica:** Se refiere a la capacidad del pavimento para soportar ahuellamientos y asentamientos diferenciales. Una deformación plástica significativa puede provocar inestabilidad y degradación temprana de la calzada.
- **El Índice de Estabilidad Marshall** evalúa la resiliencia de las mezclas asfálticas bajo carga, ofreciendo información sobre su cohesividad y capacidad para soportar fuerzas de compresión sin deformación (Pachay, 2017).

### **2. Parámetros operativos**

Los parámetros funcionales pertenecen a la calidad del pavimento desde la perspectiva del usuario. Estas indicaciones facilitan la valoración del confort y seguridad que proporciona la ruta en cuanto a regularidad, adherencia y transitabilidad del firme.

Entre los parámetros más utilizados se encuentran:

- El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) evalúa la uniformidad de la superficie del pavimento midiendo las fluctuaciones de altura en la capa rodante. Los valores elevados de IRI significan una mayor irregularidad, lo que disminuye la comodidad del usuario y exacerba el desgaste vehicular (Rifai et al., 2020).
- Coeficiente de fricción o adherencia: cuantifica la capacidad del pavimento para garantizar una superficie segura contra el deslizamiento de los neumáticos. La evaluación se realiza mediante pruebas con el péndulo británico o pruebas de frenos tanto en situaciones húmedas como secas.
- Perfil láser: se utiliza para evaluar la textura de la superficie e identificar anomalías que podrían afectar la seguridad y el confort vial. Esta métrica es esencial para el diseño de pavimentos urbanos y vías de alta velocidad.
- Ahuelación y baches: Denota la aparición de deformaciones longitudinales en la capa de pavimento como resultado de cargas pesadas repetidas. Este parámetro se evalúa mediante aparatos de escaneo de superficies y se utiliza para diseñar planes de mantenimiento correctivo (Pachay, 2017).

### 3. Parámetros estructurales

Los factores estructurales facilitan la evaluación de la capacidad del pavimento para soportar cargas sin incurrir en fallas críticas. Estos indicadores se utilizan en el diseño y rehabilitación de infraestructura vial para garantizar un desempeño óptimo. Los parámetros clave incluyen:

- Deflexión máxima: Se evalúa mediante deflectometría de impacto (FWD) para evaluar la deformación del pavimento bajo carga. Los valores elevados de deflexión pueden significar una reducción en la capacidad de soporte estructural.



- Índice de Capacidad Estructural (SN - Número Estructural): Se utiliza para determinar el espesor requerido de las capas de pavimento de acuerdo con la carga vehicular anticipada. Esta métrica es crucial en el diseño estructural de carreteras y vías urbanas.
- Carga de ruptura del pavimento: Evaluar la resistencia máxima del pavimento antes de fallar bajo una carga aplicada. Este parámetro se evalúa mediante pruebas de carga junto con pruebas de placa y triaxiales realizadas en el laboratorio.
- Capacidad de drenaje: Refleja la eficacia del sistema de evacuación de agua sobre el pavimento. Un drenaje inadecuado puede disminuir la integridad estructural y acelerar el deterioro del pavimento.

#### 4. Métricas y técnicas de evaluación

Se emplean diversos enfoques y equipos especializados para medir estas características. Entre las estrategias más utilizadas se encuentran:

- Las evaluaciones de laboratorio incluyen la prueba de Marshall, la evaluación del módulo resiliente y la prueba de resistencia a la fatiga para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales.
- Técnicas no destructivas: se emplean tecnologías como la deflectometría de impacto (FWD), el radar de penetración terrestre (GPR) y el perfilado láser para evaluar el estado estructural del pavimento sin comprometer su integridad (Rifai et al., 2020).
- Instrumentación de campo: sensores de presión y acelerómetros monitorean el comportamiento del pavimento bajo cargas dinámicas, facilitando la recopilación de datos en tiempo real (Rifai et al., 2020).

#### Evaluación final

Los parámetros de medición en la evaluación estructural de pavimentos flexibles son cruciales para garantizar la seguridad, el funcionamiento y la longevidad de la infraestructura vial. La utilización de indicadores mecánicos, funcionales y estructurales permite una evaluación precisa del estado del pavimento y la formulación de estrategias de mantenimiento y rehabilitación. La integración de técnicas de laboratorio, pruebas no destructivas y monitoreo de campo optimiza la evaluación del pavimento, asegurando un desempeño efectivo en circunstancias ambientales y de tráfico. Un examen en profundidad de estos parámetros mejora la construcción de carreteras más duraderas y seguras, reduciendo así los gastos de mantenimiento y elevando la calidad de la infraestructura vial.

#### **2.2.4 Transitabilidad en Pavimentos Flexibles**

La transitabilidad en pavimentos flexibles se refiere a la facilidad con la que los vehículos pueden circular sobre una vía de manera eficiente, cómoda y segura. Este concepto está directamente relacionado con la calidad superficial del pavimento, su capacidad estructural y su resistencia al deterioro generado por el tráfico y las condiciones ambientales. Un pavimento con buena transitabilidad debe proporcionar una superficie uniforme, con baja rugosidad y adecuada adherencia, minimizando las vibraciones y garantizando la seguridad de los usuarios en diferentes condiciones climáticas y de carga (Rifai et al., 2020).

La transitabilidad se ve afectada por múltiples factores, entre ellos la regularidad superficial, la resistencia al deslizamiento, la profundidad del ahuellamiento y el nivel de deterioro del pavimento. Un pavimento flexible diseñado correctamente debe ofrecer una superficie homogénea, sin baches, fisuras o deformaciones que puedan comprometer la estabilidad de los vehículos. Asimismo, la transitabilidad se ve influenciada por la presencia de agua en la calzada, ya que una deficiente capacidad de drenaje puede reducir la adherencia y aumentar el riesgo de accidentes (Pachay, 2017).



Para evaluar la transitabilidad de una vía, se emplean diversos indicadores que permiten cuantificar la calidad del pavimento desde el punto de vista funcional. Entre los más utilizados se encuentra el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el cual mide la variabilidad de la superficie en términos de comodidad para el conductor. También se consideran parámetros como el Índice de Condición del Pavimento (PCI), que evalúa el nivel de deterioro mediante inspección visual, y el coeficiente de fricción, que mide la capacidad del pavimento para proporcionar adherencia a los neumáticos, especialmente en condiciones de humedad.

Desde el punto de vista estructural, la transitabilidad de un pavimento flexible está directamente relacionada con su capacidad para soportar cargas sin experimentar deformaciones excesivas. Un pavimento con baja capacidad estructural tenderá a desarrollar ahuellamientos, fisuras y asentamientos diferenciales, lo que afectará la calidad de la circulación. La evaluación de estos factores se realiza a través de ensayos como la deflectometría de impacto (FWD), que mide la deformación de la calzada bajo cargas aplicadas, y la perfilometría láser, que analiza la textura superficial de la vía y detecta irregularidades que afectan la transitabilidad (Rifai et al., 2020).

Un aspecto clave en la transitabilidad es el mantenimiento del pavimento. Las vías con niveles altos de tráfico pesado requieren intervenciones periódicas para corregir problemas de desgaste, evitar la acumulación de fisuras y restaurar la regularidad superficial. Estrategias como el fresado y recapado asfáltico, el sellado de grietas y la rehabilitación estructural permiten prolongar la vida útil del pavimento y mejorar la experiencia de conducción. Asimismo, la implementación de sistemas de drenaje eficientes ayuda a evitar la acumulación de agua, reduciendo el deterioro prematuro y mejorando la seguridad en condiciones de lluvia (Pachay, 2017).

En conclusión, la transitabilidad en pavimentos flexibles es un concepto fundamental en la infraestructura vial, ya que influye directamente en la seguridad, la comodidad y la eficiencia del tránsito. Un pavimento con alta transitabilidad debe cumplir

con criterios de regularidad superficial, adherencia y resistencia estructural, asegurando una circulación óptima para los usuarios. La evaluación de estos factores mediante tecnologías avanzadas y estrategias de mantenimiento adecuadas permite optimizar la infraestructura vial, reducir costos de rehabilitación y garantizar un desempeño eficiente de la red de carreteras.

#### **2.2.4.1 Concepto y factores determinantes**

El concepto de transitabilidad en pavimentos flexibles se refiere a la capacidad de una vía para permitir el desplazamiento seguro, eficiente y cómodo de los vehículos bajo diferentes condiciones de carga y clima. Un pavimento con alta transitabilidad debe ofrecer una superficie uniforme, sin irregularidades significativas, con un nivel de adherencia adecuado y una resistencia estructural suficiente para evitar deformaciones o fallas prematuras. Este parámetro es clave en la infraestructura vial, ya que influye en la seguridad de los usuarios, el consumo de combustible, los costos de mantenimiento y la calidad del transporte en general (Pachay, 2017).

Desde una perspectiva funcional, la transitabilidad está relacionada con la regularidad superficial y la adherencia del pavimento, factores que garantizan una conducción fluida y reducen la fatiga del conductor. En términos estructurales, un pavimento flexible debe ser capaz de soportar cargas dinámicas sin experimentar fisuras, ahuellamientos o deformaciones excesivas. La medición de este parámetro se realiza mediante índices de rugosidad, coeficientes de fricción y análisis de la resistencia estructural, los cuales permiten identificar deficiencias y definir estrategias de mantenimiento preventivo.

#### **Factores Determinantes de la Transitabilidad en Pavimentos Flexibles**

La transitabilidad en pavimentos flexibles está influenciada por diversos factores que afectan su desempeño y calidad en el tiempo. Estos factores pueden agruparse en



tres categorías principales: factores estructurales, factores ambientales y factores operacionales (Pachay, 2017).

### **1. Factores Estructurales**

Los factores estructurales están relacionados con las propiedades mecánicas y de diseño del pavimento, así como con su capacidad para soportar cargas sin deteriorarse. Entre los más relevantes se encuentran:

**Regularidad superficial:** Una superficie homogénea y sin irregularidades mejora la comodidad de los conductores y reduce el desgaste de los vehículos. Se mide a través del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que cuantifica la variabilidad en la textura del pavimento.

**Capacidad de soporte estructural:** Un pavimento con una base y subbase bien diseñadas distribuye mejor las cargas, evitando deformaciones prematuras. La evaluación de esta capacidad se realiza mediante ensayos como la deflectometría de impacto (FWD) y el módulo resiliente de la subrasante (Pachay, 2017).

**Resistencia a la fatiga y fisuración:** La transitabilidad de un pavimento disminuye cuando aparecen grietas y fisuras que comprometen su integridad. Este factor se analiza mediante ensayos de laboratorio que simulan cargas repetitivas y determinan el límite de fatiga del pavimento.

**Ahuellamiento y deformaciones plásticas:** La acumulación de cargas pesadas genera deformaciones en la capa de rodadura, lo que afecta la calidad de la conducción y la seguridad vial. La medición de este factor permite determinar el momento adecuado para intervenciones de rehabilitación.

### **2. Factores Ambientales**

Las condiciones climáticas tienen un impacto directo en la transitabilidad de los pavimentos flexibles, afectando su estructura y superficie de contacto. Entre los principales factores ambientales destacan:

Temperatura y variaciones térmicas: Las altas temperaturas pueden provocar la deformación de la mezcla asfáltica, mientras que las bajas temperaturas pueden generar agrietamientos por contracción. La selección de ligantes asfálticos adecuados es clave para minimizar estos efectos (Rifai et al., 2020).

Humedad y drenaje: La acumulación de agua en el pavimento reduce la adherencia de los neumáticos y debilita la estructura del pavimento. Un sistema de drenaje eficiente evita el deterioro prematuro y mantiene la transitabilidad en condiciones óptimas.

Ciclos de congelamiento y deshielo: En regiones frías, el agua infiltrada en el pavimento puede expandirse al congelarse, generando grietas y daños en la estructura. El uso de mezclas asfálticas resistentes a estas condiciones permite mejorar la durabilidad del pavimento (Pachay, 2017).

### **3. Factores Operacionales**

Los factores operacionales están relacionados con la carga vehicular, la velocidad de circulación y la planificación del mantenimiento vial. Estos factores incluyen:

Carga vehicular y tipo de tránsito: Un pavimento diseñado para tránsito liviano sufrirá deterioro acelerado si es sometido a cargas pesadas no previstas. La transitabilidad se optimiza cuando el diseño del pavimento considera adecuadamente la intensidad y tipo de tráfico esperado.

Mantenimiento y rehabilitación: La aplicación de estrategias de mantenimiento preventivo, como el sellado de fisuras y el recapado asfáltico, permite prolongar la vida útil del pavimento y conservar su transitabilidad en niveles óptimos.

Condiciones del tráfico: Factores como la congestión vehicular y las frenadas constantes pueden afectar la capa de rodadura y acelerar su desgaste. La implementación de sistemas de gestión del tráfico ayuda a reducir el impacto del tránsito sobre la infraestructura vial (Pachay, 2017).

### **Conclusión**

La transitabilidad en pavimentos flexibles es un concepto clave en la ingeniería vial, ya que determina la eficiencia y seguridad del transporte. Su calidad está influenciada por factores estructurales, ambientales y operacionales, los cuales deben ser considerados en el diseño y mantenimiento de la infraestructura vial. La evaluación de estos factores mediante índices de rugosidad, ensayos de adherencia y análisis de capacidad estructural permite optimizar el desempeño del pavimento, asegurando una circulación fluida y segura para los usuarios. Un pavimento con alta transitabilidad no solo mejora la calidad del transporte, sino que también reduce costos de mantenimiento y prolonga la vida útil de la infraestructura.

#### **2.2.4.2 Parámetros de evaluación**

La evaluación de la transitabilidad en pavimentos flexibles requiere la aplicación de diversos parámetros que permiten medir la calidad de la superficie de rodadura, su capacidad estructural y su influencia en la comodidad y seguridad de los usuarios. Estos parámetros proporcionan información clave para la planificación del mantenimiento vial, la rehabilitación de pavimentos y la optimización del diseño de nuevas infraestructuras. La correcta medición y análisis de estos indicadores permite garantizar un desempeño óptimo del pavimento a lo largo del tiempo y minimizar los costos asociados a su deterioro (Pachay, 2017).

Los parámetros de evaluación pueden agruparse en tres grandes categorías: parámetros funcionales, estructurales y mecánicos. Los parámetros funcionales miden la calidad de la superficie y el confort del usuario, los parámetros estructurales determinan la capacidad de carga y resistencia del pavimento, mientras que los parámetros mecánicos analizan la respuesta del material ante esfuerzos dinámicos y cargas repetitivas.

### **1. Parámetros Funcionales**

Los parámetros funcionales se enfocan en la evaluación de la superficie de rodadura y su impacto en la comodidad y seguridad de los conductores. Algunos de los indicadores más utilizados incluyen:

Índice de Rugosidad Internacional (IRI): Es el parámetro más utilizado para evaluar la calidad de la superficie del pavimento. Se expresa en metros por kilómetro (m/km) y mide la variabilidad de la altura de la calzada. Valores altos indican una superficie irregular que afecta la comodidad del usuario y aumenta el desgaste vehicular (Rifai et al., 2020).

Índice de Condición del Pavimento (PCI - Pavement Condition Index): Evalúa el estado general del pavimento en una escala de 0 a 100, considerando la presencia de grietas, baches y deformaciones. Se utiliza ampliamente en la gestión del mantenimiento vial.

Coefficiente de fricción: Mide la capacidad del pavimento para proporcionar adherencia a los neumáticos. Se determina mediante pruebas con el péndulo británico o ensayos de frenado en condiciones húmedas y secas. Valores bajos indican un mayor riesgo de deslizamiento, especialmente en zonas de alta velocidad y curvas cerradas.

Ahuellamiento y deformaciones superficiales: Se evalúa la profundidad de las depresiones longitudinales formadas en la capa de rodadura debido a la carga vehicular repetitiva. Este parámetro permite determinar la necesidad de rehabilitación de la vía (Pachay, 2017).

## 2. Parámetros Estructurales

Los parámetros estructurales permiten determinar la capacidad del pavimento para soportar las cargas de tránsito sin sufrir deformaciones críticas. Entre los principales indicadores se encuentran:

Deflexión máxima: Se mide a través de la deflectometría de impacto (FWD) y permite evaluar la respuesta del pavimento bajo carga dinámica. Valores elevados indican

una disminución en la capacidad estructural de la vía y la necesidad de intervenciones de refuerzo.

Índice de Capacidad Estructural (SN - Structural Number): Se utiliza para calcular el espesor óptimo de las capas del pavimento en función del tránsito proyectado y la resistencia de la subrasante. Este parámetro es esencial para el diseño de carreteras y vías urbanas (Rifai et al., 2020).

Carga de rotura del pavimento: Evalúa la resistencia máxima del pavimento antes de fallar bajo una carga aplicada. Se determina mediante ensayos de carga con placa y pruebas triaxiales en laboratorio (Rifai et al., 2020).

Capacidad de drenaje: Indica la eficiencia del sistema de evacuación de agua en el pavimento. Un drenaje ineficaz puede reducir la capacidad estructural y acelerar el deterioro del pavimento, generando problemas de transitabilidad.

### 3. Parámetros Mecánicos

Los parámetros mecánicos se refieren a la resistencia y durabilidad de los materiales que conforman el pavimento flexible. Estos parámetros determinan la capacidad del pavimento para resistir esfuerzos dinámicos y cargas repetitivas sin fallar. Algunos de los principales incluyen:

Módulo resiliente: Es un indicador clave en el diseño estructural del pavimento. Representa la capacidad de los materiales de base y subbase para recuperar su forma tras la aplicación de cargas repetitivas. Valores más altos indican una mayor resistencia a la fatiga (Pachay, 2017).

Resistencia a la fatiga: Evalúa la capacidad del pavimento para soportar cargas dinámicas sin desarrollar grietas prematuras. Se determina a través de ensayos de flexión repetitiva en laboratorio.

Densidad de la mezcla asfáltica: Un pavimento con baja densidad es más propenso a deformaciones y daños estructurales. Se mide en laboratorio mediante pruebas de compactación y análisis volumétrico.

Índice de estabilidad Marshall: Permite evaluar la cohesión de la mezcla asfáltica y su resistencia al esfuerzo de compresión. Este ensayo es fundamental para determinar la calidad de la capa de rodadura (Rifai et al., 2020).

#### **4. Métodos de Evaluación de los Parámetros**

Para la medición de estos parámetros, se emplean diversas metodologías y herramientas tecnológicas que permiten obtener datos precisos sobre la condición del pavimento. Entre los métodos más utilizados se encuentran:

Ensayos en laboratorio: Se realizan pruebas como el ensayo Marshall, la determinación del módulo resiliente y el ensayo de resistencia a la fatiga para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales del pavimento.

Evaluaciones en campo: Se emplean tecnologías como la perfilometría láser, el radar de penetración de suelo (GPR) y la deflectometría de impacto (FWD) para obtener mediciones directas sobre la rugosidad, la capacidad estructural y la resistencia del pavimento.

Instrumentación de monitoreo: Se instalan sensores de presión y acelerómetros en el pavimento para registrar datos en tiempo real sobre la respuesta del pavimento a cargas dinámicas y su comportamiento estructural en diferentes condiciones de tránsito (Pachay, 2017).

#### **Conclusión**

Los parámetros de evaluación de la transitabilidad en pavimentos flexibles son esenciales para garantizar la seguridad, el confort y la eficiencia de la infraestructura vial. Mediante la aplicación de indicadores funcionales, estructurales y mecánicos, es posible diagnosticar el estado del pavimento y definir estrategias de mantenimiento preventivo y rehabilitación. La combinación de métodos avanzados de medición, ensayos de laboratorio y monitoreo en campo permite optimizar la infraestructura vial, prolongar su vida útil y reducir costos de intervención. Un análisis detallado de estos parámetros contribuye a la



construcción y mantenimiento de carreteras más seguras, resistentes y eficientes para los usuarios (Pachay, 2017).

#### **2.2.4.3 Relación entre capacidad estructural y transitabilidad**

La capacidad estructural y la transitabilidad de un pavimento flexible están estrechamente relacionadas, ya que la resistencia mecánica y la estabilidad de la infraestructura determinan directamente la comodidad, seguridad y eficiencia del tránsito vehicular. Un pavimento con alta capacidad estructural puede soportar cargas repetitivas sin experimentar deformaciones excesivas, lo que garantiza una superficie uniforme y una adecuada transitabilidad. En cambio, cuando la capacidad estructural del pavimento es insuficiente, se presentan fallas como fisuras, ahuellamientos y asentamientos diferenciales, afectando la calidad de la circulación y aumentando el riesgo de accidentes (Coari, 2018).

Desde el punto de vista funcional, la transitabilidad depende de factores como la rugosidad de la superficie, la adherencia de los neumáticos y la resistencia al desgaste de la capa de rodadura. Sin embargo, todos estos aspectos están influenciados por la capacidad estructural del pavimento, ya que un diseño inadecuado o un mantenimiento deficiente pueden generar deterioro prematuro y afectar negativamente la experiencia de los usuarios. La correcta planificación de las capas del pavimento, incluyendo la elección de materiales adecuados y la compactación eficiente de la base y la subbase, permite garantizar tanto la resistencia estructural como la transitabilidad a largo plazo.

#### **1. Influencia de la Capacidad Estructural en la Transitabilidad**

La capacidad estructural del pavimento se define por su habilidad para distribuir cargas y resistir esfuerzos sin experimentar fallas prematuras. Esta capacidad afecta la transitabilidad de diversas maneras:



Regularidad superficial y rugosidad: Un pavimento con alta capacidad estructural mantiene su superficie uniforme por más tiempo, reduciendo las irregularidades que afectan la comodidad de los conductores. Se evalúa mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que mide la variación en la altura de la superficie del pavimento (Rifai et al., 2020).

Resistencia a la deformación: Pavimentos con baja capacidad estructural son más propensos a sufrir asentamientos y ahuellamientos, lo que puede generar inestabilidad en la conducción. Estos problemas afectan la seguridad, ya que pueden provocar acumulación de agua y pérdida de adherencia de los neumáticos (Coari, 2018).

Fatiga y fisuración: Una capacidad estructural insuficiente provoca la aparición de grietas en la capa de rodadura, lo que disminuye la transitabilidad al generar vibraciones y aumentar la resistencia al rodaje de los vehículos. Las grietas también permiten la infiltración de agua, acelerando el deterioro del pavimento.

Capacidad de drenaje: Un pavimento con una estructura bien diseñada incorpora sistemas de drenaje eficientes que evitan la acumulación de agua en la superficie. La presencia de agua reduce la adherencia y puede generar hidroplaneo, afectando la seguridad y transitabilidad de la vía (Coari, 2018).

## **2. Impacto del Deterioro Estructural en la Transitabilidad**

Cuando la capacidad estructural del pavimento comienza a deteriorarse, la transitabilidad se ve comprometida progresivamente. Algunas de las principales consecuencias incluyen:

Aumento del índice de rugosidad: A medida que el pavimento sufre deformaciones y desgaste, el IRI aumenta, lo que indica una disminución en la calidad de la circulación y un mayor consumo de combustible por parte de los vehículos.

Reducción de la adherencia: La aparición de fisuras y el desgaste del agregado pétreo en la capa de rodadura disminuyen la capacidad del pavimento para proporcionar



fricción, aumentando el riesgo de deslizamiento y accidentes, especialmente en condiciones húmedas (Coari, 2018).

Mayor resistencia al rodaje: Las irregularidades en la superficie incrementan la resistencia al desplazamiento de los vehículos, lo que genera mayor desgaste de los neumáticos y un incremento en el consumo de energía y emisiones contaminantes.

Formación de baches y defectos superficiales: Un pavimento estructuralmente débil desarrolla fallas progresivas, lo que incrementa la necesidad de mantenimiento correctivo y reduce la vida útil de la vía.

### **3. Evaluación de la Relación entre Capacidad Estructural y Transitabilidad**

Para medir la influencia de la capacidad estructural en la transitabilidad del pavimento, se emplean diversos métodos de evaluación. Entre los más utilizados se encuentran:

Deflectometría de impacto (FWD): Permite analizar la capacidad estructural midiendo la deformación del pavimento bajo una carga dinámica. Es un indicador clave para determinar el estado del pavimento y su impacto en la transitabilidad (Coari, 2018).

Perfilometría láser: Evalúa la regularidad superficial del pavimento, proporcionando datos sobre la rugosidad y el nivel de confort para los usuarios. Un pavimento con alta transitabilidad presenta valores bajos de IRI (Rifai et al., 2020).

Ensayos de adherencia: Mediante pruebas como el péndulo británico y el coeficiente de fricción, se mide la capacidad del pavimento para proporcionar seguridad en la conducción. Pavimentos con buena capacidad estructural mantienen niveles óptimos de adherencia a lo largo del tiempo (Serrano & Montoya, 2021).

Análisis de fatiga y fisuración: Se emplean ensayos en laboratorio para evaluar la resistencia del pavimento a la fatiga y determinar su capacidad de soportar cargas repetitivas sin desarrollar grietas que afecten la transitabilidad.

### **4. Estrategias para Mejorar la Relación entre Capacidad Estructural y Transitabilidad**



Para garantizar que un pavimento flexible mantenga un alto nivel de transitabilidad a lo largo de su vida útil, es fundamental implementar estrategias de diseño y mantenimiento que fortalezcan su capacidad estructural. Algunas de estas estrategias incluyen:

**Diseño estructural optimizado:** La selección de materiales adecuados, espesores correctos de las capas y un diseño basado en la intensidad del tráfico proyectado permiten mejorar la capacidad estructural del pavimento y mantener su transitabilidad por más tiempo.

**Mantenimiento preventivo:** Acciones como el sellado de fisuras, el fresado y la rehabilitación con mezclas asfálticas ayudan a preservar la calidad de la superficie de rodadura y evitar fallas estructurales que comprometan la transitabilidad (Serrano & Montoya, 2021).

**Mejora de la capacidad de drenaje:** La instalación de drenajes longitudinales y transversales evita la acumulación de agua en la superficie del pavimento, reduciendo el deterioro y mejorando la seguridad en condiciones húmedas (Coari, 2018).

**Monitoreo continuo:** La aplicación de tecnologías avanzadas, como sensores de presión y análisis de deflexión en tiempo real, permite detectar problemas estructurales antes de que afecten significativamente la transitabilidad (Serrano & Montoya, 2021).

## Conclusión

La relación entre la capacidad estructural y la transitabilidad en pavimentos flexibles es un factor clave en la gestión de infraestructura vial. Un pavimento con alta capacidad estructural mantiene una superficie uniforme y segura, optimizando la experiencia de conducción y reduciendo costos de mantenimiento. Sin embargo, cuando la capacidad estructural se ve comprometida, aparecen defectos que afectan la transitabilidad, como fisuras, ahuellamientos y pérdida de adherencia. La evaluación de esta relación mediante índices de rugosidad, ensayos de adherencia y análisis estructural permite identificar fallas y aplicar estrategias correctivas oportunas. Un diseño optimizado y un mantenimiento

eficiente garantizan una infraestructura vial resistente, segura y de alta calidad para los usuarios (Coari, 2018).

### **2.2.5 Aplicación de Cargas de Tránsito en Pavimentos Flexibles**

La aplicación de cargas de tránsito en pavimentos flexibles es un aspecto fundamental en el diseño, construcción y mantenimiento de las infraestructuras viales. Las cargas vehiculares generan esfuerzos dinámicos que afectan el comportamiento del pavimento, influyendo en su capacidad estructural, su desempeño a lo largo del tiempo y su nivel de transitabilidad. El análisis de estas cargas permite determinar el espesor adecuado de las capas del pavimento, la selección de materiales y la implementación de estrategias de mantenimiento para prolongar su vida útil (Serrano & Montoya, 2021).

El pavimento flexible está compuesto por varias capas que trabajan en conjunto para distribuir las cargas de tránsito de manera progresiva. La capa de rodadura es la primera en recibir el impacto del tráfico, disipando parte de los esfuerzos hacia la base y la subbase. Estas capas intermedias ayudan a reducir la carga aplicada sobre la subrasante, que es la capa más profunda y la que soporta la estructura del pavimento. Si el diseño estructural no considera correctamente la magnitud de las cargas vehiculares, pueden presentarse fallas prematuras como fisuración, ahuellamiento y asentamientos diferenciales, lo que afecta tanto la capacidad estructural como la transitabilidad de la vía.

#### **1. Tipos de Cargas Aplicadas en Pavimentos Flexibles**

Los pavimentos flexibles están sometidos a distintos tipos de cargas de tránsito, las cuales varían en función del tipo de vehículo, la velocidad de circulación y las condiciones climáticas. Entre las cargas más relevantes se encuentran:

**Carga estática:** Se refiere a la presión ejercida por un vehículo en reposo sobre la superficie del pavimento. Aunque no genera impactos dinámicos, puede influir en la



compactación del material y en la aparición de deformaciones localizadas si la capacidad de carga del pavimento es insuficiente (Serrano & Montoya, 2021).

**Carga dinámica:** Ocurre cuando un vehículo en movimiento aplica fuerzas cambiantes sobre el pavimento debido a la aceleración, desaceleración o cambios en la dirección del tránsito. Estas cargas generan tensiones adicionales y pueden provocar la fatiga de los materiales, reduciendo la vida útil del pavimento (Coari, 2018).

**Carga repetitiva:** Es el tipo de carga más crítico en pavimentos flexibles, ya que resulta de la circulación continua de vehículos pesados sobre la misma trayectoria. Este fenómeno genera acumulación de esfuerzos en puntos específicos, favoreciendo la aparición de ahuellamientos y fisuración por fatiga.

## **2. Factores que Afectan la Aplicación de Cargas en Pavimentos Flexibles**

El impacto de las cargas vehiculares en los pavimentos flexibles depende de varios factores interrelacionados que determinan la magnitud de los esfuerzos inducidos en la estructura. Algunos de los principales factores incluyen:

**Peso y tipo de vehículo:** Los camiones de carga y los vehículos pesados generan mayores esfuerzos sobre el pavimento en comparación con los automóviles livianos. Un pavimento diseñado para tránsito ligero puede fallar prematuramente si se somete a cargas excesivas no previstas en su diseño estructural (Serrano & Montoya, 2021).

**Distribución de la carga en los ejes:** La cantidad de ejes y la presión ejercida por cada rueda afectan la distribución de las tensiones en el pavimento. Los vehículos con ejes simples generan concentraciones de carga más elevadas en comparación con aquellos que poseen ejes múltiples, lo que puede aumentar la tasa de deterioro del pavimento.

**Velocidad de circulación:** A mayor velocidad, las cargas dinámicas generan menores esfuerzos en el pavimento debido a la reducción del tiempo de contacto entre los neumáticos y la superficie de la vía. Sin embargo, velocidades bajas pueden inducir cargas más prolongadas y aumentar la fatiga del material (Coari, 2018).

Condiciones climáticas: Factores como la temperatura y la humedad pueden modificar la respuesta del pavimento ante las cargas aplicadas. En climas cálidos, el ligante asfáltico puede volverse más flexible, reduciendo la resistencia a la deformación plástica, mientras que en climas fríos, el pavimento puede volverse más rígido y susceptible a la fisuración (Serrano & Montoya, 2021).

### 3. Métodos de Evaluación de Cargas en Pavimentos Flexibles

Para analizar el impacto de las cargas de tránsito en los pavimentos flexibles, se emplean diversas metodologías y herramientas de medición. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran:

Deflectometría de impacto (FWD): Este método permite evaluar la capacidad estructural del pavimento midiendo la deflexión generada por la aplicación de una carga controlada. Los resultados ayudan a determinar la resistencia del pavimento y la necesidad de intervenciones de mantenimiento (Coari, 2018).

Ensayos de carga con placa: Se utilizan para medir la capacidad de soporte de la subrasante y las capas de base del pavimento. Se aplican cargas progresivas y se analiza la respuesta del material para estimar su capacidad portante (Serrano & Montoya, 2021).

Monitoreo de tráfico y pesaje dinámico: Se emplean sistemas de sensores en carretera para registrar el peso y la distribución de carga de los vehículos en tiempo real. Estos datos permiten ajustar el diseño del pavimento en función del tránsito real y optimizar estrategias de mantenimiento.

Simulación numérica de cargas vehiculares: Se utilizan modelos computacionales basados en el método de elementos finitos para predecir el comportamiento del pavimento bajo diferentes condiciones de carga y tráfico. Estas simulaciones ayudan a mejorar el diseño estructural y a evaluar posibles fallas antes de la construcción del pavimento (Serrano & Montoya, 2021).

### 4. Estrategias para Optimizar la Resistencia del Pavimento ante las Cargas de Tránsito



Para garantizar que un pavimento flexible pueda resistir las cargas vehiculares sin experimentar deterioro prematuro, es fundamental implementar estrategias de diseño y mantenimiento. Algunas de las soluciones más efectivas incluyen:

**Diseño estructural basado en carga de tránsito esperada:** La determinación del número de ejes equivalentes a un eje simple de 80 kN (ESAL) permite dimensionar correctamente el espesor de las capas del pavimento y seleccionar materiales con propiedades mecánicas adecuadas (Serrano & Montoya, 2021).

**Uso de mezclas asfálticas modificadas:** El empleo de asfaltos modificados con polímeros mejora la resistencia del pavimento a la deformación y la fatiga, permitiendo una mayor durabilidad frente a cargas repetitivas (Serrano & Montoya, 2021).

**Refuerzo de la base y subbase:** La incorporación de materiales estabilizados con cemento o el uso de geotextiles puede mejorar la capacidad de soporte del pavimento y reducir la propagación de esfuerzos hacia la subrasante (Coari, 2018).

**Mantenimiento preventivo y rehabilitación periódica:** La implementación de estrategias de mantenimiento, como el fresado y recapado asfáltico, permite restaurar la capacidad estructural del pavimento y prolongar su vida útil.

### Conclusión

La aplicación de cargas de tránsito en pavimentos flexibles es un factor determinante en su diseño y desempeño a largo plazo. Las cargas vehiculares generan esfuerzos dinámicos que afectan la capacidad estructural del pavimento y su nivel de transitabilidad. El análisis detallado de estos esfuerzos, mediante herramientas como la deflectometría de impacto, el pesaje dinámico y la simulación numérica, permite optimizar el diseño de la infraestructura vial. La implementación de estrategias de refuerzo y mantenimiento adecuadas garantiza un pavimento más resistente y duradero, reduciendo costos de rehabilitación y mejorando la seguridad y eficiencia del tránsito vehicular (Coari, 2018).

### 2.2.5.1 Tipos de cargas de tránsito

Las cargas de tránsito en pavimentos flexibles corresponden a las fuerzas ejercidas por los vehículos sobre la superficie de rodadura y su distribución a través de las diferentes capas estructurales del pavimento. Estas cargas influyen en el desempeño de la infraestructura vial, afectando su capacidad estructural, su resistencia al desgaste y su transitabilidad. Un pavimento diseñado de manera adecuada debe ser capaz de resistir y distribuir las cargas de tránsito sin experimentar deformaciones críticas ni fallas prematuras.

Las cargas de tránsito pueden clasificarse en función de su naturaleza, magnitud y forma de aplicación, ya que cada una genera un impacto diferente en la estructura del pavimento. Su estudio es fundamental para el diseño estructural y la planificación del mantenimiento vial, ya que permite dimensionar correctamente el espesor de las capas, seleccionar los materiales adecuados y establecer estrategias para mitigar su impacto sobre la infraestructura (Coari, 2018).

#### 1. Clasificación de las Cargas de Tránsito

Las cargas que actúan sobre los pavimentos flexibles pueden agruparse en cargas estáticas, dinámicas, de impacto y repetitivas, cada una con características y efectos específicos en la estructura del pavimento.

##### 1.1. Carga Estática

La carga estática es aquella que se aplica de manera constante sobre la superficie del pavimento sin variaciones en el tiempo. Este tipo de carga se genera cuando un vehículo se encuentra detenido, ejerciendo presión sobre la calzada. Aunque su impacto estructural es menor en comparación con las cargas dinámicas, puede afectar la compactación de las capas superficiales y acelerar la consolidación de los materiales del pavimento (Coari, 2018).

Un ejemplo de carga estática es la ejercida por camiones pesados en estaciones de pesaje o en áreas de carga y descarga, donde el pavimento puede experimentar



deformaciones localizadas si la base y la subbase no tienen la resistencia suficiente para soportar la presión aplicada por largos periodos de tiempo.

### **1.2. Carga Repetitiva**

Las cargas repetitivas son aquellas que se aplican de manera continua y cíclica sobre el pavimento debido al tránsito constante de vehículos. Este tipo de carga es el principal factor que contribuye al deterioro progresivo del pavimento, ya que genera acumulación de esfuerzos en puntos específicos, favoreciendo la fatiga del material y la formación de fisuras estructurales (Serrano & Montoya, 2021).

El impacto de las cargas repetitivas es mayor en carreteras de alto tráfico y en vías utilizadas por vehículos pesados, ya que las tensiones acumuladas pueden generar fisuración por fatiga, deformaciones plásticas y asentamientos diferenciales. Para mitigar estos efectos, el diseño del pavimento debe considerar el número de ejes equivalentes a un eje simple de 80 kN (ESAL), lo que permite dimensionar correctamente la estructura y garantizar su desempeño a lo largo del tiempo.

### **2. Factores que Influyen en la Aplicación de las Cargas de Tránsito**

El impacto de las cargas de tránsito en los pavimentos flexibles depende de múltiples factores, entre los que destacan:

**Peso del vehículo:** A mayor peso, mayor será la presión ejercida sobre la superficie del pavimento. Los vehículos de carga generan esfuerzos significativamente mayores que los automóviles livianos, lo que incrementa el desgaste y la deformación del pavimento.

**Distribución de la carga en los ejes:** La cantidad de ejes y la presión ejercida por cada neumático influyen en la propagación de las tensiones dentro del pavimento. Vehículos con ejes simples generan concentraciones de carga más altas en comparación con aquellos que poseen ejes múltiples, lo que puede acelerar el deterioro de la calzada (Serrano & Montoya, 2021).

**Velocidad de circulación:** A mayor velocidad, las cargas dinámicas tienden a generar menores deflexiones en la superficie del pavimento, mientras que a velocidades

bajas, la aplicación prolongada de la carga puede generar asentamientos diferenciales y deformaciones permanentes (Coari, 2018).

Condiciones climáticas: Factores como la temperatura, la humedad y la presencia de agua pueden modificar la respuesta del pavimento ante las cargas aplicadas. En climas cálidos, la mezcla asfáltica puede volverse más flexible y propensa a deformaciones, mientras que, en climas fríos, el pavimento puede volverse más rígido y susceptible a la fisuración por fatiga.

### **Conclusión**

El estudio de los tipos de cargas de tránsito en pavimentos flexibles es un aspecto clave en el diseño, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura vial. Las cargas pueden clasificarse en estáticas, dinámicas, de impacto y repetitivas, cada una con efectos específicos en la estructura del pavimento. Su correcta evaluación permite optimizar la resistencia del pavimento ante las condiciones de tráfico esperadas, asegurando su desempeño a lo largo del tiempo.

Para mitigar los efectos de las cargas de tránsito, es fundamental implementar estrategias de diseño estructural que consideren el peso del tráfico proyectado, la distribución de carga en los ejes y las condiciones climáticas de la zona. La combinación de ensayos de laboratorio, modelos computacionales y monitoreo en campo permite evaluar el impacto de las cargas sobre el pavimento y definir intervenciones adecuadas para prolongar su vida útil. Un análisis detallado de estos factores contribuye a la construcción de carreteras más seguras, eficientes y sostenibles (Coari, 2018).

#### **2.2.5.2 Métodos de simulación de cargas vehiculares**

La simulación de cargas vehiculares en pavimentos flexibles es una herramienta fundamental en el diseño, análisis y evaluación del desempeño de la infraestructura vial. Estos métodos permiten predecir el comportamiento del pavimento bajo diferentes condiciones de carga y tránsito, optimizando su capacidad estructural y su nivel de transitabilidad. Mediante técnicas de modelado y análisis computacional, es posible



estimar los efectos de las cargas dinámicas y repetitivas en la estructura del pavimento, lo que facilita la planificación de estrategias de mantenimiento y rehabilitación.

El uso de métodos de simulación ha permitido mejorar significativamente la eficiencia del diseño vial, ya que posibilita la evaluación de múltiples escenarios sin la necesidad de realizar ensayos físicos costosos. Estas simulaciones permiten analizar el impacto de factores como el peso del tránsito, la velocidad de circulación, la distribución de cargas en los ejes y las condiciones climáticas sobre el pavimento. Los resultados obtenidos a través de estos modelos sirven como base para la optimización de materiales, espesores y configuraciones estructurales que garanticen la durabilidad y eficiencia del pavimento (Coari, 2018).

### **1. Métodos de Simulación de Cargas Vehiculares**

Los métodos de simulación pueden clasificarse en modelos analíticos, modelos numéricos y modelos empíricos, cada uno con diferentes niveles de precisión y aplicaciones específicas.

#### **1.1. Modelos Analíticos**

Los modelos analíticos utilizan ecuaciones matemáticas para describir el comportamiento del pavimento bajo la acción de cargas vehiculares. Estos modelos se basan en principios de elasticidad y mecánica de materiales para predecir la distribución de esfuerzos y deflexiones en la estructura del pavimento. Algunos de los enfoques más utilizados incluyen:

**Teoría de capas elásticas múltiples:** Este modelo asume que el pavimento está compuesto por capas superpuestas con diferentes propiedades mecánicas y que se comportan de manera elástica ante la aplicación de cargas. Se utiliza para calcular las tensiones y deformaciones en cada capa del pavimento en función del tipo y magnitud de la carga aplicada (Serrano & Montoya, 2021).

**Teoría de elasticidad y plasticidad:** Permite evaluar la respuesta estructural del pavimento considerando la interacción entre la capa de rodadura, la base y la subbase.



Estos modelos ayudan a determinar la profundidad de las tensiones y predecir la fatiga del material bajo cargas repetitivas.

Modelos de deflexión y deformación: Se emplean para analizar la capacidad estructural del pavimento a partir de mediciones de deflexión. Métodos como el método de Odemark y el método de Burmister permiten estimar la rigidez del pavimento y predecir su comportamiento bajo diferentes condiciones de tráfico (Serrano & Montoya, 2021).

## 1.2. Modelos Numéricos

Los modelos numéricos utilizan técnicas computacionales para simular la respuesta del pavimento ante cargas vehiculares, permitiendo un análisis más detallado y preciso en comparación con los modelos analíticos. Estos métodos emplean algoritmos matemáticos avanzados para resolver ecuaciones de equilibrio y deformación en estructuras complejas. Algunos de los modelos más utilizados son:

Método de Elementos Finitos (FEM - Finite Element Method): Es el método más avanzado y preciso para simular la respuesta del pavimento bajo cargas vehiculares. Divide la estructura en pequeñas secciones (elementos finitos) y resuelve las ecuaciones de equilibrio para cada una de ellas, considerando factores como la elasticidad, plasticidad y fatiga del material.

Método de Diferencias Finitas (FDM - Finite Difference Method): Utiliza aproximaciones numéricas para resolver ecuaciones de equilibrio en sistemas de pavimento. Es útil para modelar procesos de deformación a largo plazo y evaluar el comportamiento del pavimento en función del tiempo y la repetición de cargas.

Modelado de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD - Computational Fluid Dynamics): Aunque es más utilizado en estudios de drenaje vial, este método permite analizar el impacto del agua en la adherencia de la capa de rodadura y su interacción con las cargas vehiculares (Serrano & Montoya, 2021).

Los modelos numéricos permiten evaluar el comportamiento de los pavimentos en condiciones reales de tránsito, incluyendo la influencia de factores ambientales y la

degradación progresiva de los materiales. Son ampliamente utilizados en estudios de diseño y rehabilitación de carreteras de alto tráfico (Coari, 2018).

### **1.3. Modelos Empíricos y Mecánico-Empíricos**

Los modelos empíricos se basan en datos obtenidos de ensayos experimentales y observaciones de campo para predecir el desempeño del pavimento bajo cargas vehiculares. Estos modelos han sido desarrollados a partir de estudios de comportamiento de pavimentos a lo largo del tiempo y son utilizados en el diseño y evaluación estructural de carreteras.

Modelo AASHTO 1993: Es el modelo empírico más utilizado para el diseño de pavimentos flexibles. Se basa en datos históricos obtenidos de ensayos de tráfico controlado y permite estimar el espesor del pavimento en función del tránsito esperado y las propiedades del suelo de fundación (Serrano & Montoya, 2021).

Modelo MEPDG (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide): Combina modelos mecánicos con datos empíricos para predecir el desempeño del pavimento. Este enfoque permite evaluar la evolución de fallas estructurales y funcionales a lo largo del tiempo, considerando la variabilidad de las condiciones climáticas y de tránsito.

Modelos de predicción de fatiga y ahuellamiento: Se utilizan para estimar la vida útil del pavimento en función de la acumulación de esfuerzos inducidos por las cargas repetitivas del tránsito. Son empleados en programas de gestión de pavimentos para optimizar estrategias de mantenimiento (Serrano & Montoya, 2021).

## **2. Aplicaciones de la Simulación de Cargas Vehiculares**

La simulación de cargas vehiculares tiene diversas aplicaciones en la ingeniería vial, entre las que destacan:

Optimización del diseño estructural: Permite determinar el espesor óptimo de cada capa del pavimento en función del tránsito proyectado y las condiciones del suelo de fundación (Serrano & Montoya, 2021).



Evaluación del desempeño del pavimento: Mediante simulaciones numéricas, es posible predecir el deterioro progresivo del pavimento y estimar su vida útil bajo diferentes escenarios de carga.

Análisis de fallas estructurales: Facilita la identificación de zonas críticas donde se pueden desarrollar fisuras, ahuellamientos o asentamientos diferenciales debido a la acción de cargas vehiculares (Coari, 2018).

Diseño de estrategias de mantenimiento: Ayuda a definir el momento óptimo para la aplicación de medidas de rehabilitación, como el fresado y recapado asfáltico, reduciendo costos de intervención y prolongando la vida útil del pavimento (Serrano & Montoya, 2021).

### **Conclusión**

Los métodos de simulación de cargas vehiculares en pavimentos flexibles permiten evaluar la respuesta estructural de la infraestructura vial ante diferentes condiciones de tránsito y carga. Los modelos analíticos, numéricos y empíricos proporcionan herramientas avanzadas para predecir el comportamiento del pavimento, optimizar su diseño y planificar estrategias de mantenimiento (Coari, 2018).

El uso de modelos computacionales como el método de elementos finitos y el modelo MEPDG ha revolucionado el análisis de pavimentos, permitiendo mejorar la precisión en la evaluación de esfuerzos y deformaciones. La implementación de estas metodologías es clave para garantizar la sostenibilidad y eficiencia de las carreteras, minimizando costos de mantenimiento y maximizando la seguridad y comodidad de los usuarios.

## **2.3 Marco conceptual**

### **2.3.1 Construcción de pavimentos**

La construcción de pavimentos es un proceso esencial en la infraestructura vial, involucrando la planificación, diseño y ejecución de superficies para uso vehicular y peatonal (Serrano & Montoya, 2021).

### **2.3.2 Implicaciones técnicas**

Las implicaciones técnicas en la construcción son para la aplicación de conceptos de ingeniería, selección de materiales, diseño estructural y metodologías que garanticen la estabilidad y utilidad del proyecto (Tho'atin et al., 2016).

### **2.3.3 Capacidad estructural**

La capacidad estructural en pavimentos flexibles se refiere a la resistencia y estabilidad que posee una vía para soportar las cargas vehiculares sin experimentar deformaciones excesivas ni fallas prematuras (Rifai et al., 2020).

### **2.3.4 Nivel de transitabilidad**

El nivel de transitabilidad en pavimentos flexibles se refiere a la facilidad con la que los vehículos pueden circular de manera segura, cómoda y eficiente sobre una vía. Este concepto está directamente relacionado con la regularidad superficial (Morales, 2019).

### **2.3.5 Cargas de tránsito**

Las cargas de tránsito en pavimentos flexibles representan las fuerzas ejercidas por los vehículos sobre la superficie de rodadura y su distribución a través de las distintas capas estructurales. Estas cargas pueden clasificarse en estáticas, dinámicas, de impacto y repetitivas, cada una con efectos distintos en la resistencia y durabilidad del pavimento (Freire, 2024).

### **2.3.6 Pavimento flexible**

El pavimento flexible es un tipo de infraestructura vial compuesto por múltiples capas de materiales granulares y asfaltos diseñados para distribuir eficientemente las cargas de tránsito hacia la subrasante (Tho'atin et al., 2016).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación se refiere a la recopilación de procesos, técnicas y herramientas utilizadas para recopilar, analizar e interpretar datos en un estudio científico. El objetivo es garantizar la validez, la confiabilidad y la objetividad de los resultados recopilados, por lo que permite una respuesta sistemática a los objetivos definidos. Se definen componentes fundamentales como la metodología de investigación, el tipo de estudio, el diseño metodológico, las técnicas de recopilación de datos y los procesos analíticos (Alam, 2023). La selección de la metodología es crucial para obtener conclusiones correctas basadas en evidencia empírica.

La metodología utilizada en la ingeniería de carreteras y el análisis de pavimento con frecuencia combina técnicas cuantitativas y experimentales para evaluar la eficacia estructural y funcional de la infraestructura. Las pruebas de laboratorio y de campo se realizan para determinar características como la capacidad de carga, la deflexión y la rugosidad del pavimento. Además, los modelos de computadora se utilizan para simular el rendimiento del pavimento en diversas condiciones de tráfico y carga. La integración de estas técnicas proporciona una visión exhaustiva sobre la durabilidad y la efectividad de los pavimentos flexibles, lo que mejora la toma de decisiones sobre el diseño y el mantenimiento.

### 3.1 Enfoque de la investigación

La metodología de investigación se refiere al conjunto de procedimientos y técnicas sistemáticas que se utilizan para recolectar, analizar e interpretar datos con el fin de resolver un problema específico o responder a una pregunta de investigación. Esta metodología puede ser cualitativa, cuantitativa o mixta, y se selecciona en función del objetivo del estudio, los tipos de datos requeridos y el enfoque general de la investigación. Cada tipo de metodología proporciona diferentes enfoques para abordar los fenómenos estudiados, asegurando la validez y la confiabilidad de los resultados obtenidos (Alam, 2023).

El estudio sigue un enfoque cuantitativo porque se enfoca en la medición precisa y el análisis numérico de la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad del pavimento. Este enfoque permite obtener datos cuantificables sobre la deflexión del pavimento mediante la deflectometría y la medición de la rugosidad de la superficie a través del Índice de Rugosidad Internacional (IRI). A través de la aplicación de estos métodos, se busca identificar relaciones y patrones estadísticamente significativos que permitan evaluar objetivamente el estado del pavimento y su capacidad para soportar cargas de tránsito. Además, el uso de mediciones estandarizadas y procedimientos controlados permite asegurar la replicabilidad de los resultados, una característica fundamental del enfoque cuantitativo, que facilita la comparación y análisis de los datos para tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y la mejora de la infraestructura vial.

### 3.2 Tipo de la investigación

La clasificación de la investigación está determinada por los objetivos y atributos del estudio, dividiéndolo en categorías fundamentales y aplicadas. La investigación fundamental busca generar conocimiento teórico original sin una aplicación práctica inmediata, mientras que la investigación aplicada se centra en resolver problemas específicos en un contexto definido. Además, según su marco metodológico, los estudios



pueden clasificarse como experimentales, en el que se manipulan las variables para evaluar sus efectos, o no experimentales, donde los fenómenos se investigan sin intervención directa (Arias et al., 2016).

La investigación es aplicada, que busca avanzar en el conocimiento que mejora la infraestructura vial mediante la evaluación del pavimento flexible en condiciones de tráfico reales. Esta investigación se clasifica como se aplicada, ya que tiene como objetivo resolver un problema específico en la ruta Juliaca - Paucarcolla, proporcionando información significativa para mejorar su diseño, mantenimiento y rehabilitación.

### **3.3 Nivel de la investigación**

El grado de investigación indica el alcance del examen del fenómeno del estudio, clasificado como descriptivo, correlacional, explorativo y exploratorio (Alam, 2023). Las características del tema de la investigación se describen descriptivamente, sin establecer correlaciones entre las variables.

La investigación es descriptiva, ya que busca examinar la relación causal entre las cargas de tráfico aplicadas y la respuesta estructural del pavimento flexible. Se describirán las condiciones de pavimento actuales, y se hará un esfuerzo para aclarar cómo las diferentes magnitudes de carga afectan su rendimiento con el tiempo. Además, se incorporan componentes descriptivos y correlacionales, ya que un diagnóstico exhaustivo de problemas de pavimento es crucial, delinee las características físicas y mecánicas que caracterizan su condición. La correlación entre la capacidad estructural y la transitabilidad se determinará a través del estudio de datos de campo, lo que facilita la comprensión de cómo las cargas de tráfico influyen en la deformación y degradación de la carretera.

### **3.4 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es el marco metodológico utilizado para estructurar y organizar un estudio, determinando las técnicas para la recopilación, el análisis e

interpretación de los datos. El objetivo es determinar la validez y confiabilidad de los hallazgos identificando si la investigación será experimental o no experimental, longitudinal o transversal, y correlacionales o explicativas, entre otras clasificaciones. Un diseño definido explícitamente facilita la alineación precisa con los objetivos establecidos, por lo tanto, mejora los procedimientos y recursos utilizados en la investigación (Alam, 2023).

El diseño de la investigación es no experimental. El objetivo es evaluar la integridad estructural del pavimento flexible en la carretera Juliaca - Paucarcolla sin alterar su composición o afectar su rendimiento en condiciones de tráfico. Este diseño correlacional busca determinar la relación entre la capacidad estructural del pavimento y el nivel de transitabilidad, considerando el impacto de las cargas de vehículos aplicados. Este método facilita la detección de tendencias y patrones que aclaran el comportamiento del pavimento bajo el tráfico, lo que mejora la toma de decisiones con respecto al mantenimiento y la reparación.

### **3.5 Método de la investigación**

El método científico es un enfoque sistemático y estructurado utilizado para investigar fenómenos, adquirir conocimiento nuevo o corregir información previamente establecida. Consiste en una serie de pasos ordenados, que incluyen la observación de un fenómeno, la formulación de una hipótesis, la experimentación y la recopilación de datos, el análisis de los resultados y la formulación de conclusiones. Este método es fundamental en las ciencias ya que permite obtener resultados verificables, reproducibles y objetivos, a través de la aplicación de pruebas rigurosas y el análisis crítico de los datos obtenidos. Su principal objetivo es generar conocimiento confiable y comprensible que pueda ser utilizado para explicar fenómenos o predecir resultados en futuras situaciones. (Alam, 2023).

En el estudio se utiliza el método científico, ya que depende de la recopilación de datos numéricos y el análisis estadístico de los descubrimientos resultantes. Este método permite una evaluación precisa e imparcial de las variables relacionadas con la capacidad



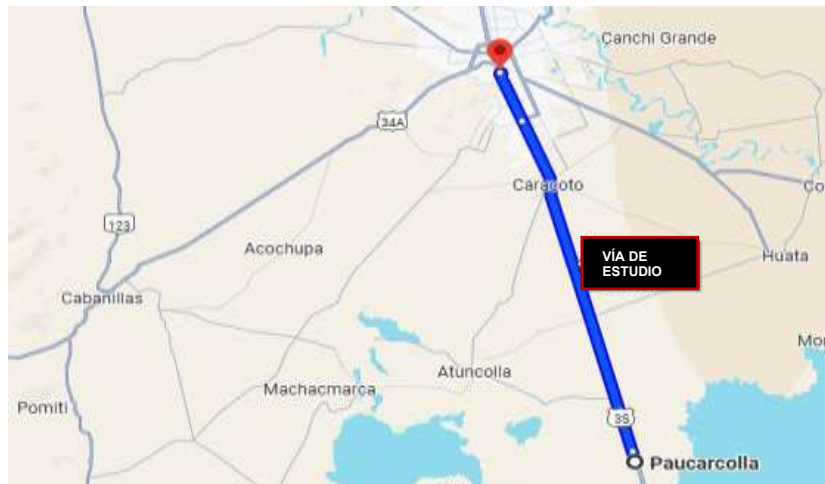
estructural y la transitabilidad, lo que garantiza la confiabilidad de los resultados. Se realizarán evaluaciones de campo y laboratorio, lo que abarca la deflectometría de impacto, las evaluaciones de rugosidad, el análisis de ahulelación y los exámenes de carga del vehículo. Los datos obtenidos se examinarán utilizando instrumentos estadísticos para discernir correlaciones y tendencias basadas en evidencia empírica.

### **3.6 Población y muestra de la investigación**

#### **3.6.1 Población**

La población en un estudio se refiere a toda la colección de bienes, individuos o unidades de análisis que poseen características comunes y están bajo investigación (Hernández et al., 2021). Una población puede clasificarse como finita o infinita dependiendo de la practicidad de enumerar a todos sus miembros. La delineación precisa de la población es esencial para garantizar que los resultados de la investigación sean representativos y aplicables a una cohorte más amplia (Arias et al., 2016).

La población de estudio incluye todo el pavimento flexible de la carretera Juliaca - Paucarcolla, que incorpora todos los componentes de la infraestructura vial. Se evaluarán segmentos que demuestran una conservación óptima y aquellos con deficiencias estructurales claras, lo que permite un análisis exhaustivo de las condiciones de pavimento. Este análisis investigará el grosor de la capa, la composición del material, la capacidad de carga y la correlación del pavimento con las variables climáticas y de tráfico dentro de esta comunidad. Esta descripción incluye una gama típica de características estructurales y funcionales, asegurando que los resultados del estudio sean relevantes para toda la vía.

**Figura 1***Mapa de ubicación***Nota.** Elaborado por el autor

### 3.6.2 Muestra

La muestra representa un subconjunto de la población seleccionada para la investigación, destinada a obtener datos representativos sin analizar toda la población (Kerlinger y Lee, 2020). La selección puede ser probabilística, donde todos los elementos tienen la misma posibilidad de ser seleccionados o no probabilísticos, cuando la selección se basa en ciertos criterios. La selección de muestra adecuada facilita las reducciones en el costo y el tiempo en la investigación mientras se mantiene la validez de los resultados (Arias et al., 2016).

La muestra no es probabilística y representativa, lo que significa que la selección no será aleatoria, pero se ajustará a los requisitos tecnológicos y logísticos para facilitar la evaluación precisa del pavimento. Los estados particulares de la ruta Juliaca - Paucarcolla se designarán para la implementación de pruebas y mediciones de las variables de investigación. Estos sectores se seleccionarán en función de criterios como el volumen de tráfico, la degradación del pavimento, la inconsistencia material y la incidencia de fallas estructurales. La muestra incluirá regiones con alto volumen de tráfico y aquellas con un



tránsito mínimo, lo que permite una comparación del rendimiento del pavimento en diferentes condiciones operativas.

### **3.7 Técnicas e instrumentos**

#### **3.7.1 Técnicas**

Las técnicas de investigación se refieren a las metodologías específicas utilizadas para recopilar, manejar y analizar datos en un estudio. La selección correcta garantiza la validez y confiabilidad de los resultados, por lo tanto, optimizando el proceso de obtener información relevante para lograr los objetivos del estudio (Arias et al., 2016). Las técnicas de investigación científica se clasifican en técnicas de recopilación de datos, técnicas de análisis y técnicas de interpretación, cada una cumpliendo roles específicos en el proceso de investigación.

Las técnicas de recopilación de datos incluyen métodos como observación, encuestas, entrevistas y experimentos, lo que permite la adquisición directa de información de los sujetos de estudio (Creswell y Creswell, 2023). Por el contrario, los métodos analíticos incluyen técnicas estadísticas, marcos matemáticos y herramientas especializadas que facilitan la interpretación de datos. En última instancia, los métodos interpretativos ayudan a aclarar los hechos obtenidos, vinculándolos con conceptos y evidencia establecidos para obtener conclusiones bien fundadas.

La aplicación correcta de estas técnicas es esencial para la confiabilidad del estudio, ya que reduce los sesgos y garantiza que los datos recopilados reflejen con precisión la realidad investigada. En los estudios de evaluación de ingeniería e infraestructura, se utilizan técnicas experimentales como pruebas de resistencia, análisis de deflexión y simulaciones por computadora para evaluar la integridad estructural de los materiales de construcción (Arias et al., 2016). La selección de técnicas apropiadas depende del tipo de investigación, los objetivos específicos y los atributos del fenómeno que se está estudiando.

Técnicas de recolección de datos:

- Observación estructurada
- Levantamiento de información en campo
- Medición de deflexiones mediante deflectómetro de impacto (FWD)
- Evaluación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)
- Análisis de tránsito vehicular
- Evaluación visual del estado del pavimento

### **3.7.2 Instrumentos**

Los instrumentos de investigación son herramientas diseñadas para la recopilación, medición y análisis de datos en la investigación científica. La selección es esencial para garantizar la validez, confiabilidad y precisión de los datos generados, ya que permite la cuantificación o caracterización de las variables de interés. El aparato empleado en la investigación puede ser cuantitativo o cualitativo, dependiendo del marco metodológico, y puede incluir cuestionarios, encuestas, dispositivos de medición, software analítico y pruebas experimentales (Arias et al., 2016). En estudios de evaluación de ingeniería y pavimento, los instrumentos generalmente denotan dispositivos de medición especializados diseñados para evaluar la integridad estructural de la infraestructura vial.

En el análisis de pavimento flexible, los instrumentos empleados incluyen dispositivos de medición de deflexión, como el deflectómetro de peso que cae (FWD), que permite la evaluación de la capacidad de soporte del pavimento en circunstancias de carga dinámica. Además, los perfiles láser se utilizan para medir la rugosidad de la superficie utilizando el índice de rugosidad internacional (IRI), lo que permite la evaluación de la calidad del rodamiento y su impacto en la transitabilidad. Los sensores de presión y carga se utilizan para evaluar la distribución de la fuerza dentro de las capas de pavimento, mientras que las cámaras termográficas detectan áreas de deterioro estructural que son imperceptibles a simple vista.

El uso de estos instrumentos garantiza que los datos recopilados son representativos y se ajusten a los estándares internacionales, lo que mejora su interpretación y aplicación en la planificación del mantenimiento de carreteras. La fusión de las mediciones de campo con técnicas de modelado computacional, como el software de elementos finitos, mejora el examen del rendimiento del pavimento en diversas condiciones de tráfico y estrés. De esta manera, los instrumentos facilitan tanto la recopilación de datos como el desarrollo de modelos predictivos para mejorar la longevidad y la eficacia de la infraestructura vial.

### **3.8 Validación y confiabilidad del instrumento**

#### **3.8.1 Validación de los instrumentos**

En el marco de nuestra investigación, la validación de los instrumentos fue realizada por el Laboratorio de Suelos de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, ubicada en la ciudad de Juliaca.

La validación de los instrumentos en una investigación es el proceso de evaluar la fiabilidad, precisión y relevancia de los dispositivos de recopilación de datos empleados. Esta técnica es necesaria para garantizar que los resultados obtenidos sean confiables y representativos, minimizando los errores y los sesgos en la medición (Hernández et al., 2021). La validación garantiza que los datos adquiridos representan con precisión la realidad de los fenómenos examinados, lo que mejora la calidad y la solidez del estudio.

Se emplean varios métodos para validar los instrumentos, incluida la validez del contenido, la validez del criterio y la validez. La validez del contenido se refiere a la evaluación por parte de los expertos de los instrumentos para determinar si miden con precisión las construcciones previstas. La validez de los criterios se determina yuxtaponiendo los hallazgos adquiridos con mediciones previas o con puntos de referencia establecidos, como los estándares internacionales (AASHTO, ASTM, PCI). En última instancia, la validez de la construcción confirma la consistencia interna del instrumento,



garantizando que las mediciones se alineen con las teorías y modelos que sustentan la investigación (Arias et al., 2016).

En la investigación de pavimento flexible, la validación del instrumento implica la calibración de los dispositivos de medición, la comparación de resultados con datos históricos y la implementación de evaluaciones de confiabilidad tanto en el campo como en los experimentos de laboratorio. Los instrumentos como el desvío de impacto (FWD) y el perfilómetro láser requieren calibraciones regulares para garantizar la precisión de los datos de desviación y rugosidad. La recurrencia de pruebas en varias secciones de pavimento permite la evaluación de la estabilidad de los resultados, lo que mejora la confiabilidad de los datos recopilados.

La validación de los instrumentos mejora la credibilidad de la investigación, facilita las comparaciones con estudios previos y garantiza la aplicabilidad de los hallazgos en futuras investigaciones o en la planificación del mantenimiento de la infraestructura vial. En consecuencia, es un procedimiento crucial en metodología de investigación, particularmente en investigaciones donde la precisión de los datos es vital para la toma de decisiones.

### **3.8.2 Confiabilidad de instrumentos**

La confiabilidad de los instrumentos se refiere a la capacidad de una herramienta de medición para producir resultados precisos, consistentes y reproducibles en múltiples aplicaciones en un estudio. Un instrumento se considera confiable cuando produce constantemente datos estables e imparciales en condiciones similares, lo que garantiza la objetividad y validez del estudio. La confiabilidad es un criterio esencial en la investigación científica, ya que reduce el margen de error y mejora la precisión de los datos generados.

Se utilizan diversas técnicas estadísticas y protocolos experimentales para evaluar la confiabilidad del aparato. En la investigación experimental y técnica, la confiabilidad se determina mediante la calibración de los instrumentos de medición, la comparación de



mediciones con valores de referencia y la repetición de pruebas en condiciones controladas para evaluar la variabilidad de los datos generados.

En el análisis de pavimento flexible, la confiabilidad de los instrumentos es crucial para garantizar la precisión en la evaluación de la capacidad estructural y el volumen de tráfico. Los instrumentos como el defectómetro de impacto (FWD), los perfiles láser y los sensores de carga requieren calibraciones de rutina para minimizar las inexactitudes y alcanzar mediciones precisas de desviación del pavimento, aspereza y pegajosidad. Además, la prueba repetida de muchas secciones de pavimento permite la evaluación de la consistencia de los datos y confirma que los valores obtenidos representan con precisión el verdadero rendimiento de la infraestructura vial.

La confiabilidad del equipo garantiza la precisión de los resultados y mejora la optimización de la toma de decisiones en la gestión de la infraestructura vial. Por lo tanto, la confiabilidad del equipo es un factor vital en el estudio de ingeniería vial, asegurando que los datos recopilados sean reproducibles y pertinentes para futuras investigaciones.

### **3.9 Procedimiento y recolección de datos**

El procedimiento y la recopilación de datos en una investigación denotan las metodologías y procedimientos empleados para obtener información pertinente que ayuda a cumplir con los objetivos del estudio. Este proceso debe ser sistemático, estructurado y replicable, asegurando que los datos adquiridos sean procesables, confiables y representativos del fenómeno en estudio. La recopilación de datos puede realizarse utilizando diversas metodologías, incluidas mediciones experimentales, encuestas, observaciones directas o análisis de documentos, dependiendo de la estrategia de investigación.

El proceso de recopilación de datos comprende numerosas etapas esenciales. La población de estudio se delinea y se elige una muestra representativa para garantizar que incorpore las características necesarias para el análisis. Posteriormente, se emplean



instrumentos y procedimientos de medición, tales sensores de carga, dispositivos de medición estructural o software de modelado en investigación cuantitativa. Posteriormente, los instrumentos se utilizan en el campo o laboratorio, con los datos adquiridos registrados en formularios apropiados para un análisis posterior. La evaluación y verificación de los datos se realizan para minimizar los errores y garantizar su confiabilidad (Arias et al., 2016).

La investigación sobre pavimentos flexibles implica la recopilación de datos que utiliza tecnología especializada y procedimientos de laboratorio para evaluar la capacidad estructural y la transitabilidad. Instrumentos como el deflectómetro de peso que cae (FWD) detectan la deflexión del pavimento, el perfil de láser evalúa la rugosidad de la superficie y los sistemas de información geográfica (SIG) examinan las características georreferenciales de la carretera. Además, los datos recopilados se aumentan mediante análisis de tráfico de vehículos, evaluaciones climáticas y estudios de deterioro del pavimento, proporcionando una visión integral del rendimiento estructural de la carretera en condiciones de carga reales (Barboza et al., 2021).

La planificación y la recopilación de datos de procedimientos meticulosos son esenciales para garantizar la autenticidad y la fiabilidad de los resultados. Un método organizado adecuadamente reduce los errores de medición, mitiga los sesgos en la interpretación y mejora el análisis estadístico de los datos adquiridos. También garantiza que la información adquirida pueda utilizarse para formular planes de mantenimiento y optimización para el diseño del pavimento, facilitando la toma de decisiones basada en hechos científicos.

### **3.9.1 Procedimiento y recolección de información**

#### **Obtención de información:**

La información recolectada permitirá evaluar la resistencia del pavimento bajo condiciones reales de carga vehicular y su impacto en la transitabilidad.

La recolección de datos se realizará en tres fases principales:

**Fase de levantamiento de información secundaria:**

En esta fase inicial, se realizó una exhaustiva revisión de los antecedentes sobre el estado actual de la vía Juliaca – Paucarcolla, con un enfoque en la evolución histórica de la carretera, los trabajos de mantenimiento previos realizados, y las características generales del pavimento. Se llevó a cabo un análisis detallado de los datos previos sobre el tráfico vehicular, evaluando tanto los volúmenes de tránsito como los tipos de vehículos predominantes, lo que permitió entender la demanda que enfrenta la carretera. Además, se revisaron las condiciones climáticas de la región, dado que el clima tiene un impacto directo en la durabilidad y comportamiento del pavimento a lo largo del tiempo. A continuación, se realizaron consultas exhaustivas de las normativas técnicas internacionales aplicables, como AASHTO, ASTM y PCI, para asegurar que las evaluaciones se ajustaran a los estándares internacionales más relevantes en cuanto a resistencia estructural y transitabilidad. También se consultaron estudios previos sobre la capacidad estructural de vías similares, lo que proporcionó un contexto valioso para interpretar los datos obtenidos en el campo.

**Fase de obtención de información en campo:**

- La siguiente fase consistió en realizar mediciones directas sobre el pavimento, utilizando equipos de alta precisión para obtener datos técnicos relevantes sobre su comportamiento estructural y su capacidad de tránsito. Se empleó un deflectómetro de impacto (FWD) para evaluar la respuesta estructural del pavimento ante cargas aplicadas, lo que proporcionó información sobre la elasticidad y la capacidad de soporte de la estructura bajo condiciones de carga vehicular. Paralelamente, se midió el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), un indicador esencial para medir la calidad del rodamiento de la vía y determinar su



transitabilidad. Este índice es un parámetro clave para evaluar el confort y la seguridad de los vehículos al transitar. Se realizaron también ensayos de carga con placa, con el fin de analizar la capacidad de soporte del pavimento y evaluar cómo este se deforma bajo el impacto de cargas de tránsito pesado, lo cual es fundamental para identificar áreas débiles que podrían necesitar refuerzo. Además, se inspeccionaron visualmente diversos tramos de la vía para medir ahuellamiento y fisuración, utilizando equipos especializados para medir la profundidad de las huellas, lo que permitió observar el grado de desgaste del pavimento. Para evaluar el tráfico, se instalaron contadores automáticos de vehículos a lo largo de la vía, lo que permitió un registro exacto del flujo vehicular y la clasificación de los tipos de vehículos que transitan por la carretera, lo cual es esencial para estimar la demanda futura sobre el pavimento.

### **Fase de procesamiento y análisis de datos:**

- La fase final del proceso de recolección de información involucró el análisis estadístico de los datos obtenidos durante las mediciones en campo. Esta fase fue crucial para interpretar los resultados y extraer conclusiones útiles para la evaluación del pavimento. Los datos fueron procesados y comparados con los estándares internacionales y los estudios previos sobre pavimentos similares, con el objetivo de determinar si la vía Juliaca – Paucarcolla cumplía con los criterios establecidos para transitabilidad y resistencia estructural. A partir de esta comparación, se elaboraron modelos predictivos sobre el comportamiento del pavimento en el futuro, lo que permitió predecir la evolución del deterioro y proponer estrategias adecuadas para la rehabilitación y mantenimiento de la vía. Además, se identificaron los factores críticos que afectan la capacidad estructural y la transitabilidad del pavimento, lo que facilita la toma de decisiones para optimizar la infraestructura vial.

La correcta obtención de información garantizará que los datos recopilados sean precisos, representativos y útiles para la formulación de estrategias de optimización del pavimento. Además, permitirá identificar los factores críticos que afectan la capacidad estructural y transitabilidad de la vía, facilitando la toma de decisiones en la planificación de infraestructura vial en la región.

**Figura 2**

*Procedimiento de la investigación*



**Nota.** Elaborado por el autor

### 3.10 Procesamiento de datos y análisis

El procesamiento y el análisis de datos son esenciales en la investigación, ya que permite la organización, la purificación, la transformación y la inspección de la información adquirida para producir resultados confiables y justificados. Este enfoque implica la aplicación de métodos estadísticos, matemáticos y computacionales para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos. Un marco de procesamiento de datos apropiado reduce los errores de interpretación y mejora la toma de decisiones basada en la evidencia empírica (Arias et al., 2016).



El procesamiento de datos consta de varias etapas. Inicialmente, se realiza una purificación y verificación de los datos adquiridos para identificar posibles inconsistencias o hallazgos anómalos. Los datos se organizan en bases de datos estructuradas, lo que permite el análisis a través de métodos estadísticos. Estudios cuantitativos, incluido el análisis de pavimento flexible, utilizan metodologías como la regresión lineal, el análisis de varianza y los modelos de correlación para discernir patrones y correlaciones entre variables, como la capacidad estructural y la transitabilidad.

El software especializado, mejora el análisis de datos en la investigación de ingeniería vial al simular el rendimiento del pavimento en diversas condiciones de estrés. Los métodos de simulación de elementos finitos se utilizan para evaluar el curso del deterioro del camino y para analizar la efectividad de los diferentes planes de mantenimiento. Los resultados se verifican en comparación con los estándares globales, incluidos AASHTO y ASTM, asegurando el cumplimiento de los criterios de calidad establecidos.

Los datos analizados se transmiten mediante la creación de informes técnicos, gráficos y tablas comparativas, mejorando así la comunicación de los resultados del estudio. La ejecución efectiva del procesamiento y el análisis de datos permite la validación de hipótesis y la creación de modelos predictivos que optimizan el mantenimiento del pavimento y mejoran el diseño de infraestructura para la seguridad y la eficiencia (Arias et al., 2016).

El procesamiento de datos comenzará con el examen y la verificación de la información adquirida a través de dispositivos como el deflectómetro de impacto (FWD). Posteriormente, los datos se organizarán sistemáticamente en bases de datos y se analizarán utilizando software estadístico (SPS, R, MATLAB) para discernir tendencias y conexiones entre la capacidad estructural y la transitabilidad. Además, las metodologías de modelado por computadora se emplearán para simular el rendimiento del pavimento en



diversas condiciones de carga, lo que facilita la predicción del deterioro y la evaluación de medidas de mantenimiento efectivas.

El análisis de datos implicará comparar los resultados adquiridos con las reglas internacionales (AASHTO, ASTM, PCI) para determinar si la ruta cumple con la transitabilidad y los estándares de resistencia estructural. Se realizarán regresiones estadísticas, análisis de varianza (ANOVA) y modelos de correlación para determinar correlaciones significativas entre variables como la desviación, la aspereza, el volumen de tráfico. Los resultados se analizarán y mostrarán a través de imágenes, tablas comparativas e informes técnicos, ayudando en el desarrollo de recomendaciones para la optimización del pavimento y el mantenimiento a largo plazo.

Esta metodología garantizará que los datos sean precisos, representativos y reproducibles, estableciendo una base científica sólida para la toma de decisiones en la gestión de la infraestructura vial y asegurando que la ruta Juliaca - Paucarcolla mantenga las condiciones operativas y la seguridad ideales para los usuarios.



## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Información general del proyecto de estudio

La información general del proyecto de estudio comprende los elementos esenciales que definen y delimitan la investigación, proporcionando una visión clara de su propósito, alcance y metodología. Incluye aspectos clave como la problemática abordada, los objetivos específicos, la ubicación del estudio y la justificación de su desarrollo. Además, describe el enfoque metodológico adoptado, especificando el tipo de investigación, su diseño, los métodos de recolección de datos y las herramientas utilizadas para el análisis de la información. La correcta estructuración de estos componentes permite una planificación eficiente del estudio y facilita la interpretación de los resultados.

El desarrollo del proyecto se enfoca en la evaluación de una problemática específica dentro de un contexto determinado, aplicando métodos analíticos y experimentales para obtener datos precisos y verificables. Se emplean técnicas avanzadas de medición para examinar el comportamiento estructural y funcional de los elementos estudiados, asegurando la confiabilidad de los resultados obtenidos. A partir de esta información, se establecen estrategias para la optimización y mejora de las condiciones evaluadas, garantizando que el estudio no solo aporte conocimiento teórico, sino que también tenga aplicaciones prácticas que contribuyan a la toma de decisiones informadas.

**Figura 3**

*Fragmentos de la obra*



**Nota.** Elaborado por el autor

### Coordenadas UTM

**Tabla 2**

*Lugar en coordenadas*

REFERENCIAS	UTM	ESTE	NORTE
OVALO SALIDA PUNO (UANCV)	INICIO	78554.045m	86979.815m
OVALO ENTRADA DEL DISTRITO PAUCARCOLLA	FINALIZA	386842.299m	8258972.31m

**Nota.** Elaborado por el autor

La tabla presentada proporciona información detallada sobre la ubicación geográfica del área de estudio a través de coordenadas UTM, especificando los valores de este y norte tanto para el punto de inicio como para el punto de finalización de la vía en análisis. En el punto de partida, las coordenadas registradas corresponden a 78554.045 m en la dirección este y 86979.815 m en la dirección norte, mientras que el punto final se encuentra en 386842.299 m este y 8258972.31 m norte. Estos datos permiten establecer con precisión

la extensión del tramo evaluado, facilitando su georreferenciación en estudios topográficos y de infraestructura vial.

**Tabla 3***Cantidad de tramos y otros*

Ensayo	Longitud del tramo (m)	Distancia entre puntos de muestreo (m)	Nº de puntos de muestreo	Nº de puntos de muestreo margen derecho	Nº de puntos de muestreo margen izquierdo
<b>Deflectometría VIGA VENKELMAN</b>	20000	500	40	20	20

**Nota.** Elaborado por el autor

Se establece una distancia de 500 metros entre cada punto de muestreo, lo que da un total de 40 puntos de muestreo a lo largo del tramo evaluado. Además, se detalla la distribución de estos puntos en los márgenes de la vía, asignando 20 puntos de muestreo en el margen derecho y 20 puntos en el margen izquierdo. Esta metodología permite un análisis representativo de la deflectometría en la infraestructura vial, asegurando una adecuada evaluación de las condiciones del pavimento.

### Índice medio diario

**Tabla 4***Media diaria de tránsito*

Días de la semana	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo
<b>Vehículos al día</b>	1574	1487	1974	1641	1741	1984	1657
<b>IMDA</b>	1636	FC	0.95	IMDS	1723	total	12058

**Nota.** Elaborado por el autor

La tabla muestra la media diaria de tránsito vehicular en un tramo específico, detallando la cantidad de vehículos que circulan por día durante una semana. Se observa una variabilidad en el flujo vehicular, con valores que oscilan entre 1,487 vehículos el martes y 1,974 vehículos el miércoles, lo que indica una fluctuación en la demanda de la vía. Adicionalmente, se incluyen indicadores clave como el Índice Medio Diario Anual (IMDA), que alcanza un valor de 1,636 vehículos/día, y el Índice Medio Diario semanal (IMDS) con 1,723 vehículos/día, lo que refleja una leve variación en el tráfico durante el fin de semana. También se reporta un factor de corrección (FC) de 0.95, el cual permite ajustar los cálculos de proyección del tránsito, y un total acumulado semanal de 12,058 vehículos, proporcionando una visión integral del flujo vehicular en la zona analizada.

#### **4.1.1 Capacidad estructural por medio de aplicación de cargas**

##### **Deflexión realizada en el lugar**

La evaluación de las deflexiones en el pavimento flexible se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito en la "Prueba MTC E 1002 - Determinación de la desviación en los pavimentos utilizando el haz de Benkelman", como se especifica en el Manual de Pruebas de Materiales.

Antes de comenzar las mediciones, el peso del vehículo de prueba se confirmó a 8,200 kg (18,000 lb). Además, se determinó que la presión de inflación de los neumáticos era de 80 psi (5,6 kg/cm<sup>2</sup>), por lo que asegurar la distribución adecuada de peso en la superficie de la carretera.

Como resultado, los sitios de evaluación se establecieron a lo largo de la ruta, con un espacio de 500 metros entre cada medición, marcado por una línea transversal al eje de la carretera. Se estableció una referencia longitudinal a 0,90 metros de la ventaja del carril, de conformidad con los estándares técnicos del protocolo de prueba, dado el ancho general del carril de 3.60 metros.

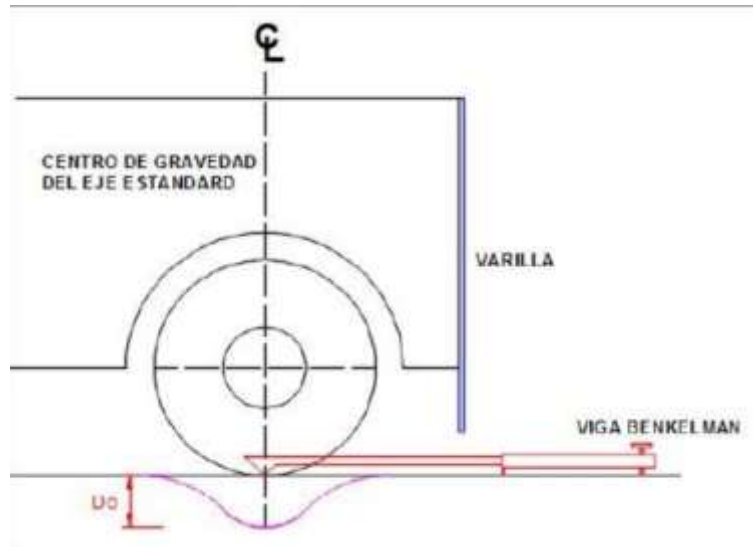
**Tabla 5***Dimensiones de las distancias para tomar datos*

<b>ancho de calzada</b>	2.70m	3.00m	3.30m	3,60m o mas
<b>distancia desde el borde</b>	0.45m	0.60m	0.75m	0.90m

**Nota.** Elaborado por el autor

La tabla presentada detalla las dimensiones de las distancias utilizadas para la toma de datos en la evaluación del pavimento flexible. Se aprecian distintos anchos de calzada, que varían desde 2.70 metros hasta 3.60 metros o más, los cuales influyen en la ubicación de los puntos de medición. Asimismo, se establecen las distancias desde el borde de la vía para la correcta recolección de datos, con valores que oscilan entre 0.45 metros y 0.90 metros. Estas referencias permiten una distribución adecuada de los puntos de muestreo, asegurando la precisión en la evaluación de las condiciones estructurales y de transitabilidad del pavimento.

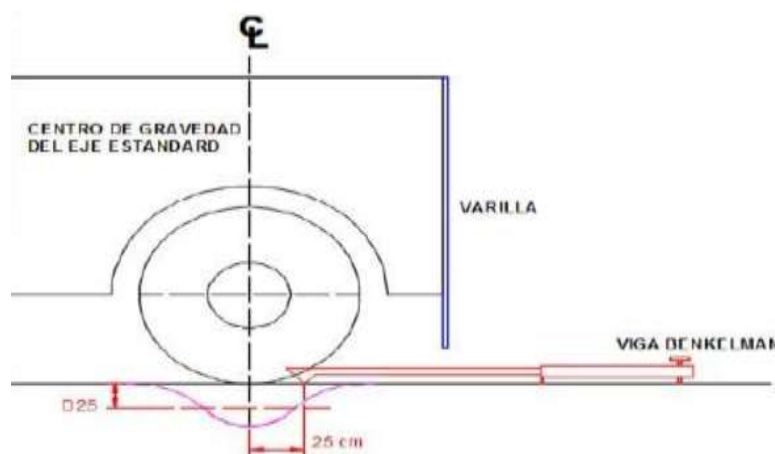
**Figura 4***Dinámica de la viga (máxima deflexión)*



**Nota.** Fuente Wikipedia

**Figura 5**

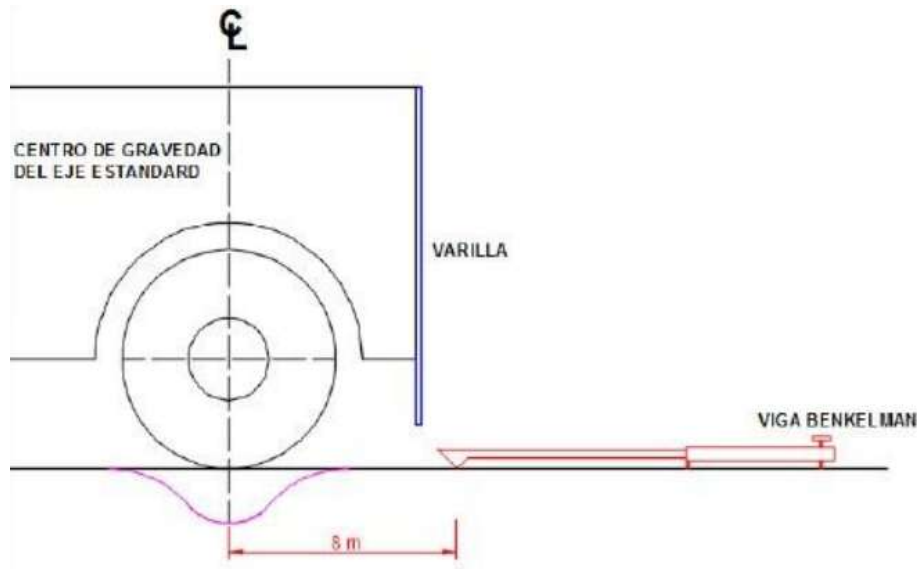
*Dinámica de la viga (25cm)*



**Nota.** Fuente Wikipedia

**Figura 6**

*Dinámica de la viga (posición final)*



**Nota.** Fuente Wikipedia

Para concluir el proceso de recolección de datos en campo, se registraron cuidadosamente las últimas mediciones obtenidas a través del dial, asegurando la fiabilidad y precisión de la información recopilada. Estas lecturas fueron documentadas en un formato diseñado específicamente para la recopilación sistemática de datos, titulado "Formato para la recopilación de mediciones utilizado en campo", el cual permite estandarizar el almacenamiento de la información obtenida durante la evaluación del pavimento flexible. Este documento facilita el análisis posterior de los valores registrados, garantizando que los datos sean interpretados de manera estructurada y coherente, contribuyendo así a la toma de decisiones en el estudio de la capacidad estructural y transitabilidad de la vía evaluada.

### Mediciones realizadas en el campo

**Tabla 6**

*Dimensiones de las distancias para tomar dato, lado derecho*

N°	PROGRESIVA KM	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)	temperatura de ambiente
1	1329+000	0	2	4	6	15° C



2	1329+500	0	3	5	6
3	1330+000	0	1	2	4
4	1330+500	0	2	4	5
5	1331+000	0	3	5	6
6	1331+500	0	2	4	5
7	1332+000	0	3	5	6
8	1332+500	0	2	4	5
9	1333+000	0	1	3	4
10	1333+500	0	2	5	6
11	1334+000	0	3	5	6
12	1334+500	0	2	5	5
13	1335+000	0	3	4	6
14	1335+500	0	2	5	5
15	1336+000	0	3	5	6
16	1336+500	0	3	4	6
17	1337+000	0	2	5	5
18	1337+500	0	1	3	4
19	1338+000	0	2	5	6
20	1338+500	0	3	5	5

**Nota.** Elaborado por el autor

La tabla presentada detalla las mediciones realizadas en diferentes progresivas de un tramo de vía, donde se han registrado datos sobre la lectura inicial de la viga en diales, los valores de deflexión a 25 cm y 75 cm, así como la deflexión máxima (Lf). Se aprecia que la lectura inicial en todos los puntos es cero, mientras que los valores de deflexión presentan variaciones a lo largo del tramo evaluado. La temperatura ambiente registrada es constante en la mayoría de las mediciones, con un valor de 15°C. Estos datos son fundamentales para la evaluación estructural del pavimento, permitiendo analizar su comportamiento frente a las cargas aplicadas.

**Tabla 7**

*Dimensiones de las distancias para tomar dato, lado izquierdo*

N°	PROGRESIVA KM	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)	temperatura de ambiente
----	------------------	---------------------------------	--------------	--------------	--------------	----------------------------



1	1338+000	0	2	4	5	
2	1338+500	0	3	5	4	
3	1339+000	0	1	2	4	
4	1339+500	0	2	4	5	
5	1340+000	0	3	5	5	
6	1340+500	0	2	4	4	
7	1341+000	0	3	5	5	
8	1341+500	0	2	4	4	
9	1342+000	0	1	3	4	
10	1342+500	0	2	5	5	
11	1343+000	0	1	3	4	15° C
12	1343+500	0	2	3	5	
13	1344+000	0	2	4	4	
14	1344+500	0	2	4	5	
15	1345+000	0	2	3	4	
16	1345+500	0	2	3	5	
17	1346+000	0	2	3	4	
18	1346+500	0	1	3	5	
19	1347+000	0	1	3	5	
20	1347+500	0	2	4	4	

**Nota.** Elaborado por el autor

La tabla expone las mediciones obtenidas en distintos puntos de progresiva a lo largo del lado izquierdo del tramo evaluado, donde se registraron datos clave para el análisis estructural del pavimento. Se aprecia que la lectura inicial de la viga en diales es constante en todos los puntos, mientras que los valores de deflexión en 25 cm y 75 cm presentan ligeras variaciones, reflejando diferencias en el comportamiento estructural del material. La deflexión máxima (Lf) muestra fluctuaciones en distintos puntos del recorrido, lo que indica posibles cambios en la capacidad de soporte de la vía. La temperatura ambiental se mantiene estable en 15°C, asegurando condiciones uniformes durante la medición.

### Correcciones de deflexiones

**Tabla 8**

*Datos de deflectometría lado derecho*

PROGRESIV A KM	LECTURA DE VIGAS EN DIALES				Temp Amb. °C	Temp Pav. °C	Hora	Deflexión diales		Deflexión mm x 10(- 2)		Corrección de Temp. "K"	Deflexión corregida mm x 10 (-2)				
	inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 mc)	Lf (Dmax)				0 cm.	25 cm.	0 cm.	25 cm.		Do 0 cm.	DMP Dp	DST D Dstd	Dc Dc	D 25 25 cm.
1329+000	0.00	2	4	6	15.00	25.35	12:00	6	4	22.20	14.80	0.96	21.29				14.19
1329+500	0.00	3	5	6	15.50	26.42	12:30	6	3	22.20	11.10	0.95	21.12				10.56
1330+000	0.00	1	2	4	16.00	27.12	13:00	4	3	14.80	11.10	0.95	14.00				10.50
1330+500	0.00	2	4	5	16.20	27.50	13:30	5	3	18.50	11.10	0.94	17.45	18.46	3.46	24.16	10.47
1331+000	0.00	3	5	6	16.50	28.00	14:00	6	3	22.20	11.10	0.94	20.86				10.43
1331+500	0.00	2	4	5	16.70	28.20	14:30	5	3	18.50	11.10	0.94	17.36				10.42
1332+000	0.00	3	5	6	16.80	28.50	15:00	6	3	22.20	11.10	0.94	20.79				10.39
1332+500	0.00	2	4	5	16.70	28.20	15:30	5	3	18.50	11.10	0.94	17.36	19.09	2.00	22.38	10.42
1333+000	0.00	1	3	4	16.50	28.42	16:00	4	3	14.80	11.10	0.94	13.87				10.40
1333+500	0.00	2	5	6	16.20	27.50	16:30	6	4	22.20	14.80	0.94	20.94				13.96
1334+000	0.00	3	5	6	16.24	27.35	17:00	6	3	22.20	11.10	0.94	20.97				10.48
1334+500	0.00	2	5	5	15.50	26.12	17:30	5	3	18.50	11.10	0.95	17.64	18.35	3.38	23.91	10.58
1335+000	0.00	3	4	6	15.36	25.35	18:00	6	3	22.20	11.10	0.96	21.29				10.64
1335+500	0.00	2	5	5	14.74	23.70	18:30	5	3	18.50	11.10	0.97	17.97				10.78
1336+000	0.00	3	5	6	13.42	21.42	19:00	6	3	22.20	11.10	0.99	21.95				10.98
1336+500	0.00	3	4	6	12.42	19.74	19:30	6	3	22.20	11.10	1.00	22.25	20.86	1.97	24.11	11.12
1337+000	0.00	2	5	5	11.36	17.36	20:00	5	3	18.50	11.10	1.02	18.90				11.34
1337+500	0.00	1	3	4	10.36	15.22	20:30	4	3	14.80	11.10	1.04	15.39				11.54
1338+000	0.00	2	5	6	9.42	13.42	21:00	6	4	22.20	14.80	1.06	23.43				15.62
1338+500	0.00	3	5	5	8.12	11.35	21:30	5	2	18.50	7.40	1.07	19.88	19.40	3.31	24.84	7.95

**Nota.** Elaborado por el autor

La tabla presentada recoge mediciones detalladas relacionadas con la deflectometría en el lado derecho de una vía, proporcionando información sobre la progresiva kilométrica, lecturas en vigas diales, temperaturas del ambiente y del pavimento, y horarios de registro. También incluye datos de deflexión en diferentes puntos, correcciones aplicadas y valores corregidos de deflexión en milímetros por cada diez unidades, además del radio de curvatura resultante en metros. Estas mediciones permiten evaluar el comportamiento estructural del pavimento bajo carga, facilitando la identificación de posibles deformaciones y la planificación de acciones de mantenimiento o rehabilitación vial.

**Tabla 9**

*Datos deflectometría lado izquierdo*

PROGRESI VA KM	LECTURA DE VIGAS EN DIALES				Temp. Ambien te °C	Temp. Pavimen to °C	Hor a	Deflexión diales		Deflexión mm x 10(-2)		Correcci ón de Temp. "K"	Deflexión corregida mm x 10 (-2)					
	Lectura inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 mc)	Lf (Dmax)				0 cm.	25 cm.	0 cm.	25 cm.		Do 0 cm.	DM P Dp	DST D Dst d.	Dc Dc	D 25 25 cm.	
1329+000	0.00	2	4	5	15.00	25.35	12:0	5	3	20.50	12.30	0.96	19.6				21.2	11.8
							12:3						6				8	0
1329+500	0.00	3	5	4	15.50	26.42	13:0	4	1	16.40	4.10	0.95	15.6					3.90
1330+000	0.00	1	2	4	16.00	27.12	13:3	4	3	16.40	12.30	0.95	15.5					11.6
1330+500	0.00	2	4	5	16.20	27.50	14:0	5	3	20.50	12.30	0.94	19.3	17.5			21.2	11.6
1331+000	0.00	3	5	5	16.50	28.00	14:3	5	2	20.50	8.20	0.94	19.2				8	0
1331+500	0.00	2	4	4	16.70	28.20	15:0	4	2	16.40	8.20	0.94	19.1					7.71
1332+000	0.00	3	5	5	16.80	28.50	15:3	5	2	20.50	8.20	0.94	15.3					7.70
1332+500	0.00	2	4	4	16.70	28.20	16:0	4	2	16.40	8.20	0.94	15.3	17.3			20.9	7.68
1333+000	0.00	1	3	4	16.50	28.42	16:3	4	3	16.40	12.30	0.94	15.3				6	7.70
1333+500	0.00	2	5	5	16.20	27.50	17:0	5	3	20.50	12.30	0.94	15.3					11.5
1334+000	0.00	1	3	4	16.24	27.35	17:3	4	3	16.40	12.30	0.94	15.3					2
1334+500	0.00	2	3	5	15.50	26.12	18:0	5	3	20.50	12.30	0.95	19.5	17.4			21.2	11.7
1335+000	0.00	2	4	4	15.36	25.35	18:3	4	2	16.40	8.20	0.96	15.7					7.86
1335+500	0.00	2	4	5	14.74	23.70	19:0	5	3	20.50	12.30	0.97	19.9					11.9
1336+000	0.00	2	3	4	13.42	21.42	19:3	4	2	16.40	8.20	0.99	16.2					5
1336+500	0.00	2	3	5	12.42	19.74	20:0	5	3	20.50	12.30	1.00	20.5	18.1			22.1	12.3
1337+000	0.00	2	3	4	11.36	17.36	20:3	4	2	16.40	8.20	1.02	16.7				8	8.38
1337+500	0.00	1	3	5	10.36	15.22	21:0	5	4	20.50	16.40	1.04	5					17.0
1338+000	0.00	1	3	5	9.42	13.42	21:3	5	4	20.50	16.40	1.06	21.3					5
1338+500	0.00	2	4	4	8.12	11.35		4	2	16.40	8.20	1.07	17.6	19.3			23.4	17.3
													2	3	2.51		5	8.81

**Nota.** Elaborado por el autor

Esta tabla muestra mediciones de deflectometría en el lado izquierdo de una vía, proporcionando datos esenciales para la evaluación estructural del pavimento. Incluye información sobre la progresiva kilométrica, lecturas de vigas en diales, temperaturas ambientales y del pavimento, y los horarios en que se realizaron las mediciones. Además, detalla valores de deflexión en distintos puntos de medición, correcciones aplicadas y deflexiones corregidas expresadas en milímetros por cada diez unidades, junto con el radio de curvatura resultante en metros. Estos datos son fundamentales para analizar el estado del pavimento, identificar deformaciones y definir estrategias de mantenimiento o rehabilitación vial.

### Hallamos el radio de curvatura

Con el objetivo de realizar un análisis integral de los resultados obtenidos en la evaluación estructural del pavimento, se procederá a determinar el Radio de Curvatura mediante la siguiente ecuación matemática:

$$RC=3125/(D'0-D'25)$$

donde el resultado se expresa en metros.

### Definiciones de los parámetros:

- D'0: Representa el valor de la deflexión corregida en el punto de referencia 0 cm.
- D'25: Corresponde a la deflexión corregida en el punto de medición ubicado a 25 cm de distancia.

El cálculo de esta magnitud permite evaluar la capacidad estructural de la superficie analizada, ya que el Radio de Curvatura está relacionado con la rigidez y la respuesta del material frente a las cargas aplicadas. Valores más altos indican una estructura más estable, mientras que radios menores pueden reflejar mayor flexibilidad o deterioro en el pavimento.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación de la fórmula en los distintos puntos de medición.

**Tabla 10**

*Datos de corrección de curvatura (derecha)*

PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGAS EN DIALES Lectura inicial	Deflexión mm x 10(-2)		Corrección de Temp.	Deflexión corregida mm x 10 (-2)					Radio de curvatura RC (m)
		0 cm.	25 cm.		Do	DMP	DSTD	Dc	D 25	
1329+000	0.00	22.20	14.80	0.96	21.29				14.19	440.37
1329+500	0.00	22.20	11.10	0.95	21.12				10.56	295.99
1330+000	0.00	14.80	11.10	0.95	14.00				10.50	892.70
1330+500	0.00	18.50	11.10	0.94	17.45	18.46	3.46	24.16	10.47	447.64
1331+000	0.00	22.20	11.10	0.94	20.86				10.43	299.55
1331+500	0.00	18.50	11.10	0.94	17.36				10.42	450.00



1332+000	0.00	22.20	11.10	0.94	20.79				10.39	300.68
1332+500	0.00	18.50	11.10	0.94	17.36	19.09	2.00	22.38	10.42	450.00
1333+000	0.00	14.80	11.10	0.94	13.87				10.40	901.49
1333+500	0.00	22.20	14.80	0.94	20.94				13.96	447.64
1334+000	0.00	22.20	11.10	0.94	20.97				10.48	298.09
1334+500	0.00	18.50	11.10	0.95	17.64	18.35	3.38	23.91	10.58	442.97
1335+000	0.00	22.20	11.10	0.96	21.29				10.64	293.58
1335+500	0.00	18.50	11.10	0.97	17.97				10.78	434.80
1336+000	0.00	22.20	11.10	0.99	21.95				10.98	284.73
1336+500	0.00	22.20	11.10	1.00	22.25	20.86	1.97	24.11	11.12	280.95
1337+000	0.00	18.50	11.10	1.02	18.90				11.34	413.38
1337+500	0.00	14.80	11.10	1.04	15.39				11.54	812.30
1338+000	0.00	22.20	14.80	1.06	23.43				15.62	400.07
1338+500	0.00	18.50	7.40	1.07	19.88	19.40	3.31	24.84	7.95	262.05

**Nota.** Elaborado por el autor

La tabla presentada muestra datos relacionados con la corrección del radio de curvatura en función de diversas mediciones estructurales de la vía. En la última columna, se presentan los valores del radio de curvatura (RC), una magnitud clave en la evaluación del comportamiento estructural del pavimento ante cargas. Este parámetro se obtiene a partir de las deflexiones corregidas en distintos puntos y su variación a lo largo de la progresiva kilométrica. Un mayor radio de curvatura indica una estructura con menor deformación y mayor rigidez, mientras que valores menores reflejan una mayor flexión y posible deterioro del pavimento. Se observa que los radios de curvatura fluctúan considerablemente, con valores que van desde 262.05 m hasta 901.49 m, sugiriendo diferencias significativas en la capacidad de carga y estabilidad de la vía en distintos tramos. Estas mediciones permiten identificar zonas que podrían requerir intervención o mantenimiento, asegurando así la durabilidad y seguridad de la infraestructura vial.

**Tabla 11**

*Datos de corrección de curvatura (izquierda)*

PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGAS EN DIALES Lectura inicial	Deflexión diales		Deflexión mm x 10(-2)		Corrección de Temp.	Deflexión corregida mm x 10 (-2)					Radio de curvatura RC (m)	
		0 cm.	25 cm.	0 cm.	25 cm.		Do	DMP	DSTD	Dc	D 25		
1329+000	0.00	5	3	20.50	12.30	0.96	19.66				21.28	11.80	397.41
1329+500	0.00	4	1	16.40	4.10	0.95	15.60					3.90	267.11
1330+000	0.00	4	3	16.40	12.30	0.95	15.52					11.64	805.61
1330+500	0.00	5	3	20.50	12.30	0.94	19.34	17.53	2.28	21.28	11.60	11.60	403.96
1331+000	0.00	5	2	20.50	8.20	0.94	19.27					7.71	270.33



1331+500	0.00	4	2	16.40	8.20	0.94	15.39				7.70	406.10
1332+000	0.00	5	2	20.50	8.20	0.94	19.19				7.68	271.34
1332+500	0.00	4	2	16.40	8.20	0.94	15.39	17.31	2.22	20.96	7.70	406.10
1333+000	0.00	4	3	16.40	12.30	0.94	15.37				11.52	813.54
1333+500	0.00	5	3	20.50	12.30	0.94	19.34				11.60	403.96
1334+000	0.00	4	3	16.40	12.30	0.94	15.49				11.62	807.01
1334+500	0.00	5	3	20.50	12.30	0.95	19.54	17.43	2.32	21.25	11.73	399.76
1335+000	0.00	4	2	16.40	8.20	0.96	15.73				7.86	397.41
1335+500	0.00	5	3	20.50	12.30	0.97	19.91				11.95	392.38
1336+000	0.00	4	2	16.40	8.20	0.99	16.22				8.11	385.43
1336+500	0.00	5	3	20.50	12.30	1.00	20.54	18.10	2.48	22.18	12.33	380.30
1337+000	0.00	4	2	16.40	8.20	1.02	16.75				8.38	373.05
1337+500	0.00	5	4	20.50	16.40	1.04	21.32				17.05	733.05
1338+000	0.00	5	4	20.50	16.40	1.06	21.64				17.31	722.07
1338+500	0.00	4	2	16.40	8.20	1.07	17.62	19.33	2.51	23.45	8.81	354.73

**Nota.** Elaborado por el autor

La tabla muestra los datos de corrección del radio de curvatura (RC) en el lado izquierdo de la vía, reflejando la estabilidad estructural del pavimento en diferentes progresivas kilométricas. El radio de curvatura, ubicado en la última columna, se calcula a partir de las deflexiones corregidas en distintos puntos y es un indicador clave de la capacidad de carga de la estructura. Valores altos de RC, como los 805.61 m y 813.54 m, indican una mayor rigidez del pavimento, mientras que valores bajos, como 267.11 m o 354.73 m, pueden sugerir una mayor deformabilidad o posibles zonas de deterioro. La variabilidad en los valores sugiere que la vía presenta sectores con diferentes niveles de resistencia y flexibilidad, lo que puede influir en la planificación de mantenimiento y rehabilitación. Este análisis permite identificar tramos que requieren intervención para garantizar la seguridad y durabilidad del pavimento.

### Cálculo de las deflexiones características

Para evaluar el comportamiento estructural del pavimento en estudio, es fundamental determinar ciertos parámetros estadísticos que permitan analizar la variabilidad de las deflexiones registradas. Entre estos parámetros se encuentran la deflexión media, el coeficiente de variación y la desviación estándar. Es importante

destacar que la deflexión característica se expresa como un valor único representativo de toda la sección evaluada, considerando los datos obtenidos en ambos lados de la vía (izquierdo y derecho).

#### Determinación de la Deflexión Media

La deflexión media ( $D$ ) se obtiene mediante la siguiente expresión matemática:

Donde:

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

- N: Total de mediciones realizadas.
- $D_1, D_2, \dots, D_n$ : Valores de deflexión registrados en cada punto de medición.
- $D$ : Media aritmética de las deflexiones obtenidas.

Al aplicar la ecuación, se obtiene que la deflexión media correspondiente a la sección analizada es de:

$$D=27.03$$

#### Cálculo de la Desviación Estándar

Para cuantificar la dispersión de los valores de deflexión con respecto a su media, se emplea la fórmula de la desviación estándar ( $\sigma$ ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

Donde:

- $\sigma$ : Desviación estándar.
- n: Número total de mediciones realizadas.
- $D_i$ : Deflexión en cada punto de medición.
- $D$ : Deflexión media.

Aplicando la ecuación, se obtiene que la desviación estándar es:

$$\sigma=2.34$$

#### Cálculo del Coeficiente de Variación

El coeficiente de variación (*C.V.*) permite expresar la dispersión de los datos en términos porcentuales con respecto a la media. Se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$C.V. = \sigma/D \times 100$$

Donde:

- *C.V.*: Coeficiente de variación (%).
- $\sigma$ : Desviación estándar.
- *D*: Deflexión media.

Tras aplicar la ecuación, el coeficiente de variación obtenido es:

$$C.V. = 10.19\%$$

#### Determinación de la Deflexión Característica

Finalmente, la deflexión característica (*D<sub>c</sub>*) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_c = D + 1.282(\sigma)$$

Donde:

- *D<sub>c</sub>*: Deflexión característica.
- *D*: Deflexión media.
- $\sigma$ : Desviación estándar.

Luego de aplicar la ecuación, se obtiene que la deflexión característica del pavimento flexible en estudio es de:

$$D_c = 26.80 \text{ (expresado en 100 mm)}$$

Este valor permite evaluar la condición estructural de la vía y establecer criterios para el mantenimiento o rehabilitación del pavimento en función de su comportamiento mecánico.

#### Tabla 12

*Resumen comparativo de los parámetros relativos de las deflexiones establecidas*

ITEM	Dmax (1/100) mm	Radio de Curvatura (m)
MAX.	22.25	901.49
MIN.	13.87	280.95
PROM.	18.59	469.74
DESV.	2.64	210.98
Dc	21.97	NO
C.V.	14.20%	44.91%

**Nota.** Elaborado por el autor

La tabla presenta un análisis comparativo de diversos parámetros relacionados con las deflexiones establecidas. Se incluyen medidas clave como el valor máximo, mínimo, promedio, desviación estándar y coeficiente de variación, tanto para la deflexión máxima expresada en centésimas de milímetro como para el radio de curvatura en metros. Se observa que la deflexión máxima alcanza un valor de 22.25, mientras que la mínima es de 13.87, con un promedio de 18.59 y una desviación estándar de 2.64. Además, se reporta un coeficiente de variación del 14.20 %. En cuanto al radio de curvatura, se presentan valores que oscilan entre 280.95 y 901.49, con una media de 469.74 y una variabilidad del 44.91 %. También se menciona un valor de  $D_c$  de 21.97, aunque en el caso del radio de curvatura no se proporciona información específica.

### Cálculo de las deflexiones admisibles

La deflexión admisible representa el valor límite que el pavimento puede alcanzar al final de su vida útil, considerando la carga total de tránsito soportada durante el periodo de diseño. Para su determinación, se utiliza la siguiente ecuación:

$$D_{adm} = (1.15/N)^{0.25}$$

Donde:

- $D_{adm}$ : Deflexión admisible, expresada en (1/100) mm.
- $N$ : Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas acumulados en el período de diseño, expresado en millones.

Según el análisis de tránsito realizado para la vía en estudio, el valor calculado de  $N$  es de 742347.20 ESAL's. Aplicando la ecuación, se obtiene la deflexión admisible:

$$D_{adm} = 35.28 \left( \frac{1}{100} \right) mm$$

Este valor será utilizado en la evaluación estructural del pavimento, comparándolo con la deflexión característica obtenida en los cálculos previos.

### **Cálculo de la Deflexión Crítica**

La deflexión crítica es un parámetro que indica el estado límite de servicio del pavimento y se calcula con la siguiente ecuación:

$$DCR = (1.9/N18)^{1/5.3}$$

Donde:

- $DCR$ : Deflexión crítica en mm.
- $N18$ : Número de repeticiones de ejes equivalentes en millones.

A partir del cálculo correspondiente, se obtiene que la deflexión crítica para el pavimento en estudio es:

$$DCR = 88.09 \left( \frac{1}{100} \right) mm$$

Este valor será contrastado con la deflexión admisible y la deflexión característica para determinar la capacidad estructural de la vía.

### **Tipo de Intervención**

Inicialmente, se evaluó la deflexión característica y la deflexión admisible con el fin de clasificar la condición estructural del pavimento como "Buena" o "Mala". Posteriormente,

se complementó el análisis mediante el radio de curvatura, el cual es un indicador clave de la capacidad estructural del pavimento.

De acuerdo con los valores obtenidos:

- La deflexión característica calculada es de 21.97 (1/100) mm.
- La deflexión admisible es de 35.28 (1/100) mm.
- El radio de curvatura promedio obtenido es de 469.74 m, con valores extremos de 901.49 m (máximo) y 280.95 m (mínimo).

**Tabla 13**

*Resumen de la subrasante y también del pavimento*

Carretera	DCA	Dadm	Rc	DCA < Dadm	RC ≥ 100	Comportamiento de Subrasante	Comportamiento del Pavimento
JULIACA – PAUCARCOLLA	21.97	35.28	469.74	CUMPLE	CUMPLE	BUENO	BUENO

La tabla presenta un resumen de la evaluación estructural de la carretera Juliaca–Paucarcolla, considerando parámetros como el DCA, Dadm y el radio de curvatura (Rc). Se verifican los criterios de cumplimiento para DCA y Rc en relación con los valores de referencia, confirmando que ambos parámetros cumplen con los estándares establecidos. Además, se evalúa el comportamiento tanto de la subrasante como del pavimento, calificándolos como "BUENO", lo que indica condiciones favorables en la estructura de la vía.

**Tabla 14**

*Resumen, características y radio de curvatura*

sección	progresiva inicial	progresiva final	D' 0 Prom.	D'25 Prom	D característica	Radio de curvatura
JULIACA	1329+000	1338+500	18.59	10.4	21.97	469.74

**Nota.** Elaborado por el autor

#### **4.1.2 Nivel de transitabilidad según IRI en la vía Juliaca – Paucarcolla**

El nivel de transitabilidad según el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la vía Juliaca – Paucarcolla se refiere a la evaluación del estado de la superficie de rodadura con base en la irregularidad del pavimento y su impacto en la comodidad y seguridad del usuario. Este indicador permite clasificar la condición del camino en diferentes rangos de calidad, desde una superficie óptima hasta un pavimento deteriorado que afecta el desempeño vehicular. Su análisis es clave para determinar la necesidad de intervenciones viales, priorizando estrategias de mantenimiento o rehabilitación que optimicen la circulación y reduzcan el desgaste de los vehículos.

Se realizó una recopilación de datos detallada utilizando instrumentos de encuesta, incluidos los teodolitos y niveles, para evaluar la capacidad estructural y la transitabilidad de la ruta Juliaca - Paucarcolla. Posteriormente, los datos recopilados se organizaron en una hoja de cálculo para determinar los niveles de perfil longitudinal de la sección examinada, facilitando una representación precisa de la variación de altura en toda la ruta y proporcionando una base confiable para el estudio de rugosidad del pavimento.

Para garantizar la confiabilidad de los datos, se empleó un procedimiento de filtrado y corrección de dimensiones para identificar y remediar errores probables en la encuesta topográfica. Este método permitió la detección de valores anómalos (valores atípicos) considerados más allá del rango típico de variación de pendiente entre dimensiones consecutivas. De acuerdo con los criterios establecidos en esta investigación, un valor se considera anormal cuando la diferencia entre  $Y_i$  y  $Y_{i-1}$  excede el rango de  $[-0.01; 0.01]$  metros.

Los valores más allá de este rango se modificaron por interpolación lineal, una técnica que reduce las fluctuaciones abruptas en el perfil topográfico, por lo que garantizar una representación más consistente de la superficie ondulada. La Figura 8 presenta los datos sin filtro durante los primeros 100 metros, revelando valores que exceden el rango

de [-10; 10] milímetros, lo que sugiere la presencia de anomalías de medición. Por el contrario, la Figura 9 ilustra los datos siguiendo la aplicación del filtro, donde las variaciones permanecen dentro del rango aceptable, por lo que facilitar una evaluación más precisa y representativa de las condiciones de pavimento reales.

El eje de abscisa del gráfico representa la progresión de los puntos evaluados a lo largo del segmento estudiado, mientras que el eje de ordenanza representa las variaciones de elevación registradas en cada sitio de medición. Este análisis es esencial para evaluar la integridad funcional y estructural de la carretera, proporcionando información crítica para la toma de decisiones sobre pavimento y reparaciones flexibles.

**Tabla 15***Estado según IRI*

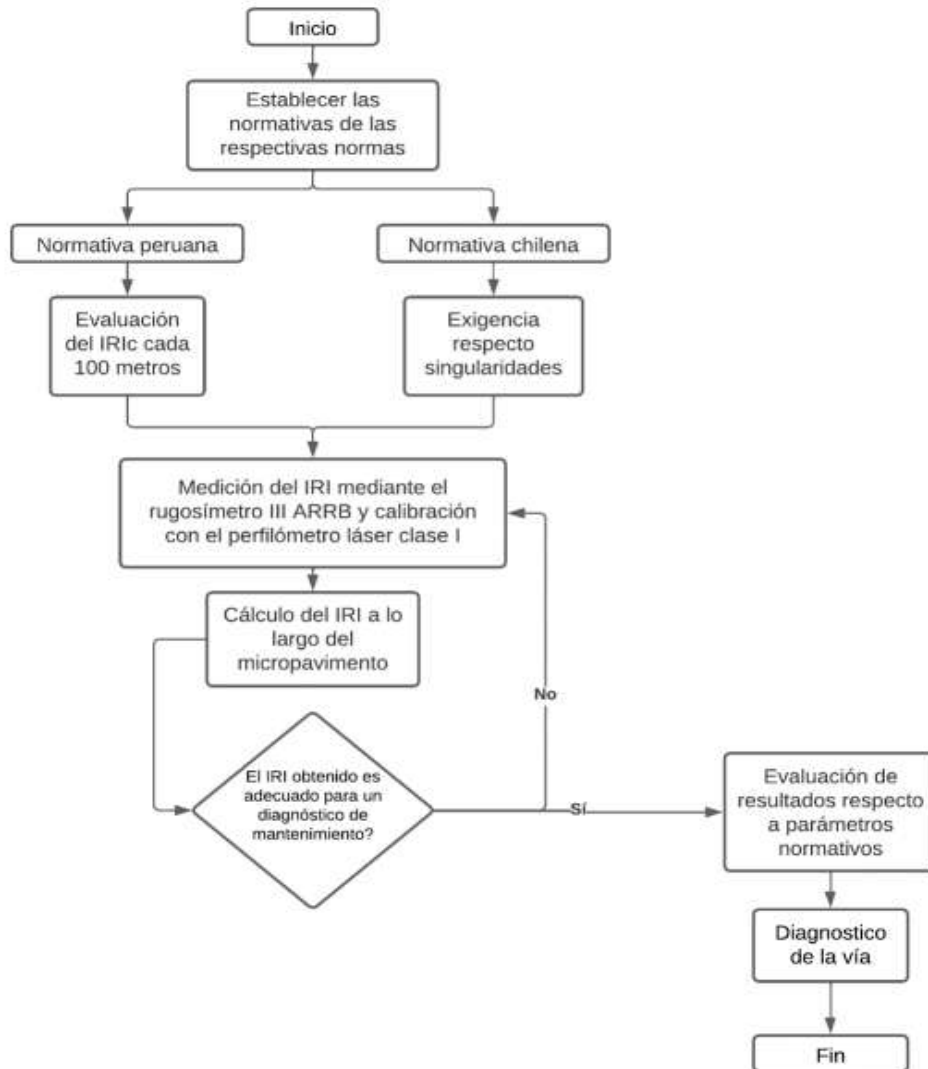
ESTADO	PAVIMENTADOS
bueno	$0 < IRI \leq 2.8$
regular	$2.8 < IRI \leq 4.0$
malo	$4.0 < IRI \leq 5.0$
malo muy malo	$5 < IRI$

**Nota.** Elaborado por el autor

La tabla muestra la clasificación del estado del pavimento según el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), dividiéndolo en cuatro categorías: "Bueno" (IRI entre 0 y 2.8), que representa una superficie en excelente estado; "Regular" (IRI entre 2.8 y 4.0), indicando una superficie con algunas irregularidades; "Malo" (IRI entre 4.0 y 5.0), donde la rugosidad es perceptible y afecta la comodidad al transitar; y "Malo Muy Malo" (IRI mayor a 5), que corresponde a una superficie severamente deteriorada y posiblemente intransitable. Esta clasificación permite evaluar de forma eficiente el estado de la vía y priorizar las intervenciones de mantenimiento.

**Figura 7**

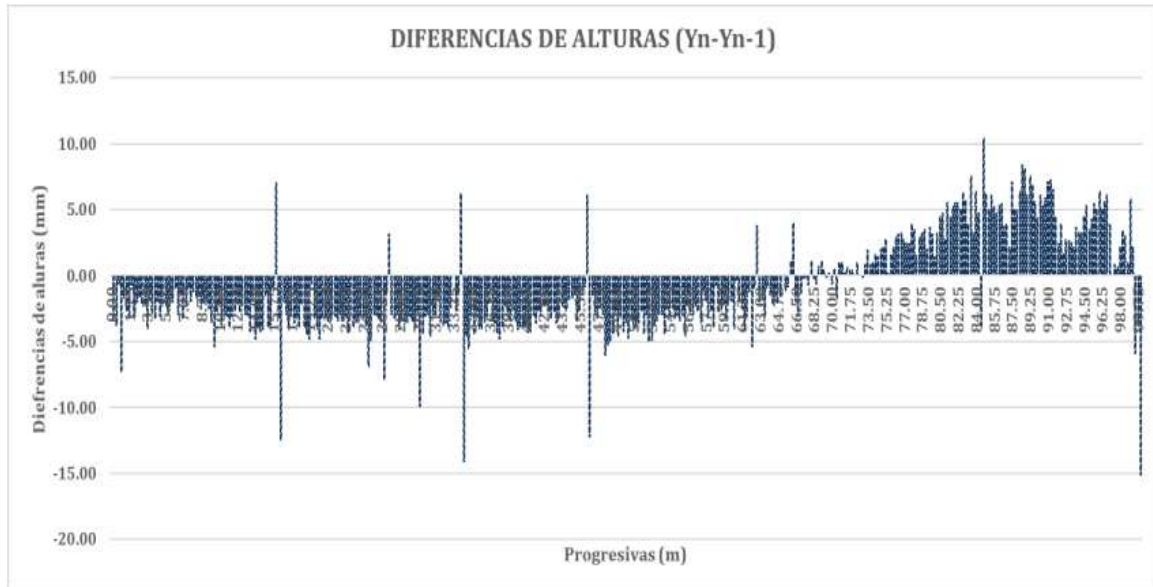
*Flujograma del procedimiento realizado*



**Nota.** Elaborado por el autor

**Figura 8**

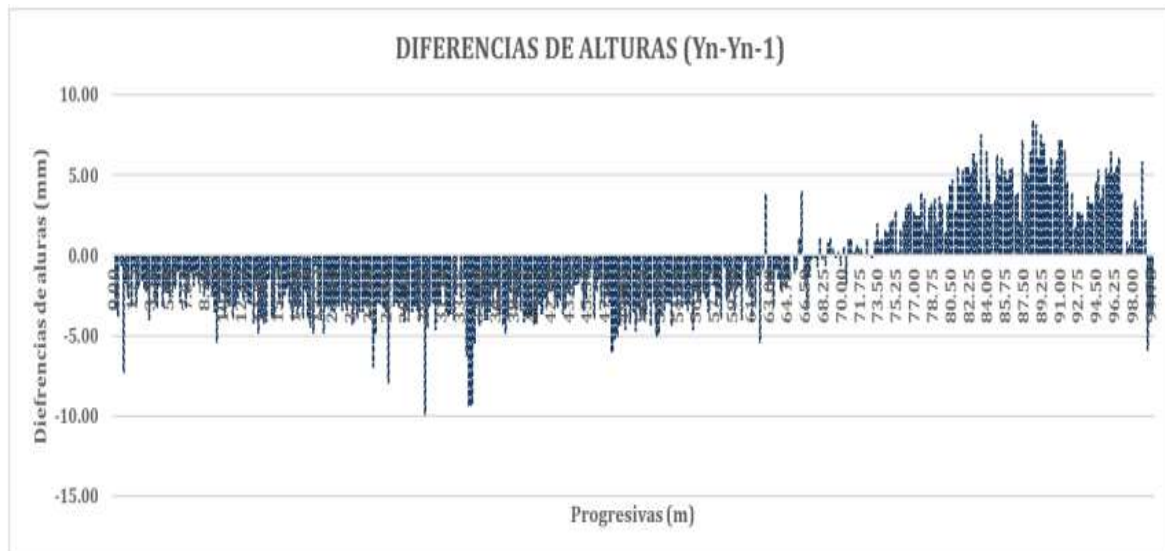
*Diferencias de alturas con datos sin filtrar*



**Nota.** Elaborado por el autor

**Figura 9**

*Diferencias de alturas con corrección*



**Nota.** Elaborado por el autor



Tabla 16

Cálculo de las cotas

NÚMERO DE PUNTOS	PROGRESIVA	VISTA ATRÁS	ALTURA DEL INSTRUMENTO	VISTA ADELANTE	COTA
<b>MARGEN DERECHA</b>					
0	BM - 1	1.475	32.742		31.3
1	0			1.478	31.273
2	0.25			1.474	31.22
3	0.5			1.47	31.281
4	0.75			1.469	31.285
5	1			1.461	31.296
6	1.25			1.46	31.293
7	1.5			1.457	31.291
8	1.75			1.455	31.296
9	2			1.454	31.300
10	2.25			1.453	31.303
11	2.5			1.449	31.304
12	2.75			1.448	31.308
13	3			1.444	31.311
14	3.25			1.442	31.314
15	3.5			1.436	31.322
16	3.75			1.432	31.325
17	4			1.431	31.326
18	4.25			1.433	31.332
19	4.5			1.432	31.335
20	4.75			1.429	31.338
<b>MARGEN IZQUIERDA</b>					
0	BM - 1	1.418	32.71		31.312
1	0			1.472	31.294
2	0.25			1.466	31.301
3	0.5			1.462	31.303
4	0.75			1.461	31.306
5	1			1.453	31.312
6	1.25			1.452	31.315
7	1.5			1.449	31.318
8	1.75			1.447	31.320
9	2			1.446	31.321
10	2.25			1.445	31.323
11	2.5			1.441	31.324
12	2.75			1.44	31.328
13	3			1.436	31.330
14	3.25			1.432	31.334
15	3.5			1.430	31.337
16	3.75			1.427	31.338
17	4			1.424	31.340
18	4.25			1.422	31.342
19	4.5			1.419	31.346
20	5			1.416	31.348

**Nota.** Elaborado por el autor

Tabla 17

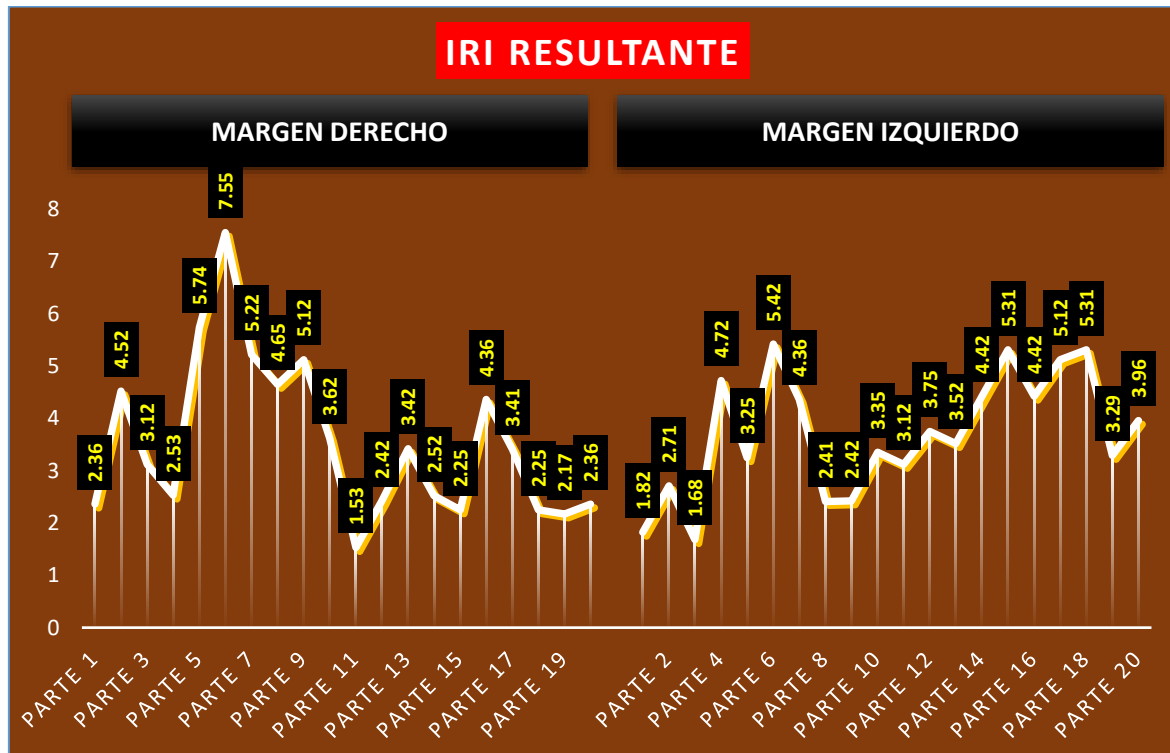
*Datos resultados del aplicativo (IRI)*

Nº	DISTANCIA INICIAL (m)	DISTANCIA FINAL (m)	LONGITUD (m)	TRAMO 1 - IRI (m/km)
<b>MARGEN DERECHA</b>				
1	0	250		2.36
2	250	500		4.52
3	500	750		3.12
4	750	1000		2.53
5	1000	1250		5.74
6	1250	1500		7.55
7	1500	1750		5.22
8	1750	2000		4.65
9	2000	2250		5.12
10	2250	2500	250	3.62
11	2500	2750		1.53
12	2750	3000		2.42
13	3000	3250		3.42
14	3250	3500		2.52
15	3500	3750		2.25
16	3750	4000		4.36
17	4000	4250		3.41
18	4250	4500		2.25
19	4500	4750		2.17
20	4750	5000		2.36
<b>MARGEN IZQUIERDA</b>				
1	0	250		1.82
2	250	500		2.71
3	500	750		1.68
4	750	1000		4.72
5	1000	1250		3.25
6	1250	1500		5.42
7	1500	1750		4.36
8	1750	2000		2.41
9	2000	2250		2.42
10	2250	2500	250	3.35
11	2500	2750		3.12
12	2750	3000		3.75
13	3000	3250		3.52
14	3250	3500		4.42
15	3500	3750		5.31
16	3750	4000		4.42
17	4000	4250		5.12
18	4250	4500		5.31
19	4500	4750		3.29
20	4750	5000		3.96

*Nota.* Elaborado por el autor

Figura 10

Comparativa de los datos recabados



**Nota.** Elaborado por el autor

La gráfica presentada ilustra el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) resultante para los márgenes derecho e izquierdo de la vía evaluada. Se muestra en un diseño visual con fondo marrón y etiquetas destacadas en amarillo y negro, permitiendo resaltar los valores más relevantes en cada segmento de medición.

En el eje horizontal (X), se encuentran representadas 20 partes del tramo evaluado, numeradas consecutivamente desde Parte 1 hasta Parte 20. La gráfica está dividida en dos secciones: el margen derecho, que abarca las primeras 10 partes, y el margen izquierdo, que comprende las últimas 10 partes.

El eje vertical (Y) representa los valores del IRI, con una escala que varía desde 1 hasta 8, indicando el nivel de rugosidad en cada tramo. Valores más altos sugieren una superficie más irregular y con mayor impacto en la transitabilidad, mientras que valores bajos indican una mejor calidad en la rodadura del pavimento.



En el margen derecho, se observa una fluctuación significativa de los valores del IRI. Los puntos con mayor rugosidad se registran en la Parte 6, con un valor de 7.55, seguida por la Parte 5 con 5.74 y la Parte 9 con 5.12. En contraste, se identifican tramos con valores bajos, como la Parte 11, donde el IRI alcanza 1.53, lo que indica una superficie más estable y con menor impacto en la comodidad del usuario. A lo largo de esta sección, existe una alternancia entre zonas con alta y baja rugosidad, lo que sugiere una condición heterogénea del pavimento en este margen.

En el margen izquierdo, se presentan variaciones similares en la rugosidad. Los valores más altos se encuentran en la Parte 6 con 5.42 y en la Parte 15 con 5.31, indicando sectores con mayor deterioro del pavimento. Sin embargo, también hay tramos con menor rugosidad, como la Parte 3, con un valor de 1.68, lo que sugiere una mejor transitabilidad en estas zonas. Se observa un incremento progresivo en la rugosidad en las últimas partes del margen izquierdo, con varios tramos que superan el IRI de 5.00, evidenciando una condición crítica del pavimento en estas áreas.

En conclusión, la gráfica permite identificar con precisión las zonas más deterioradas del pavimento, especialmente en las secciones con valores superiores a 5.00, las cuales requieren mantenimiento prioritario para mejorar la transitabilidad. Las zonas con valores más bajos representan secciones en mejor estado estructural. Este análisis es esencial para definir estrategias de rehabilitación vial y garantizar una circulación más segura y confortable en la vía evaluada.

#### **4.1.3 Alternativas de intervención y estado actual de las vías**

El estado actual del pavimento flexible en la vía Juliaca – Paucarcolla ha sido evaluado a través de un análisis integral basado en la deflexión estructural, el radio de curvatura y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Dichos parámetros permiten identificar las secciones que presentan deterioro significativo y aquellas que aún conservan

una adecuada funcionalidad. Para determinar la intervención más eficiente, se ha considerado la información obtenida en el levantamiento de datos y el procesamiento de la deflectometría, complementado con la evaluación de la transitabilidad mediante el IRI.

El diseño de la propuesta de intervención se fundamenta en la comparación de la deflexión característica ( $D_c$ ) con la deflexión admisible ( $D_{adm}$ ), así como en el análisis de los valores de rugosidad y radio de curvatura. A partir de estos criterios, se establecen las estrategias óptimas para mejorar la capacidad estructural y la transitabilidad de la vía, minimizando costos de mantenimiento y prolongando la vida útil del pavimento.

### **Evaluación de la Capacidad Estructural del Pavimento**

El análisis de la deflexión estructural revela información clave sobre la condición del pavimento y su resistencia ante cargas de tránsito. Se han calculado los siguientes valores fundamentales:

- Deflexión característica ( $D_c$ ): 21.97 (1/100) mm
- Deflexión admisible ( $D_{adm}$ ): 35.28 (1/100) mm
- Radio de curvatura promedio ( $R_c$ ): 469.74 m

Dado que la deflexión característica es inferior a la admisible ( $D_c < D_{adm}$ ), se concluye que la capacidad estructural del pavimento es adecuada en la mayoría de los tramos evaluados. Sin embargo, existen sectores con radios de curvatura reducidos y mayores niveles de deflexión corregida que sugieren una disminución en la capacidad de soporte del pavimento, lo que justifica la necesidad de intervención en ciertos segmentos específicos.

### **Evaluación del Nivel de Transitabilidad**

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se utilizó para evaluar el confort y la seguridad de los usuarios en la vía. Se identificaron secciones con valores superiores a 5.00 m/km, los cuales indican una rugosidad significativa que impacta negativamente en la

transitabilidad. En contraste, algunos tramos presentan valores de IRI inferiores a 3.00 m/km, lo que sugiere que la superficie aún es aceptable en estas zonas.

Las mediciones del IRI resultante mostraron que el margen derecho presenta una variabilidad elevada, con valores máximos de 7.55 m/km y mínimos de 1.53 m/km, lo que evidencia una distribución heterogénea de la calidad del pavimento. De manera similar, el margen izquierdo presentó puntos críticos con valores que superan 5.00 m/km, lo que indica la necesidad de tratamientos correctivos para mejorar la transitabilidad.

### **Clasificación de la Vía según su Estado Funcional y Estructural**

En base a los datos obtenidos, se realizó la clasificación de los tramos de la vía en tres categorías según su condición estructural y funcional:

Secciones en estado óptimo:

- Deflexión dentro del rango admisible.
- IRI menor a 3.00 m/km.
- Radio de curvatura superior a 400 m.
- Recomendación: Mantenimiento preventivo.

Secciones con deterioro moderado:

- Deflexión cercana al límite admisible.
- IRI entre 3.00 y 5.00 m/km.
- Radio de curvatura entre 250 y 400 m.
- Recomendación: Mantenimiento correctivo mediante bacheo, sellado de grietas y rehabilitación superficial.

**Secciones en estado crítico:**

- Deflexión mayor a la admisible.
- IRI superior a 5.00 m/km.
- Radio de curvatura inferior a 250 m.

- Recomendación: Rehabilitación estructural mediante reciclado de capas o reconstrucción del pavimento.

### **Alternativa de Intervención Propuesta**

Para garantizar la sostenibilidad de la infraestructura vial en la vía Juliaca – Paucarcolla, se propone una estrategia de intervención diferenciada, basada en la condición actual de cada tramo de la vía. La propuesta tiene en cuenta las condiciones climáticas de la región, la disponibilidad de materiales en la zona y las mejores prácticas en ingeniería vial para optimizar los costos y maximizar la durabilidad de la infraestructura.

### **Mantenimiento Preventivo (para secciones en buen estado)**

El mantenimiento preventivo está dirigido a las secciones de la vía que aún conservan una capacidad estructural adecuada y un nivel de transitabilidad aceptable. El objetivo es preservar la infraestructura existente, minimizar el deterioro progresivo y extender la vida útil del pavimento. Se contemplan las siguientes acciones:

- Limpieza de la superficie: Eliminación de residuos, polvo y material suelto para garantizar una correcta adherencia de tratamientos superficiales.
- Aplicación de microrrevestimiento asfáltico: Uso de una mezcla de asfalto modificado y agregados finos para sellar la superficie, mejorar la textura y reducir la rugosidad.
- Control del drenaje superficial: Implementación o mejora de cunetas y drenajes transversales para evitar acumulaciones de agua que puedan deteriorar la estructura del pavimento.
- Sellado de fisuras incipientes: Aplicación de selladores bituminosos para evitar la infiltración de agua en las capas inferiores y prevenir la propagación de fisuras.
- Refuerzo de señalización y demarcación: Mejora de la señalización horizontal y vertical para optimizar la seguridad vial.

### **Mantenimiento Correctivo (para secciones con deterioro moderado)**

El mantenimiento correctivo está dirigido a los tramos de la vía que presentan un nivel intermedio de deterioro, con valores de deflexión cercanos al límite admisible y un IRI entre 3.00 y 5.00 m/km. Se busca restaurar la funcionalidad de la vía mediante acciones específicas que no requieran una reconstrucción completa:

- Bacheo profundo y superficial: Eliminación de áreas dañadas del pavimento y reposición con material asfáltico de alta resistencia.
- Sellado de grietas y juntas: Aplicación de emulsiones bituminosas para evitar la penetración de agua y evitar la desintegración del pavimento.
- Refuerzo de la capa de rodadura: Aplicación de una capa de refuerzo mediante riego de liga y colocación de una carpeta asfáltica delgada en zonas con rugosidad elevada.
- Estabilización de bermas y arcenes: Incorporación de materiales granulados compactados para mejorar la seguridad lateral y evitar la erosión de los bordes del pavimento.
- Corrección de radio de curvatura en puntos críticos: Implementación de ajustes geométricos menores en curvas con radios reducidos para mejorar la transitabilidad y la seguridad.

#### **Rehabilitación Estructural (para secciones en estado crítico)**

Las secciones en estado crítico requieren intervenciones de mayor envergadura debido a la pérdida significativa de capacidad estructural y la alta rugosidad (IRI > 5.00 m/km). Para estos casos, se proponen las siguientes medidas:

- Reciclado de la base granular: Reutilización del material existente mediante técnicas de estabilización con cemento o emulsiones asfálticas, lo que permite reducir costos y optimizar recursos locales.



- Reemplazo de la carpeta asfáltica: Remoción de la capa superficial deteriorada y reposición con mezcla asfáltica en caliente de alta calidad, adaptada a las condiciones climáticas de la región.
- Mejoramiento del drenaje subterráneo: Implementación de filtros y drenajes longitudinales para evitar la acumulación de agua en la subrasante y prevenir fallas estructurales prematuras.
- Reperfilado y compactación de la subrasante: Aplicación de técnicas de compactación mecánica y mejora con estabilizantes para garantizar una adecuada capacidad de soporte del pavimento.
- Reconstrucción de estructuras de soporte: En casos extremos donde la base y subbase han colapsado, se procederá con la reconstrucción total de la estructura del pavimento, utilizando materiales de mayor resistencia y durabilidad.
- Implementación de carpetas asfálticas modificadas: Uso de mezclas con polímeros o fibras para incrementar la resistencia a la fatiga y la deformación plástica.

### **Optimización de Recursos y Uso de Materiales Locales**

Para reducir costos y aumentar la eficiencia de las intervenciones, se priorizará el uso de materiales disponibles en la región de Puno, tales como:

- Agregados pétreos locales: Uso de piedra triturada y arenas provenientes de canteras cercanas para la fabricación de mezclas asfálticas y bases estabilizadas.
- Emulsiones asfálticas modificadas: Implementación de asfaltos con polímeros que mejoran la adherencia y flexibilidad del pavimento ante cambios de temperatura.
- Técnicas de reciclado in situ: Aplicación de métodos como el reciclado en frío con emulsiones y cemento para reutilizar materiales existentes y reducir la dependencia de agregados nuevos.



- Uso de geosintéticos en zonas de alta humedad: Instalación de geomallas y geotextiles para mejorar la estabilidad del pavimento en sectores con problemas de drenaje.

### **Monitoreo y Evaluación Periódica**

Para garantizar la efectividad de la intervención y prolongar la vida útil de la vía, se implementará un programa de monitoreo continuo, que incluirá:

- Inspecciones visuales semestrales para detectar daños incipientes y programar mantenimientos oportunos.
- Mediciones periódicas del IRI y deflexión para evaluar la evolución del desempeño del pavimento.
- Mantenimiento programado cada 3 a 5 años para aplicar tratamientos superficiales preventivos y correctivos.
- Uso de tecnologías de sensores y drones para evaluar el estado estructural del pavimento sin afectar la transitabilidad de la vía.

### **Conclusión**

La estrategia de intervención propuesta para la vía Juliaca – Paucarcolla permite optimizar los recursos disponibles, garantizando la conservación y mejora de la infraestructura vial. La diferenciación en los niveles de intervención según el estado de cada tramo minimiza costos, reduce el impacto ambiental y extiende la vida útil del pavimento. La implementación de estas soluciones garantizará una mayor seguridad, confort y eficiencia en la transitabilidad de la vía, contribuyendo al desarrollo socioeconómico de la región de Puno.

## 4.2 Discusión de resultados

El análisis de la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad del pavimento flexible en la vía Juliaca – Paucarcolla ha permitido identificar aspectos clave que influyen en su desempeño y durabilidad. Los resultados obtenidos a partir de la evaluación de deflexión estructural, el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el radio de curvatura evidencian variaciones significativas entre los distintos tramos de la vía, lo que sugiere la necesidad de intervenciones diferenciadas para optimizar su funcionalidad y prolongar su vida útil.

En primer lugar, la deflexión característica de 21.97 (1/100 mm) se encuentra por debajo del umbral admisible de 35.28 (1/100 mm), lo que indica que la capacidad estructural del pavimento es adecuada en la mayoría de los segmentos analizados. Este hallazgo es consistente con estudios previos que señalan que una deflexión baja está asociada a una menor deformación acumulativa en las capas del pavimento (Quispe, 2025). Sin embargo, ciertos sectores presentan una reducción en el radio de curvatura, lo que sugiere un posible deterioro localizado que podría afectar la estabilidad del pavimento a largo plazo.

En relación con la transitabilidad, los valores del IRI obtenidos muestran una marcada heterogeneidad a lo largo de la vía, con algunas secciones que superan los 5.00 m/km, lo que indica una rugosidad considerable. Estos valores pueden comprometer la seguridad y comodidad de los usuarios, dado que un IRI elevado se asocia con un incremento en el desgaste vehicular y en el consumo de combustible (Quispe, 2025). En este sentido, las variaciones en los valores del IRI entre los márgenes izquierdo y derecho del pavimento evidencian la necesidad de medidas correctivas para homogeneizar la superficie de rodadura y reducir la percepción de irregularidad por parte de los conductores.

La clasificación funcional y estructural de la vía permitió segmentar los tramos en estado óptimo, con deterioro moderado y en condición crítica, lo que facilitó el diseño de



estrategias de intervención adaptadas a cada situación. En los tramos con deflexión dentro del rango admisible y un IRI menor a 3.00 m/km, se recomienda la aplicación de mantenimiento preventivo, lo que coincide con la propuesta de (Mamani Y Corrales, 2024), quienes resaltan la importancia de tratamientos superficiales para mitigar el envejecimiento del pavimento y prevenir fisuras prematuras.

Por otro lado, las secciones con deterioro moderado requieren de acciones correctivas como el bacheo, el sellado de grietas y la rehabilitación superficial, estrategias ampliamente utilizadas en pavimentos con deformaciones controladas y rugosidad media (Mamani Y Corrales, 2024). En cuanto a los segmentos en estado crítico, donde se observan valores de deflexión superiores a los admisibles y un IRI mayor a 5.00 m/km, la rehabilitación estructural resulta la mejor alternativa, considerando la posible afectación en las capas inferiores del pavimento.

La propuesta de intervención basada en el análisis de la capacidad estructural y la transitabilidad se alinea con las tendencias actuales en gestión de infraestructura vial, donde la optimización de recursos y la diferenciación de estrategias según el grado de deterioro constituyen enfoques clave para la sostenibilidad de las redes de transporte (Ccama Y Turpo, (2021). Asimismo, la incorporación de técnicas de reciclado de capas y el uso de materiales locales favorece una reducción en los costos de mantenimiento y disminuye el impacto ambiental de las intervenciones.

En conclusión, los resultados del presente estudio reflejan la necesidad de un mantenimiento planificado y selectivo para mejorar la funcionalidad del pavimento en la vía Juliaca – Paucarcolla. La diferenciación de estrategias según el estado de cada tramo contribuirá a la prolongación de la vida útil del pavimento, garantizando mejores condiciones de transitabilidad y seguridad para los usuarios. A futuro, se recomienda la implementación de monitoreos periódicos mediante tecnologías avanzadas de medición, como sensores y drones, para evaluar la evolución del estado del pavimento y optimizar las intervenciones de conservación.



## CONCLUSIONES

**General,** El pavimento muestra una deflexión característica por debajo de la admisible y un radio de curvatura medio acorde con los estándares de diseño, lo que indica una estructura capaz de soportar la demanda vehicular actual y proyectada. Sin embargo, se identificaron segmentos localizados con niveles de rugosidad elevados que impactan negativamente la comodidad y seguridad de los usuarios, lo que resalta la importancia de intervenciones diferenciadas y mantenimiento preventivo en estos tramos. El conjunto de resultados respalda la aplicación de un plan de conservación basado en la priorización de tramos, optimizando así los recursos destinados al mantenimiento vial y contribuyendo a la mejora continua de la red carretera regional.

**Primera,** El estudio de la capacidad estructural mediante deflectometría y simulación de cargas revela que la mayoría de los tramos de la vía Juliaca–Paucarcolla cumplen con los parámetros técnicos establecidos para una estructura vial en buen estado. La deflexión característica obtenida ( $21.97 \times 10^{-2}$  mm) es inferior al valor admisible, y el promedio del radio de curvatura supera los 400 m, lo que refleja una resistencia suficiente ante las cargas de tránsito. A pesar de esta tendencia positiva, algunos segmentos presentan valores cercanos al límite, evidenciando heterogeneidad en la capacidad portante que podría agravarse si no se implementan medidas correctivas focalizadas. Por tanto, la evaluación estructural respalda la clasificación de la vía como funcionalmente adecuada, pero sugiere la necesidad de una vigilancia continua para anticipar la evolución de posibles fallas.

**Segunda,** La determinación del nivel de transitabilidad a través del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) muestra una distribución variable de la calidad superficial en los diferentes tramos de la vía analizada. Se identifican sectores que mantienen un IRI por



debajo de 2.8 m/km, caracterizándose por una superficie confortable y segura, mientras que otras secciones, especialmente en los márgenes derecho e izquierdo, superan los 5.0 m/km, lo que revela presencia de irregularidades notables y la necesidad de acciones correctivas. Esta heterogeneidad obliga a una gestión estratégica del mantenimiento, priorizando las áreas con mayor deterioro para garantizar condiciones óptimas de circulación, reducir el desgaste vehicular y aumentar la seguridad vial para los usuarios recurrentes.

**Tercera,** La propuesta de intervención para la vía Juliaca–Paucarcolla, fundamentada en la correlación entre la capacidad estructural y los niveles de transitabilidad, contempla la aplicación de soluciones diferenciadas para cada tramo según su estado. Se recomienda la adopción de mantenimiento preventivo en secciones con buen desempeño, tratamientos correctivos en tramos con deterioro moderado y rehabilitación estructural en zonas críticas. Esta estrategia integral aprovecha el uso de materiales locales, el reciclado in situ y técnicas de estabilización para optimizar recursos y minimizar el impacto ambiental. Así, se garantiza la sostenibilidad de la infraestructura y se prolonga la vida útil del pavimento, alineando las acciones de intervención con las necesidades reales y específicas detectadas a lo largo de la ruta evaluada.



## RECOMENDACIONES

**Primera,** Se sugiere implementar un sistema de monitoreo periódico del pavimento y del tránsito para anticipar el deterioro y aplicar intervenciones oportunas, asegurando así la conservación de la vía y la optimización de los recursos destinados al mantenimiento.

**Segunda,** Es recomendable fortalecer el programa de auscultación estructural mediante la realización regular de ensayos de deflectometría, priorizando los segmentos que muestran deflexiones cercanas al límite admisible para prevenir fallas mayores.

**Tercera,** Conviene priorizar el mantenimiento correctivo en los tramos que presentan IRI elevados, enfocándose en la nivelación y rehabilitación superficial de las áreas más irregulares para mejorar el confort y la seguridad de los usuarios.

**Cuarta,** Se recomienda analizar el impacto económico y ambiental de las estrategias de intervención, evaluando su costo-beneficio y aplicando modelos de predicción de deterioro. También se sugiere investigar el uso de materiales innovadores, como asfaltos modificados con polímeros, para mejorar la durabilidad del pavimento en condiciones climáticas similares.



## REFERENCIAS

- Adeke Terkumbur, P. (2022). (PDF) Correlation Analysis of Flexible Road Pavement Surface Condition and Load Bearing Capacity of Subgrade Soil. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.29002/asujse.866010>
- Alam, M. (2023, septiembre 8). ¿Qué es un diseño de investigación? Definición, tipos, métodos y ejemplos. *IdeaScale*. <https://ideascale.com/es/blogs/que-es-el-diseno-de-la-investigacion/>
- Angulo, F., & Jesban, K. (2022). Evaluación de la condición superficial y estructural del pavimento, utilizando el “Método VIZIR” en la Av. Salvador Allende – Pucallpa, 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/92710>
- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: La población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), Article 2. <https://doi.org/10.29262/ram.v63i2.181>
- Baque Solis, B. S. (2020). Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí. *Dominio de las Ciencias, ISSN-e 2477-8818, Vol. 6, Nº. 2, 2020 (Ejemplar dedicado a: Vol 6, No 2 (2020): Abril – Junio), págs. 203-228, 2*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7398457>
- Barboza, A. E. C., Monja, J. L. M., & Pérez, S. P. M. (2021). Comportamiento Térmico y Estructural del Concreto Expuesto a Altas Temperaturas: Una Revisión de la Literatura. *INVESTIGATIO*, 16, Article 16. <https://doi.org/10.31095/investigatio.2021.16.7>
- Bendezú, V., & Silvio, V. (2021). Cálculo del índice de condición del pavimento flexible usando fotogrametría del dron en la Av. Ferrocarril El Tambo Huancayo, 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75900>
- Carrión Huillca, E., & Salazar Valcárcel, J. W. (2023). *Análisis comparativo del índice de condición de pavimento en la Av. La Cultura entre Santa Úrsula y Mariscal Gamarra por los métodos Paser y PCI año 2022*. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/5546>



- Casanova Sanchez, L. F., & Carrasco Villar, T. M. (2024). Propuesta de mejoramiento y conservación a nivel de perfil de la serviciabilidad del corredor vial alimentador 40 del distrito de Pilcuyo, departamento de Puno. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/674740>
- Ccama Quispe, H. G., & Turpo Arapa, K. Y. (2021). Evaluación superficial del estado del pavimento flexible y verificación de tramos con fallas estructurales mediante Deflectometría, vía Juliaca – Lampa—Puno. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65735>
- Chavez Vergara, A. R. (2018). “Análisis comparativo entre el pavimento flexible y pavimento rígido en el tramo Mullaca a Chavín. Huaraz—2018”. *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25965>
- Coari Pelinco, E. F. (2018). “*Aplicación de la metodología PCI para la evaluación superficial del pavimento flexible de la av. Aviación de la ciudad de Juliaca en el 2017*”.
- Cruz, A., & Jhonny, P. (2018). Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto Plazas de peaje Vía Expresa Línea Amarilla—Lima, 2018. *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34704>
- Freire Cazagallo, B. A. (2024). *Análisis comparativo del método de PCI e IRI en la calificación de la condición actual del pavimento flexible en un tramo de la Av. Llira Ñan y OE2 en la Ciudad de Quito* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27921>
- Garzón Reina, A. M., & Hernández Méndez, L. Y. (2018). *Diseño de una cartilla guía ilustrativa del proceso constructivo de un pavimento flexible para bajos volúmenes de tránsito en Girardot y la Región* [Thesis]. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5711>
- Huang, Q., Zhu, X., Xiong, G., Wang, C., Liu, D., & Zhao, L. (2021). Recycling of crushed waste clay brick as aggregates in cement mortars: An approach from macro- and micro-scale investigation. *Construction and Building Materials*, 274, 122068. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122068>



- Karjalainen, V., Malinen, J., & Tokola, T. (2023). Predicting bearing capacity and trafficability classes of forest roads using road properties and surrounding terrain information. *Road Materials and Pavement Design*, 0(0), 1-18. <https://doi.org/10.1080/14680629.2024.2434945>
- Larico Vasquez, D. W. (2024). *Evaluación de la condición de serviciabilidad del pavimento flexible por métodos no destructivos de la Carretera Yunguyo – Tinicachi del Departamento de Puno*. <https://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/973>
- Lubo Gómez, O. A., & Martínez Giraldo, R. A. (2019). *Asfaltos modificados con cauchos en vías primarias en las ciudades Santa Marta, Barranquilla y Bogotá como alternativa de mejoramiento de la capa de rodadura de los pavimentos flexibles entre los años 2012-2019*. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/15630>
- Luque Gonzales, N. G. (2023). Determinación de la resistencia a la compresión en unidades de adobe tradicional y unidades de adobe estabilizado con plumas de pollo en el Distrito de Lampa. *Universidad Andina «Néstor Cáceres Velásquez»*. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/9297>
- Mamani, O., & Noemi, K. (2020). Transición del sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional basado en OHSAS 18001:2007 a los lineamientos de ISO 45001:2018 para la unidad San Cristóbal – Minera Bateas. *Universidad Tecnológica del Perú*. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3015>
- Mamani Ticona, Y. del R., & Corrales Huamán, A. (2024). Diagnóstico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la avenida Collpa, Tacna-2024. *Repositorio Institucional - UPT*. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/3677>
- Meléndez, A., Peña, L., Vacca, H., Alvarado, Y., Meléndez, A., Peña, L., Vacca, H., & Alvarado, Y. (2022). Comportamiento mecánico de una estructura de pavimento flexible rehabilitada con una sobrecapa de UHPFRC. *Revista ingeniería de construcción*, 37(3), 335-344. <https://doi.org/10.7764/ric.00038.21>



- Mora, B., & Leonardo, S. (2023). *Evaluación comparativa de impacto ambiental aplicando la matriz de Conesa-Fernández, el método de Leopold y método de Batelle, en el proyecto de mejoramiento del servicio de transitabilidad de un sector del eje de integración vial norte, en los distritos de Yura y Cerro Colorado—Arequipa.*  
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/20c6da64-2095-475f-bfa9-3ed920953ed7>
- Morales Colca, M. (2019). *Comparación de los métodos PCI y VIZIR en la evaluación de fallas del pavimento flexible de la avenida Aviación de la ciudad de Juliaca.*  
<https://repositorio.upeu.edu.pe/items/9b191d40-abdc-43c7-a4ed-af4c6c04b60d>
- Pachay Parrales, I. S. (2017). *EVALUACION DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE VIA DE ACCESO A LA PARROQUIA LA UNION (0+000-0+966) APLICANDO EL METODO PCI* [bachelorThesis, JIPIJAPA-UNESUM].  
<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/929>
- Putra, D. A., & Suprpto, M. (2019). Assessment of the road based on PCI and IRI roadroid measurement. *MATEC Web of Conferences*, 195, 04006.
- Quispe Aguilar, G. F., & Sánchez García, J. L. (2021). Propiedades mecánicas del concreto permeable incorporando material reciclado de construcción para corredores vehiculares en la urbanización Brisas de Villa Chorrillos 2020. *Repositorio Institucional - UCV.*  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/72901>
- Quispe Cruz, K. (2025). Influencia de las propiedades mecánicas de suelos con alta capacidad portante en el dimensionamiento de pavimento flexible, Chupaca, 2024. *Universidad Peruana Los Andes.* <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/9533>
- Quispe Parra, P. T. (2023). *Análisis de la productividad aplicando lean construction en el proyecto de mejora de la transitabilidad en la provincia de Carabaya—Puno, 2021.*  
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/6432>
- Rifai, M., Setyawan, A., Handayani, F. S., & Arun, A. D. (2020). Evaluation of functional and structural conditions on flexible pavements using pavement condition index (PCI) and international roughness index (IRI) methods. *E3S Web of Conferences*, 429, 05011.



- Romero Bravo, J. L., & Calderon Arevalo, R. M. (2023). Aplicación de un sistema de gestión de pavimentos (SGP) con datos automatizados por medio del aplicativo TotalPave, bajo el uso del índice de rugosidad (IRI) y el índice de condición del pavimento (PCI) para la determinación del estado situacional actual del pavimento rígido en la Av. 28 de Julio de la ciudad de Tingo María. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/670396>
- Salazar Tello, A. A. (2019). Evaluación de las patologías del pavimento flexible aplicando el método PCI, para mejorar la transitabilidad de la carretera Pomalca—Tumán. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40648>
- Sandoval, C. H. H. (2015). Comportamiento estructural de un pavimento flexible, esfuerzos-deformaciones y deflexiones. *L'esprit Ingénieux*, 4(1), Article 1. <https://revistas.santototunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/857>
- Serrano Paye, R. R., & Montoya Supo, J. J. (2021). Determinación del índice de rugosidad internacional y propuesta de diseño de pavimento flexible en la avenida Tarapacá, tramo: Óvalo Cuzco - av. Gustavo Pinto, Tacna – 2021. *Universidad Privada de Tacna*. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2031>
- Tejada, C., & Alberto, R. (2019). Análisis del estado de conservación aplicando el método del índice de condición del pavimento flexible en la carretera kuntur wasi—Jancos san pablo, región Cajamarca. *Universidad Privada Antenor Orrego*. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/5710>
- Tho'atin, U., Setyawan, A., & Suprpto3, M. (2016). PENGGUNAAN METODEDE INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX (IRI), SURFACE DISTRESS INDEX (SDI) DAN PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) UNTUK PENILAIAN KONDISI JALAN DI KABUPATEN WONOGIRI. *Prosiding Semnastek*, 0, Article 0. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/685>



- Uribe Quispe, J. F. (2020). Aplicación del Polietileno (PET) en pavimento flexible para determinar el comportamiento físico—Mecánico en la Av. Los Geranios, Huaral 2020. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/54387>
- Vásquez Agip, J. K. (2020). Comparación entre el diseño de pavimento rígido y flexible reforzados con geomalla biaxial en la pavimentación de la Av. Perú de la ciudad de Chota—Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3945>
- Vela, H., & Angel, Y. (s. f.). *Propuesta de un plan de mantenimiento con recapeo asfáltico para la conservación del pavimento flexible de la Avenida República del Distrito de Ilave de la Región Puno*. Recuperado 25 de julio de 2024, de <https://repositorio.uancv.edu.pe/items/bb0658a4-2e9b-422c-9abe-58fcb07f1ccb>
- Vergara Vicuña, L. (2018). Evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible mediante la metodología PCI tramo Quichuay -Ingenio del km 0+000 al km 1+000 2014. *Universidad Nacional del Centro del Perú*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/421>



**ANEXOS**



### Anexo. Matriz de Consistencia

Título de tesis: "ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA – PAUCARCOLLA 2025"				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p><b>Problema General:</b></p> <p>¿Cuál es la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad mediante la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025?</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Evaluar la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad mediante la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>La capacidad estructural y el nivel de transitabilidad mediante la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025, se encuentra en regular y transitabilidad buena respectivamente.</p>		
<p><b>Problemas Específicos</b></p> <p>¿Cuál es la capacidad estructural por medio de la aplicación de cargas de tránsito simulada por deflectometría en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025?</p> <p>¿Cuál es el nivel de transitabilidad por medio de pruebas de índice de rugosidad internacional en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025?</p> <p>¿Cuál es la alternativa de intervención según la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Determinar la capacidad estructural por medio de la aplicación de cargas de tránsito simulada por deflectometría en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025.</p> <p>Determinar el nivel de transitabilidad por medio de pruebas de índice de rugosidad internacional en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025.</p> <p>Proponer la alternativa de intervención según la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025.</p>	<p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>La capacidad estructural por medio de la aplicación de cargas de tránsito simulada por deflectometría en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025, es regular debido a deflexiones que sobrepasan las deflexiones admisibles.</p> <p>El nivel de transitabilidad por medio de pruebas de índice de rugosidad internacional en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025, es bueno puesto que solo se tiene fisuras transversales y longitudinales.</p> <p>La alternativa de intervención según la capacidad estructural y el nivel de transitabilidad en el pavimento flexible de la vía Juliaca – Paucarcolla 2025, es un mantenimiento rutinario con parcheo y sellados asfálticos.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNSITO</p> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad estructural</li> <li>• Nivel de transitabilidad</li> </ul>	<p>Deflectómetro de impacto</p> <p>Inspección visual</p> <p>Herramientas específicas obtenidas del laboratorio de mecánica de suelos</p>





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

EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

RELACION DE LONGITUDES DE BRAZO (UNIDAD DE LECTURA 1/1000 mm) 4.1.1 0.01 mm

FACTOR DE CORRECCIONAL DEFLEXIÓN MÁXIMA ADMISIBLE 1.130 x 10<sup>-3</sup> mm

Main data table with columns: Hora, Deflexión (mm), Corrección de Temp., etc. It contains multiple rows of numerical data for different measurements.

Summary table with columns: MAX, MIN, MEAN, etc. It provides statistical values for the data.

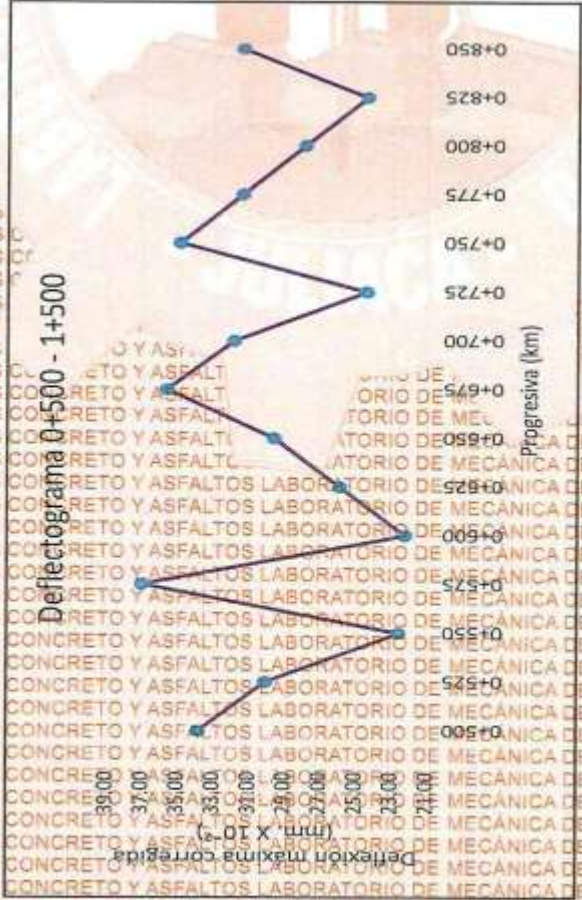
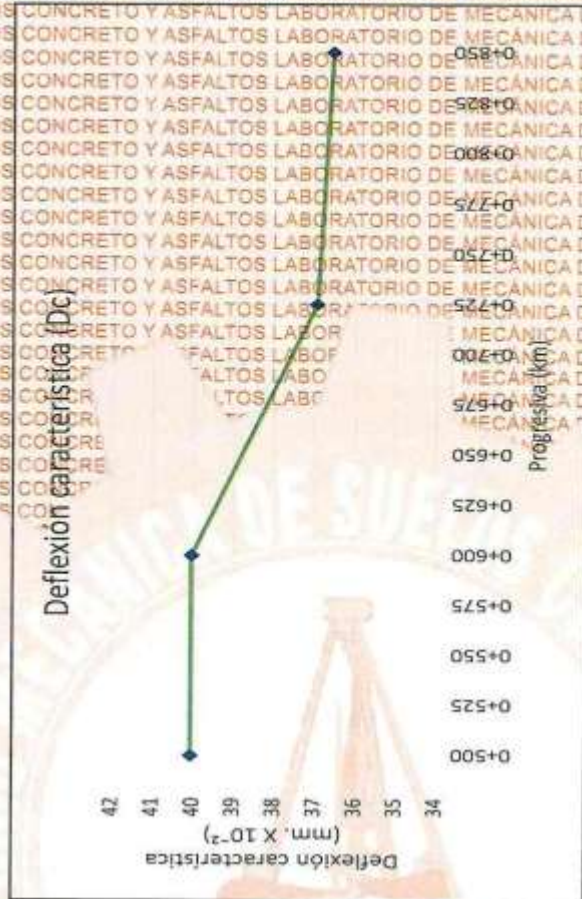
Table with columns: PROMEDIO, DESVIACIÓN ESTÁNDAR, etc. It provides statistical analysis of the data.

Handwritten signature and stamp of the laboratory.



UNIVERSIDAD ANDINA - MESAS, CACERES Y EL ASQUEZ  
 FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

Trabajo de Grado de Ingeniería Civil  
 TÍTULO: Análisis de las condiciones de tránsito y de la aplicación de cargas de tránsito en el pavimento de la vía pública - Troncalina a Puno  
 AUTOR: Jhonatan Villacayo Zapata  
 ASesor: Ing. Jhonatan Villacayo Zapata  
 FECHA: 2023  
 INSTITUCIÓN: Universidad Andina del Cuzco



INGENIERO NACIONAL EN CARRERAS Y SUELOS  
 FICP - CAP INGENIERIA CIVIL  
 Ing. Jhonatan Villacayo Zapata  
 CIP: 103257





UNIVERSIDAD ANDINA "INESOR 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 DE CARGA DE LOS SUELOS DE LA ZONA DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA - PERÚ  
AUTORA: JESSICA VILLALBA ZAMORA  
TÍTULO: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LOS SUELOS DE LA ZONA DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA - PERÚ  
FECHA: 2023



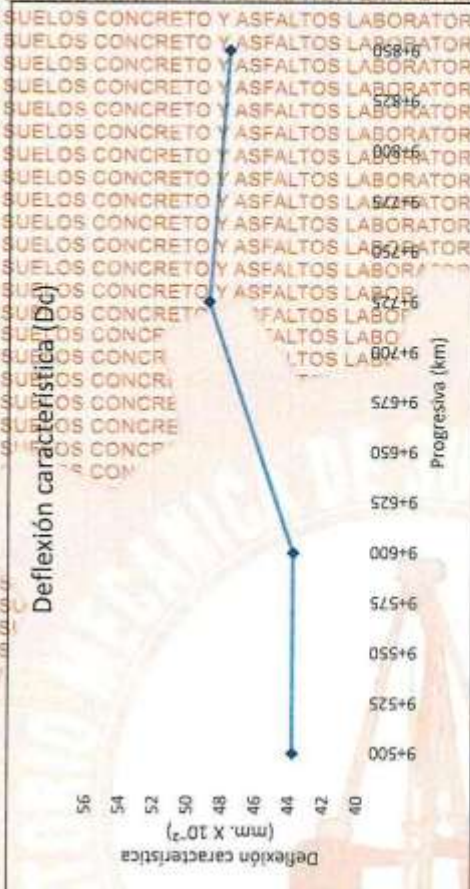
INGENIERO CIVIL  
M.S.C. A.  
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL  
Armando Jairo Torres



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

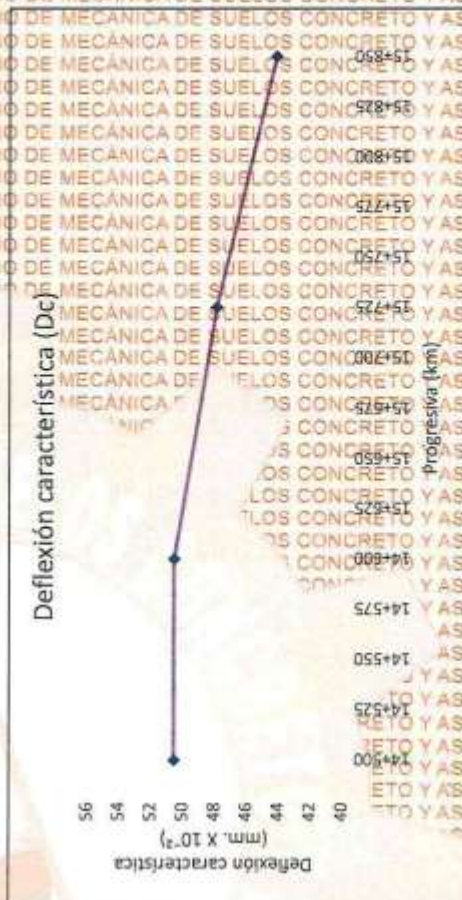


TESIS para optar al título profesional de INGENIERO CIVIL en el área de INGENIERÍA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 AUTOR: **ANDRÉS NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
 TÍTULO: **ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PASEO PEATONAL EN LA AV. BOLIVAR, CAJAMARCA**  
 ASIGNATURA: MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 PROFESOR: **ING. CARLOS VILLOTA**  
 FECHA DE ENTREGA: **10/05/2017**



INGENIERO CIVIL  
 ANDRÉS NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CARLOS VILLOTA  
 INGENIERO CIVIL  
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
 OFICINA DE INVESTIGACIÓN





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



FECHA: 15/05/2023  
 TÍTULO: Análisis de la capacidad de carga de un pavimento rígido de concreto en un terreno de tipo arcilloso.  
 AUTOR: FRODO VILLAN ZAPATA ARANDA  
 INSTITUCIÓN: Universidad Andina "Mestros Cáceres Vela Sobez"  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

INGENIERO EN INGENIERÍA CIVIL  
 MSc. Ing. Alfredo Yana Torres  
 Director del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfaltos





VOLUMEN DE TRÁFICO PROMEDIO DIARIO

PROYECTO :ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CARGAS DE TRÁNFITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA JULIACA – PAUCARBACOLLA 2025  
 TÍTULO : JULIACA – PAUCARBACOLLA  
 SOLICITANTE : RONI VILCAY ZAPATA ARAYA

DÍA	RUTA	SENTIDO	AUTO		PICK UP		COMBI RURAL		MICRO		BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER			TRAYLERS			TOTAL	PORC. %	
			2E	3E	4E	5E	6E	7E	8E	9E	10E	11E	12E	13E	14E	15E	16E	17E	18E	19E	20E			21E
LUNES	JULIACA - PAUCARBACOLLA	AMBOS	765	396	428	15	15	2	10	8	0	3	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1648	13.73
MARTES	JULIACA - PAUCARBACOLLA	AMBOS	730	380	428	16	12	3	14	6	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1605	13.37
MÉRCOLES	JULIACA - PAUCARBACOLLA	AMBOS	603	420	485	14	13	7	14	8	0	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1878	16.47
JUEVES	JULIACA - PAUCARBACOLLA	AMBOS	741	372	492	12	16	4	10	6	0	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1851	13.83
VIERNES	JULIACA - PAUCARBACOLLA	AMBOS	718	384	430	14	14	2	8	7	3	4	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1580	13.28
SABADO	JULIACA - PAUCARBACOLLA	AMBOS	813	462	447	17	11	4	10	5	3	3	5	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1728	14.37
DOMINGO	JULIACA - PAUCARBACOLLA	AMBOS	831	428	468	15	15	4	11	7	0	0	5	3	2	0	0	0	0	0	0	0	1793	14.03
TOTAL			5588	2790	3188	152	86	26	78	48	1	4	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	13007	100.00
IMDS			48.68	23.24	25.69	0.37	0.42	0.23	0.34	0.41	0.08	0.23	0.23	0.12	0.06	0.03	0.20	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

TRAFICO VEHICULAR  
IMD Sin Conexión

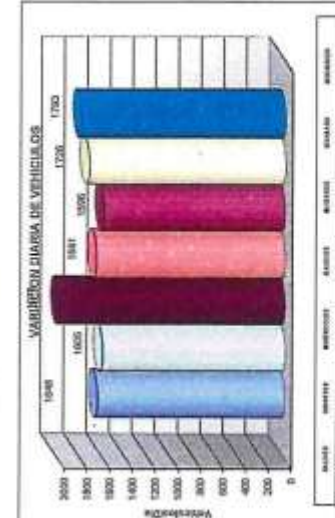
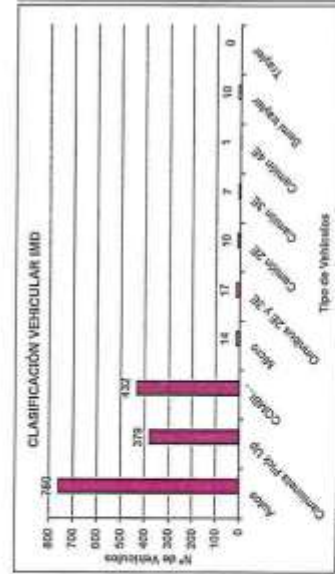
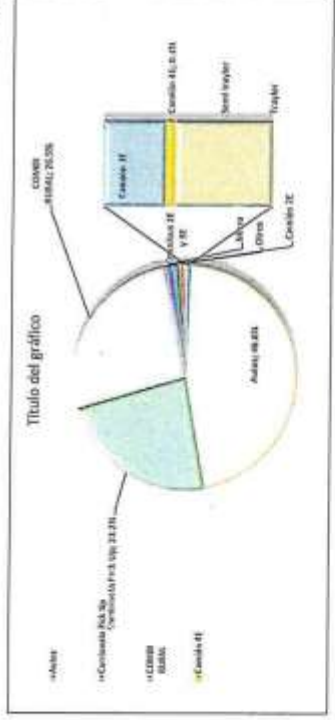
Tipo de Vehículo	IMDS	Distib. %
Autos	600	48.4%
Camioneta Pick Up	389	31.2%
COMBI RURAL	455	36.5%
Micos	15	0.9%
Omnibus 2E y 3E	18	1.4%
Camión 2E	11	0.9%
Camión 3E	7	0.6%
Camión 4E	1	0.1%
Bus	11	0.9%
Trayler	9	0.7%
TOTAL IMDS	1237	100.0%

TRAFICO VEHICULAR  
IMD ANUAL Y CLASIFICACION VEHICULAR

Tipo de Vehículo	IMD	Distib. %
Autos	760	46.0%
Camioneta Pick Up	379	23.2%
COMBI RURAL	432	26.0%
Micos	14	0.8%
Omnibus 2E y 3E	17	1.0%
Camión 2E	10	0.6%
Camión 3E	7	0.4%
Camión 4E	1	0.1%
Bus	10	0.6%
Trayler	0	0.0%
TOTAL IMD	1639	100.0%

CALCULO DEL IMD  
Resumen de Metodología

$IMD = \frac{VS}{7}$   
 $VS = Volumen Promedio Mensual$   
 $VS = \text{Autos} + \text{Camionetas} + \text{Combi} + \text{Micro} + \text{Omnibus} + \text{Camión} + \text{Bus} + \text{Trayler}$   
 $IMD = 1639 \text{ Vehículos por día}$   
 $1639 \times 0.23 = 377 \text{ Vehículos por día}$





**IMD ANUAL Y CLASIFICACION VEHICULAR**  
**IMD (Veh/día)**

PROYECTO : ANALISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACION DE CARGAS DE TRANSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VIA JULIACA - PAUCARCOLLA 2025  
 TRAMO : JULIACA - PAUCARCOLLA  
 SOLICITANTE : RONI VILEAN ZAPATA ARAPA

TIPO DE VEHICULOS	LUNES DIA 01		MARTES DIA 02		MIÉRCOLES DIA 03		JUEVES DIA 04		VIERNES DIA 05		SABADO DIA 06		DOMINGO DIA 07		PROMEDIO DIARIO	
	IMD	DISTRIB (%)	IMD	DISTRIB (%)	IMD	DISTRIB (%)	IMD	DISTRIB (%)	IMD	DISTRIB (%)	IMD	DISTRIB (%)	IMD	DISTRIB (%)	IMD	DISTRIB (%)
Autos	785	46	720	40	693	50	741	45	728	45	813	47	831	48	860	46,63
Camionetas	395	24	360	24	420	21	372	22	394	24	462	23	426	24	388	23,24
Camioneta Rural	429	26	426	27	495	26	462	30	429	27	447	26	468	26	455	26,53
Mikro	16	1	16	1	14	1	12	1	14	1	17	1	15	1	15	0,96
Omnibus 2E	16	1	12	1	13	1	16	1	14	1	11	1	15	1	14	0,80
Omnibus 3E	2	0	3	0	7	0	4	0	2	0	4	0	4	0	4	0,22
Camion 2 E	10	1	14	1	14	1	10	1	9	1	10	1	11	1	11	0,65
Camion 3 E	8	0	6	0	6	0	6	0	7	0	6	0	7	0	7	0,40
Camion 4 E	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0	3	0	-	-	1	0,05
2S1/2S2	3	0	4	0	6	0	3	0	4	0	3	0	6	0	4	0,24
2S3	4	0	4	0	4	0	3	0	2	0	5	0	5	0	4	0,27
Semi Traylor	-	-	-	-	4	0	2	0	1	0	4	0	3	0	2	0,12
>=3S3	1	0	-	-	-	-	-	-	1	0	1	0	2	0	1	0,04
2T2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2T3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3T2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3T3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL PROMEDIO DIARIO	1.448	100,00	1405	100,00	1.978	100,00	1661	100,00	1896	100,00	1728	100,00	1793	100,00	1715	100,00
TOTAL PROMEDIO PERIODO															12,007	
TOTAL PROMEDIO TRANSITO DIAS LABORABLES															1,698	
VOLUMEN DE TRANSITO DEL DIA SABADO															1,726	
VOLUMEN DE TRANSITO DEL DIA DOMINGO															1,799	



**IMD ANUAL Y CLASIFICACION VEHICULAR  
IMD (Veh/dia)**

PROYECTO : ANALISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACION DE CARGAS DE TRANSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VIA JULIACA - PAUCARCOLLA 2026  
 TRAMO : JULIACA - PAUCARCOLLA  
 SOLICITANTE : RONI VILEAN ZAPATA ARAPA

TIPO DE VEHICULOS	LUNES DIA 01		MARTES DIA 02		MIÉRCOLES DIA 03		JUEVES DIA 04		VIERNES DIA 05		SABADO DIA 06		DOMINGO DIA 07		PROMEDIO DIARIO	
	IND	DISTRIB (%)	IND	DISTRIB (%)	IND	DISTRIB (%)	IND	DISTRIB (%)	IND	DISTRIB (%)	IND	DISTRIB (%)	IND	DISTRIB (%)	IND	DISTRIB (%)
Autos	301	23	269	23	624	25	403	26	309	23	471	24	432	24	411	23.04
Camionetas Pick Up	213	53	193	11	287	30	183	11	195	12	195	11	201	11	195	11.38
Camionetas Rural	228	14	204	13	240	12	268	16	210	13	233	12	248	14	228	13.32
Micro	9	1	9	1	6	0	6	0	6	0	9	1	9	1	8	0.45
Onibus 2E	6	0	6	0	6	0	7	0	5	0	7	0	9	1	7	0.38
Onibus 3E	2	0	2	0	4	0	2	0	2	0	2	0	4	0	3	0.15
Camion 2 E	6	0	6	0	7	0	4	0	4	0	4	0	5	0	5	0.30
Camion 3 E	6	0	2	0	4	0	2	0	3	0	3	0	3	0	3	0.19
Camion 4 E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	-	-	0	0.01
251/262	3	0	2	0	3	0	2	0	2	0	2	0	3	0	2	0.14
263	2	0	2	0	2	0	1	0	1	0	3	0	3	0	2	0.12
351/362	-	-	-	-	2	0	1	0	1	0	2	0	2	0	1	0.07
p<-353	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	1	0	1	0	0	0.02
212	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
213	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
312	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
313	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL PROMEDIO DIARIO</b>	<b>656</b>	<b>51.94</b>	<b>716</b>	<b>44.91</b>	<b>945</b>	<b>49.40</b>	<b>674</b>	<b>52.63</b>	<b>710</b>	<b>48.50</b>	<b>833</b>	<b>40.42</b>	<b>918</b>	<b>51.20</b>	<b>866</b>	<b>50.48</b>
<b>TOTAL PROMEDIO PERIODO</b>																
<b>TOTAL PROMEDIO TRANSITO DIAS LABORABLES</b>																
<b>VOLUMEN DE TRANSITO DEL DIA SABADO</b>																
<b>VOLUMEN DE TRANSITO DEL DIA DOMINGO</b>																



**IMD ANUAL Y CLASIFICACION VEHICULOS LIGEROS  
IMD (Veh/dia)**

OBRA : ANALISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACION DE CARGAS DE TRANSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VIA JULIACA - PALUCARCOLLA 2025  
 TRAMO II : JULIACA - PALUCARCOLLA  
 SOLICITANTE : ROMI VILEAN ZAPATA ARAPA

TIPO DE VEHICULOS	LUNES DIA 01		MARTES DIA 02		MIÉRCOLES DIA 03		JUEVES DIA 04		VIERNES DIA 05		SÁBADO DIA 06		DOMINGO DIA 07		PROMEDIO DIARIO	
	IMD	DISTR(%)	IMD	DISTR(%)	IMD	DISTR(%)	IMD	DISTR(%)	IMD	DISTR(%)	IMD	DISTR(%)	IMD	DISTR(%)	IMD	DISTR(%)
Autos	785	47.86	730	46.73	793	51.66	741	45.03	776	48.75	813	48.42	831	47.76	809	47.84
Caminiones Pick Up	396	24.67	360	24.97	400	21.85	372	23.01	384	24.73	402	23.84	426	24.48	399	23.89
Caminions Rural	429	26.73	426	27.27	495	25.75	482	30.43	470	27.52	447	26.52	468	26.90	455	27.28
Micro	15	0.93	16	1.02	14	0.73	12	0.74	14	0.89	17	1.01	15	0.86	15	0.88
Bus																
Omnibus 2E																
Omnibus 3E																
Camión																
Camión 2 E																
Camión 3 E																
Camión 4 E																
26'1252																
2853																
Semi Traylor																
35'1352																
>-353																
272																
273																
372																
373																
TOTAL PROMEDIO DIARIO	1,019	50.00	1,563	100.00	1,822	160.00	1,617	100.00	1,553	100.00	1,678	100.00	1,748	100.00	1,468	100.00
TOTAL PROMEDIO PERIODO																
TOTAL PROMEDIO TRANSITO DIAS LABORABLES																
VOLUMEN DE TRANSITO DEL DIA SABADO																
VOLUMEN DE TRANSITO DEL DIA DOMINGO																



### PROYECCION DE TRAFICO TOTAL (IMD (Veh/día))

PROYECTO : ANALISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y EL NIVEL DE TRANSITABILIDAD MEDIANTE LA APLICACION DE CARGAS DE TRANSITO EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VIA JULIACA - PAUCARCOLLA 2025  
 TRAMO : JULIACA - PAUCARCOLLA  
 SOLICITANTE: RONI VILEAN ZAPATA ARAPA

TIPO DE VEHICULOS	CALCULO DEL ESAL POR AÑO																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Autos	5.55E+02	8.69E+02	8.78E+02	8.88E+02	8.97E+02	9.07E+02	9.16E+02	9.26E+02	9.36E+02	9.46E+02	9.56E+02	9.67E+02	9.77E+02	9.87E+02	9.98E+02	1.01E+03	1.02E+03	1.03E+03	1.04E+03	1.05E+03
Camionetas Pick Up	1.38E+02	2.17E+02	2.18E+02	2.21E+02	2.24E+02	2.28E+02	2.32E+02	2.37E+02	2.42E+02	2.47E+02	2.52E+02	2.57E+02	2.62E+02	2.67E+02	2.72E+02	2.77E+02	2.82E+02	2.87E+02	2.92E+02	2.97E+02
Cambioneta Rural	1.40E+02	2.20E+02	2.22E+02	2.25E+02	2.27E+02	2.30E+02	2.32E+02	2.36E+02	2.40E+02	2.43E+02	2.45E+02	2.47E+02	2.49E+02	2.51E+02	2.54E+02	2.57E+02	2.60E+02	2.63E+02	2.66E+02	2.69E+02
Micro	6.38E+00	9.99E+00	1.01E+01	1.02E+01	1.03E+01	1.04E+01	1.05E+01	1.07E+01	1.08E+01	1.10E+01	1.11E+01	1.12E+01	1.14E+01	1.15E+01	1.16E+01	1.17E+01	1.18E+01	1.19E+01	1.20E+01	1.21E+01
Bus	4.10E+03	6.42E+03	6.48E+03	6.56E+03	6.63E+03	6.70E+03	6.77E+03	6.84E+03	6.92E+03	7.00E+03	7.07E+03	7.14E+03	7.22E+03	7.30E+03	7.37E+03	7.45E+03	7.53E+03	7.61E+03	7.69E+03	7.78E+03
Camion	1.85E+03	2.58E+03	2.61E+03	2.64E+03	2.67E+03	2.70E+03	2.72E+03	2.75E+03	2.78E+03	2.81E+03	2.84E+03	2.87E+03	2.90E+03	2.93E+03	2.97E+03	3.00E+03	3.03E+03	3.06E+03	3.10E+03	3.13E+03
Camion 2 E	7.14E+03	1.16E+04	1.21E+04	1.27E+04	1.33E+04	1.39E+04	1.46E+04	1.53E+04	1.60E+04	1.67E+04	1.75E+04	1.84E+04	1.92E+04	2.01E+04	2.11E+04	2.21E+04	2.31E+04	2.42E+04	2.53E+04	2.65E+04
Camion 3 E	3.04E+03	4.94E+03	5.17E+03	5.42E+03	5.67E+03	5.94E+03	6.22E+03	6.51E+03	6.82E+03	7.14E+03	7.48E+03	7.83E+03	8.20E+03	8.58E+03	8.98E+03	9.41E+03	9.85E+03	1.03E+04	1.08E+04	1.13E+04
Camion 4 E	3.80E+02	6.19E+02	6.47E+02	6.77E+02	7.09E+02	7.42E+02	7.77E+02	8.14E+02	8.52E+02	8.92E+02	9.34E+02	9.78E+02	1.02E+03	1.07E+03	1.12E+03	1.18E+03	1.23E+03	1.29E+03	1.35E+03	1.41E+03
Semi Traylor	2.07E+00	4.59E+00	4.92E+00	4.80E+00	4.89E+00	4.70E+00	4.75E+00	4.80E+00	4.85E+00	4.90E+00	4.95E+00	5.01E+00	5.06E+00	5.11E+00	5.17E+00	5.22E+00	5.28E+00	5.34E+00	5.39E+00	5.45E+00
283	2.67E+00	4.19E+00	4.29E+00	4.28E+00	4.32E+00	4.27E+00	4.42E+00	4.47E+00	4.51E+00	4.56E+00	4.61E+00	4.66E+00	4.71E+00	4.76E+00	4.81E+00	4.86E+00	4.92E+00	4.97E+00	5.02E+00	5.08E+00
383-0383	1.39E+00	2.17E+00	2.22E+00	2.22E+00	2.24E+00	2.27E+00	2.28E+00	2.32E+00	2.34E+00	2.37E+00	2.39E+00	2.42E+00	2.44E+00	2.47E+00	2.50E+00	2.52E+00	2.55E+00	2.58E+00	2.60E+00	2.63E+00
>=383	4.95E-01	7.79E-01	7.89E-01	7.93E-01	8.01E-01	8.10E-01	8.18E-01	8.27E-01	8.36E-01	8.46E-01	8.54E-01	8.63E-01	8.72E-01	8.82E-01	8.91E-01	9.01E-01	9.10E-01	9.20E-01	9.30E-01	9.40E-01
Traylor	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
272	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
273	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
372	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
373	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ESAL POR AÑO	17159.66	27477.99	28986.15	29353.53	30351.94	31353.27	32479.49	33812.67	35794.97	38028.69	37316.15	38659.90	40862.49	41508.08	43055.31	44651.38	46317.98	48050.39	49870.08	51774.61
ESAL DE DISEÑO	7.42E+06																			
	742347.20																			



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital [X]

Fecha de entrega: 22-09-2025

1. Datos del autor (es):

Formulario with fields for author information: Nombres y Apellidos, Dirección, DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°, Teléfono, email, Facultad y/o Escuela de Posgrado, Escuela Profesional o Mención, Título o Grado Académico a optar, Asesor, Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones, Trabajo de Investigación, Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional, Trabajo Académico, Título, Palabras claves, ¿Esta obra se desarrolló en la UANCV 1, 2?



2. Referencia de tesis:

- Bachiller     Titulo     2da Especialidad     Maestría     Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

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

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

- Sí autorizo
- No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P17

Firma de Autor



huella digital

22-09-2025

Fecha