



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES



**EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN
Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN
EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:
NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO

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

JULIACA – PERÚ
2025



**UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**


**EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN
Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN
EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024**

**TESIS PRESENTADA POR:
NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO**

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

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO :


Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

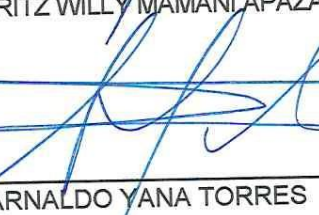
MIEMBRO DEL JURADO :


Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

MIEMBRO DEL JURADO :


Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ASESOR DE TESIS :


Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN :

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P50



TESIS UANCV



UNIVERSIDAD ANDINA
“NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ”
ESCUELA DE POSGRADO



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

“OFICINA DE INVESTIGACIÓN”



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°0335-2025-D-EPG-UANCV/J

Juliaca, 08 de setiembre del 2025

VISTOS:

El expediente N° 1539 presentado por el (la) Bachiller: **NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO** quien solicita nominación de jurados, fecha y hora de sustentación de tesis, en la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez”.

CONSIDERANDO:

Que, el (a) Bachiller: **NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO** con número de DNI 43052197 con número de matrícula 1820200057 ha solicitado asignación de jurados, Fecha y hora de sustentación de la Tesis Titulada: **EVALUACION DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACION DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024** para optar el **GRADO** de: **MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL** Mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez; Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 18° del Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, **COMITÉ DE INVESTIGACIÓN;**

Que, mediante Resolución N°1918-2024 -USA-EPG/UANCV SE APRUEBA Y AUTORIZA LA EJECUCION DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACION y con Resolución N°131-2025-USA-EPG/UANCV, se APRUEBA y AUTORIZA EL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) Titulada: **EVALUACION DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACION DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024** La misma que pertenece a la Línea de Investigación: **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50;**

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

Y estando, la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y el Director de la Escuela de Posgrado mediante acta de sorteo de jurado, con registro N° 000246 de fecha: 02 de setiembre del 2025 se nomina jurados.

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

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

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR APTO para la sustentación presencial del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN** (borrador de tesis), TITULADO: **EVALUACION DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACION DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024** del (la) Bach: **NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO**, para optar el **GRADO** de: **MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL** Mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES**, en virtud de los considerandos expuestos.

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

Presidente	: Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Primer miembro	: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Segundo miembro	: Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Asesor	: Dr. ARNALDO YANA TORRES

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

Fecha	: Lunes, 15 de setiembre del 2025
Hora	: 09:00 a.m..
Lugar	: Aula N°208 Centro Comercial N° 03 UANCV-JULIACA

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

Regístrese, comuníquese y archívese.


 UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 ESCUELA DE POSGRADO
 DIRECCIÓN
 JULIACA - PERÚ
 Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
 DIRECTOR (e)

DISTRIBUCIÓN:
 DIRECCIÓN EPG, INTERESADO.

C. Comercial N°3 2do Piso ☎ (051) 329145 - Pag. Web: www.epg@uancv.edu.pe - Juliaca - Perú



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 0131-2025-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 28 de abril de 2025

VISTOS:

El Expediente N° 2024-016037 de fecha 26 de diciembre de 2024, el (la) Bach. NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO, con DNI N° 43052197, código de matrícula N° 1820200057, quien solicita Revisión de Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis); INFORME N° 0040-2025-UI-EPG-UANCV y el Anexo (04 o 05) "Ficha de Opinión del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis)" del 10 de enero de 2025, que fue revisada por el Comité de Investigación de la Escuela de Posgrado.

CONSIDERANDO:

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

Que, con Expediente N°2024-016037 el (la) Bach. NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO, solicita la revisión y aprobación del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis) titulado: EVALUACION DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACION DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024 Línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50, para optar el GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL, mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES.

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

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

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, corroboró el asesoramiento en el Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis) del ASESOR Mgtr. ARNALDO YANA TORRES; y,

Estando, la opinión favorable del Comité de Investigación, según INFORME N° 0040-2024-UI-EPG-UANCV y el Anexo (04 o 05) "Ficha de Opinión del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis)" en concordancia con el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R, de conformidad a lo que establece la Ley Universitaria N° 30220, Ley de Creación de la UANCV N° 23738 y Modificatoria N° 24661 y el Estatuto de la UANCV, que confiere facultades a la unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado.

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR Y AUTORIZAR EL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) para la REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN, titulado: EVALUACION DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACION DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024 presentado por el (la) Bach. NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTICULO SEGUNDO.- RATIFICAR, como ASESOR al (a) Mgtr. ARNALDO YANA TORRES.

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

Regístrese, comuníquese y archívese.


 UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 ESCUELA DE POSGRADO
 DIRECCIÓN
 JULIACA
 Dr. Javier Romulo Quispe Zapana
 DIRECTOR (e)

DISTRIBUCIÓN:
 DIRECCIÓN EPG, INTERESADO.
 ASFA 1807/2025



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO

RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 01918-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 13 de noviembre de 2024

VISTOS:

El Expediente N° 2024-013481 de fecha 31 de octubre de 2024, el (la) Bach. NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO, con DNI N° 43052197, código de matrícula N° 1820200057, quien solicita Revisión de propuesta de Investigación; INFORME N° 00882-2024-UI-EPG-UANCV y el Anexo (02 o 03) "Ficha de Opinión de la Propuesta de Investigación" del 15 de noviembre de 2024, que fue revisada por el Comité de Investigación de la Escuela de Posgrado.

CONSIDERANDO:

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

Que, con Expediente N° 2024-013481 el (la) Bach. NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO, solicita la revisión y aprobación de la propuesta de Investigación titulado: **EVALUACION DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACION DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024** Línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50**, para optar el **GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**, mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES**.

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

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

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

Estando, la opinión favorable del Comité de Investigación, según **INFORME N° 00882-2024-UI-EPG-UANCV** y el **Anexo (02 o 03) "Ficha de Opinión de la Propuesta de Investigación"** en concordancia con el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R, de conformidad a lo que establece la Ley Universitaria N° 30220, Ley de Creación de la UANCV N° 23738 y Modificatoria N° 24661 y el Estatuto de la UANCV, que confiere facultades a la unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado.

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR Y AUTORIZAR LA EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, titulado: **EVALUACION DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACION DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024** presentado por el (la) Bach. NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER, como **ASESOR** al (a) Mgtr. **ARNALDO YANA TORRES**.

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

Regístrese, comuníquese y archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO
DIRECCIÓN
Dr. Leopoldo Wilcheslao Condori Cari
DIRECTOR (E)

DISTRIBUCIÓN:
DIRECCIÓN EPG, INTERESADO.
ARCH. LWCC/cam.



16% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

- 10% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 13% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

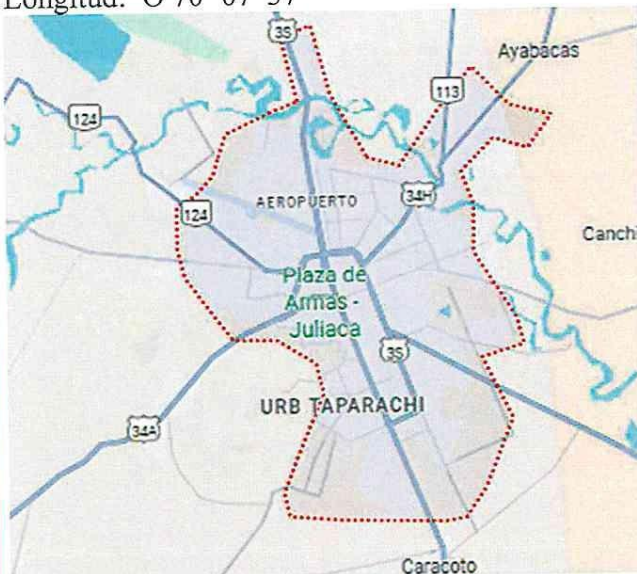
Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	43052197
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-0121-5865
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0005-6613-6925
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6657-665X



Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02306659
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-0268-5061
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la construcción – P50
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: Puno Distrito: Juliaca Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 37"</p>  <p>https://maps.app.goo.gl/6E5FH5PmgVdWiKjg7</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Noviembre 2024 – Setiembre 2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03 Ingeniería estructural y municipal https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.04



ESCUELA DE POSTGRADO
 Dr. Jesús Mamani Mamani
 DIRECTOR
 DE INVESTIGACIÓN - EPG

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO, identificado con DNI Nro. 43052197, en mi condición de egresado de:

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

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

EVALUACION DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACION DEL RUGOSIMETRO DE MERLIN Y PROPUESTA CON LA VIGA BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024

Asesorado por: DR. ARNALDO YANA TORRES

Es un tema original.

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

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

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

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

Juliaca 17 de octubre del 2025



Firma del Asesor (obligatoria)



Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Dedico con mucho cariño y corazón mi tesis de manera especial a mis padres Esteban y Sabina pues sin ellos no lo hubiera logrado, tu bendición a diario a lo largo de mi vida que me protegen y me llevan por el camino del bien.

Dedico este trabajo a mi esposa Yovana, cuyo amor, paciencia, Tolerancia y comprensión que has brindado a lo largo de este viaje académico. Gracias por ser un pilar de fortaleza y un ejemplo para nuestros hijos. Tu presencia en mi vida es un regalo invaluable, y este logro es nuestro, en equipo.

También dedico a mis hijos Jeremi y Ariana quienes han sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo de inspiración para ellos.



AGRADECIMIENTO

Primeramente, doy gracias a dios por permitirme concluir con mis estudios de maestría y disfrutar de mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto no ha sido sencillo el camino hasta ahora.

Gracias a mi esposa Yovana, por llegar a mi vida y empezar juntos a construir un camino que nos permita estar siempre unidos felices con nuestros queridos hijo Jeremi y Ariana.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis, me agradezco por seguir adelante por ser valiente, esas veces que quise renunciar, por seguir intentando sin rendirme, por esas circunstancias me agradezco, me valoro y me felicito por este logro.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
ÍNDICE DE CONTENIDOS	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	XII

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática.	13
1.2 Planteamiento del problema	14
1.2.1 Problema general.....	14
1.2.2 Problemas específicos	14
1.3 Justificación de la investigación.....	15
1.3.1 Justificación técnica	15
1.3.2 Justificación económica	15
1.3.3 Justificación social	16
1.3.4 Justificación ambiental	17
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo general.....	18
1.4.2 Objetivos específicos	18
1.5 Importancia y alcance de la investigación.....	18
1.6 Limitaciones y delimitaciones de la investigación	19
1.6.1 Limitaciones.....	19
1.6.2 Delimitación	20
1.7 Hipótesis.	20
1.7.1 Hipótesis general	20
1.7.2 Hipótesis específicas.	20
1.8 Variables e indicadores	21
1.8.1 Variable independiente	21
1.8.2 Variable dependiente	21



1.9 Operacionalización de variables 22

**CAPITULO II
MARCO TEÓRICO**

2.1 Antecedentes de la investigación. 23

 2.1.1 Antecedentes internacionales 23

 2.1.2 Antecedente nacional..... 26

 2.1.3 Antecedente local 28

2.2 Bases teóricas..... 30

 2.2.1 Condición del pavimento 30

 2.2.2 Niveles de serviciabilidad 31

 2.2.3 Rugosímetro de merlín..... 32

 2.2.4 Viga de Benkelman 34

 2.2.5 Pavimentos flexibles 36

 2.2.5.1 *Comportamiento y desempeño del pavimento flexible* 37

 2.2.5.2 *Factores que afectan el comportamiento del pavimento flexible* 38

 2.2.6 Fallas en los pavimentos..... 38

 2.2.7 Tipos de fallas..... 39

 2.2.8 Tipos de intervención en infraestructura vial 52

 2.2.9 Técnicas para el mantenimiento de pavimentos..... 54

 2.2.10 Diseño de sobrecapa 55

 2.2.11 Diseño de pavimento reciclado 59

2.3 Marco conceptual 62

 2.3.1 Deflexión de pavimentos 62

 2.3.2 Evaluación de la condición del pavimento 62

 2.3.3 Pavimento flexible 63

 2.3.4 Rugosímetro de Merlín..... 63

 2.3.5 Viga de Benkelman 63

**CAPITULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1 Enfoque de investigación..... 65

3.2 Método de investigación 66

3.3 Tipo de investigación..... 66



- 3.4 Nivel de Investigación..... 67
- 3.5 Diseño de investigación..... 67
- 3.6 Población y muestra 68
 - 3.6.1 Población 68
 - 3.6.2 Muestra..... 68
- 3.7 Validación y de instrumentos y confiabilidad 69
 - 3.7.1 Validación de instrumentos 69
 - 3.7.2 Confiabilidad de instrumentos 69
 - 3.7.3 Procedimiento 69
 - 3.7.4 Técnicas e instrumentos 70
 - 3.7.4.1 Técnicas 70
 - 3.7.4.2 Instrumentos 70
- 3.8 Procesamiento y análisis de datos 70
 - 3.8.1 Desarrollo de la investigación 70
 - 3.8.2 Ensayos de laboratorio 70

CAPITULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- 4.1 Resultados obtenidos 77
 - 4.1.1 Condición del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca mediante la medición de la rugosidad utilizando el rugosímetro de Merlín..... 77
 - 4.1.2 Deflexión del pavimento mediante el uso de la viga de Benkelman, para identificar la capacidad estructural del pavimento de la Salida Arequipa.. 99
 - 4.1.3 Mejora para la rehabilitación del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca..... 118
- 4.2 Discusión..... 122
- CONCLUSIONES 124**
- RECOMENDACIONES 126**
- REFERENCIAS..... 127**
- ANEXOS 132**



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	22
Tabla 2 Índices de servicialidad.....	33
Tabla 3 Coeficiente relacionado con la evaluación de los daños en el pavimento existente	56
Tabla 4 Coeficiente relacionado con la evaluación de los daños en el pavimento existente	61
Tabla 5 Muestras para el rugosímetro de Merlin	71
Tabla 6 Características del pavimento tipo de deflexión y radio de curvatura.....	76
Tabla 7 Características del pavimento de acuerdo al cuenco de deflexiones.....	76
Tabla 8 Ensayos distancias.....	76
Tabla 9 Lecturas del tramo (0+200 a 0+400) km de ida.....	78
Tabla 10 Rugosidad del tramo (0+200 a 0+400) km de ida	78
Tabla 11 Lecturas del tramo (0+600 a 0+800) km de ida.....	80
Tabla 12 Rugosidad del tramo (0+600 a 0+800) km de ida	80
Tabla 13 Lecturas del tramo (1+000 a 1+200) km de ida.....	82
Tabla 14 Rugosidad del tramo (1+000 a 1+200) km de ida	82
Tabla 15 Lecturas del tramo (1+400 a 1+600) km de ida.....	84
Tabla 16 Rugosidad del tramo (1+400 a 1+600) km de ida	84
Tabla 17 Lecturas del tramo (1+800 a 2+000) km de ida.....	86
Tabla 18 Rugosidad del tramo (1+800 a 2+000) km de ida	86
Tabla 19 Lecturas del tramo (0+200 a 0+400) km de vuelta	88
Tabla 20 Rugosidad del tramo (0+200 a 0+400) km de vuelta.....	88
Tabla 21 Lecturas del tramo (0+600 a 0+800) km de vuelta	90
Tabla 22 Rugosidad del tramo (0+600 a 0+800) km de vuelta.....	90
Tabla 23 Lecturas del tramo (1+000 a 1+200) km de vuelta	92
Tabla 24 Rugosidad del tramo (1+000 a 1+200) km de vuelta.....	92
Tabla 25 Lecturas del tramo (1+400 a 1+600) km de vuelta	94
Tabla 26 Rugosidad del tramo (1+400 a 1+600) km de vuelta.....	94
Tabla 27 Lecturas del tramo (1+800 a 2+000) km de vuelta	96
Tabla 28 Rugosidad del tramo (1+800 a 2+000) km de vuelta.....	96
Tabla 29 Estado vial de la Salida Arequipa	98
Tabla 30 Lecturas del carril derecho, P 0+000 – 0+750.....	99



Tabla 31 <i>Deflexiones y radios de curvaturas, P 0+000 – 0+750</i>	100
Tabla 32 <i>Resultados, P 0+000 – 0+750</i>	100
Tabla 33 <i>Lecturas del carril derecho, P 0+750 – 1+500</i>	102
Tabla 34 <i>Deflexiones y radios de curvaturas, P 0+750 – 1+500</i>	103
Tabla 35 <i>Resultados, P 0+750 – 1+500</i>	103
Tabla 36 <i>Lecturas del carril derecho, P 1+500 – 2+250</i>	105
Tabla 37 <i>Deflexiones y radios de curvaturas, P 1+500 – 2+250</i>	106
Tabla 38 <i>Resultados, P 1+500 – 2+250</i>	106
Tabla 39 <i>Lecturas del carril izquierdo, P 0+000 – 0+750</i>	108
Tabla 40 <i>Deflexiones y radios de curvaturas, P 0+000 – 0+750</i>	109
Tabla 41 <i>Resultados, P 0+000 – 0+750</i>	109
Tabla 42 <i>Lecturas del carril izquierdo, P 0+750 – 1+500</i>	111
Tabla 43 <i>Deflexiones y radios de curvaturas, P 0+750 – 1+500</i>	112
Tabla 44 <i>Resultados, P 0+750 – 1+500</i>	112
Tabla 45 <i>Lecturas del carril izquierdo, P 1+500 – 2+250</i>	114
Tabla 46 <i>Deflexiones y radios de curvaturas, P 1+500 – 2+250</i>	115
Tabla 47 <i>Resultados, P 1+500 – 2+250</i>	115
Tabla 48 <i>Características de las deflexiones a cada kilómetro</i>	117
Tabla 49 <i>Radios de curvaturas</i>	117
Tabla 50 <i>Coeficiente "a"</i>	119
Tabla 51 <i>Parámetros</i>	120



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura – pavimento flexible 31

Figura 2 Rugosímetro de Merlin 34

Figura 3 Esquema viga benkelman 35

Figura 4 Viga de benkelman 36

Figura 5 Pavimento flexible 37

Figura 6 Grietas de fatiga 40

Figura 7 Grietas de borde 41

Figura 8 Fisura longitudinal 42

Figura 9 Fisura transversal 43

Figura 10 Fisuras en bloque 44

Figura 11 Fisura de reflexión 45

Figura 12 Ahuellamiento 46

Figura 13 Ondulación – desplazamiento 47

Figura 14 Depresión 48

Figura 15 Levantamientos 49

Figura 16 Bache 49

Figura 17 Desprendimiento 50

Figura 18 Exudaciones 51

Figura 19 Perdida de áridos 51

Figura 20 Monograma para el coeficiente a1 58

Figura 21 Monograma para el coeficiente a1 60

Figura 22 Diagrama de flujo de proceso de ensayos 68

Figura 23 Rugosímetro de Merlin 73

Figura 24 Histograma de frecuencias M-01 74

Figura 25 Frecuencias de las 200 lecturas (0+200 a 0+400) km de ida 79

Figura 26 Frecuencias de las 200 lecturas (0+600 a 0+800) km de ida 81

Figura 27 Frecuencias de las 200 lecturas (1+000 a 1+200) km de ida 83

Figura 28 Frecuencias de las 200 lecturas (1+400 a 1+600) km de ida 85

Figura 29 Frecuencias de las 200 lecturas (1+800 a 2+000) km de ida 87

Figura 30 Frecuencias de las 200 lecturas (0+200 a 0+400) km de vuelta 89

Figura 31 Frecuencias de las 200 lecturas (0+600 a 0+800) km de vuelta 91

Figura 32 Frecuencias de las 200 lecturas (1+000 a 1+200) km de vuelta 93

Figura 33 Frecuencias de las 200 lecturas (1+400 a 1+600) km de vuelta 95

Figura 34 Frecuencias de las 200 lecturas (1+800 a 2+000) km de vuelta 97

Figura 35 Estado vial de la Salida Arequipa 98



Figura 36 <i>Deflexiones, P 0+000 – 0+750</i>	101
Figura 37 <i>Deflexiones, P 0+750 – 1+500</i>	104
Figura 38 <i>Deflexiones, P 1+500 – 2+250</i>	107
Figura 39 <i>Deflexiones, P 0+000 – 0+750</i>	110
Figura 40 <i>Deflexiones, P 0+750 – 1+500</i>	113
Figura 41 <i>Deflexiones, P 1+500 – 2+250</i>	116
Figura 42 <i>Monograma</i>	121



RESUMEN

El presente proyecto "Evaluación de la condición del pavimento flexible con la utilización del rugosímetro de merlín y propuesta con la viga de benkelman en la Salida Arequipa de Juliaca", tiene como objetivo evaluar la condición del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca mediante el uso del rugosímetro de Merlín y la viga de Benkelman. Para alcanzar este objetivo, se adoptó un enfoque de investigación basado en el método científico, con un enfoque cuantitativo y un nivel descriptivo. Los resultados obtenidos indican que el pavimento presenta una condición "mala", con valores de rugosidad superiores a 4 m/km en ambos carriles, lo que refleja un alto nivel de deterioro que compromete su funcionalidad y seguridad. Por lo tanto, se requiere una intervención inmediata para reducir la rugosidad y restaurar su capacidad para soportar el tránsito de manera segura. Las mediciones de deflexión muestran un promedio de $89.03 * 10^{-2}$ mm en el carril derecho y $90.57 * 10^{-2}$ mm en el izquierdo, ambos superiores al límite admisible de $82 * 10^{-2}$ mm. Estos valores demuestran que el pavimento no tiene la capacidad estructural necesaria para resistir las cargas del tráfico sin sufrir más deterioro, lo que resalta la urgencia de reforzar la estructura. Basado en estos resultados, se propone una rehabilitación que incluya sellado de grietas, parcheo de fisuras, reparación de huecos y la instalación de una sobrecapa asfáltica. El diseño de la sobrecapa, con un coeficiente estructural "a" de 0.44 y un espesor de 4.03 pulgadas, mejorará la capacidad estructural y el drenaje del pavimento, restaurando su funcionalidad a largo plazo. Se concluye que la intervención es esencial para garantizar la seguridad y durabilidad del pavimento, ya que su condición actual no cumple con los estándares requeridos.

PALABRAS CLAVE: Evaluación, Condición De Pavimento, Rugosímetro De Merlín, Viga Benkelman.



ABSTRACT

The present project, "Evaluation of the condition of flexible pavement using the Merlin roughness meter and proposal with the Benkelman beam at the Arequipa exit of Juliaca," aims to evaluate the condition of flexible pavement at the Arequipa exit of Juliaca using the Merlin roughness meter and the Benkelman beam. To achieve this objective, a research approach based on the scientific method was adopted, with a quantitative approach and a descriptive level. The results obtained indicate that the pavement is in "poor" condition, with roughness values exceeding 4 m/km in both lanes, reflecting a high level of deterioration that compromises its functionality and safety. Therefore, immediate intervention is required to reduce roughness and restore its ability to safely support traffic. Deflection measurements show an average of $89.03 \cdot 10^{-2}$ mm in the right lane and $90.57 \cdot 10^{-2}$ mm in the left lane, both above the permissible limit of $82 \cdot 10^{-2}$ mm. These values demonstrate that the pavement does not have the structural capacity necessary to withstand traffic loads without further deterioration, highlighting the urgency of reinforcing the structure. Based on these results, a rehabilitation is proposed that includes crack sealing, fissure patching, pothole repair, and the installation of an asphalt overlay. The design of the overlay, with a structural coefficient "a" of 0.44 and a thickness of 4.03 inches, will improve the structural capacity and drainage of the pavement, restoring its long-term functionality. It is concluded that the intervention is essential to ensure the safety and durability of the pavement, as its current condition does not meet the required standards.

KEY WORDS: Evaluation, Pavement Condition, Merlin Roughness Meter, Benkelman Beam.



INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es un componente esencial para el desarrollo económico y social de cualquier región. En particular, el pavimento flexible, utilizado en muchas carreteras de Perú, juega un papel fundamental en la seguridad y eficiencia del transporte. Sin embargo, con el tiempo y debido a factores como el tráfico constante, las condiciones climáticas y el desgaste por uso, el pavimento puede deteriorarse, afectando tanto su funcionalidad como su capacidad de soportar cargas.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la condición del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca. Para ello, se emplearán dos métodos ampliamente utilizados en la ingeniería vial: el rugosímetro de Merlín, para medir la rugosidad del pavimento, y la viga de Benkelman, para determinar las deflexiones y evaluar la capacidad estructural del pavimento. Estos parámetros son fundamentales para diagnosticar el estado del pavimento y tomar decisiones informadas sobre posibles intervenciones.

La rugosidad del pavimento, medida a través del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), es un indicador clave del confort y seguridad para los usuarios, ya que una mayor rugosidad puede aumentar el desgaste de los vehículos y la inseguridad vial. Por otro lado, las deflexiones, obtenidas mediante la viga de Benkelman, nos permiten evaluar la capacidad del pavimento para resistir las cargas dinámicas y su durabilidad a largo plazo. La comparación entre estos parámetros con los valores establecidos como estándares permitirá clasificar el estado del pavimento y determinar su idoneidad para soportar el tránsito.

El análisis de los resultados obtenidos servirá para proponer una rehabilitación del pavimento flexible, que contemple intervenciones específicas como el sellado de grietas, el parcheo de fisuras y la instalación de una sobrecapa asfáltica. Estas medidas buscan mejorar la estructura del pavimento, restaurar su funcionalidad y prolongar su vida útil.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática.

A nivel internacional, el deterioro de la infraestructura vial es un desafío global, especialmente en países en vías de desarrollo, donde las carreteras son fundamentales para la movilidad de personas y bienes. Según el Banco Mundial, una infraestructura vial inadecuada afecta la competitividad y el desarrollo económico, ya que incrementa los costos de transporte y limita el acceso a mercados y servicios básicos. En muchos países, las condiciones del pavimento flexible se ven afectadas por diversos factores como el aumento del tráfico, las condiciones climáticas extremas y la falta de mantenimiento adecuado, lo que acelera su deterioro.

En el ámbito nacional, Perú enfrenta una situación crítica en cuanto al mantenimiento y evaluación de su red vial. A pesar de los esfuerzos del Estado para mejorar la infraestructura, muchas carreteras en las zonas rurales y de acceso a ciudades importantes, como Juliaca, presentan pavimentos deteriorados que afectan la seguridad vial y la calidad de vida de los ciudadanos. La falta de herramientas adecuadas para la



evaluación precisa y periódica de la condición del pavimento contribuye a una gestión ineficaz de los recursos destinados a la reparación y mantenimiento de las vías.

A nivel local, la salida Arequipa de Juliaca, una de las rutas más transitadas del sur de Perú, presenta un pavimento flexible con signos evidentes de desgaste y deficiencia en su estructura. El tráfico pesado y las condiciones climáticas extremas de la región, que incluyen temperaturas extremas y lluvias intensas, han acelerado el deterioro del pavimento, poniendo en riesgo la seguridad de los usuarios y la eficiencia del transporte. Sin una evaluación adecuada de las condiciones del pavimento mediante herramientas como el rugosímetro de Merlín y la viga de Benkelman, las propuestas de mejora y las inversiones en la infraestructura vial local podrían ser ineficaces, afectando directamente el desarrollo económico y social de la región.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la condición del pavimento flexible con la utilización del rugosímetro de merlín y propuesta con la viga de benkelman en la salida Arequipa de Juliaca?

1.2.2 Problemas específicos

1. ¿Cuál es la condición del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca mediante la medición de la rugosidad utilizando el rugosímetro de Merlín?
2. ¿Cuál es la deflexión del pavimento flexible mediante el uso de la viga de Benkelman, para identificar la capacidad estructural del pavimento de la salida Arequipa?
3. ¿Cuál es la mejora para la rehabilitación del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca, basándose en los resultados obtenidos de las mediciones de rugosidad y deflexión?



1.3 Justificación de la investigación.

1.3.1 Justificación técnica

La justificación técnica para utilizar el rugosímetro de Merlín y la viga de Benkelman en el diseño de pavimento flexible se fundamenta en su capacidad para proporcionar mediciones precisas y relevantes sobre la condición estructural y funcional del pavimento. El rugosímetro de Merlín permite evaluar la rugosidad superficial del pavimento, medida crucial para determinar el nivel de serviciabilidad y la comodidad del usuario. Por otro lado, la viga de Benkelman mide la deflexión, ofreciendo información vital sobre la capacidad estructural y la respuesta del pavimento a las cargas vehiculares. Estos instrumentos son fundamentales en el análisis detallado del pavimento flexible, ya que permiten caracterizar su comportamiento frente a las deformaciones y su capacidad para soportar el tráfico esperado. Los datos obtenidos mediante estos ensayos son fundamentales para validar modelos de diseño estructural, calcular la vida útil del pavimento y establecer criterios para el mantenimiento preventivo y rehabilitación. Además, sirven como base técnica y científica para la toma de decisiones en la gestión de infraestructuras viales, proporcionando una guía precisa para cualquier entidad responsable de su mantenimiento y para futuras investigaciones en el campo de las obras viales

1.3.2 Justificación económica

La justificación económica para la utilización del rugosímetro y la viga en el diseño de pavimento flexible radica en su capacidad para optimizar los recursos destinados al mantenimiento y rehabilitación de infraestructuras viales. Estos equipos proporcionan datos precisos y objetivos sobre la condición del pavimento, lo que permite identificar de manera temprana áreas que requieren intervención. Clave para prevenir el desgaste prematuro de los neumáticos y vehículos, reduciendo así costos asociados con accidentes y mantenimiento vehicular. Por otro lado, la viga de Benkelman permite medir la deflexión del pavimento bajo carga, lo cual es crucial para evaluar su capacidad estructural y



resistencia a las cargas vehiculares. Esta información ayuda a optimizar el diseño de pavimentos nuevos y a planificar rehabilitaciones de manera eficiente, asegurando una inversión adecuada en la infraestructura vial. Además, al proporcionar datos cuantitativos sobre el comportamiento del pavimento, estos equipos permiten tomar decisiones informadas sobre la extensión de la vida útil del pavimento y la necesidad de intervenciones específicas, lo que contribuye a la optimización de recursos financieros a largo plazo. En resumen, la utilización del rugosímetro de Merlín y la viga de Benkelman no solo mejora la gestión y planificación de activos viales, sino que también reduce los costos operativos y de mantenimiento, asegurando una infraestructura vial sostenible y económicamente eficiente.

1.3.3 Justificación social

Estos equipos permiten evaluar de manera precisa la condición del pavimento, lo cual es fundamental para garantizar una experiencia de viaje segura y cómoda. La medición de la rugosidad con el rugosímetro de Merlín ayuda a identificar áreas de la vía que pueden representar riesgos para los conductores, como zonas con superficies irregulares que pueden causar pérdida de control del vehículo o incomodidades para los pasajeros. Por otro lado, la viga de Benkelman proporciona información sobre la capacidad estructural del pavimento, permitiendo detectar deficiencias que podrían llevar a deformaciones y deterioro prematuro. Al anticipar y abordar estos problemas, se contribuye a prolongar la vida útil del pavimento, reduciendo así interrupciones en el tráfico y los costos asociados con reparaciones y mantenimientos urgentes. Además, al mejorar la calidad de la infraestructura vial, se fomenta la eficiencia del transporte y se promueve el desarrollo económico al facilitar el movimiento seguro y fluido de bienes y personas. En un contexto social más amplio, la utilización de tecnologías avanzadas como el rugosímetro de Merlin y la viga de Benkelman también respalda iniciativas de sostenibilidad ambiental al reducir el consumo de recursos asociados con reparaciones innecesarias y minimizar el



impacto ambiental de actividades de mantenimiento vial. En resumen, estos equipos no solo mejoran la seguridad y el confort de los usuarios de las carreteras, sino que también contribuyen al desarrollo socioeconómico sostenible al optimizar la infraestructura vial de manera eficiente y efectiva.

1.3.4 Justificación ambiental

La justificación ambiental para la utilización del rugosímetro y la viga en el diseño de pavimento flexible se centra en la optimización de recursos y la reducción del impacto ambiental asociado con la infraestructura vial. Estos equipos proporcionan datos precisos sobre la condición del pavimento. La medición de la rugosidad con el rugosímetro de Merlín, por ejemplo, ayuda a identificar áreas donde se requiere mantenimiento preventivo para evitar el desperdicio de materiales y la generación innecesaria de residuos de construcción.

Por otro lado, la viga de Benkelman evalúa la capacidad estructural del pavimento, lo que es crucial para diseñar pavimentos duraderos que minimicen la necesidad de intervenciones frecuentes y costosas. Al prolongar la vida útil del pavimento, se reduce el consumo de recursos naturales como agregados y asfalto, así como las emisiones asociadas con la extracción y transporte de estos materiales. Además, al mejorar la eficiencia del transporte mediante pavimentos en buen estado, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y se promueve un entorno más limpio y saludable para las comunidades cercanas a las carreteras.

En un contexto más amplio, la utilización de tecnologías avanzadas como el rugosímetro de Merlín y la viga de Benkelman apoya los esfuerzos de sostenibilidad al contribuir a la planificación y gestión ambientalmente consciente de la infraestructura vial. Al adoptar prácticas de diseño y mantenimiento que minimicen el impacto ambiental, se fomenta un desarrollo urbano y rural más equilibrado y sostenible. En resumen, estos equipos no solo mejoran la eficiencia y durabilidad de la infraestructura vial, sino que



también promueven y asociada con las actividades de construcción y mantenimiento de carreteras.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la condición del pavimento flexible con la utilización del rugosímetro de merlín y propuesta con la viga de benkelman en la salida Arequipa de Juliaca.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar la condición del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca mediante la medición de la rugosidad utilizando el rugosímetro de Merlín.
2. Determinar la deflexión del pavimento flexible mediante el uso de la viga de Benkelman, para identificar la capacidad estructural del pavimento de la salida Arequipa.
3. Proponer una mejora para la rehabilitación del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca, basándose en los resultados obtenidos de las mediciones de rugosidad y deflexión.

1.5 Importancia y alcance de la investigación

La importancia y alcances de la utilización del rugosímetro de Merlin y la viga de Benkelman en el diseño de pavimento flexible son fundamentales para asegurar la calidad, durabilidad y eficiencia de las infraestructuras viales. Estos instrumentos proporcionan datos precisos y cuantitativos que permiten evaluar tanto la superficie como la capacidad estructural del pavimento. El rugosímetro de Merlin, al medir la rugosidad superficial, proporciona información crítica sobre la seguridad y confort del usuario, así como sobre la fricción necesaria para el control vehicular, aspectos esenciales para mantenimientos



preventivos. por otro lado, la resistencia frente a las cargas vehiculares. Esta herramienta no solo ayuda a identificar áreas con potencial de falla o deformación, sino que también guía en la planificación de rehabilitaciones y en el diseño de pavimentos más robustos y duraderos. Al proporcionar datos confiables y objetivos, estos equipos permiten optimizar la inversión en infraestructura vial, asegurando que los recursos se utilicen de manera eficiente y que las carreteras mantengan niveles óptimos de servicio y seguridad a lo largo de su vida útil. Además, la utilización de tecnologías avanzadas como el rugosímetro de Merlin y la viga de Benkelman contribuye al desarrollo de estándares de calidad y prácticas de diseño sostenible en la ingeniería vial. Esto promueve una gestión más efectiva de activos viales, facilita la toma de decisiones informadas en términos, y fomenta un entorno de transporte seguro y eficiente para la comunidad. En resumen, estos instrumentos son indispensables para el diseño y gestión eficaz de pavimentos flexibles, garantizando infraestructuras viales de alta calidad que cumplen con las necesidades actuales y futuras de movilidad urbana y rural.

1.6 Limitaciones y delimitaciones de la investigación

1.6.1 Limitaciones

La utilización del rugosímetro de Merlín y la viga de Benkelman para el diseño de pavimento flexible deben ser consideradas para una interpretación precisa de los resultados. El rugosímetro de Merlín, aunque proporciona mediciones objetivas de la rugosidad superficial, puede no captar ciertos aspectos complejos de la superficie del pavimento, como irregularidades locales o pequeñas variaciones que pueden influir en la seguridad y el confort del usuario. Además, factores ambientales como la humedad o la temperatura pueden afectar las mediciones, requiriendo métodos de calibración y ajuste apropiados para asegurar la consistencia y fiabilidad de los datos recolectados. Por otro lado, la viga de Benkelman, mientras ofrece una evaluación estructural importante midiendo la deflexión bajo carga, también presenta limitaciones. La precisión de las



mediciones puede variar según la habilidad del operador y las condiciones de carga aplicadas, lo cual puede influir en la interpretación de la capacidad estructural del pavimento. Además, es crucial considerar la representatividad de las mediciones tomadas en puntos específicos del pavimento, ya que pueden no reflejar completamente las condiciones a lo largo de toda la carretera. Otra limitación clave radica en el costo y la logística asociados con el uso de estos equipos. La adquisición y mantenimiento de tecnología avanzada como el rugosímetro de Merlín y la viga de Benkelman puede representar una inversión significativa para las agencias de infraestructura vial, especialmente en contextos con recursos limitados. Además, se requiere personal capacitado y tiempo dedicado para realizar mediciones precisas y analizar los datos obtenidos, lo cual puede añadir complejidad y costos adicionales al proceso de evaluación y diseño de pavimentos.

1.6.2 Delimitación

Se realizará en la ciudad de Juliaca con diferentes ensayos y metodologías para realizar el mejoramiento, y reparación de pavimentos flexibles.

1.7 Hipótesis.

1.7.1 Hipótesis general

La evaluación de la condición del pavimento con la utilización del rugosímetro de merlín y propuesta con la viga de benkelman en la salida Arequipa de Juliaca, el tipo de pavimento se encontraría en un mal estado.

1.7.2 Hipótesis específicas.

1. La medición de la rugosidad del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca, utilizando el rugosímetro de Merlín, mostrará un nivel de deterioro significativo, lo



que indicará la necesidad urgente de intervención y mantenimiento en las zonas críticas del pavimento.

2. La medición de la deflexión del pavimento flexible mediante la viga de Benkelman revelará una baja capacidad estructural del pavimento en la salida Arequipa de Juliaca, indicando que el pavimento no cumple con los estándares de resistencia para soportar el tráfico actual y futuro.
3. Con base en los resultados de las mediciones de rugosidad y deflexión, se podrá proponer una mejora técnica viable para la rehabilitación del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca, lo que incrementará su durabilidad y seguridad vial.

1.8 Variables e indicadores

1.8.1 Variable independiente

Rugosímetro de merlín, Viga benkelman

1.8.2 Variable dependiente

Condición del pavimento flexible



1.9 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	FUENTE DE MEDICIÓN
Independiente				
Rugosímetro de Merlín	El análisis de pavimento flexible se refiere al estudio y evaluación de la estructura de pavimento que está diseñada para deformarse (flexionarse) bajo cargas de tráfico sin romperse. Dispositivo que mide la rugosidad del pavimento, proporcionando el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).	IRI (Índice de Rugosidad Internacional)	Tramos analizados en m/km (salida Arequipa)	Rugosímetro de Merlín
Viga de Benkelman	Herramienta que mide la deflexión del pavimento bajo carga, utilizada para evaluar la capacidad estructural.	Deflexión del pavimento	(mm) (Salida Arequipa)	Viga de Benkelman
Dependiente				
Condición del pavimento flexible	El estado del pavimento flexible se evalúa a través de diversas técnicas y criterios para determinar su condición y planificar el mantenimiento adecuado. Este análisis considera varios tipos de deterioro y el rendimiento del pavimento bajo condiciones de tráfico y clima. A continuación, se describen los métodos y criterios clave.	Clasificación del pavimento	Bueno, Regular, Malo	Evaluación a partir de mediciones de IRI y deflexión



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

2.1.1 Antecedentes internacionales

Según Mendoza (2023) "Mediante la utilización de la viga Benkelman, se realizó una investigación del comportamiento estructural del pavimento flexible en la vía Tugaduaaja - Engunga, situada en el cantón y provincia de Santa Elena". El propósito central de esta investigación consiste en obtener las deflexiones características y los radios de curvatura, empleando los datos recolectados directamente en el sitio, con el fin de llevar a cabo una evaluación precisa del comportamiento del pavimento flexible. Para alcanzar dichos fines, resulta indispensable aplicar la metodología que contempla la demarcación de las abscisas en el terreno, abarcando desde el inicio hasta el final del tramo asfaltado, comprendido entre las progresivas 0+200 y 1+900. Con el objetivo de determinar la deflexión representativa y el radio de curvatura, es fundamental identificar con precisión el borde del pavimento que será objeto de análisis durante todo el procedimiento. Asimismo, medir la temperatura superficial del pavimento constituye un paso crucial para comprender su respuesta estructural. Esta información resulta indispensable para lograr que la



estructura vial evaluada alcance una deflexión estándar del orden de 311×10^{-2} mm en el carril derecho y 305×10^{-2} mm, respectivamente. En el carril izquierdo de la vía se registró una deflexión característica y un radio mínimo de curvatura equivalente a 114,2 metros. Posteriormente, al determinar el coeficiente de daño correspondiente al ligante asfáltico, se estimó que el sistema estructural del pavimento es capaz de resistir un máximo de 170,730 repeticiones equivalentes de carga (ESAL). Según los valores obtenidos, la magnitud de la deflexión se sitúa, en términos generales, dentro del rango permisible, lo que refleja un desempeño estructural aceptable en el tramo analizado. En síntesis, los datos obtenidos evidencian que la sección estudiada mantiene condiciones estructurales estables.

Según Lara, (2022). "Evaluación indirecta del nivel de serviciabilidad en carreteras asfaltadas de segundo orden ubicadas en el cantón Guaranda". Utilizando el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI). Para cumplir dicho objetivo, se emplea como procedimiento el método del Índice Internacional de Rugosidad (IRI), basado en la metodología descrita en el manual Merlin, complementado con las ecuaciones correspondientes que permiten calcular la rugosidad expresada en metros por kilómetro (m/km). A partir de los datos obtenidos, se determina una rugosidad IRI de 4.367 m/km, la cual, al ser correlacionada con el valor del PSI, arroja un índice de 1.6, clasificando el estado de la vía como deficiente. En conclusión, los resultados indican que la condición de la vía es calificada como mala, debido a que el nivel de incomodidad experimentado por los usuarios durante el tránsito es considerablemente alto.

Según Velásquez, (2024) "Aplicación del índice de Regularidad Internacional para la Seguridad Vial en la avenida 3 de julio El Carmen-Manabí", se llevó a cabo un análisis del índice de regularidad superficial del pavimento de la avenida 3 de julio, ubicada en el cantón El Carmen, en la provincia de Manabí. Esta iniciativa surge debido a la necesidad de evaluar el estado de la vía utilizando un enfoque reconocido internacionalmente. Para



ello, se recopiló información relacionada con la evaluación vial, decidiendo posteriormente utilizar los estudios elaborados por el Banco Mundial como base para el análisis del pavimento. Este estudio abarca varios aspectos clave. En primer lugar, se analizarán los comportamientos de los usuarios de la vía, identificando posibles problemas que puedan poner en riesgo la seguridad vial en la avenida 3 de julio. Para ello, se empleará un rugosímetro de Merlín y hojas de cálculo en Excel para el procesamiento de los datos. Además, se buscará proponer soluciones viables que mejoren la transitabilidad, uno de los principales objetivos de la investigación. Un pilar fundamental de este estudio es la metodología empleada, que se basa en estándares internacionales reconocidos, lo cual asegura la consistencia y la comparabilidad de los resultados con normativas globalmente aceptadas. Los ensayos realizados en la vía revelaron que solo un 22% de la carretera cumple con el índice de regularidad internacional (IRI), mientras que el 78% restante presenta un IRI superior a 2,50 m/km, lo cual indica que el pavimento se encuentra en malas condiciones y no cumple con las normativas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Según Armijos & Fernández, (2022) “Correlación entre el índice de rugosidad internacional (IRI) y deflexiones medidas mediante deflectometría de impacto (FWD) para la optimización del análisis de desempeño del pavimento”, el objetivo principal de esta investigación es establecer una correlación entre las mediciones del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las deflexiones obtenidas con el FWD en el tramo de la vía Cuenca – Molleturo, comprendido entre las abscisas 10+000 y 30+000. Para medir el IRI, se emplean las aplicaciones móviles RoadRoid e IRI.Calc.Free, que requieren calibración previa para garantizar la validez de las mediciones. Mediante el uso de herramientas digitales, se lleva a cabo la georreferenciación, tabulación y filtrado de datos, con el fin de analizar los parámetros que inciden en estas mediciones. Además, las mediciones de deflexión con el deflectómetro de impacto son proporcionadas por el MTOP. Se realiza un análisis de sensibilidad de las variables para determinar el coeficiente de correlación más alto posible.



Posteriormente, las aplicaciones se calibran, logrando una mayor precisión en el posicionamiento de RoadRoid, lo que permite unificar las mediciones bajo este criterio. Los resultados derivados del análisis de sensibilidad muestran que la correlación entre el IRI y la deflexión mejora cuando se consideran: la deflexión central, un intervalo de medición cada 100 metros y la implementación de una media móvil de orden 10, lo que da lugar a un coeficiente de determinación de 0.26. Además, al estimar el IRI para la misma fecha de las mediciones de deflexión, se obtiene un coeficiente de determinación de 0.406, lo que indica que la relación disminuye con el tiempo.

2.1.2 Antecedente nacional

Según Flores y Galindo, (2021). "Estudio funcional del pavimento flexible con el fin de optimizar la circulación vehicular, empleando el rugosímetro Merlin en la Avenida Gustavo Pinto, Tacna, durante el año 2020". Es factible determinar el Índice Internacional de Rugosidad realizando un análisis funcional de la superficie de rodadura con el fin de evaluar los carriles existentes con el rugosímetro MERLIN. Así lo indica el hecho de que sea capaz de hacerlo Determinar la transitabilidad de la carretera investigada para crear trabajos importantes realizar 200 mediciones de las desviaciones de la cuerda media en una fila a lo largo de la vía, manteniendo un intervalo coherente entre cada medición. Esto se hace de acuerdo con los protocolos que se han definido. El cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) será el método que se utilizará para reconocer los tramos de 400 metros presentes en ambos carriles. Excel es la hoja de cálculo que se utilizará para procesar y calcular los datos. Los valores del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) para el carril derecho son de 4,38 metros por kilómetro de media, mientras que los resultados para el carril izquierdo son de 5,71 metros por kilómetro de media. El valor del IRI para este pavimento es de 5,05 metros por kilómetro. Como conclusión, al evaluar los resultados ponderados para los carriles. De acuerdo con los resultados de nuestra investigación, el estado general del pavimento flexible a lo largo de la avenida se clasifica



como DEFICIENTE. Este valor final nos proporciona la base para categorizar el estado con este valor.

Según Alvino, (2025) "Efectos del uso de la metodología PCI en la evaluación de fallas de un pavimento en la ciudad de Huancayo", abordó el problema central de la evaluación de fallas en pavimentos mediante la metodología PCI en la ciudad de Huancayo. El objetivo principal fue conocer los resultados obtenidos al aplicar esta metodología para evaluar las fallas del pavimento en dicha ciudad. La metodología utilizada fue de tipo cuantitativo, aplicada, con un enfoque descriptivo-explicativo y diseño experimental. En cuanto a la población, esta estuvo conformada por las calles pavimentadas del distrito de El Tambo, y la muestra consistió en el tramo comprendido entre el Jr. Alejandro Deústua (tramo 1) y el Jr. Panamá en la ciudad de Huancayo. Los resultados obtenidos indicaron que el tramo 01 del Jr. Alejandro Deústua (tramo I) presentó una estabilidad de 592.61 kg y un flujo de 2.08 mm. Además, el análisis realizado sobre el tramo I (derecha/ida) reveló un índice de rugosidad de 5.421 m/km, lo cual clasifica el pavimento como dañado. A continuación, se evaluaron los tramos comprendidos entre el km 0+000 – 0+045 y el km 0+045 – 0+087, obteniendo índices PCI de 7 y 9, respectivamente. Estos resultados evidencian que los tramos analizados requieren una intervención para su reconstrucción. En conclusión, al evaluar el estado del pavimento, se determinó que las condiciones no son favorables y requieren medidas correctivas.

Según Huamancayo & Aldunate, (2024) "Evaluación del estado de conservación de la vía Chinchaypujio -Cotabambas mediante el IRI para obtener un mantenimiento vial eficiente", propone utilizar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) como herramienta para obtener un diagnóstico preciso del estado de conservación de las vías, conforme al Manual de Carreteras y Conservación Vial. Además, se incorpora el Manual de Carreteras de Chile y los manuales de uso de equipos de medición, debido a la falta de directrices claras sobre la metodología del IRI en el reglamento nacional, particularmente en cuanto



a eventos y características particulares. Como parte de la investigación, se eligió evaluar la condición vial del tramo II de la carretera Chinchaypujio - Cotabambas, que tiene una longitud aproximada de 69.8 km. Para medir el IRI en la vía, se utilizó el Rugosímetro III ARRB, realizando lecturas cada 20 metros, y el Perfilómetro Láser MARK IV para calibrar los resultados conforme a lo estipulado por la norma ASTM. El IRI promedio obtenido fue de 3.99 m/km, mientras que tras la calibración, este valor aumentó a 4.14 m/km. Según el manual chileno, para evaluar el IRI, se deben considerar cinco tramos homogéneos, por lo que la vía se dividió en un total de 39 tramos. El IRI corregido (IRI_c) promedio fue de 4.50 m/km, lo que indicó que 14 tramos cumplieron con el valor permisible de IRI, mientras que 25 tramos requerirán intervención para mejorar la superficie de rodadura y optimizar el confort vehicular.

2.1.3 Antecedente local

Según Lerma, (2021). "Evaluación del índice de serviciabilidad actual de los pavimentos rígidos recientemente construidos en la ciudad de Juliaca: un análisis de los factores más influyentes durante el año 2021". Me basé en mi experiencia sobre el terreno para determinar no sólo el tamaño adecuado de la muestra, sino también el método de muestreo que mejor se adaptaba al terreno. Aunque parecía más bien que estaba eligiendo herramientas de precisión para medir un terreno que se comporta como gelatina, lo hice en un esfuerzo por reforzar los cimientos sobre los que se construyen mis conclusiones. Es análogo a quien busca unos cimientos estables antes de levantar una estructura.

Según Caceres, (2024) "Análisis de la condición del pavimento flexible empleando el rugosímetro de Merlin y la viga benkelman en la Carretera Juliaca – Lampa – 2023", el objetivo principal de este proyecto de investigación es analizar el estado superficial del pavimento flexible de la carretera Juliaca-Lampa, específicamente en el tramo que va de la progresiva 0+000 a 4+000. El propósito es evaluar las condiciones actuales de la vía, considerando la realidad del entorno y el estado en que se encuentra. Para ello, se utilizará



una metodología basada en el método científico, dado que se llevará a cabo un análisis detallado de la condición superficial y el nivel de serviciabilidad del pavimento. Los resultados obtenidos del análisis con el rugosímetro de Merlin indicaron que el IRI promedio fue de 6.66 m/km, lo que corresponde a un nivel de serviciabilidad de 1.40, clasificando el pavimento como "MALO" y acercándose a la categoría de "MUY MALO". Esta evaluación fue posteriormente corroborada mediante la medición con la viga de Benkelman, que arrojó una deflexión característica de 101.425×10^{-2} mm, superando ampliamente la deflexión admisible de 82×10^{-2} mm. Estos resultados indican que el pavimento se encuentra en un estado deficiente a nivel superficial, con una clasificación general de "MUY MALO", lo que afecta negativamente el confort de los usuarios de la carretera. Como conclusión, se plantea que la carretera Juliaca-Lampa, en el tramo comprendido entre las progresivas 0+000 y 4+000, requiere una intervención urgente para mejorar sus condiciones. La alternativa propuesta es la reconstrucción del tramo evaluado, con mejoras en la calidad de los suelos, lo que garantizaría un desempeño adecuado de la carretera en el futuro y un nivel de confort vial adecuado para los usuarios.

Según Quina & Hanco, (2024) "Evaluación De La Ruta PE-3S Tramo Santa Rosa – Pucara (Km 1175+000 – Km 1251+000), Mediante Perfilómetro Laser y Rugosímetro De Merlin", el propósito de la presente investigación es evaluar el estado de conservación de la vía a través de las variaciones del (IRI). Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y de nivel comparativo, con un diseño experimental que permite evaluar de manera objetiva los cambios en la calidad del pavimento antes y después de las intervenciones. Posteriormente, se llevaron a cabo trabajos de rehabilitación y reconstrucción en los tramos evaluados, lo cual incluyó el reforzamiento y la nivelación del pavimento, con el objetivo de mejorar su desempeño estructural y funcional. Después de la ejecución de estos trabajos, se repitieron las mediciones de IRI, esta vez utilizando el Rugosímetro Merlin, un equipo que proporciona una evaluación detallada de la rugosidad superficial de la vía. Los valores obtenidos para el tramo Santa Rosa – Ayaviri fueron de



1.58 m/km, mientras que para el tramo Ayaviri – Pucara se registró un valor de 1.73 m/km. Los resultados de estas mediciones posteriores demostraron una mejora significativa en la calidad del pavimento, clasificándose la vía evaluada como "buena" en términos de serviciabilidad. Esta clasificación indica que la vía ahora presenta una superficie más regular, lo que mejora tanto la comodidad de los conductores como la seguridad vial en general. La investigación, por lo tanto, resalta la efectividad de las intervenciones realizadas y su impacto positivo en la conservación de las infraestructuras viales. Este estudio proporciona evidencia clara de la importancia de realizar evaluaciones periódicas del IRI y de cómo las intervenciones adecuadas pueden transformar una vía en mal estado en una infraestructura vial de calidad.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Condición del pavimento

La información disponible sobre el análisis de las patologías o deterioros en pavimentos flexibles mediante el uso del rugosímetro de Merlin y la viga Benkelman es limitada. Esto incluye la evaluación del índice de condición del pavimento. Por esta razón, se presentan diversos antecedentes que respaldan la tesis en desarrollo, complementando los manuales correspondientes a los ensayos mencionados, los cuales definen tanto el número como la distribución de las unidades de muestreo (Ccamá, 2021).

Cuando se trata del nivel de confort que ofrecen a los consumidores, los pavimentos, según su índice de serviciabilidad, desempeñan un papel importante. Con el fin de evaluar y asignar una calificación en función del estado de su estructura, se han ideado criterios específicos. En la actualidad existen modelos diseñados para soportar un uso intensivo en las carreteras. Estos modelos están disponibles (Martínez, 2020).

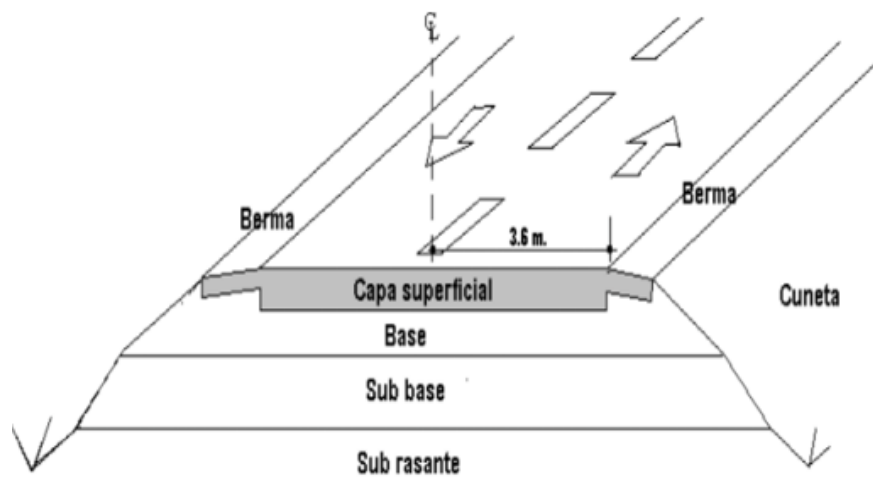
Normalmente, estos pavimentos se utilizan en áreas que soportan un alto volumen de tráfico, tales como vías principales, aceras o estacionamientos. Las capas típicas de un

pavimento flexible incluyen la capa superior, que está en contacto directo con el tráfico vehicular y generalmente está compuesta por varias capas de asfalto (Rattia, 2014).

- ◆ Capa rodadura
- ◆ Base
- ◆ Sub-base
- ◆ Subrasante

Figura 1

Estructura – pavimento flexible



Nota. Tomada de (Martínez, 2020).

2.2.2 Niveles de serviciabilidad

Los pavimentos establecen parámetros para evaluar y dar una calificación según el estado de su superficie con el fin de ofrecer a los usuarios un grado adecuado de confort a través de su índice de serviciabilidad. Los pavimentos se diseñan para ofrecer a los usuarios un grado de confort adecuado. La utilización de un método que permita una evaluación objetiva del comportamiento de los firmes es absolutamente necesaria para asignar un valor específico a cada firme y determinar el nivel preciso de capacidad de servicio que posee cada uno de ellos.

2.2.3 Rugosímetro de merlín

El Rugosímetro de Merlín es un dispositivo utilizado para medir la rugosidad superficial de los pavimentos, proporcionando una evaluación precisa del estado de la superficie de rodadura en términos de su irregularidad. Este equipo mide el (IRI), un parámetro que indica el nivel de comodidad y el impacto de las irregularidades en la conducción. El Rugosímetro de Merlín opera mediante el desplazamiento sobre la superficie del pavimento, registrando las variaciones de altura de la superficie a medida que el equipo avanza (Huanca, 2024).

El IRI obtenido a partir de estas mediciones es un valor numérico que refleja el nivel de suavidad o aspereza del pavimento, y se utiliza ampliamente en la ingeniería vial para clasificar la calidad de las carreteras. Los resultados del Rugosímetro de Merlín son fundamentales para identificar tramos con problemas de rugosidad excesiva, lo que puede afectar la seguridad vial y el confort de los conductores. Este instrumento es esencial en el diagnóstico y monitoreo del estado de las infraestructuras viales, ayudando a determinar las necesidades de mantenimiento o rehabilitación de las carreteras (Mamani, 2024).

❖ PSI

El PSI es una medida utilizada para evaluar el nivel de confort y la calidad del servicio que ofrece un pavimento a los usuarios de la vía. Este índice está basado en la percepción de los conductores sobre las condiciones de la carretera, considerando factores como la suavidad de la superficie, la rugosidad, la presencia de fisuras, baches y otras irregularidades que afectan la experiencia de conducción.

El PSI es un valor numérico que varía generalmente de 0 a 5, donde 5 indica un pavimento en excelentes condiciones (superficie lisa y sin fallas) y valores cercanos a 0 reflejan un pavimento en muy malas condiciones, con numerosos defectos que afectan



significativamente la comodidad y la seguridad de los vehículos. El PSI se calcula a partir de observaciones y mediciones de las condiciones físicas del pavimento, y es una herramienta clave para las autoridades viales en la toma de decisiones relacionadas con el mantenimiento y rehabilitación de las carreteras.

Tabla 2

Índices de servicialidad

<i>PSI</i>	<i>Calificación</i>
<i>05-04</i>	<i>Muy Buena</i>
<i>04-03</i>	<i>Buena</i>
<i>03-02</i>	<i>Regular</i>
<i>02-01</i>	<i>Mala</i>
<i>01-00</i>	<i>Muy mala</i>

Nota. Tomada de AASTHO

❖ IRI

Uno de los aspectos clave al conducir es el nivel de confort y seguridad que experimenta el conductor, lo cual se logra gracias a la regularidad y uniformidad de la superficie de la vía. Esto depende en gran medida del perfil longitudinal de la carretera, así como de la velocidad y las características mecánicas de los vehículos en circulación. (Sanchez, 2019).

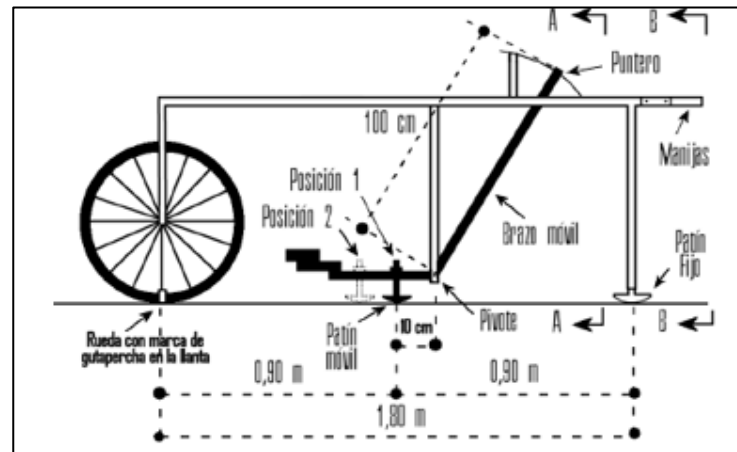
El IRI se obtiene mediante el uso de equipos especializados, como el rugosímetro de Merlín, que mide las oscilaciones del vehículo al pasar sobre el pavimento. Cuanto mayor sea el valor del IRI, mayor será la rugosidad del pavimento, lo que puede resultar en un menor confort para los conductores y un mayor desgaste de los vehículos. Por el contrario, un valor bajo de IRI indica que la carretera tiene una superficie más uniforme y cómoda para la conducción (Solórzano, 2024).

Este índice es un indicador clave en la ingeniería vial y se utiliza para evaluar el nivel de serviciabilidad de una carretera, ayudando a determinar la necesidad de

mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción de pavimentos. Además, el IRI es ampliamente utilizado por las autoridades viales para establecer normas de calidad y monitorear el estado de las infraestructuras viales a lo largo del tiempo (Velásquez, 2024).

Figura 2

Rugosímetro de Merlin



Nota. Tomada de (Sanchez, 2019).

2.2.4 Viga de Benkelman

Las cargas generadas por el paso de los vehículos. Esta herramienta, desarrollada en 1953 como parte del programa de pruebas de carreteras de la AASTHO, fue nombrada en honor al ingeniero A.C. Benkelman, quien fue el responsable de su diseño. La actividad llevada a cabo ejemplifica el "principio de medición" aplicado. Para obtener resultados, solo es necesario realizar los cálculos a partir de los datos recolectados en las etapas posteriores (Paucar & Torpoco, 2025).

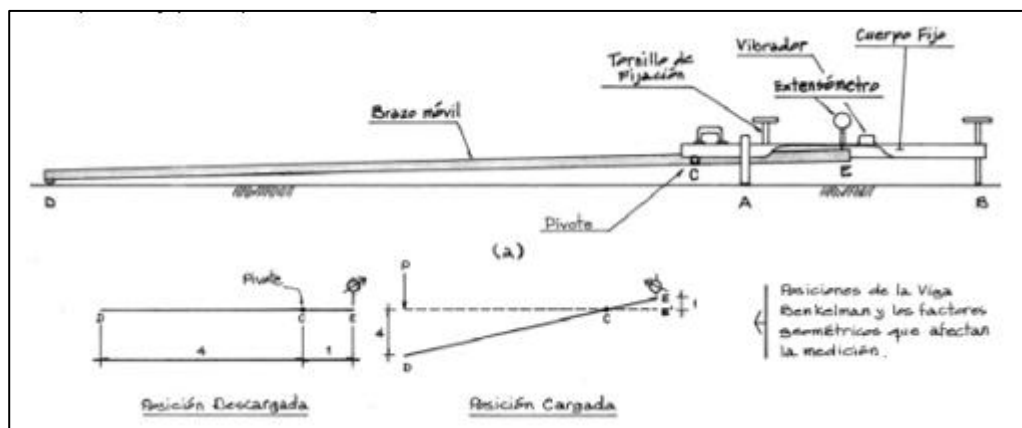
La viga de Benkelman consiste en una viga de acero montada sobre dos patas que actúan como puntos de apoyo. En su extremo libre, se encuentra un sensor o un medidor de desplazamiento. El funcionamiento básico de la viga de Benkelman se basa en la medición de la deflexión del pavimento cuando se aplica una carga sobre él. Este dispositivo se utiliza durante las pruebas de deflexión de pavimentos, las cuales permiten analizar la respuesta elástica del material del pavimento ante el paso de vehículos (Inga & Huarcaya, 2024).

El dispositivo se coloca sobre el pavimento en un punto donde se espera la máxima deflexión, y a continuación, se aplica una carga estática mediante un vehículo de peso conocido. La viga de Benkelman mide el hundimiento o deflexión que experimenta el pavimento, proporcionando una indicación de la rigidez y capacidad de soporte de la estructura del pavimento (Tamayo, 2024).

Este tipo de medición es crucial para la evaluación estructural de pavimentos flexibles y rígidos, ya que una mayor deflexión puede indicar la necesidad de reparación o el deterioro del material, lo cual puede generar grietas o baches que afectan la seguridad vial y la comodidad de conducción. Además, los datos obtenidos mediante la viga de Benkelman permiten a los ingenieros tomar decisiones más informadas sobre las intervenciones necesarias, como el refuerzo de la base del pavimento, la rehabilitación o el reemplazo de las capas deterioradas (Arteaga, 2025).

Figura 3

Esquema viga benkelman



Nota. Tomada de (Sanchez, 2019).

La viga de Benkelman es un dispositivo utilizado para medir la deflexión de la capa de rodadura de un pavimento bajo carga. Se emplea en pruebas de campo para evaluar la elasticidad y la capacidad de soporte de las carreteras, especialmente en pavimentos flexibles. Este instrumento consiste en una viga con un extremo colocado sobre la superficie del pavimento y el otro sujeto a una carga específica. La deflexión medida en el extremo de la viga proporciona información sobre la rigidez del pavimento, lo que permite

determinar su capacidad de carga y el estado de conservación de la vía. Los resultados obtenidos con la viga de Benkelman son fundamentales para identificar pavimentos que puedan necesitar rehabilitación o reconstrucción (Yanchaguano, 2025).

Figura 4

Viga de benkelman



Nota. Tomada de (Sanchez, 2019).

2.2.5 Pavimentos flexibles

El pavimento flexible es un tipo de pavimento compuesto por varias capas que se superponen y distribuyen las cargas vehiculares hacia las capas inferiores del suelo. A diferencia del pavimento rígido, que utiliza concreto como material principal, el pavimento flexible está constituido principalmente por materiales bituminosos que permiten cierta deformación bajo cargas. Estas estructuras flexibles se adaptan mejor a los movimientos del suelo sin presentar fisuras estructurales graves (Villegas, 2024).

Este tipo de pavimento está conformado por varias capas, que se describen a continuación:

- Capa de rodadura: Es la capa superior del pavimento, generalmente constituida por una mezcla de asfalto y agregados, cuyo principal objetivo es ofrecer resistencia al desgaste y proporcionar una superficie de rodadura segura para los vehículos.

- Capa base: Su función es repartir las cargas provenientes del tráfico y distribuirlas hacia las capas inferiores. Esta capa puede estar compuesta por materiales como grava, piedra triturada o una mezcla de materiales que proporcionen resistencia y estabilidad.
- Capa subbase: Es la capa inferior al pavimento flexible que contribuye a la distribución de cargas. Generalmente está formada por materiales naturales como arena, grava o arcilla estabilizada.
- Subrasante: Es el suelo natural o capa de terreno que se encuentra debajo de todas las capas anteriores. La calidad de la subrasante es fundamental para la estabilidad y durabilidad del pavimento (Domínguez & López, 2024).

Figura 5

Pavimento flexible



Nota. Tomada de (Domínguez & López, 2024).

2.2.5.1 Comportamiento y desempeño del pavimento flexible

El pavimento flexible, a diferencia de los pavimentos rígidos, presenta una mayor elasticidad, lo que le permite adaptarse a las deformaciones del terreno sin fracturarse. Este comportamiento es esencial para su rendimiento a largo plazo, especialmente en áreas donde las condiciones del suelo pueden ser inestables o sujetas a fluctuaciones.

Las características principales de un pavimento flexible incluyen:

- Deformabilidad: La capacidad de adaptarse a las irregularidades y movimientos del terreno.



- Durabilidad: Resistencia al desgaste debido al tráfico, las condiciones climáticas y otros factores externos.
- Flexibilidad en el diseño: Los pavimentos flexibles pueden ajustarse a las necesidades específicas de tráfico y condiciones climáticas locales mediante la selección adecuada de materiales y el grosor de las capas (Aldás et al., 2024).

2.2.5.2 Factores que afectan el comportamiento del pavimento flexible

- El rendimiento y la durabilidad del pavimento flexible pueden verse influenciados por diversos factores:
- Condiciones climáticas: La temperatura, las precipitaciones y la variabilidad climática juegan un papel crucial en el deterioro de las superficies asfálticas. El calor puede provocar la expansión y agrietamiento del asfalto, mientras que la humedad puede afectar la cohesión de los materiales.
- Tráfico vehicular: La cantidad y tipo de tráfico influyen directamente en el desgaste del pavimento. Los vehículos pesados o de gran volumen generan más estrés en las capas de pavimento, acelerando el deterioro.
- Calidad de los materiales: Los materiales utilizados en la construcción del pavimento, como los agregados, el asfalto y los componentes de la subbase, deben cumplir con ciertas especificaciones para garantizar la resistencia y durabilidad del pavimento flexible (Cabral et al., 2024).

2.2.6 Fallas en los pavimentos

Las fallas en el estado de los pavimentos son el resultado de una combinación de factores que afectan su integridad y funcionalidad. Estas fallas suelen originarse debido a las fuerzas constantes que los vehículos ejercen sobre la superficie del pavimento, lo que



provoca alteraciones en la estructura mecánica de las vías. Esta estructura, que está diseñada bajo principios físicos específicos para resistir el paso de cargas y las condiciones ambientales, puede verse comprometida cuando las fuerzas aplicadas superan la capacidad de diseño del pavimento (Benavides & Román, 2025).

Las condiciones que afectan la estructura del pavimento incluyen factores como la tensión, que se refiere a la fuerza que tiende a estirar o alargar el material; la deformación unitaria, que implica la modificación del tamaño y la forma de los materiales bajo la influencia de la carga; y la deflexión, que es el desplazamiento de la capa de rodadura bajo la acción de una carga aplicada. La acumulación de tensiones y deformaciones repetidas a lo largo del tiempo puede generar fisuras, hundimientos, grietas o el deterioro de la capa superficial, lo que afecta la seguridad y el confort de la vía (Cruz-, 2024).

Además, las condiciones climáticas extremas, como altas temperaturas o cambios drásticos de humedad, también influyen en el comportamiento del pavimento, exacerbando la aparición de fallas. Estos factores, combinados con un mantenimiento inadecuado o deficiente, aceleran el deterioro del pavimento, reduciendo su vida útil y aumentando la necesidad de intervenciones correctivas o reconstrucción. Por lo tanto, la evaluación de las fallas del pavimento es esencial para mantener la calidad y seguridad de las infraestructuras viales (Sotil, 2019).

2.2.7 Tipos de fallas

❖ Grietas

- Fisuras por fatiga
- Fisuras en los bordes del pavimento
- Fisuras longitudinales
- Grietas transversales
- Relleno de baches y fisuras
- Grietas por reflexión

❖ Fisuras por esfuerzo repetido

Las fisuras por esfuerzo repetido son un tipo común de deterioro en pavimentos, especialmente en aquellos que están expuestos a un alto volumen de tráfico vehicular. Estas fisuras se desarrollan como resultado del desgaste continuo de la capa asfáltica debido a la repetida aplicación de cargas vehiculares sobre la superficie del pavimento. A medida que los vehículos pasan constantemente por la misma área, las tensiones generadas por las cargas repetidas van acumulándose en la estructura del pavimento, lo que provoca que las capas superiores comiencen a degradarse (Maza & Melendez, 2024).

El proceso de fisuración comienza en la capa superior del pavimento, donde la repetición de las cargas produce pequeñas grietas que se distribuyen de manera paralela. Estas fisuras son generalmente superficiales al principio, pero con el tiempo, la acumulación constante de esfuerzos repetidos debilita más el material, lo que provoca que las grietas se profundicen y se amplíen. A medida que este fenómeno progresa, las fisuras tienden a interconectarse entre sí, formando segmentos que, vistos en conjunto, se asemejan a un patrón poligonal (Alnaqbi et al., 2024).

Figura 6

Grietas de fatiga



Nota. Tomada de (Maza & Melendez, 2024).

❖ Fisuras de borde

Las fisuras de borde en pavimentos son defectos estructurales que se desarrollan a lo largo de los bordes de la carretera, generalmente de manera continua, creando discontinuidades en la superficie de rodadura. Estas fisuras son causadas principalmente por la falta de apoyo lateral del pavimento. Cuando los bordes de la vía no están adecuadamente soportados, la estructura del pavimento pierde su estabilidad y, como resultado, las tensiones aplicadas por el tráfico vehicular, junto con las condiciones climáticas y los cambios térmicos, pueden generar grietas en estos puntos vulnerables (Liu et al., 2024).

En muchos casos, las fisuras de borde se manifiestan como grietas largas y delgadas a lo largo de los bordes de la carretera, las cuales pueden extenderse y ampliar el daño si no se les da el debido tratamiento. Además de la falta de soporte lateral, otros factores contribuyen a su formación, como la erosión del material en las bermas (los márgenes de la vía), que reduce aún más la estabilidad de los bordes. Estas grietas a menudo se encuentran acompañadas de grietas transversales que aparecen en las bermas o en las zonas adyacentes al pavimento, lo que puede agravar la situación, ya que las grietas transversales permiten la infiltración de agua, lo que debilita aún más la base del pavimento (Delgado, 2025).

Figura 7

Grietas de borde



Nota. Tomada de (Delgado, 2025).

❖ Fisuras de forma longitudinal

Las fisuras longitudinales son grietas que se desarrollan a lo largo de la vía, generalmente a lo largo de las juntas o separaciones entre los diferentes tramos del pavimento. Estas fisuras se caracterizan por su orientación paralela al eje de la carretera y pueden extenderse a lo largo de grandes distancias. Su origen suele estar relacionado con la expansión térmica del pavimento, lo que genera tensiones internas en la estructura. A medida que el pavimento se expande y se contrae debido a las variaciones de temperatura, la conexión entre las distintas capas del pavimento se debilita, lo que favorece la formación de estas fisuras (Muslim et al., 2024).

Cuando las fisuras longitudinales coinciden con las huellas dejadas por los vehículos, generalmente indican una deficiencia en la construcción del pavimento. Este tipo de fisura suele ser un indicio de que la cimentación no ha sido adecuada o que no se han cumplido los estándares de diseño requeridos para soportar las cargas y el tráfico esperado. Una cimentación inadecuada, que no proporciona el soporte necesario para la estructura del pavimento, puede hacer que las capas superiores se deslicen o se deformen bajo la presión del tráfico vehicular, lo que provoca la aparición de estas fisuras longitudinales (Delgado, 2025).

Figura 8

Fisura longitudinal



Nota. Tomada de (Delgado, 2025).

❖ Fisuras de forma transversal

Las fisuras transversales son grietas que se desarrollan de manera perpendicular al eje de la carretera, cruzando el pavimento en ángulo recto. Este tipo de fisuras es una de las más comunes en los pavimentos asfálticos y suelen estar relacionadas con defectos estructurales o problemas en el diseño y la construcción de la vía. Las fisuras transversales se forman cuando el pavimento, sometido a cargas repetidas y condiciones climáticas extremas, experimenta tensiones internas que superan la capacidad de la capa de rodadura para resistirlas (Delgado, 2025).

Figura 9

Fisura transversal



Nota. Tomada de (Delgado, 2025).

Generalmente, estas fisuras se producen en pavimentos asfálticos que no descansan sobre una base de concreto o una cimentación estabilizada con cemento, lo que provoca una falta de soporte adecuado. La ausencia de una base sólida y estable debajo del pavimento asfáltico puede generar una distribución desigual de las cargas vehiculares, lo que, con el tiempo, causa que el pavimento se agriete de manera transversal. Además, cuando el pavimento asfáltico no cuenta con una estructura subyacente fuerte, se vuelve más susceptible a la deformación y la fisuración (Salas, 2025).

Las fisuras transversales pueden variar en tamaño, desde pequeñas grietas superficiales hasta fisuras más profundas que afectan la integridad estructural del pavimento. La presencia de estas fisuras no solo compromete la estabilidad del pavimento, sino que también facilita la penetración de agua en la estructura del pavimento, lo que a su vez acelera el deterioro de las capas subyacentes. El agua que se infiltra a través de las fisuras puede provocar la erosión de la base y subbase, generando baches, hundimientos o incluso la desintegración del pavimento.

❖ **Fisuras en forma de bloque**

Las fisuras en forma de bloque son un tipo de grieta que se presenta en pavimentos, especialmente en aquellos que están sometidos a cargas repetidas y condiciones climáticas cambiantes. Estas fisuras se caracterizan por la aparición de grietas interconectadas que dividen la calzada en secciones rectangulares o cuadradas, lo que les da una apariencia similar a un patrón de bloques o losas. Las grietas pueden estar distribuidas de manera uniforme o irregular a lo largo de la superficie del pavimento, formando bloques de diferentes tamaños que pueden variar considerablemente (Delgado, 2025).

Figura 10

Fisuras en bloque



Nota. Tomada de (Delgado, 2025).

En términos de dimensiones, los bloques generados por este tipo de fisuras suelen tener tamaños que van desde los 0,30 x 0,30 metros hasta los 3 x 3 metros, lo que implica que el tamaño de las secciones afectadas puede ser considerable. En algunos casos, las fisuras pueden ser pequeñas y casi imperceptibles, mientras que en otros pueden abarcar grandes áreas del pavimento, lo que compromete la funcionalidad y seguridad de la vía (Salas, 2025).

❖ Fisuras de reflexión

Las fisuras de reflexión, también conocidas como grietas por reflexión, son un tipo de grieta que aparece en las capas asfálticas que sirven como base estructural para pavimentos de concreto. Estas fisuras se desarrollan en la capa superior del pavimento, pero se originan debido a deformaciones o movimientos en las capas inferiores de la estructura del pavimento. Estos movimientos en la base, que pueden ser tanto horizontales como verticales, provocan tensiones que se reflejan hacia la superficie, causando grietas que siguen el patrón o las características de las fallas que existen en las capas subyacentes (Salas, 2025).

Figura 11

Fisura de reflexión



Nota. Tomada de (Delgado, 2025).

❖ Deformación

Las deformaciones hacen referencia a las alteraciones en la geometría superficial del pavimento respecto a su configuración inicial. Estas modificaciones pueden originarse por múltiples causas, tales como una compactación deficiente de las capas estructurales, una aplicación excesiva de mezcla asfáltica, la presencia de asentamientos diferenciales, entre otros factores. Asimismo, las condiciones climáticas extremas pueden influir significativamente en la aparición de dichas deformaciones (Delgado, 2025).

❖ Ahuellamiento

El ahuellamiento es un tipo de deterioro que se presenta en las superficies de los pavimentos, especialmente en aquellas sometidas a un alto volumen de tránsito vehicular. Este fenómeno ocurre cuando la acción constante de los vehículos sobre el pavimento provoca una depresión o hueco en la superficie de rodadura, también conocido como "rodera". Estas depresiones son causadas por la compresión y desplazamiento de los materiales de la capa de rodadura bajo las ruedas de los vehículos. A medida que los vehículos pasan repetidamente por la misma zona, especialmente en tramos de alta carga, el pavimento comienza a ceder y a formar una especie de huella o "rodadura", que con el tiempo puede intensificarse y generar más ahuellamientos en la misma área (Salas, 2025).

Figura 12

Ahuellamiento



Nota. Tomada de (Delgado, 2025).

❖ Ondulación – desplazamiento

Las ondulaciones en pavimentos asfálticos se manifiestan mediante la aparición de irregularidades en forma de crestas y depresiones a lo largo de la calzada. Por su parte, los desplazamientos hacen referencia a deformaciones localizadas, tales como hundimientos y levantamientos en la superficie. Estas anomalías estructurales suelen generarse en zonas donde los vehículos se detienen sobre pendientes descendentes, ejecutan giros cerrados o impactan contra los bordes del pavimento (Delgado, 2025).

Figura 13

Ondulación – desplazamiento



Nota. Tomada de (Delgado, 2025).

❖ Depresión

Las depresiones se presentan como zonas localizadas con hundimiento en la capa superficial del pavimento. Generalmente, estas anomalías son de tamaño reducido, se manifiestan de forma aislada y la aparición de grietas en su interior puede variar según las condiciones específicas. Normalmente, estas áreas hundidas alcanzan profundidades de varios milímetros o más con respecto al nivel original, facilitando la acumulación de agua cuando superan cierto umbral de profundidad (Fiallos, 2024).

Figura 14*Depresión*

Nota. Tomada de (Delgado, 2025).

❖ Levantamiento

El fenómeno de levantamiento en pavimentos se refiere a la elevación localizada de la superficie de rodadura, que se produce debido a una alteración o deformación en las capas subyacentes del pavimento, especialmente en la subrasante o en alguno de los componentes estructurales del sistema vial. Este tipo de deterioro suele manifestarse como una protuberancia o un abultamiento en el pavimento, que puede variar en tamaño y forma, afectando tanto la integridad de la vía como la seguridad de los conductores (Delgado, 2025).

El levantamiento se origina principalmente por deficiencias en la estructura del pavimento, especialmente en las capas inferiores. Las causas más comunes de este fenómeno incluyen procesos expansivos provocados por la presencia de humedad o la formación de hielo en la subrasante (Salazar & Chicoma, 2024).

Figura 15

Levantamientos



Nota. Tomada de (Salazar & Chicoma, 2024).

❖ **Baches**

Corresponden a cavidades de diversas dimensiones, comúnmente con geometría circular, generadas por la pérdida progresiva de material en zonas localizadas del pavimento. La aparición de estos baches suele estar vinculada a deficiencias en el diseño estructural de la vía, como la utilización de capas con espesores insuficientes o la implementación ineficiente del sistema de drenaje (Quispe, 2024).

Figura 16

Bache



Nota. Tomada de (Quispe, 2024).

❖ Desprendimiento

El desprendimiento se refiere al deterioro progresivo del pavimento, caracterizado por la separación y pérdida de sus partículas superficiales. Este fenómeno se origina principalmente por procesos de erosión, los cuales, al intensificarse, provocan la fragmentación incluso de agregados de mayor tamaño, generando una textura áspera e irregular típica de superficies erosionadas. Además, el desprendimiento en los bordes puede estar asociado a una compactación deficiente durante la construcción, presencia de humedad o bajas temperaturas, empleo de áridos contaminados o degradados, así como a una formulación inadecuada de la mezcla asfáltica (Gonzales de Vallejo, 2022).

Figura 17

Desprendimiento



Nota. Tomada de (Quispe, 2024).

❖ Exudación

Se manifiesta como la aparición de una capa de ligante asfáltico carente de agregados en la superficie del pavimento, lo cual genera un acabado lustroso e incluso adherente. Esta condición suele presentarse cuando la mezcla asfáltica contiene un contenido excesivo de ligante. Habitualmente, el fenómeno se inicia en las zonas de mayor sollicitación, específicamente en las huellas de rodadura donde las llantas de los vehículos ejercen mayor presión sobre el pavimento (Gualli & Riera, 2025).

Figura 18

Exudaciones



Nota. Tomada de (Delgado, 2025).

❖ **Perdida de agregado**

Esta patología se desarrolla como consecuencia del deterioro progresivo de la superficie del pavimento, lo que provoca la pérdida de los agregados finos. Como resultado, los áridos de mayor tamaño quedan parcialmente expuestos y tienden a concentrarse en las zonas de tránsito vehicular. La causa principal radica en la insuficiente adherencia del ligante asfáltico, el cual pierde su capacidad de fijar eficazmente los áridos dentro de la mezcla, facilitando así su desprendimiento (Galindo, 2024).

Figura 19

Perdida de áridos



Nota. Tomada de (Delgado, 2025).



2.2.8 Tipos de intervención en infraestructura vial

El Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, existen diversos enfoques o tipos de intervención vial que se aplican dependiendo del estado y la condición en la que se encuentran las vías. Estos tipos de intervención pueden clasificarse en varias categorías, según las necesidades específicas de mantenimiento o restauración de la infraestructura vial.

❖ Mantenimiento

El mantenimiento vial se refiere a un conjunto de actividades realizadas para asegurar que las condiciones de tránsito sean seguras, fluidas y cómodas, a la vez que se conserva la estructura del pavimento en condiciones adecuadas. Este proceso se puede dividir en dos grandes tipos según la frecuencia y naturaleza de las intervenciones:

- **Mantenimiento rutinario:** Este tipo de mantenimiento comprende actividades frecuentes y de bajo costo, tales como la limpieza de la vía, el perfilado de la superficie, el bacheo de huecos, y la aplicación de pintura en la señalización vial. Se realizan de forma continua con el objetivo de preservar la operatividad de la vía y garantizar que se mantenga en un nivel básico de servicio.
- **Mantenimiento periódico:** A diferencia del mantenimiento rutinario, el mantenimiento periódico está orientado a preservar los niveles de calidad iniciales del pavimento, con intervenciones planificadas y programadas. Estas actividades suelen realizarse a intervalos regulares, que pueden ser anuales o bianuales, y están diseñadas para prolongar la vida útil del pavimento. Entre estas actividades se incluyen:
 - La reposición de la capa de rodadura.
 - La instalación de sellos y la colocación de capas niveladoras para mejorar la superficie del pavimento.



❖ Mejoramiento

El mejoramiento de las infraestructuras viales se refiere a las intervenciones que tienen como propósito mejorar las condiciones de la vía, mediante actividades que modifican tanto la estructura como la geometría del pavimento. Estas actividades incluyen, entre otras, la reconstrucción parcial o total del pavimento, la adecuación de la infraestructura existente para adaptarse a nuevas demandas de tránsito o cambios en las condiciones del terreno, y la incorporación de nuevas obras complementarias que optimicen la funcionalidad de la carretera.

❖ Rehabilitación

La rehabilitación vial consiste en un conjunto de reparaciones y actividades correctivas que tienen como fin devolver a la carretera su nivel original de servicio. Estas intervenciones incluyen una serie de operaciones de control y restauración, que pueden involucrar:

- La reparación o reconstrucción de puentes y otras estructuras.
- La renovación del pavimento deteriorado.
- La ejecución de trabajos de movimiento de tierras y adecuación del terreno.
- La mejora de las obras de drenaje y sistemas de evacuación de aguas pluviales.

La rehabilitación tiene como objetivo garantizar que la carretera cumpla con los estándares de seguridad, comodidad y durabilidad, minimizando el riesgo de fallos o accidentes a largo plazo.

❖ Construcción

La construcción de una nueva carretera es un proceso que implica la creación de una infraestructura vial desde cero. Esto requiere el diseño y la ejecución de todas las etapas necesarias para establecer una carretera completamente nueva. Las características geométricas de la carretera deben cumplir con las normativas técnicas y los estándares de diseño y construcción vigentes, para asegurar que la infraestructura sea



segura, funcional y adecuada a las necesidades del tráfico previsto. En este proceso, se incluyen tareas como la planificación, la construcción de capas de pavimento, el acondicionamiento del terreno, y la instalación de sistemas de drenaje y señalización vial.

2.2.9 Técnicas para el mantenimiento de pavimentos

En un estudio que evaluó superficialmente un pavimento flexible utilizando el método PCI, se clasifican las diversas técnicas de mantenimiento en las siguientes categorías:

❖ Sellado de Grietas

Esta técnica tiene como principal propósito limpiar y sellar las grietas en el pavimento utilizando productos como asfalto, lechada de cemento o mezclas asfálticas. El objetivo es evitar que el agua o cualquier otro material perjudicial ingrese a la estructura interna del pavimento, lo cual podría comprometer su integridad a largo plazo.

El bacheo es una de las técnicas más comunes para reparar defectos localizados en el pavimento. Consiste en la eliminación de áreas dañadas de manera severa y la posterior reposición o relleno de los huecos generados por el desgaste o disolución del material. Este método es ideal para reparar defectos estructurales, como las grietas en forma de cocodrilo (moderadas a graves), hendiduras profundas, grietas causadas por deslizamiento, y otros daños específicos como hoyos, fracturas, hundimientos o desprendimientos. El bacheo se puede clasificar en las siguientes categorías:

- **Emergencia:** En este tipo de intervención, los hoyos se rellenan con mezclas asfálticas, tanto en caliente como en frío, y en ocasiones con concreto Portland o material granular. Este proceso generalmente se realiza con una preparación mínima o sin acondicionar la zona afectada.



- Superficie: No requiere la remoción del pavimento existente. Se basa en sellar las áreas afectadas mediante la aplicación de una mezcla asfáltica y un riego para asegurar la adherencia. El riego puede aplicarse tanto en frío como en caliente, y se utiliza para cubrir zonas con agrietamientos, hundimientos, deformaciones o disgregación. El proceso constructivo involucra limpiar la superficie, aplicar el riego asfáltico y luego compactar la mezcla, con espesores que normalmente oscilan entre 2 y 4 cm.
- Carpeta: Esta técnica consiste en retirar la capa de asfalto de una zona dañada, ya sea total o parcialmente. Si es necesario, se limpia y ajusta la superficie de apoyo antes de proceder. En casos donde el ingeniero determine que no es necesario, este paso puede omitirse. Después de la limpieza, se aplica un relleno de mezcla asfáltica y se compacta adecuadamente para sustituir la capa retirada.
- Profundo: El mantenimiento profundo implica la remoción tanto de la capa asfáltica como de la base, y en algunos casos, de la subrasante. Este procedimiento se lleva a cabo cuando la superficie de soporte no es lo suficientemente sólida. Entre las situaciones más comunes que requieren esta intervención se incluyen materiales de baja calidad, exceso de humedad o falta de compactación. En tales casos, se remueve el material deficiente y se reemplaza por uno adecuado para asegurar una base sólida.

2.2.10 Diseño de sobrecapa

Para la implementación del diseño de la Sobrecapa Asfáltica, el primer paso consiste en determinar el coeficiente estructural tanto de la capa asfáltica como de las capas granulares que integran la estructura del pavimento. Este proceso inicial se basa en una exhaustiva evaluación de los daños y el nivel de contaminación observados en la estructura existente del pavimento. La información sobre el estado de la capa de rodadura

y sus características, la cual establece el coeficiente correspondiente según las condiciones superficiales de la capa (Mendez & Villao, 2023).

Tabla 3

Coeficiente relacionado con la evaluación de los daños en el pavimento existente

Material	Condición Superficial	Coeficiente
Concreto Asfáltico	Pocas grietas tipo "piel de cocodrilo", con baja severidad y/o únicamente grietas transversales de baja severidad	0,35 - 0,40
	Menos del 10% de grietas tipo "piel de cocodrilo" de baja severidad y/o menos del 5% de grietas transversales con severidad media o alta	0,25 - 0,35
	Más del 10% de grietas tipo "piel de cocodrilo" con severidad media y/o menos del 10% de grietas "piel de cocodrilo" con severidad alta y/o más del 10% de grietas transversales de severidad media o alta	0,14 - 0,20
Capas Granulares	Sin signos de degradación ni contaminación	0,10 - 0,14
	Con evidencias claras de degradación y contaminación	0,00 - 0,10

Nota. Tomada de AASHTO 93

Dentro del diseño del pavimento, el drenaje se considera un factor clave que influye directamente en el coeficiente de la capa para pavimentos flexibles. Para determinar el coeficiente de drenaje, se empleará un método de estimación basado en el tiempo necesario para el drenaje. Este enfoque toma en cuenta el agua que se infiltra en la subbase debido a las precipitaciones y que debe ser drenada de manera eficiente para evitar posibles daños. Para llevar a cabo este proceso, es necesario contar con los siguientes datos de manera previa (Mendez & Villao, 2023).

Se realiza el cálculo de la pérdida de agua para determinar la porosidad efectiva, utilizando la siguiente fórmula:

$$Ne_{max} = 1 - \frac{\text{Desidad seca maxima}}{\text{Peso especifico}} * 100$$
$$Ne = \frac{Ne_{max} * c}{100}$$



Una vez obtenido este valor, se puede calcular el volumen de vacíos efectivo, mediante la relación:

$$N_e = \frac{N_{e_{max}} * c}{100}$$

Con los valores obtenidos, se procede a calcular la permeabilidad de la capa utilizando la siguiente fórmula matemática:

$$K = \frac{6,214 \times 10^5 (D_{10})^{1,478} n^{6,654}}{(P_{200})^{0,597}} \left(\frac{\text{pies}}{\text{dia}} \right)$$

A continuación, se calcula el tiempo total de drenaje m utilizando la siguiente ecuación:

$$m = \frac{N_e * L_r^2}{H * K}$$

Luego, el tiempo de drenaje t en horas se obtiene como un factor relacionado con el tiempo requerido para que la capa de subbase alcance un 50% de saturación, conocido como t_{50} :

$$t_{50} = \frac{n_e * L^2}{2K(H + SL)}$$

Finalmente, se realiza una ponderación de la pluviosidad de la zona, considerando 32 días de lluvia al año, con la siguiente expresión:

$$P = \frac{32}{365} \times 100$$

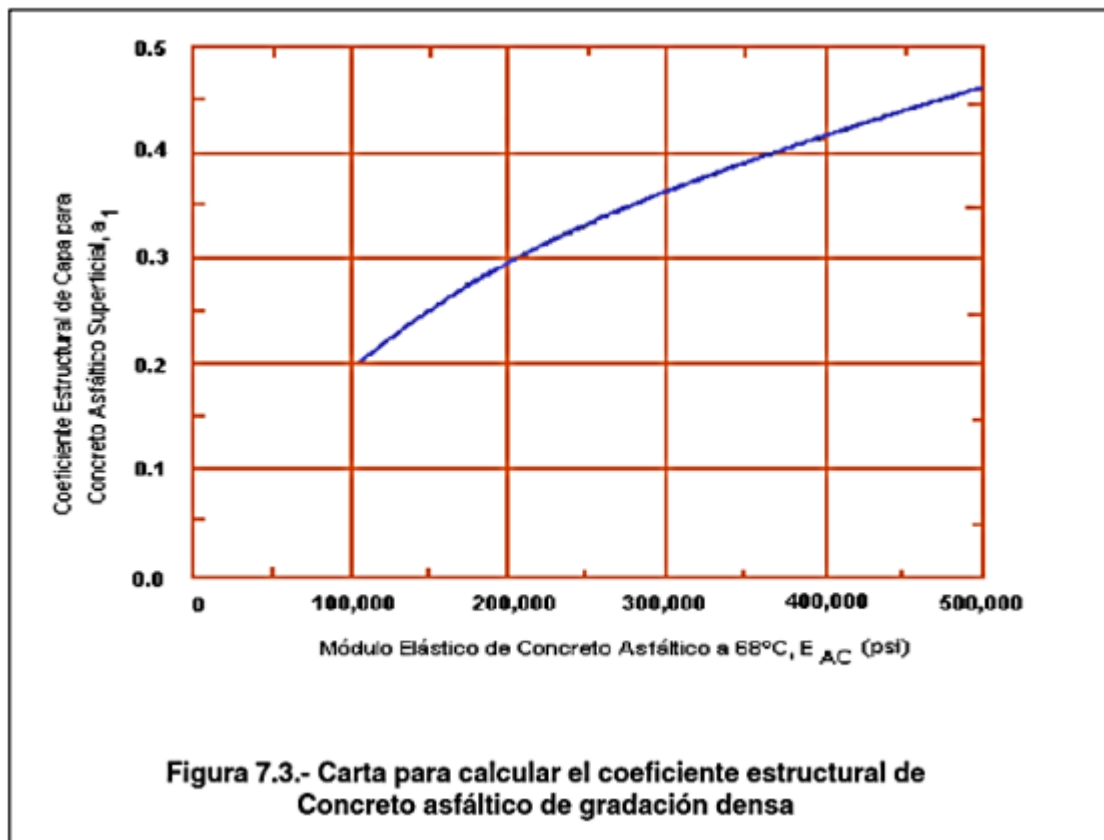
❖ Módulo de Sobrecapa

En el proceso de diseño y cálculo del grosor adecuado para la sobrecapa asfáltica, es fundamental determinar el valor del coeficiente estructural de la nueva capa que se va a aplicar. Este valor se obtiene utilizando un nomograma específico, el cual establece una relación entre el módulo elástico del asfalto y el coeficiente estructural. Este gráfico es esencial para asegurar que la nueva sobrecapa proporcione el soporte y la durabilidad

necesarios para el pavimento, permitiendo una adecuada distribución de las cargas y un comportamiento óptimo frente al tráfico y las condiciones ambientales (Mendez & Villao, 2023).

Figura 20

Monograma para el coeficiente a_1



Nota. Tomada de AASHTO 93

❖ **Espesor de la sobrecapa**

El espesor de la sobrecapa asfáltica se determina al calcular la diferencia entre el número estructural proyectado para el futuro y el número estructural actual, el cual se obtiene a partir del análisis de tráfico. Este valor se divide entre el coeficiente estructural a_1 , lo que da como resultado el espesor de la capa, tal como se describe en la siguiente fórmula:

$$\text{Espesor} = \frac{SN_{\text{futuro}} - SN_{\text{eff}}}{a_1}$$

Donde:

SN_{eff} es el número estructural existente.

SN_{futuro} es el número estructural proyectado para el futuro.

a_1 es el coeficiente estructural del asfalto.

El valor de SN_{eff} se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$SN_{\text{eff}} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2$$

a_1 es el coeficiente estructural de la capa asfáltica.

D_1 es el espesor de la capa asfáltica existente.

a_2 es el coeficiente estructural de la capa granular existente.

D_2 es el espesor de la capa granular existente.

m_2 es el coeficiente de drenaje de la capa granular.

Este cálculo permite determinar el número estructural efectivo SN_{eff} considerando tanto la capa asfáltica como la granular, así como su interacción con el drenaje.

2.2.11 Diseño de pavimento reciclado

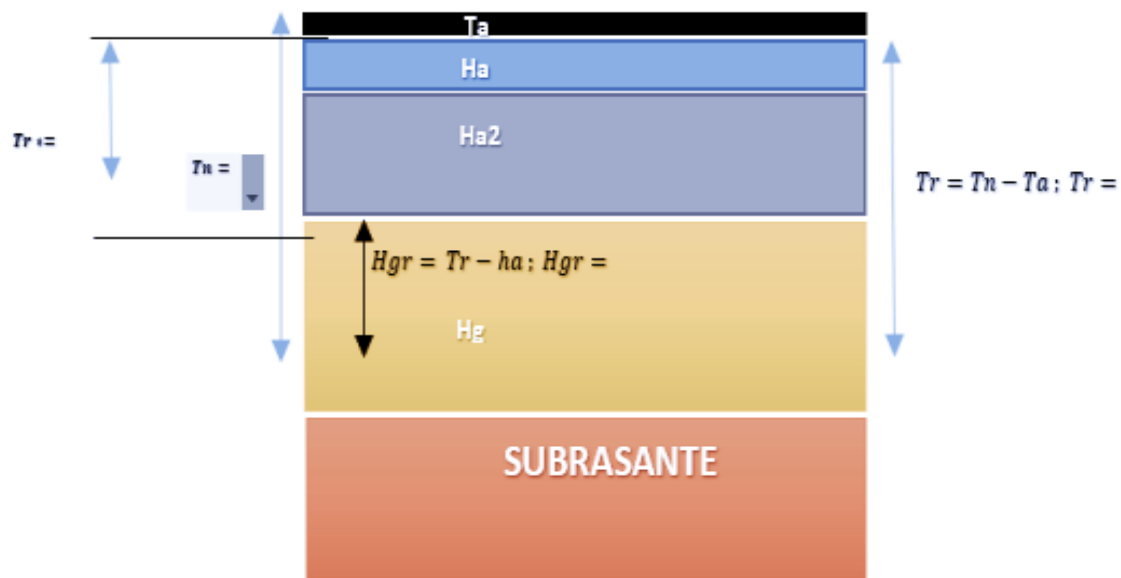
El diseño de un pavimento reciclado requiere una metodología que permita determinar el espesor adecuado para cada capa del pavimento, asegurando su rendimiento y durabilidad a lo largo del tiempo. Para facilitar este proceso, es fundamental contar con herramientas gráficas y modelos de cálculo específicos que integren los diferentes parámetros que influyen en el comportamiento del pavimento reciclado, como la calidad de los materiales reciclados, las condiciones de tráfico, las características del suelo y el clima (Poma, 2024).

El gráfico utilizado para el diseño del pavimento reciclado sirve como una guía visual y matemática para la aplicación de espesores adecuados en las distintas capas del

pavimento, como la capa base reciclada y la capa de rodadura. Este gráfico permite identificar, de manera rápida y precisa, cómo las propiedades del material reciclado influyen en la elección del espesor total del pavimento y su distribución entre las capas.

Figura 21

Monograma para el coeficiente a_1



El primer paso en este proceso es determinar las características del pavimento que será reciclado. Esto incluye la medición del espesor de la capa asfáltica, la cual se denominará (h_a) para efectos del diseño, y el espesor de las capas granulares, que se nombrarán (h_g). Una vez establecidos estos parámetros, se asigna un valor al factor de equivalencia (F_e), el cual se determina en función del nivel de contaminación del material reciclado. Este factor es clave y se obtiene con base en los datos proporcionados en la tabla correspondiente (Mendez & Villao, 2023).

❖ Factor F_e en función del grado de contaminación

El factor F_e se determina según el nivel de contaminación del material reciclado, medido en función del porcentaje de partículas finas (IP). Si el material presenta más del 6% de IP , se considera contaminado y se asigna un valor de 0,1 al factor F_e . Si el



porcentaje de *IP* es igual o menor al 6%, el material se considera no contaminado, y el factor *Fe* es de 0,2 (Mendez & Villao, 2023).

Posteriormente, utilizando el nomograma proporcionado por el Instituto del Asfalto para el diseño de pavimentos reciclados, se estimó el espesor necesario de la capa reciclada, sumado al espesor de la nueva capa asfáltica, denominado (*Tn*). Este cálculo se basa en el módulo de la subrasante, determinado mediante ensayos de laboratorio, y el número de *Esal*'s de diseño, que se obtiene del estudio de tráfico. A continuación, el espesor de la capa asfáltica se determina según la tabla del Instituto del Asfalto, que relaciona el número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

Tabla 4

Coeficiente relacionado con la evaluación de los daños en el pavimento existente

Ejes equivalentes en el carril de diseño (N)	Espesor mínimo de capa asfáltica (<i>Ta</i>) (mm)
Menos de 10 ⁴	Tratamiento superficial
10 ⁴ - 10 ⁵	50*
10 ⁵ - 10 ⁶	75*
10 ⁶ - 10 ⁷	100*
Más de 10 ⁷	125*

Nota. Tomada del Instituto del asfalto

El proceso comienza con la determinación del espesor del pavimento existente que será sometido a procesamiento (*Tr*), el cual se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Tr = Te - Ta$$

A continuación, se calcula el espesor de la capa granular que será reprocesada (*hgr*), utilizando la siguiente expresión:

$$hgr = Tr - ha$$

Luego, se procede a determinar el espesor efectivo de las capas granulares remanentes (*hger*), el cual se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$hger = (hg - hgr) \times Fe$$



A continuación, se obtiene el espesor corregido de las capas granulares que serán recicladas (hgr^*), aplicando la siguiente expresión:

$$hgr^*=hgr-hger$$

Finalmente, se calcula el espesor definitivo del pavimento reciclado (Tr^*) sumando el espesor de la capa asfáltica original (ha) y el espesor corregido de las capas granulares por reciclar (hgr^*):

$$Tr^*=ha+hgr^*$$

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Deflexión de pavimentos

La deflexión de pavimentos es el grado de hundimiento o desplazamiento que experimenta una capa de pavimento bajo una carga aplicada, lo que refleja la rigidez de la estructura. Este fenómeno es crucial para la evaluación estructural, ya que una deflexión excesiva indica posibles fallos en la capacidad de carga del pavimento, lo que podría requerir intervenciones de refuerzo o rehabilitación.

2.3.2 Evaluación de la condición del pavimento

La evaluación de la condición de un pavimento flexible se realiza mediante la medición de su desempeño y estado estructural. Existen diversas técnicas para evaluar la calidad y durabilidad del pavimento. La evaluación de la condición del pavimento en esta área permitirá identificar puntos críticos de deterioro, como fisuras, grietas o hundimientos, que podrían comprometer la seguridad vial. Además, los resultados ayudarán a determinar la necesidad de implementar un plan de mantenimiento o rehabilitación para mejorar las condiciones de la vía.



2.3.3 Pavimento flexible

El pavimento flexible es una estructura vial compuesta por varias capas, cuya principal característica es que distribuye las cargas vehiculares a lo largo de la subbase y el terreno subyacente. Las capas más comunes que lo componen son la capa de rodadura (asfalto), la base y la subbase. Este tipo de pavimento es ideal para soportar el tránsito pesado y variado, distribuyendo las tensiones de forma más homogénea que los pavimentos rígidos. Los pavimentos flexibles pueden presentar diferentes tipos de deterioro, tales como fisuras, hundimientos o deformaciones plásticas, los cuales afectan su funcionalidad y seguridad. La evaluación de la condición de estos pavimentos es fundamental para la planificación de mantenimiento y la prolongación de su vida útil.

2.3.4 Rugosímetro de Merlín

El rugosímetro de Merlín es un dispositivo utilizado para medir la rugosidad de un pavimento, es decir, las variaciones en la superficie que afectan la comodidad y la seguridad de los vehículos. Este dispositivo proporciona una medida objetiva de la calidad de la superficie del pavimento, que influye directamente en la confortabilidad para los usuarios y en la resistencia al desgaste de los vehículos.

El rugosímetro de Merlín evalúa la irregularidad superficial a través de una serie de mediciones realizadas mientras el dispositivo se desplaza por la vía. La rugosidad se clasifica en función de su impacto en la eficiencia energética, la seguridad vial y la durabilidad del pavimento. Una mayor rugosidad puede indicar un deterioro prematuro o una mala calidad del material, mientras que una baja rugosidad puede señalar que el pavimento es relativamente nuevo o ha recibido mantenimiento adecuado.

2.3.5 Viga de Benkelman

La viga de Benkelman es una herramienta utilizada para medir la deflexión vertical de un pavimento cuando se aplica una carga, representando la deformación que



experimenta la estructura bajo el peso de un vehículo. Se utiliza principalmente para evaluar la capacidad estructural de pavimentos flexibles, permitiendo obtener datos que sirvan para determinar su vida útil restante y la necesidad de rehabilitación. La viga de Benkelman mide la deflexión en milímetros, y este valor es utilizado para determinar si un pavimento tiene suficiente capacidad de carga para soportar el tránsito vehicular sin sufrir daños adicionales. La medición de deflexión es crucial para realizar un diagnóstico adecuado de las condiciones del pavimento y decidir las intervenciones necesarias para su reparación.



CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque de investigación

El enfoque cuantitativo se refiere a una metodología de investigación que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para establecer patrones, medir variables y realizar inferencias generalizables. Este enfoque se caracteriza por su objetividad y precisión, utilizando herramientas estadísticas para analizar la relación entre las variables y probar hipótesis. Es comúnmente utilizado en ciencias sociales, económicas y naturales para estudiar fenómenos de manera estructurada y obtener resultados que puedan ser replicados y validados por otros investigadores. Los instrumentos típicos incluyen encuestas, experimentos controlados, análisis de datos secundarios, entre otros (Canto, 2019).

Es de enfoque cuantitativo porque se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para medir la condición del pavimento. A través de herramientas como el rugosímetro de Merlín y la viga de Benkelman, se obtienen mediciones precisas de variables relacionadas con la rugosidad y la deflexión del pavimento.



3.2 Método de investigación

El método científico es un proceso sistemático utilizado para investigar fenómenos, mediante el cual se realizan observaciones, se plantean hipótesis y se diseñan experimentos para recolectar datos. A través de este enfoque, los investigadores analizan los resultados obtenidos para llegar a conclusiones válidas y verificables, buscando siempre la objetividad y la repetibilidad de los experimentos. Este proceso permite validar o refutar las hipótesis iniciales y contribuye al avance del conocimiento científico, al asegurar que los resultados sean confiables y puedan ser replicados por otros investigadores (Canto, 2019).

Se enmarca dentro del método científico porque sigue un proceso sistemático y riguroso de investigación para obtener conocimiento válido y confiable sobre el estado del pavimento.

3.3 Tipo de investigación

La investigación aplicada es un tipo de investigación que busca resolver problemas prácticos y concretos mediante la aplicación de conocimientos científicos ya existentes. A diferencia de la investigación básica, que se enfoca en generar teorías y principios generales, la investigación aplicada se centra en la solución de problemas específicos en diversos campos como la tecnología, la salud, la educación o la ingeniería. Su objetivo es generar soluciones prácticas que puedan implementarse directamente en la realidad, mejorando procesos, productos o servicios, y teniendo un impacto directo en la sociedad (Canto, 2019).

Es de tipo aplicada porque busca resolver un problema práctico y específico relacionado con la infraestructura vial. Utilizando herramientas como el rugosímetro de Merlín y la viga de Benkelman, la investigación permite evaluar el estado del pavimento flexible en una carretera concreta y propone soluciones basadas en los resultados obtenidos



3.4 Nivel de Investigación

El nivel descriptivo en la investigación se refiere a un enfoque en el cual se busca detallar y caracterizar de manera precisa y clara las características, cualidades o comportamientos de un fenómeno, sin intervenir ni manipular las variables. Este nivel de investigación se centra en describir las situaciones tal como son, recopilando datos sobre aspectos como frecuencia, distribución, tendencias y relaciones entre elementos, sin llegar a explicar las causas o efectos de esos fenómenos. Es común en estudios preliminares, censos, encuestas y análisis de casos donde el objetivo principal es obtener una representación fiel de la realidad estudiada (Canto, 2018).

3.5 Diseño de investigación

El diseño no experimental es un tipo de diseño de investigación en el que el investigador no manipula las variables de estudio, sino que observa, describe y analiza los fenómenos tal como ocurren en su entorno natural. En este enfoque, no se realizan intervenciones ni controles sobre las variables, lo que significa que el investigador no puede establecer relaciones causales directas. Los diseños no experimentales incluyen estudios correlacionales, estudios transversales, y estudios de caso, entre otros, y son útiles para obtener información sobre comportamientos, actitudes o características en situaciones reales. Este tipo de diseño es común cuando no es posible o ético realizar un experimento controlado (Canto, 2018).

Es de diseño experimental porque implica la manipulación y control de las variables de estudio para observar sus efectos en el pavimento. En este caso, se utilizan equipos específicos (rugosímetro de Merlín y viga de Benkelman) para realizar mediciones sobre el pavimento, lo que permite establecer una relación entre las condiciones del pavimento y las variables controladas, como la rugosidad y la deflexión.

3.6 Población y muestra

3.6.1 Población

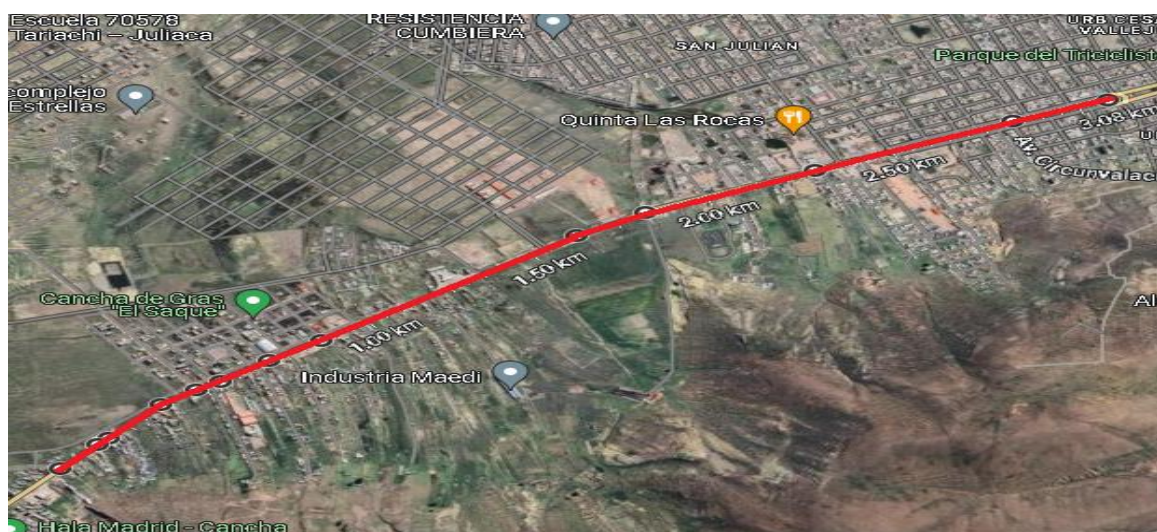
La población objeto de estudio en la presente investigación estará conformada por el pavimento flexible ubicado en la salida Arequipa, situada en la ciudad de Juliaca. Este pavimento será analizado en detalle para comprender sus características estructurales, comportamiento y las posibles condiciones que afectan su rendimiento, con el fin de obtener resultados relevantes que puedan contribuir al conocimiento y mejoramiento de las infraestructuras viales en dicha área.

3.6.2 Muestra

La muestra seleccionada para llevar a cabo el análisis abarcará un tramo comprendido entre la progresiva 0+000 y la 2+275 de la salida Arequipa. Este recorrido iniciará en el óvalo ubicado en la salida Arequipa y se extenderá hasta la Universidad Peruana Unión, situada en Juliaca. Este tramo será cuidadosamente evaluado con el objetivo de obtener datos representativos sobre las condiciones y características del pavimento flexible en dicha zona.

Figura 22

Diagrama de flujo de proceso de ensayos





3.7 Validación y de instrumentos y confiabilidad

3.7.1 Validación de instrumentos

Es un método esencial que consiste en una evaluación completa y rigurosa de la validez y fiabilidad de los dispositivos que se utilizan para la recogida de datos en un estudio. La validación de los instrumentos de investigación es un procedimiento esencial.

3.7.2 Confiabilidad de instrumentos

Cuando hablamos de la fiabilidad de los instrumentos de investigación, nos referimos a la fiabilidad de las mediciones que se obtienen con su uso. El término «fiabilidad» se refiere a la capacidad de un instrumento para producir resultados coherentes y reproducibles cuando se utiliza con la misma población y en condiciones comparables a las utilizadas en otras situaciones.

3.7.3 Procedimiento

1. Evaluación del pavimento de la salida Arequipa
2. Recolección de datos.
3. Verificación de la confiabilidad de la información obtenida.
4. Establecimiento de los parámetros necesarios.
5. Identificación de zonas con características comunes.
6. Análisis de inconsistencias y uniformidad en los datos.
7. Validación de la coherencia y variabilidad de los datos recopilados.
8. Selección de pruebas o ensayos adecuados.
9. Cálculo de los valores máximos y mínimos.
10. Elaboración de representaciones gráficas para visualización de los resultados.



3.7.4 Técnicas e instrumentos

3.7.4.1 Técnicas

- Inspección y evaluación del sitio.
- Obtención de muestras para análisis.
- Realización de pruebas y análisis en laboratorio.
- Registros de pruebas de campo para medir la deflexión con la viga Benkelman
- Formato para el registro de datos de aforo vehicular.

3.7.4.2 Instrumentos

- Registro manual de información mediante apuntes
- Dispositivo fotográfico digital
- Rugosímetro de merlin
- Viga de benkelman

3.8 Procesamiento y análisis de datos

3.8.1 Desarrollo de la investigación

- FASE 01: Elección de las muestras para la prueba de rugosidad utilizando el rugosímetro de Merlin.
- FASE 02: Ejecución del ensayo de rugosidad con el rugosímetro de Merlin.
- FASE 03: Selección de las muestras para el análisis de deflexión con la viga de Benkelman
- FASE 04: ASE 04: Realización de la prueba de deflexión con la viga de Benkelman

3.8.2 Ensayos de laboratorio

A. Rugosímetro de Merlin.

Para llevar a cabo este ensayo, es esencial identificar el equipo a utilizar, evaluar su condición y comprobar que esté debidamente calibrado. Este proceso demanda la



intervención de, al menos, dos personas para asegurar una ejecución adecuada y eficiente. Una persona será responsable de operar el rugosímetro de Merlin, mientras que la otra se encargará de registrar los datos obtenidos durante el trabajo de campo.

La persona encargada de operar el equipo será responsable de asegurar que la calibración se realice correctamente antes de iniciar el ensayo. Deberá tomar las lecturas de las elevaciones y depresiones registradas por el equipo, para luego comunicar los resultados a la persona designada para documentarlos en las fichas de campo preparadas para tal fin.

Fase 01. Elección del tramo de muestra para la prueba con el rugosímetro de Merlin.

De los 2+275 kilómetros que conforman la totalidad de la vía en análisis, debido a que algunas áreas presentan un deterioro significativo. Se realizó de la siguiente manera: se consideraron intervalos de 200 metros de longitud para cada muestra, abarcando diferentes carriles.

Tabla 5

Muestras para el rugosímetro de Merlin

Tramos de estudio (km)	
Inicio	Fin
0+200	0+400
0+600	0+800
1+000	1+200
1+400	1+600
1+800	2+000

En este estudio, se realizaron 5 muestras en intervalos de 200 metros, cubriendo un total de 1 km del tramo completo. Las muestras fueron evaluadas de forma alternada, abarcando distintos carriles a lo largo del tramo.



Rugosímetro de merlín

Para la recolección de datos en la evaluación de la rugosidad del pavimento mediante el rugosímetro de Merlín, se llevaron a cabo un total de 200 mediciones distribuidas a lo largo de cuatro tramos de 400 metros cada uno, tanto en la dirección de subida como de bajada de la vía seleccionada. A continuación, se describen de manera detallada los pasos a seguir para ejecutar correctamente el procedimiento:

- **Preparación de los Formatos de Campo:** Antes de iniciar el proceso, es esencial contar con los formatos de campo adecuados para registrar las mediciones. Estos formatos deben estar preparados con espacio suficiente para anotar todas las lecturas y otros datos relevantes sobre el tramo de pavimento a evaluar.
- **Ingreso de Datos Iniciales:** Una vez que los formatos estén listos, se debe completar el encabezado de cada uno, incorporando la información básica sobre el tramo a analizar, como la ubicación exacta, la longitud del tramo, y otros detalles pertinentes para organizar las mediciones de manera efectiva.
- **Calibración del Rugosímetro de Merlín:** Es indispensable realizar una calibración previa del rugosímetro de Merlín antes de comenzar cualquier medición. Este paso asegura que el equipo funcione correctamente y proporcione datos precisos, evitando posibles errores debido a un mal ajuste o a la acumulación de variaciones en el equipo.
- **Posicionamiento y Medición en la Ruta de Subida:** El siguiente paso consiste en sujetar el rugosímetro firmemente por las manijas y elevarlo para que esté en posición adecuada para su desplazamiento. Luego, se debe mover el equipo hacia adelante una distancia equivalente a la longitud de una vuelta completa de la rueda, aproximadamente 2 metros. En este punto, se debe colocar el equipo sobre la superficie del pavimento y registrar la lectura del puntero en el formato de campo correspondiente.

- Repetición del Procedimiento en el Tramo: Este proceso de medición y registro debe repetirse de manera continua hasta cubrir completamente el tramo de pavimento. Es importante mantener la consistencia en la toma de lecturas, realizando cada medición con el mismo cuidado y atención a la calibración del equipo.
- dLecturas en la Ruta de Bajada: Una vez completada la medición de subida, se procede a realizar el mismo procedimiento en la dirección de bajada del tramo. Para ello, se repite el proceso de calibración (si es necesario) y se siguen los mismos pasos de medición descritos previamente, asegurando que las lecturas se registren de manera adecuada en los formatos correspondientes.

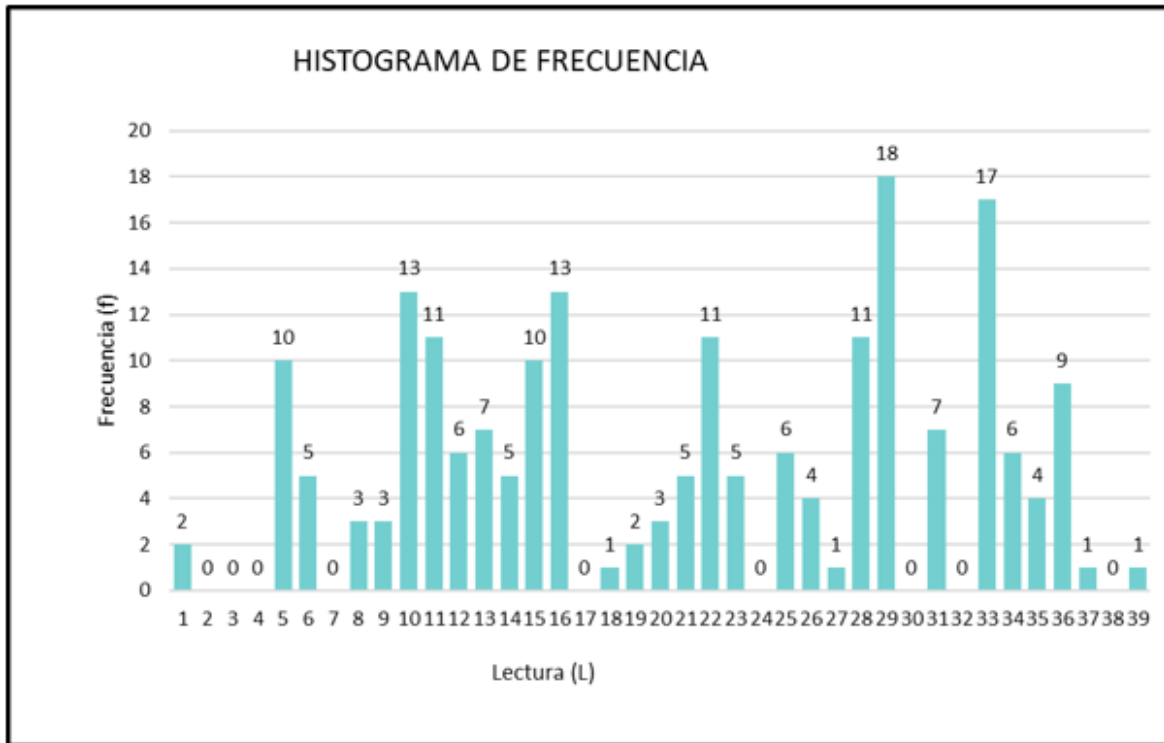
Figura 23

Rugosímetro de Merlin



Figura 24

Histograma de frecuencias M-01



❖ **Corrección por pastilla:**

$$F.C = \frac{ESP.PASTILLA \times 10}{(Lect\ Inicial - Lect\ final) \times 5}$$

Fase 03. Selección de muestra para el ensayo de la viga de Benkelman

❖ **Radio de Curvatura**

Se define utilizando una fórmula matemática que involucra la medición de deflexiones en diferentes puntos bajo carga. Esta medida es crucial para determinar la forma y comportamiento del pavimento o superficie bajo condiciones de carga, especialmente en términos de su flexibilidad y respuesta estructural. La fórmula para calcular el radio de curvatura es la siguiente:

$$RC = \frac{3125}{D_0 - D_{25}}$$

Donde:



- **RC:** Es el radio de curvatura, medido en metros (m).
- **D0:** Representa la deflexión recuperable medida en el eje vertical de carga, expresada en milímetros por cada 10^{-2} ($mm10^{-2}$).
- **D25:** Es la deflexión recuperable a una distancia de 25 cm del eje vertical de carga, también expresada en milímetros por cada 10^{-2} ($mm10^{-2}$).

❖ Deflexión Característica

La deflexión característica es una medida estadística utilizada para describir de manera general el comportamiento de los pavimentos. Este valor es útil en el proceso de diseño de infraestructuras viales, ya que representa con mayor precisión una sección específica del pavimento, basada en un análisis estadístico detallado. La deflexión característica se calcula utilizando la siguiente fórmula:

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

Donde:

- **D_c:** Es la deflexión característica, un valor que representa el comportamiento global del pavimento.
- **D_m:** Es la deflexión promedio obtenida de los valores individuales de **D0** corregidos.
- **t:** Es un coeficiente que refleja el porcentaje del área total considerado en el cálculo.
- **σ:** Es la desviación estándar, que indica la dispersión o variabilidad de los datos de deflexión.

❖ Deflexión Máxima Admisible

La deflexión máxima admisible se refiere al valor máximo de deformación que un pavimento puede experimentar sin que se vea comprometida su integridad estructural. Este valor se calcula considerando el tráfico proyectado para el diseño de la carretera, ya que el nivel de carga al que estará sometido el pavimento influye directamente en la



capacidad de deformarse sin sufrir daños. Para determinar este parámetro, se utiliza la siguiente ecuación:

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

Donde:

- **D_a**: Es la deflexión máxima admisible, expresada en milímetros (mm).
- **N_{18}**: Representa el número de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 toneladas, y se mide en unidades de 10⁶.

Tabla 6

Características del pavimento tipo de deflexión y radio de curvatura

Tipo de deflexión	Comportamiento de la subrasante	Comportamiento del pavimento
Tipo I	Bueno Dc < Da	Bueno Rc > 100
Tipo II	Malo Dc > Da	Bueno Rc < 100
Tipo III	Bueno Dc < Da	Malo Rc < 100
Tipo IV	Malo Dc > Da	Malo Rc < 100

Nota. Tomada de AASHTO

Tabla 7

Características del pavimento de acuerdo al cuenco de deflexiones

Tipo	Curva Medida	Pavimento evaluado
I	Curva extensa Poco profunda	Buen pavimento Buena subrasante
II	Curva extensa profunda	Buen pavimento mala subrasante
III	Curva corta poco profunda	Mal pavimento buena subrasante
IV	Curva corta profunda	Mala pavimento mala subrasante

Nota. Tomada de AASHTO

Tabla 8

Ensayos distancias

Ancho del carril	Distancia a borde a pavimento
2.7m	0.45m
3.0m	0.6m
3.3m	0.75m
3.6m a >	0.9m

Nota. Tomada de AASHTO



CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Resultados obtenidos

En este apartado se presentan los resultados obtenidos a través de tablas y gráficos que detallan las mediciones de rugosidad del pavimento, realizadas con el rugosímetro de Merlín, y las mediciones de deflexión utilizando la viga de Benkelman. Estos datos permiten evaluar de manera objetiva la condición actual del pavimento flexible en la zona de estudio. Además, se incluye una propuesta de mejora basada en los resultados obtenidos, con el objetivo de optimizar la calidad y durabilidad del pavimento, considerando las variables medidas y las condiciones específicas del área de la salida Arequipa de Juliaca.

4.1.1 Condición del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca mediante la medición de la rugosidad utilizando el rugosímetro de Merlín

Se realizó el ensayo mediante el rugosímetro de merlín en los diferentes tramos.



Tabla 9

Lecturas del tramo (0+200 a 0+400) km de ida

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

Tabla 10

Rugosidad del tramo (0+200 a 0+400) km de ida

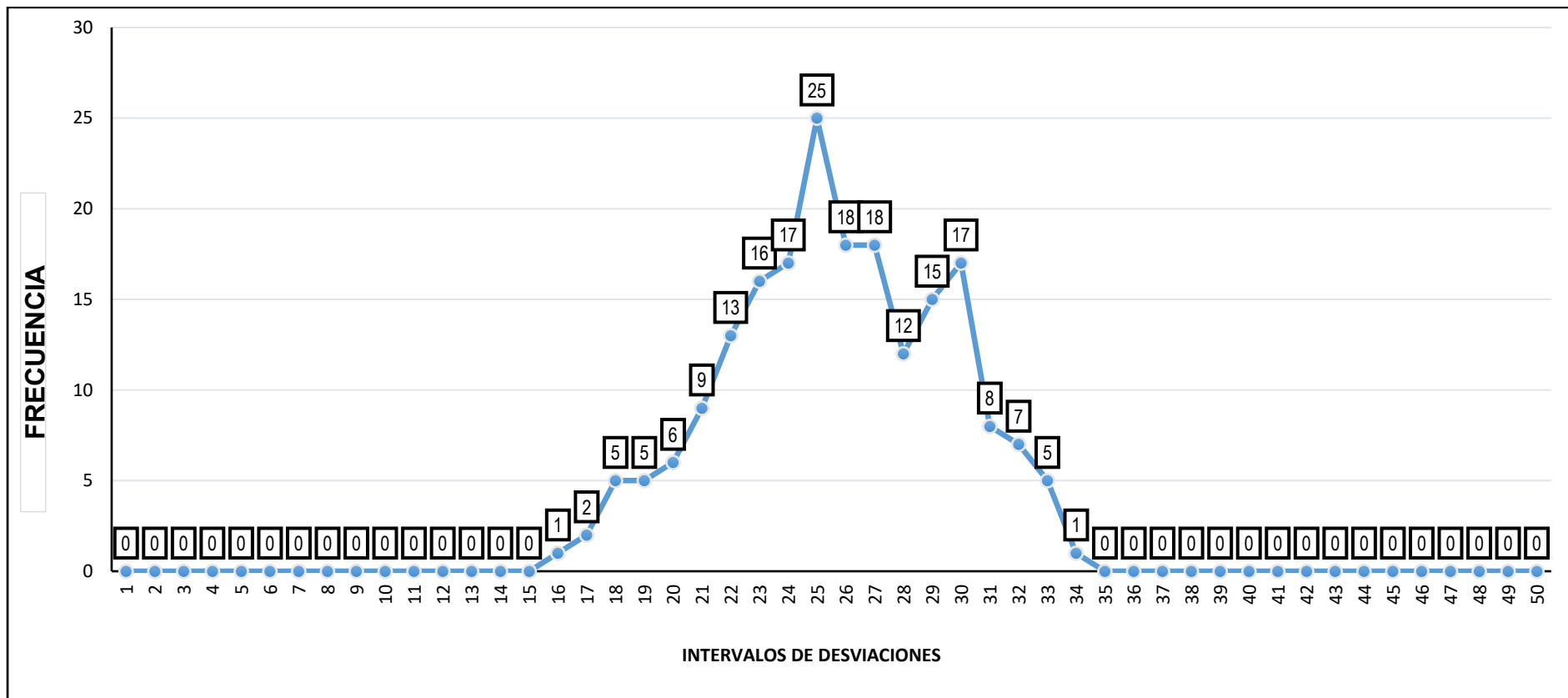
IRI	
Control de cantidades de marcas	200
Factor de corrección (F.C.)	1.35
Rango "D"	87.94
IRI	4.27 m/km
Clasificación	MALA

El (IRI) del tramo 0+200 a 0+400 km es de 4.27 m/km, lo que clasifica la carretera como "MALA". Se realizaron 200 lecturas con un factor de corrección de 1.35 y un rango "D" de 87.94.



Figura 25

Frecuencias de las 200 lecturas (0+200 a 0+400) km de ida



Se muestra la distribución de frecuencias de 200 lecturas de IRI, donde se observa un patrón con picos en los valores de 24 a 26. Los valores más altos de frecuencia se encuentran en los intervalos 25 y 24, lo que indica que estos valores son predominantes en las mediciones.



Tabla 11

Lecturas del tramo (0+600 a 0+800) km de ida

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

Tabla 12

Rugosidad del tramo (0+600 a 0+800) km de ida

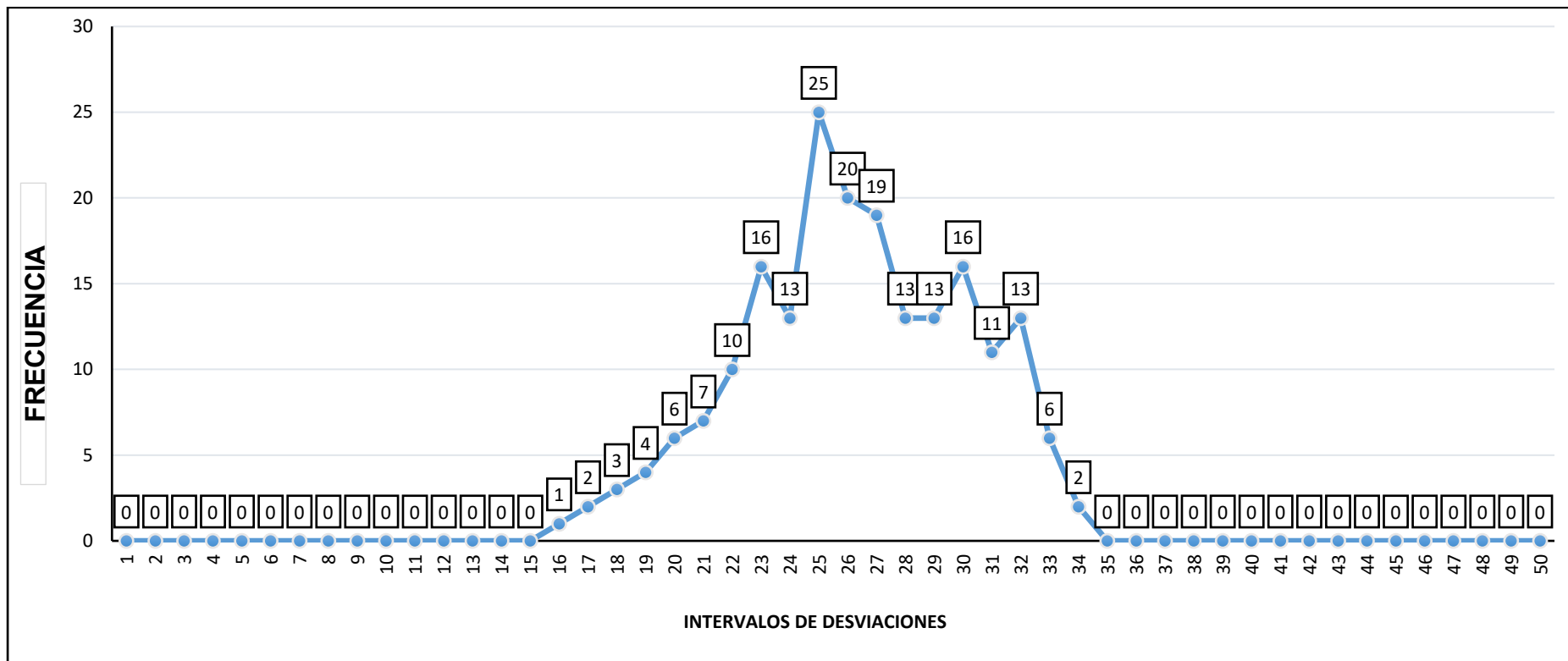
IRI	
Control de cantidades de marcas	200
Factor de corrección (F.C.)	1.35
Rango "D"	86.71
IRI	4.21 m/km
Clasificación	MALA

Se muestra los resultados de la medición de la rugosidad del pavimento en el tramo de la carretera que va del kilómetro 0+600 al 0+800 en la dirección de ida. El índice de rugosidad (IRI) es de 4.21 m/km, lo que clasifica el pavimento en una condición "mala".



Figura 26

Frecuencias de las 200 lecturas (0+600 a 0+800) km de ida



Se muestra un histograma que representa la frecuencia de las 200 lecturas realizadas en el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+600 y el 0+800 en dirección de ida. Los intervalos de desviación están distribuidos de forma que los valores de rugosidad más frecuentes se encuentran entre los intervalos 21 y 25.



Tabla 13

Lecturas del tramo (1+000 a 1+200) km de ida

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

Tabla 14

Rugosidad del tramo (1+000 a 1+200) km de ida

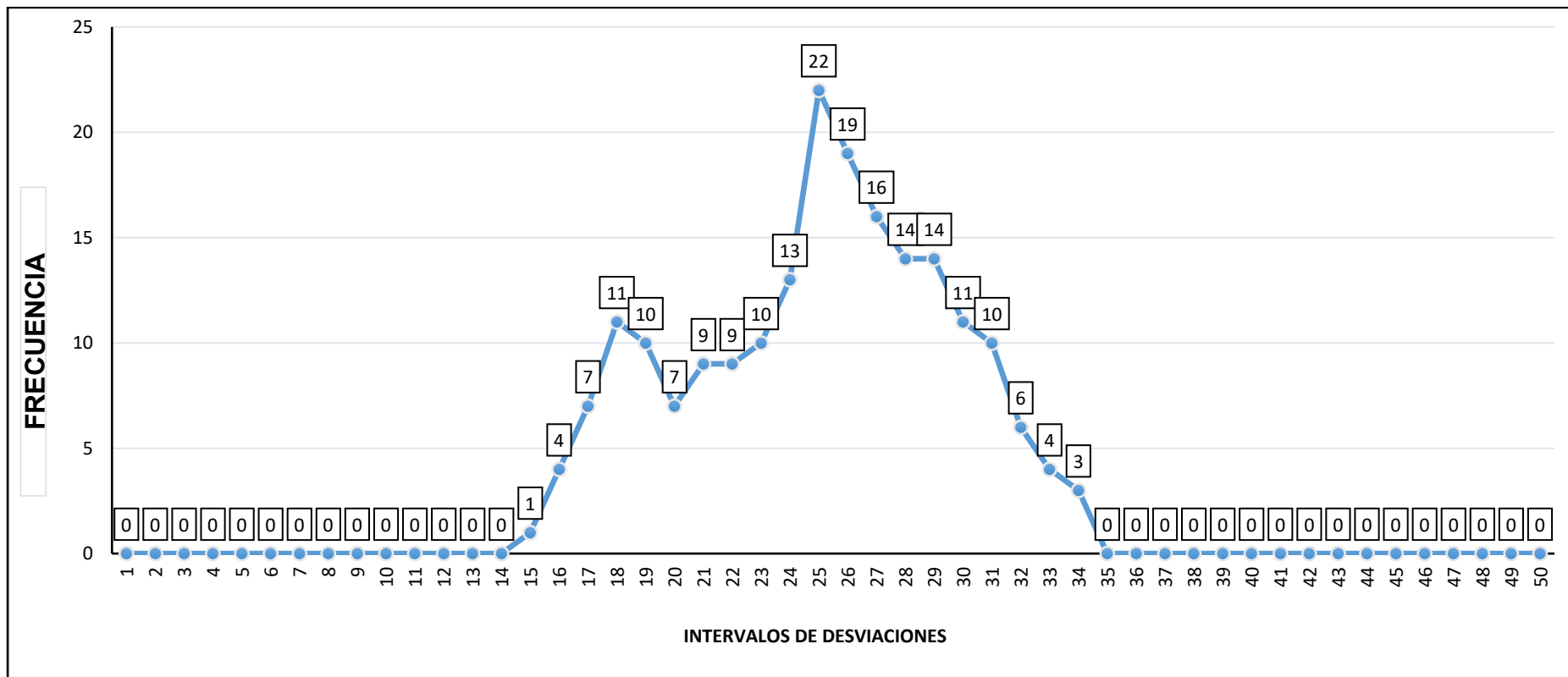
IRI	
Control de cantidades de marcas	200
Factor de corrección (F.C.)	1.35
Rango "D"	99.80
IRI	4.84 m/km
Clasificación	MALA

Se presenta los resultados de la medición de la rugosidad del pavimento en el tramo de la carretera que va del kilómetro 1+000 al 1+200 en la dirección de ida. El índice de rugosidad (IRI) es de 4.84 m/km, lo que clasifica el pavimento en una condición "mala".



Figura 27

Frecuencias de las 200 lecturas (1+000 a 1+200) km de ida



Se muestra un histograma de las 200 lecturas realizadas en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+000 y el 1+200 en dirección de ida. Los intervalos de desviación indican que la mayor frecuencia de mediciones se encuentra en los intervalos 25 a 29, lo que refleja una variabilidad en la rugosidad del pavimento.



Tabla 15

Lecturas del tramo (1+400 a 1+600) km de ida

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

Tabla 16

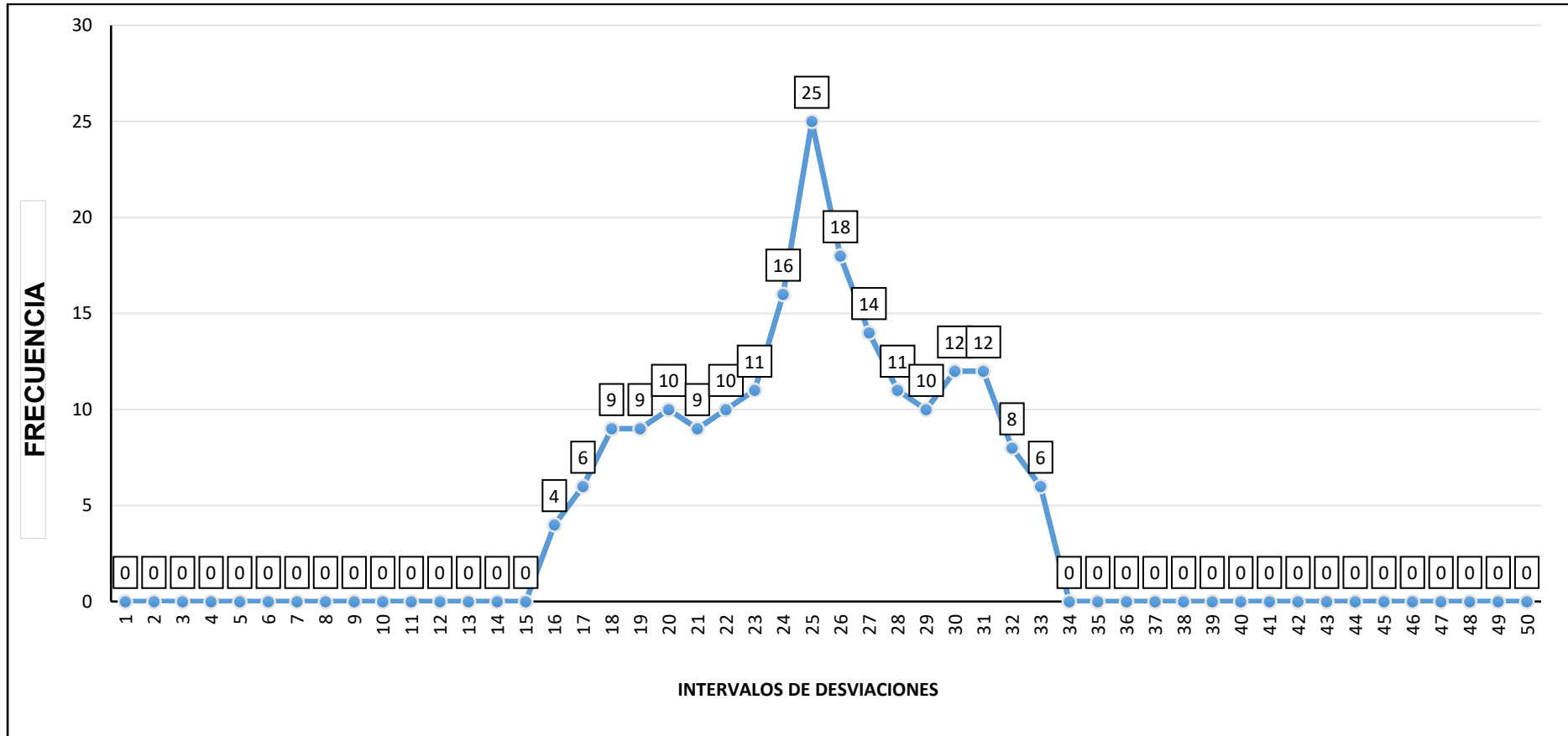
Rugosidad del tramo (1+400 a 1+600) km de ida

IRI	
Control de cantidades de marcas	200
Factor de corrección (F.C.)	1.35
Rango "D"	97.88
IRI	4.75 m/km
Clasificación	MALA

Se presenta los resultados de la medición de la rugosidad del pavimento en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+400 y el 1+600 en la dirección de ida. El índice de rugosidad (IRI) es de 4.75 m/km, lo que clasifica el pavimento como "malo".

Figura 28

Frecuencias de las 200 lecturas (1+400 a 1+600) km de ida



Se presenta un histograma de las 200 lecturas realizadas en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+400 y el 1+600 en dirección de ida. La mayor frecuencia de mediciones se encuentra en los intervalos 21 a 25, lo que refleja una variabilidad en la rugosidad del pavimento.



Tabla 17

Lecturas del tramo (1+800 a 2+000) km de ida

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

Tabla 18

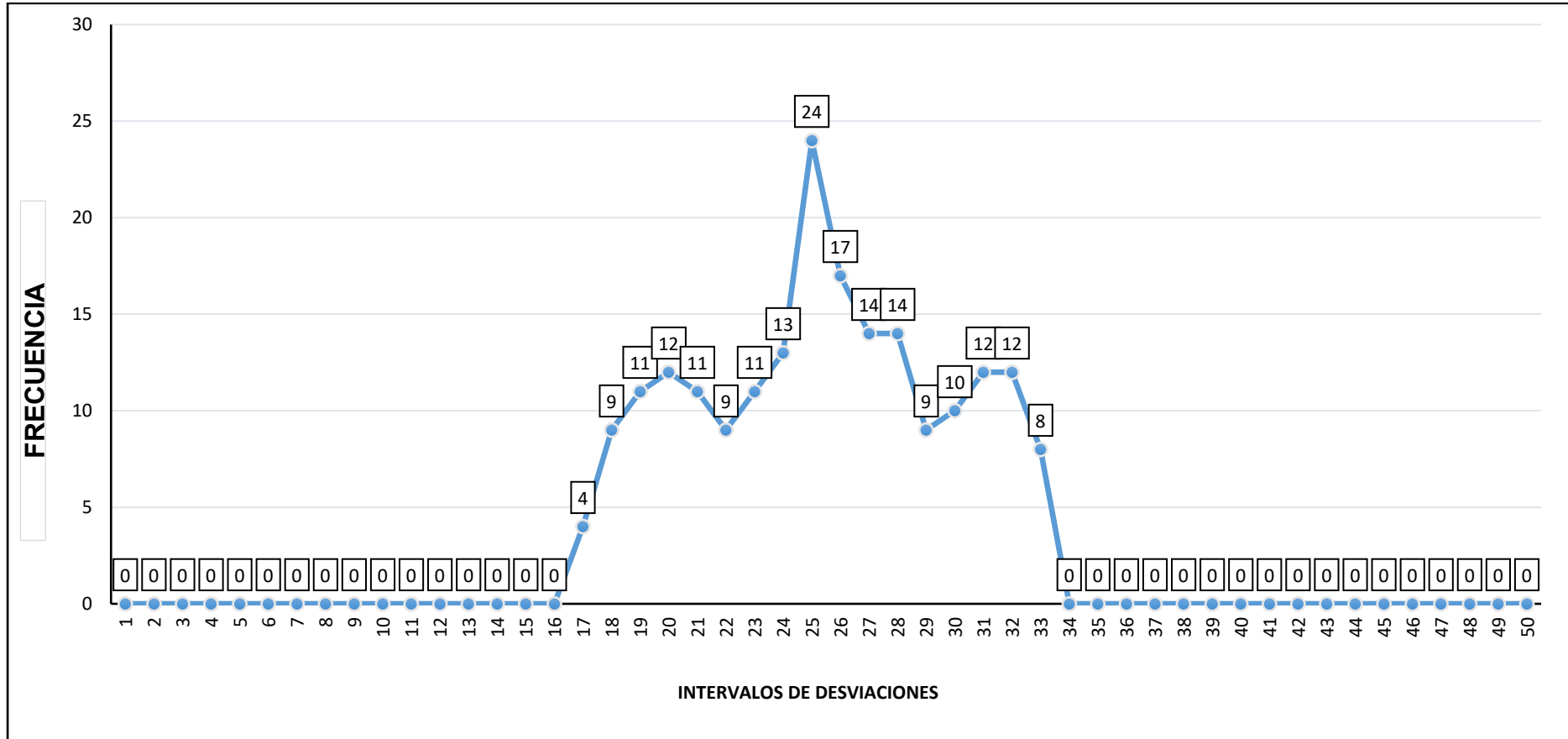
Rugosidad del tramo (1+800 a 2+000) km de ida

IRI	
Control de cantidades de marcas	200
Factor de corrección (F.C.)	1.35
Rango "D"	95.63
IRI	4.64 m/km
Clasificación	MALA

Se muestra los resultados de la medición de la rugosidad del pavimento en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+800 y el 2+000 en dirección de ida. El índice de rugosidad (IRI) es de 4.64 m/km, lo que clasifica el pavimento en una condición "mala".

Figura 29

Frecuencias de las 200 lecturas (1+800 a 2+000) km de ida



Se muestra un histograma de las 200 lecturas realizadas en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+800 y el 2+000 en dirección de ida. La mayor frecuencia de mediciones se encuentra en los intervalos 24 a 28, lo que refleja una variabilidad en la rugosidad del pavimento.



Tabla 19

Lecturas del tramo (0+200 a 0+400) km de vuelta

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

Tabla 20

Rugosidad del tramo (0+200 a 0+400) km de vuelta

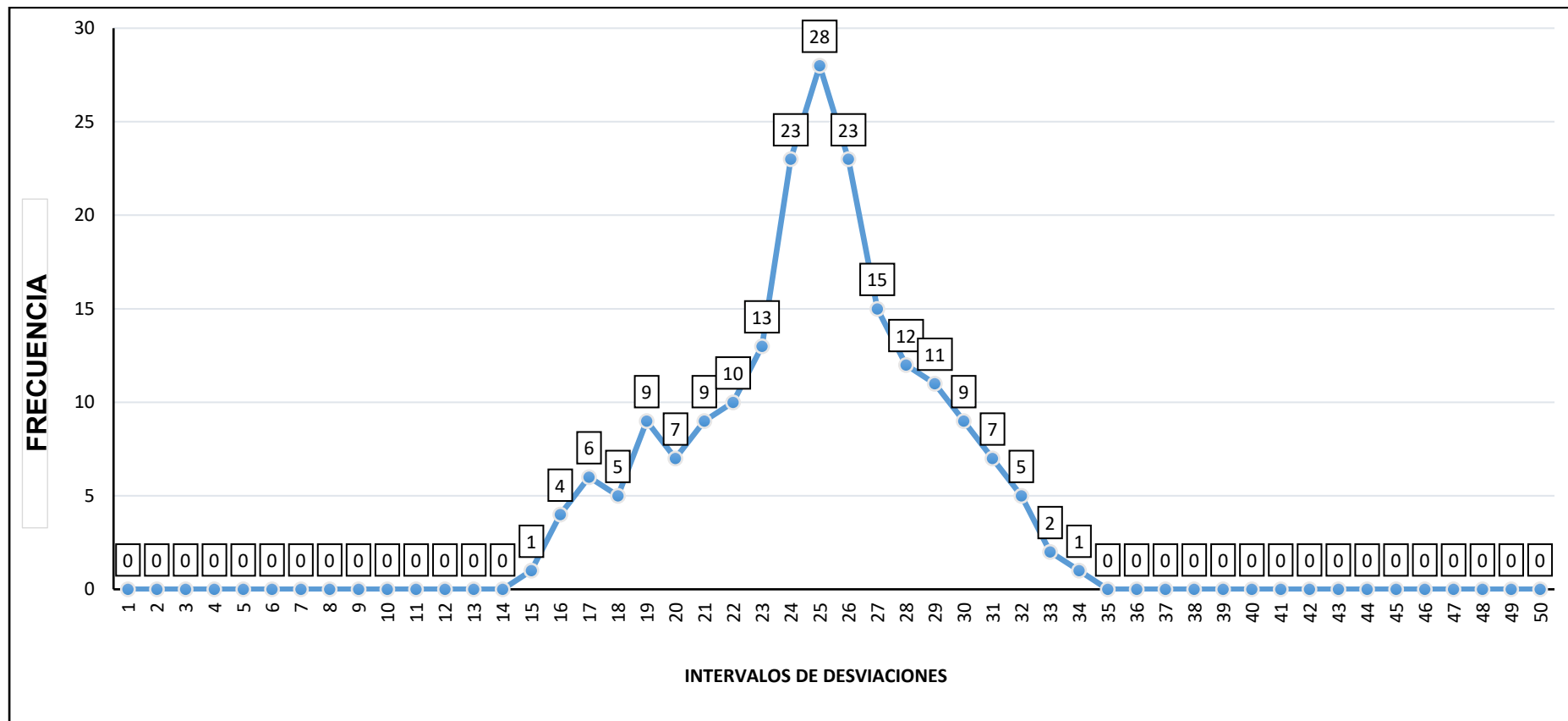
IRI	
Control de cantidades de marcas	200
Factor de corrección (F.C.)	1.35
Rango "D"	93.70
IRI	4.54 m/km
Clasificación	MALA

Se presenta los resultados de la medición de la rugosidad del pavimento en el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+200 y el 0+400 en dirección de vuelta. El índice de rugosidad (IRI) es de 4.54 m/km, lo que clasifica el pavimento en una condición "mala".



Figura 30

Frecuencias de las 200 lecturas (0+200 a 0+400) km de vuelta



Se muestra un histograma de las 200 lecturas realizadas en el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+200 y el 0+400 en dirección de vuelta.

La mayor frecuencia de mediciones se encuentra en los intervalos 23 a 27, lo que indica una variabilidad en la rugosidad del pavimento.



Tabla 21

Lecturas del tramo (0+600 a 0+800) km de vuelta

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

Tabla 22

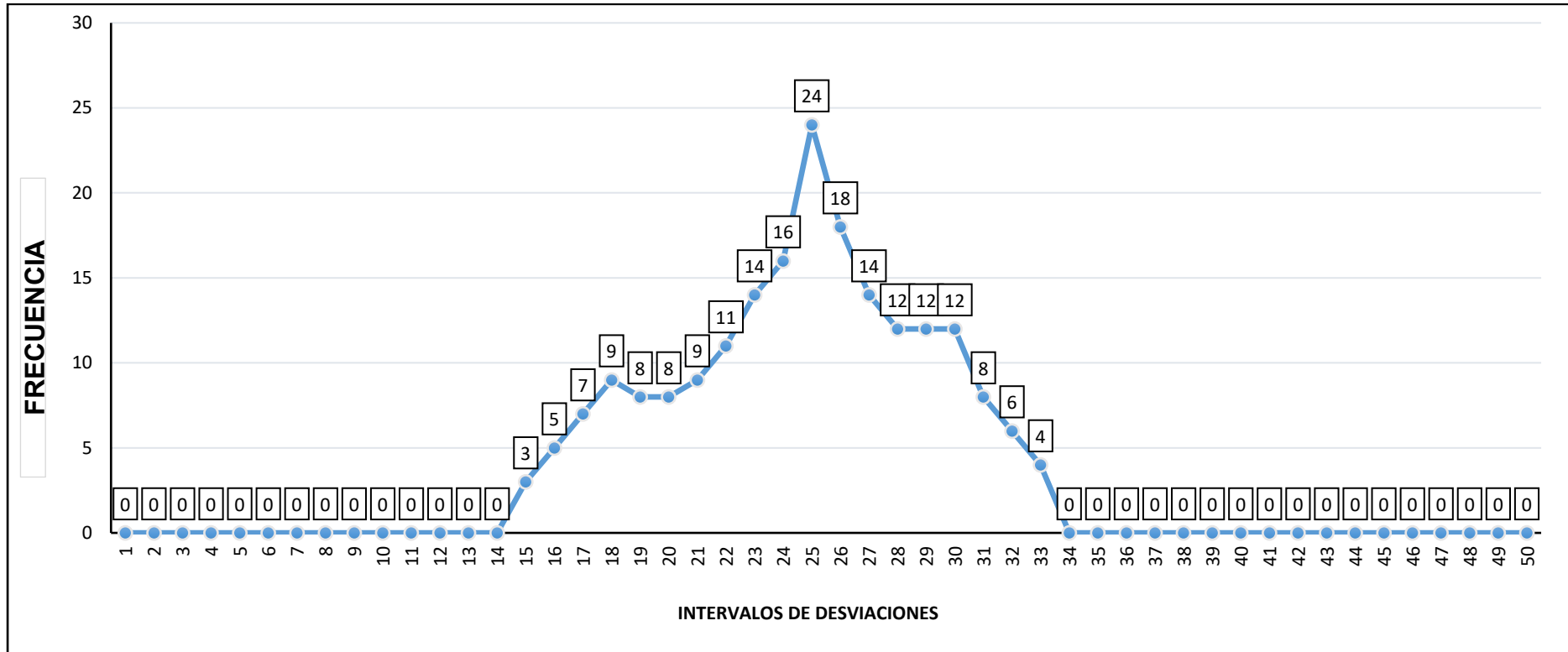
Rugosidad del tramo (0+600 a 0+800) km de vuelta

IRI	
Control de cantidades de marcas	200
Factor de corrección (F.C.)	1.35
Rango "D"	99.32
IRI	4.82 m/km
Clasificación	MALA

Se muestra los resultados de la medición de la rugosidad del pavimento en el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+600 y el 0+800 en dirección de vuelta. El índice de rugosidad (IRI) es de 4.82 m/km, lo que clasifica el pavimento en una condición "mala".

Figura 31

Frecuencias de las 200 lecturas (0+600 a 0+800) km de vuelta



Se muestra un histograma de las 200 lecturas realizadas en el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+600 y el 0+800 en dirección de vuelta. La mayor frecuencia de mediciones se encuentra en los intervalos 22 a 27, lo que indica una variabilidad en la rugosidad del pavimento, clasificándolo como "malo" según el índice IRI.



Tabla 23

Lecturas del tramo (1+000 a 1+200) km de vuelta

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

Tabla 24

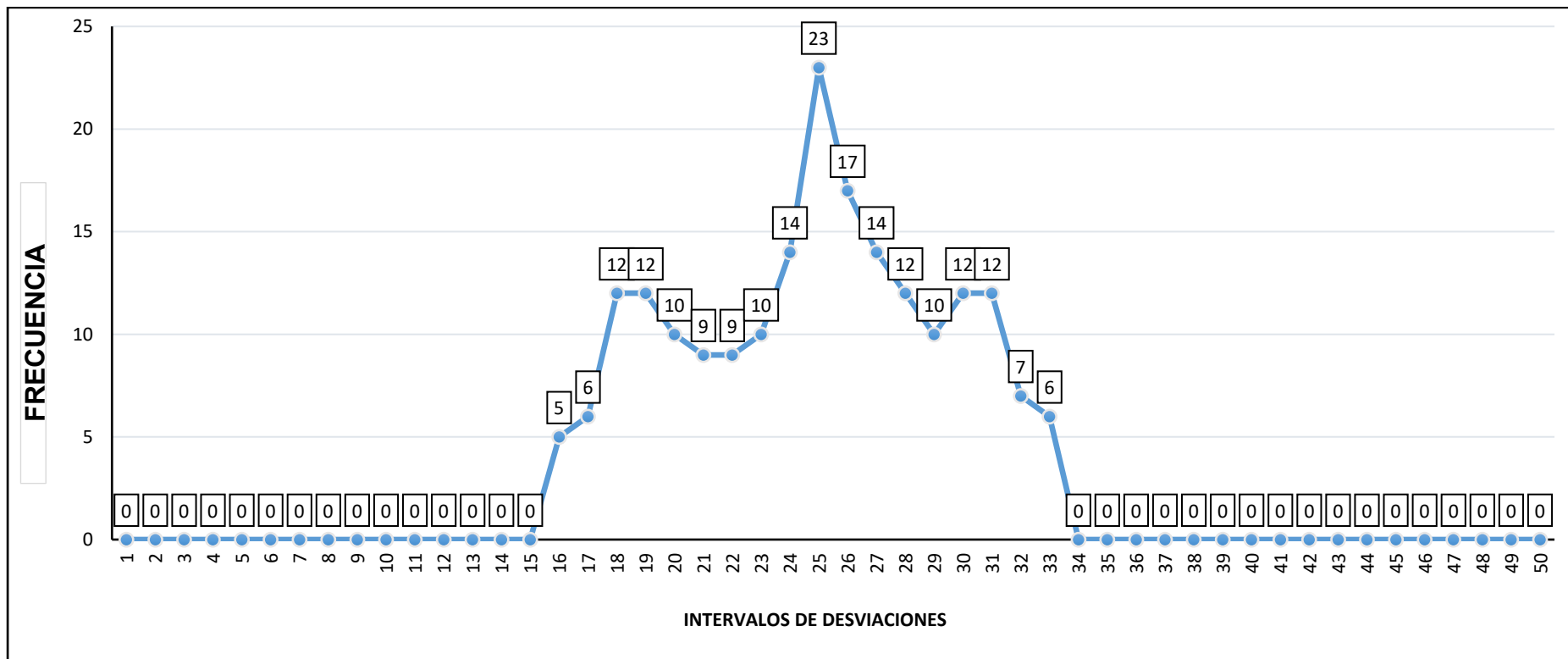
Rugosidad del tramo (1+000 a 1+200) km de vuelta

IRI	
Control de cantidades de marcas	200
Factor de corrección (F.C.)	1.35
Rango "D"	98.52
IRI	4.78 m/km
Clasificación	MALA

Se presenta los resultados de la medición de la rugosidad del pavimento en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+000 y el 1+200 en dirección de vuelta. El índice de rugosidad (IRI) es de 4.78 m/km, lo que clasifica el pavimento en una condición "mala".

Figura 32

Frecuencias de las 200 lecturas (1+000 a 1+200) km de vuelta



Se muestra un histograma de las 200 lecturas realizadas en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+000 y el 1+200 en dirección de vuelta. La mayor frecuencia de mediciones se encuentra en los intervalos 21 a 25, lo que refleja una variabilidad en la rugosidad del pavimento, clasificado como "malo" según el índice IRI.



Tabla 25

Lecturas del tramo (1+400 a 1+600) km de vuelta

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

Tabla 26

Rugosidad del tramo (1+400 a 1+600) km de vuelta

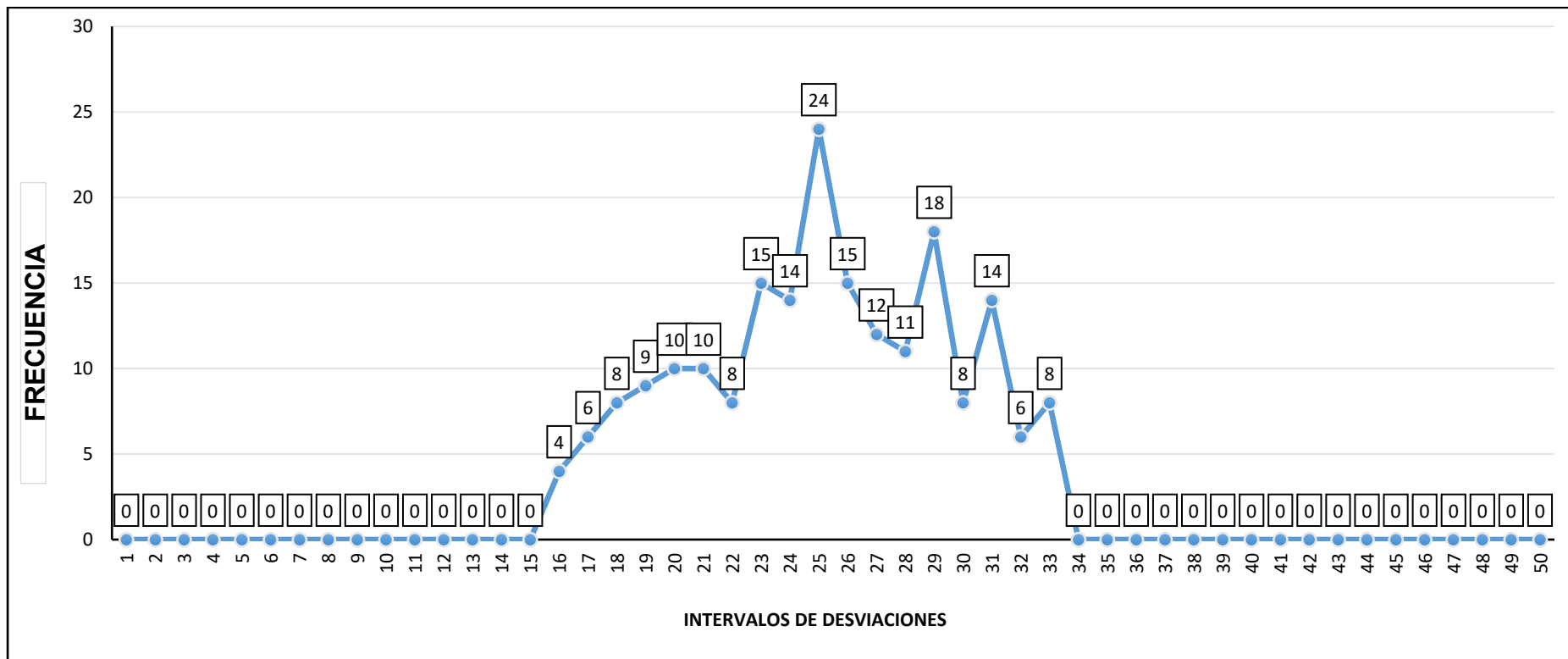
IRI	
Control de cantidades de marcas	200
Factor de corrección (F.C.)	1.35
Rango "D"	99.00
IRI	4.80 m/km
Clasificación	MALA

Se presenta los resultados de la medición de la rugosidad del pavimento en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+400 y el 1+600 en dirección de vuelta. El índice de rugosidad (IRI) es de 4.80 m/km, lo que clasifica el pavimento en una condición "mala".



Figura 33

Frecuencias de las 200 lecturas (1+400 a 1+600) km de vuelta



Se muestra un histograma de las 200 lecturas realizadas en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+400 y el 1+600 en dirección de vuelta. Los intervalos 23 a 29 presentan la mayor frecuencia de mediciones, indicando una variabilidad en la rugosidad del pavimento, clasificado como "malo" según el índice IRI.



Tabla 27

Lecturas del tramo (1+800 a 2+000) km de vuelta

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

Tabla 28

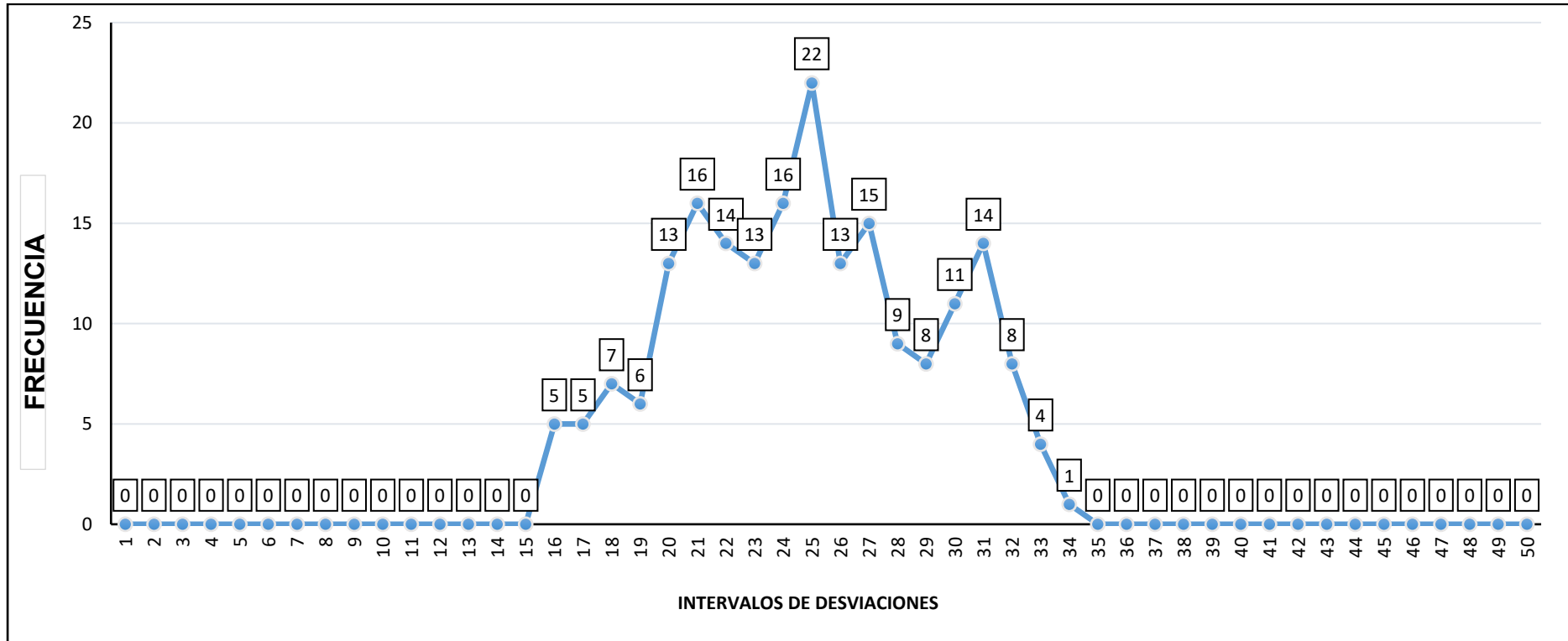
Rugosidad del tramo (1+800 a 2+000) km de vuelta

IRI	
Control de cantidades de marcas	200
Factor de corrección (F.C.)	1.35
Rango "D"	97.03
IRI	4.71 m/km
Clasificación	MALA

muestra los resultados de la medición de la rugosidad del pavimento en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+800 y el 2+000 en dirección de vuelta. El índice de rugosidad (IRI) es de 4.71 m/km, lo que clasifica el pavimento en una condición "mala".

Figura 34

Frecuencias de las 200 lecturas (1+800 a 2+000) km de vuelta



Se muestra un histograma de las 200 lecturas realizadas en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+800 y el 2+000 en dirección de vuelta. Los intervalos 20 a 27 presentan la mayor frecuencia de mediciones, indicando una variabilidad en la rugosidad del pavimento, clasificado como "malo" según el índice IRI.

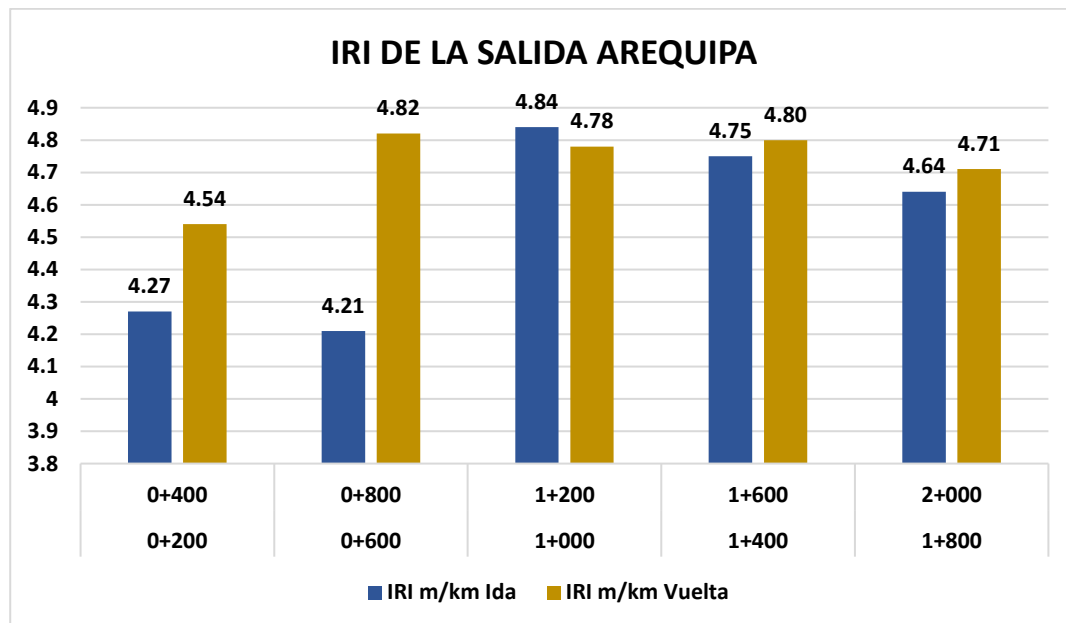
Tabla 29

Estado vial de la Salida Arequipa

Progresiva		IRI m/km		Estado vial
Inicio	Fin	Ida	Vuelta	
0+200	0+400	4.27	4.54	Mala
0+600	0+800	4.21	4.82	Mala
1+000	1+200	4.84	4.78	Mala
1+400	1+600	4.75	4.80	Mala
1+800	2+000	4.64	4.71	Mala
Estado vial de la Salida Arequipa				MALA

Figura 35

Estado vial de la Salida Arequipa



Se presenta los resultados del estado vial de la salida Arequipa, mostrando los valores del índice de rugosidad (IRI) para los tramos de ida y vuelta entre diferentes puntos de la carretera. Todos los tramos tienen un índice IRI superior a 4, lo que indica que el estado vial en esta área es "malo".



4.1.2 Deflexión del pavimento mediante el uso de la viga de Benkelman, para identificar la capacidad estructural del pavimento de la Salida Arequipa

Carril derecho – deflexiones (IDA)

Tabla 30

Lecturas del carril derecho, P 0+000 – 0+750

Progresivas (km)	Lecturas del dial en (mm/100)					
	Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (50 cm)	L (75 cm)	L (100 cm)	Lf (dmáx)
00+000	0,00	5	8	13	15	20
00+050	0,00	4	9	14	16	18
00+100	0,00	6	10	13	18	18
00+150	0,00	5	8	14	16	18
00+200	0,00	5	9	13	16	19
00+250	0,00	7	8	13	15	18
00+300	0,00	6	9	14	16	19
00+350	0,00	5	11	13	15	18
00+400	0,00	6	10	14	16	18
00+450	0,00	6	8	13	17	19
00+500	0,00	5	9	15	18	20
00+550	0,00	6	9	13	17	19
00+600	0,00	5	10	15	16	18
00+650	0,00	6	9	15	17	19
00+700	0,00	5	10	16	18	19
00+750	0,00	5	10	15	18	20

Se muestra las lecturas de deflexiones del carril derecho en el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+000 y el 0+750. La columna "Lf (máx)" refleja la deflexión máxima en cada progresiva. Estas lecturas permiten analizar el comportamiento estructural del pavimento bajo carga, lo que es clave para la evaluación de su capacidad y durabilidad.



Tabla 31

Deflexiones y radios de curvaturas, P 0+000 – 0+750

Progresivas (km)	Correcciones por la temperatura	Deflexiones mm/100		Radios de curvatura (m)
		D(0)	D(25)	
00+000	1.077	94	70	133
00+050	1.073	84	66	167
00+100	1.070	84	56	112
00+150	1.067	84	60	134
00+200	1.064	88	65	135
00+250	1.060	83	51	97
00+300	1.056	88	60	113
00+350	1.055	83	60	136
00+400	1.050	82	55	114
00+450	1.048	87	59	114
00+500	1.044	91	68	137
00+550	1.042	86	59	115
00+600	1.038	81	59	138
00+650	1.037	86	59	115
00+700	1.035	86	63	138
00+750	1.031	90	67	139

Tabla 32

Resultados, P 0+000 – 0+750

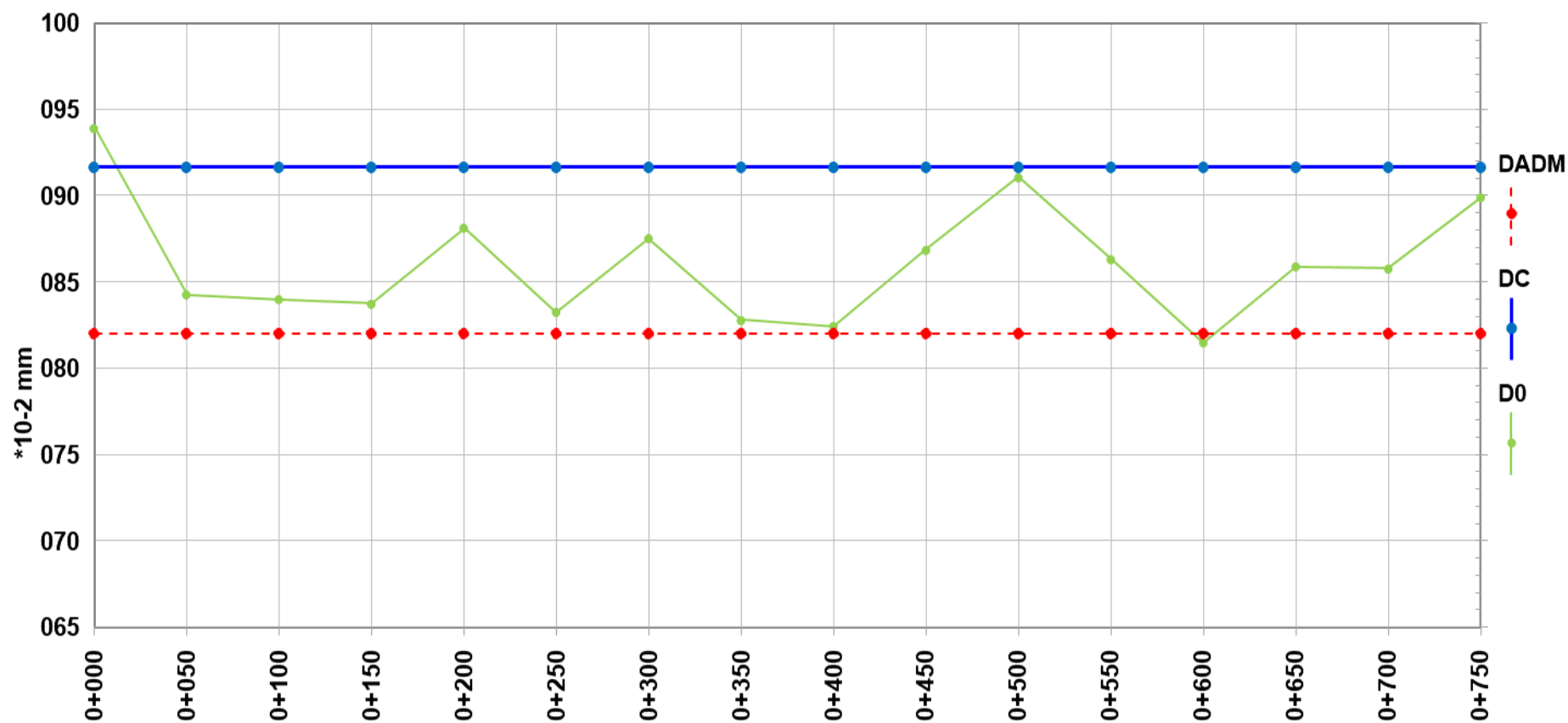
D. Promedio	86.08 x 10 ⁻²
Desviación estándar	3.411
D. Característica	91.7 x 10 ⁻²
D. Admisible	82 x 10 ⁻²
DC > Dadm.	No pasa

Se presenta los resultados de las mediciones de deflexión para el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+000 y el 0+750. El valor del D. Promedio es 86.08 mm y la Desviación estándar es 3.411 mm. La D. Característica es 91.7 mm, y la D. Admisible es 82 mm. Según la comparación entre la D. Característica y la D. Admisible, el valor no cumple con los requisitos, ya que la deflexión característica supera el valor admisible ("No pasa"). Esto indica que la pavimentación no cumple con las especificaciones de calidad requeridas.



Figura 36

Deflexiones, P 0+000 – 0+750



Se muestra el comportamiento de las deflexiones en el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+000 y el 0+750. Se comparan los valores de deflexión obtenidos con la deflexión característica (DC), la deflexión admisible (DADM) y la deflexión máxima (D0).



Tabla 33

Lecturas del carril derecho, P 0+750 – 1+500

Progresivas (km)	Lecturas del dial en (mm/100)					
	Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (50 cm)	L (75 cm)	L (100 cm)	Lf (dmáx)
0+750	0,00	7	9	12	14	19
0+800	0,00	8	10	13	15	18
0+850	0,00	7	9	12	14	18
0+900	0,00	6	8	13	15	19
0+950	0,00	5	9	14	15	16
1+000	0,00	4	10	15	16	17
1+050	0,00	4	9	13	15	19
1+100	0,00	6	10	12	14	18
1+150	0,00	5	8	13	15	19
1+200	0,00	6	9	12	14	18
1+250	0,00	7	10	14	16	19
1+300	0,00	6	9	13	15	17
1+350	0,00	7	8	12	14	18
1+400	0,00	5	8	11	13	19
1+450	0,00	6	9	12	15	18
1+500	0,00	6	9	13	15	17

Se presenta las lecturas del carril derecho en el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+750 y el 1+500. Se muestra el valor máximo de la deflexión para cada punto de medición en la columna "Lf (máx)". Estas lecturas permiten evaluar la condición estructural del pavimento en el tramo, ayudando en el diagnóstico de su capacidad y posibles deformaciones bajo carga.



Tabla 34

Deflexiones y radios de curvaturas, P 0+750 – 1+500

Progresivas (km)	Correcciones por la temperatura	Deflexiones mm/100		Radios de curvatura (m)
		D(0)	D(25)	
0+750	1.031	85	54	99
0+800	1.028	81	45	87
0+850	1.028	81	49	100
0+900	1.026	85	58	116
0+950	1.026	72	49	140
1+000	1.024	76	58	175
1+050	1.023	85	67	175
1+100	1.021	80	53	117
1+150	1.020	84	62	141
1+200	1.019	80	53	117
1+250	1.019	84	53	100
1+300	1.017	75	49	117
1+350	1.015	80	49	101
1+400	1.016	84	62	141
1+450	1.013	79	53	118
1+500	1.012	75	49	118

Tabla 35

Resultados, P 0+750 – 1+500

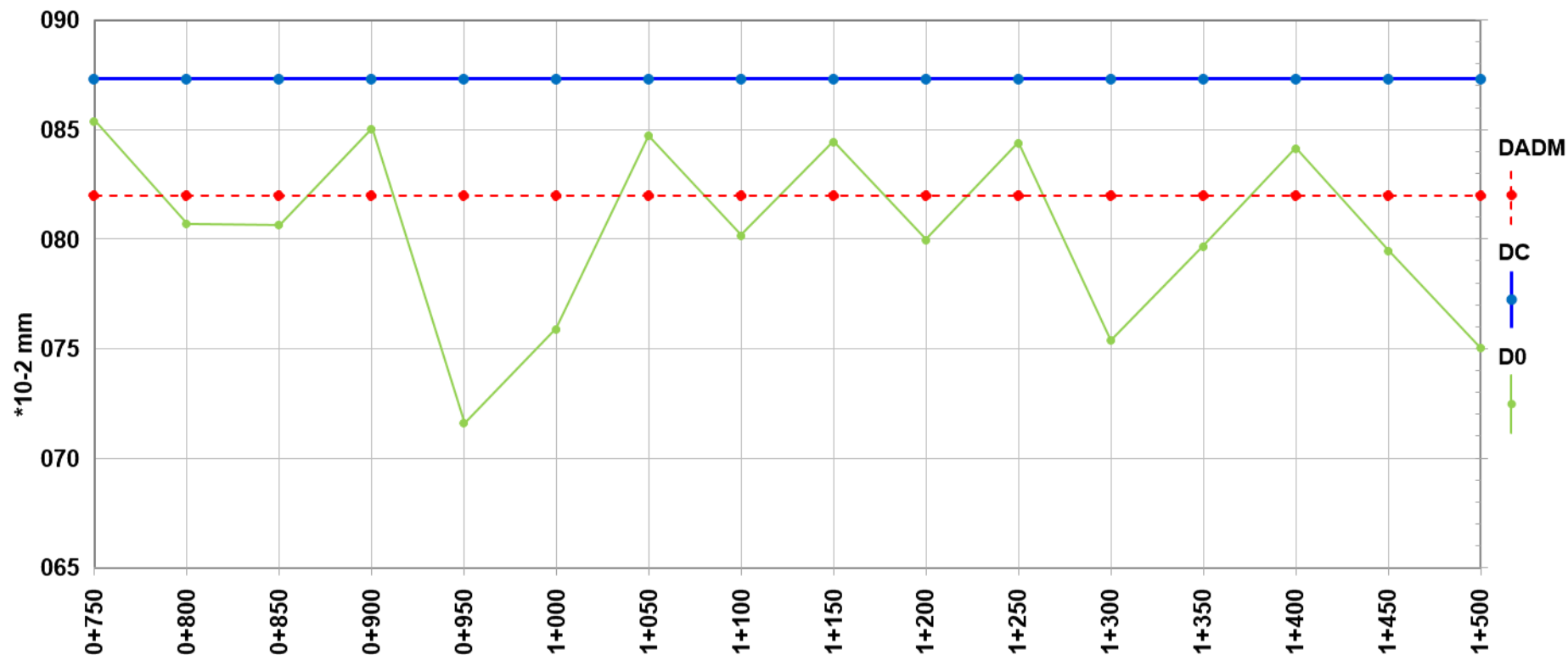
D. Promedio	80.42×10^{-2}
Desviación estándar	4.205
D. Característica	87.3×10^{-2}
D. Admisible	82×10^{-2}
DC > Dadm.	No pasa

Se presenta los resultados de las mediciones de deflexión para el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+750 y el 1+500. El D. Promedio es 80.42×10^2 mm y la Desviación estándar es 4.205. La D. Característica es 87.3×10^2 mm, y la D. Admisible es 82×10^2 mm. La comparación entre la D. Característica y la D. Admisible muestra que la deflexión característica excede el límite admisible, lo que significa que no pasa la evaluación de calidad y la pavimentación no cumple con los estándares requeridos.



Figura 37

Deflexiones, P 0+750 – 1+500



Se muestra el comportamiento de las deflexiones en el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+750 y el 1+500. Se comparan los valores de deflexión obtenidos con la deflexión característica (DC), la deflexión admisible (DADM) y la deflexión máxima (D0).



Tabla 36

Lecturas del carril derecho, P 1+500 – 2+250

Progresivas (km)	Lecturas del dial en (mm/100)					
	Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (50 cm)	L (75 cm)	L (100 cm)	Lf (dmáx)
1+500	0,00	6	9	11	14	19
1+550	0,00	9	9	14	14	17
1+600	0,00	6	10	12	15	19
1+650	0,00	5	8	13	15	19
1+700	0,00	4	9	13	14	16
1+750	0,00	5	9	16	15	17
1+800	0,00	8	10	12	15	19
1+850	0,00	6	9	13	13	19
1+900	0,00	6	7	14	14	18
1+950	0,00	5	9	12	15	17
2+000	0,00	6	10	13	16	20
2+050	0,00	7	8	13	15	17
2+100	0,00	7	9	13	15	17
2+150	0,00	6	8	10	13	20
2+200	0,00	5	8	13	14	17
2+250	0,00	5	8	12	14	18

Se muestra las lecturas de deflexión del carril derecho entre el kilómetro 1+500 y el 2+250.

Se registran las mediciones de la deformación del pavimento, con los valores máximos de deflexión indicados en la columna "Lf (máx)". Las deflexiones oscilan entre 17 y 20 mm a lo largo del tramo, lo que permite evaluar la consistencia estructural del pavimento y su comportamiento bajo carga.



Tabla 37

Deflexiones y radios de curvaturas, P 1+500 – 2+250

Progresivas (km)	Correcciones por la temperatura	Deflexiones mm/100		Radios de curvatura (m)
		D(0)	D(25)	
1+500	1.012	84	57	118
1+550	1.010	75	35	79
1+600	1.010	84	57	118
1+650	1.008	84	62	142
1+700	1.008	70	53	178
1+750	1.007	75	53	142
1+800	1.005	83	48	89
1+850	1.005	83	57	119
1+900	1.004	79	53	119
1+950	1.003	74	52	143
2+000	1.002	87	61	119
2+050	1.001	74	44	102
2+100	1.001	74	44	102
2+150	0.999	87	61	120
2+200	0.998	74	52	144
2+250	0.998	78	57	144

Tabla 38

Resultados, P 1+500 – 2+250

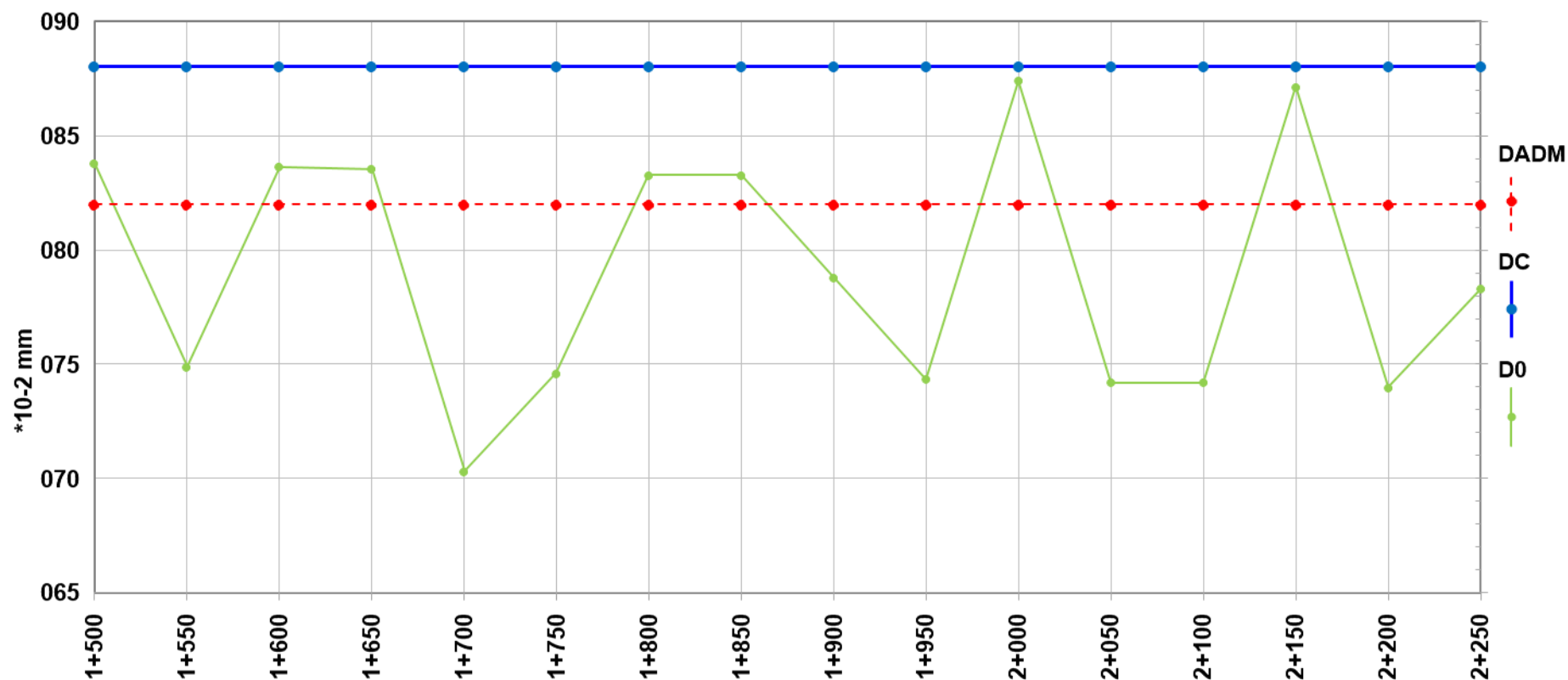
D. Promedio	79.11×10^{-2}
Desviación estándar	5.440
D. Característica	88.1×10^{-2}
D. Admisible	82×10^{-2}
DC > Dadm.	No pasa

Se presenta los resultados de las mediciones de deflexión para el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+500 y el 2+250. El D. Promedio es 79.11×10^2 mm y la Desviación estándar es 5.440. La D. Característica es 88.1×10^2 mm, mientras que la D. Admisible es 82×10^2 mm. Como la deflexión característica supera el valor admisible, el pavimento no cumple con los estándares requeridos, lo que significa que el estado vial no pasa la evaluación de calidad.



Figura 38

Deflexiones, P 1+500 – 2+250



Se muestra el comportamiento de las deflexiones en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+500 y el 2+250. Se comparan los valores de deflexión obtenidos con la deflexión característica (DC), la deflexión admisible (DADM) y la deflexión máxima (D0).



Carril Izquierdo – deflexiones (VUELTA)

Tabla 39

Lecturas del carril izquierdo, P 0+000 – 0+750

Progresivas (km)	Lecturas del dial en (mm/100)					
	Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (25 cm)	L (50 cm)	L (100 cm)	Lf (dmáx)
00+000	0,00	5	9	13	16	21
00+050	0,00	6	9	16	16	18
00+100	0,00	6	12	14	20	20
00+150	0,00	5	9	15	17	19
00+200	0,00	5	10	13	16	20
00+250	0,00	9	8	15	15	19
00+300	0,00	7	11	14	17	20
00+350	0,00	7	8	15	17	21
00+400	0,00	7	9	17	18	20
00+450	0,00	6	10	14	19	19
00+500	0,00	5	11	15	17	20
00+550	0,00	8	9	16	18	20
00+600	0,00	6	12	18	20	19
00+650	0,00	7	11	15	19	22
00+700	0,00	7	11	16	19	20
00+750	0,00	7	11	16	19	20

Se muestra las lecturas del carril izquierdo en el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+000 y el 0+750. Se presentan las mediciones de deflexión del pavimento a distintas distancias, con los valores máximos de deflexión registrados en la columna "Lf (máx)". Las deflexiones varían entre 18 y 21 mm a lo largo del tramo, lo que permite evaluar la deformación estructural del pavimento.



Tabla 40

Deflexiones y radios de curvaturas, P 0+000 – 0+750

Progresivas (km)	Correcciones por la temperatura	Deflexiones mm/100		Radios de curvatura (m)
		D(0)	D(25)	
00+000	0.999	91	70	144
00+050	0.999	78	52	120
00+100	0.998	87	61	120
00+150	0.996	83	61	144
00+200	0.996	87	65	144
00+250	0.993	82	43	80
00+300	0.991	86	56	103
00+350	0.990	91	60	103
00+400	0.987	86	56	104
00+450	0.986	82	56	121
00+500	0.985	86	64	145
00+550	0.983	86	51	91
00+600	0.981	81	56	122
00+650	0.981	94	64	104
00+700	0.978	87	57	104
00+750	0.977	87	56	102

Tabla 41

Resultados, P 0+000 – 0+750

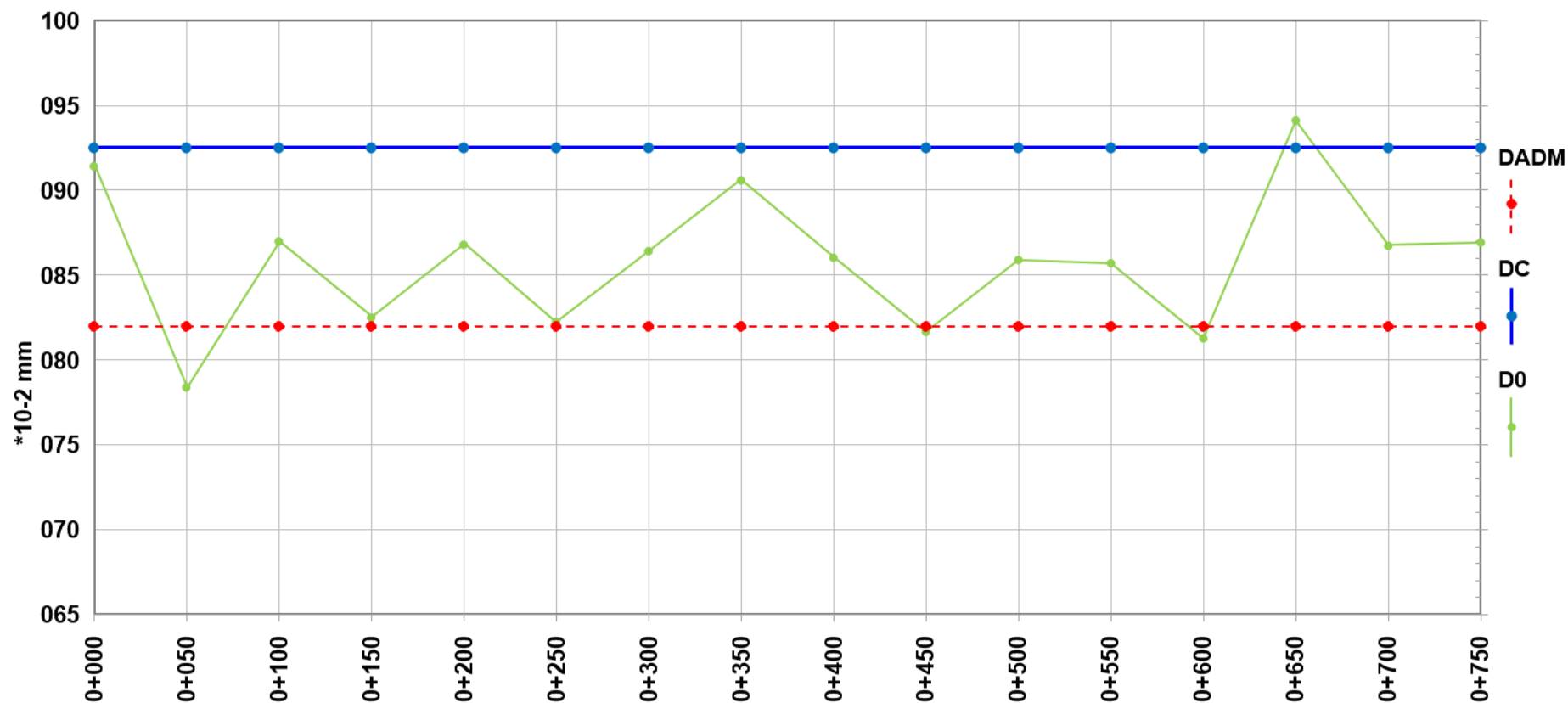
D. Promedio	85.87×10^{-2}
Desviación estándar	4.044
D. Característica	92.5×10^{-2}
D. Admisible	82×10^{-2}
DC > Dadm.	No pasa

Se presenta los resultados de las mediciones de deflexión para el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+000 y el 0+750. El D. Promedio es 85.87×10^2 mm, con una Desviación estándar de 4.044 mm. La D. Característica es 92.5×10^2 mm, mientras que la D. Admisible es 82×10^2 mm. Como la deflexión característica supera el valor admisible, el pavimento no cumple con los estándares de calidad requeridos, lo que significa que no pasa la evaluación de calidad de la infraestructura vial.



Figura 39

Deflexiones, P 0+000 – 0+750



Se muestra el comportamiento de las deflexiones en el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+000 y el 0+750. Se comparan los valores de deflexión obtenidos con la deflexión característica (DC), la deflexión admisible (DADM) y la deflexión máxima (D0).



Tabla 42

Lecturas del carril izquierdo, P 0+750 – 1+500

Progresivas (km)	Lecturas del dial en (mm/100)					
	Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (50 cm)	L (75 cm)	L (100 cm)	Lf (dmáx)
0+750	0,00	4	9	12	15	20
0+800	0,00	6	9	15	16	17
0+850	0,00	5	11	13	19	20
0+900	0,00	4	9	14	17	19
0+950	0,00	5	10	13	15	20
1+000	0,00	9	8	15	14	19
1+050	0,00	7	10	13	17	19
1+100	0,00	6	7	14	17	21
1+150	0,00	6	8	17	17	20
1+200	0,00	6	10	14	18	18
1+250	0,00	4	11	14	17	20
1+300	0,00	7	10	16	17	19
1+350	0,00	6	11	18	20	18
1+400	0,00	6	11	14	19	21
1+450	0,00	7	10	16	18	20
1+500	0,00	6	10	15	19	19

Se muestra las lecturas del carril derecho en el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+750 y el 1+500. Se registran las deflexiones a distintas distancias, con los valores máximos de deflexión indicados en la columna "Lf (máx)". Las deflexiones varían entre 19 y 20 mm a lo largo del tramo, lo que ayuda a evaluar el comportamiento estructural del pavimento bajo carga. Las mediciones proporcionan información clave para el diagnóstico de la infraestructura vial y su capacidad para soportar el tránsito.



Tabla 43

Deflexiones y radios de curvaturas, P 0+750 – 1+500

Progresivas (km)	Correcciones por la temperatura	Deflexiones mm/100		Radios de curvatura (m)
		D(0)	D(25)	
0+750	0.978	85	68	183
0+800	0.977	72	47	122
0+850	0.977	85	64	147
0+900	0.977	81	64	183
0+950	0.975	85	64	147
1+000	0.974	81	42	82
1+050	0.974	81	51	105
1+100	0.973	89	64	123
1+150	0.972	85	59	123
1+200	0.973	76	51	123
1+250	0.971	85	68	184
1+300	0.971	80	51	105
1+350	0.970	76	51	123
1+400	0.969	89	63	123
1+450	0.970	85	55	106
1+500	0.968	80	55	123

Tabla 44

Resultados, P 0+750 – 1+500

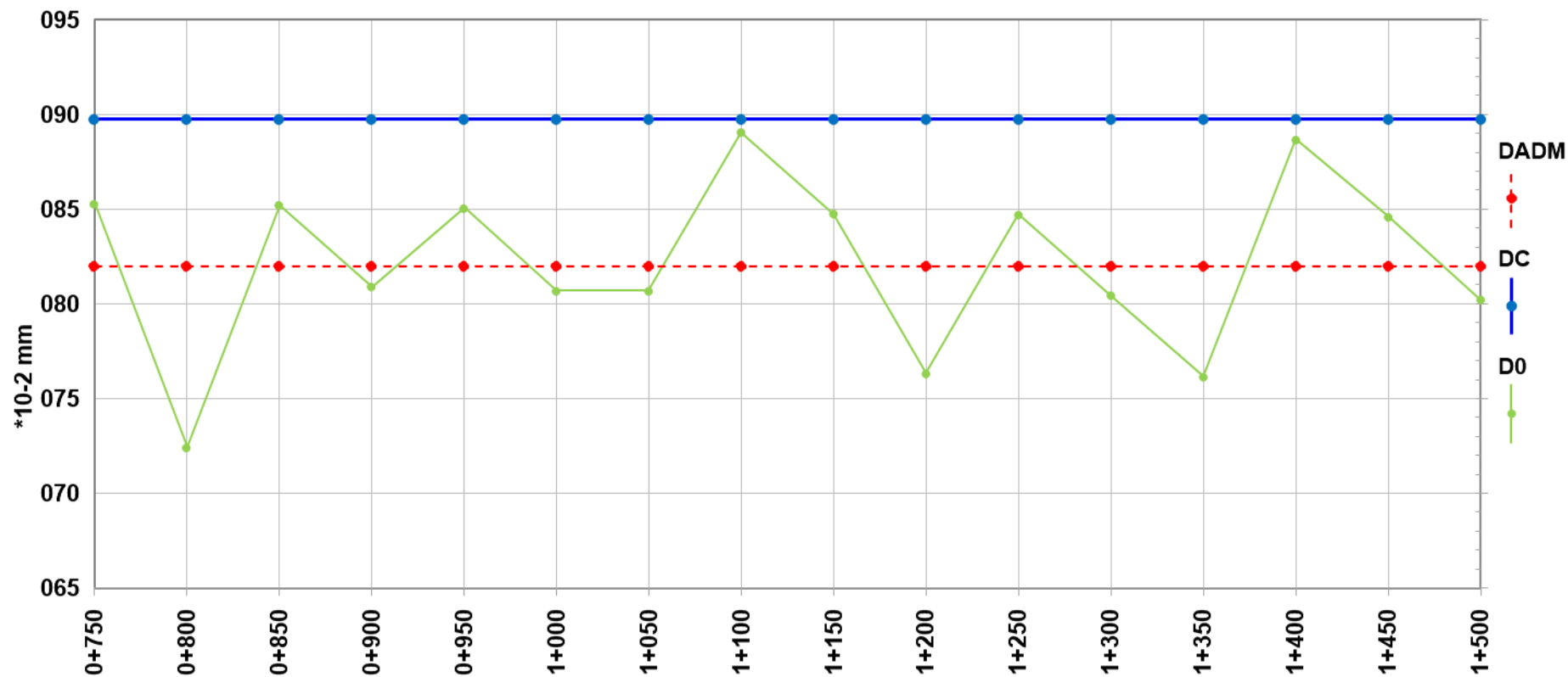
D. Promedio	82.20×10^{-2}
Desviación estándar	4.578
D. Característica	89.7×10^{-2}
D. Admisible	82×10^{-2}
DC > Dadm.	No pasa

Se presenta los resultados de las mediciones de deflexión para el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+750 y el 1+500. El D. Promedio es 82.20×10^2 mm, y la Desviación estándar es 4.578. La D. Característica es 89.7×10^2 mm, y la D. Admisible es 82×10^2 mm. Debido a que la D. Característica excede el valor de la D. Admisible, el pavimento no cumple con los requisitos de calidad, lo que indica que el estado vial no pasa la evaluación de calidad.



Figura 40

Deflexiones, P 0+750 – 1+500



Se muestra el comportamiento de las deflexiones en el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+750 y el 1+500 del lado izquierdo. Se comparan los valores de deflexión obtenidos con la deflexión característica (DC), la deflexión admisible (DADM) y la deflexión máxima (D0).



Tabla 45

Lecturas del carril izquierdo, P 1+500 – 2+250

Progresivas (km)	Lecturas del dial en (mm/100)					
	Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (50 cm)	L (75 cm)	L (100 cm)	Lf (dmáx)
1+500	0,00	6	8	10	14	20
1+550	0,00	8	10	13	14	17
1+600	0,00	7	9	12	15	19
1+650	0,00	4	9	12	16	20
1+700	0,00	3	10	12	13	18
1+750	0,00	5	9	17	14	19
1+800	0,00	8	9	12	16	20
1+850	0,00	5	9	13	13	19
1+900	0,00	7	8	15	13	19
1+950	0,00	5	8	12	16	16
2+000	0,00	5	11	12	15	19
2+050	0,00	6	7	12	16	18
2+100	0,00	8	9	13	15	19
2+150	0,00	6	8	10	12	20
2+200	0,00	6	7	13	15	16
2+250	0,00	6	7	12	15	19

Se muestra las lecturas de deflexión del carril izquierdo en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+500 y el 2+250. Se registran las mediciones a diferentes distancias, con los valores máximos de deflexión indicados en la columna "Lf (máx)". Las deflexiones varían entre 15 y 20 mm a lo largo del tramo, lo que proporciona información crucial para evaluar la condición estructural del pavimento. Estas lecturas son fundamentales para el análisis de la capacidad del pavimento y su comportamiento bajo las cargas del tráfico.



Tabla 46

Deflexiones y radios de curvaturas, P 1+500 – 2+250

Progresivas (km)	Correcciones por la temperatura	Deflexiones mm/100		Radios de curvatura (m)
		D(0)	D(25)	
1+500	0.981	86	60	122
1+550	0.981	73	39	91
1+600	0.983	81	51	104
1+650	0.984	86	69	182
1+700	0.986	77	64	242
1+750	0.986	82	60	145
1+800	0.988	86	52	91
1+850	0.988	82	60	145
1+900	0.989	82	52	103
1+950	0.992	69	48	145
2+000	0.992	82	61	144
2+050	0.995	78	52	120
2+100	0.996	82	48	90
2+150	0.996	87	61	120
2+200	0.999	70	44	120
2+250	0.999	83	57	120

Tabla 47

Resultados, P 1+500 – 2+250

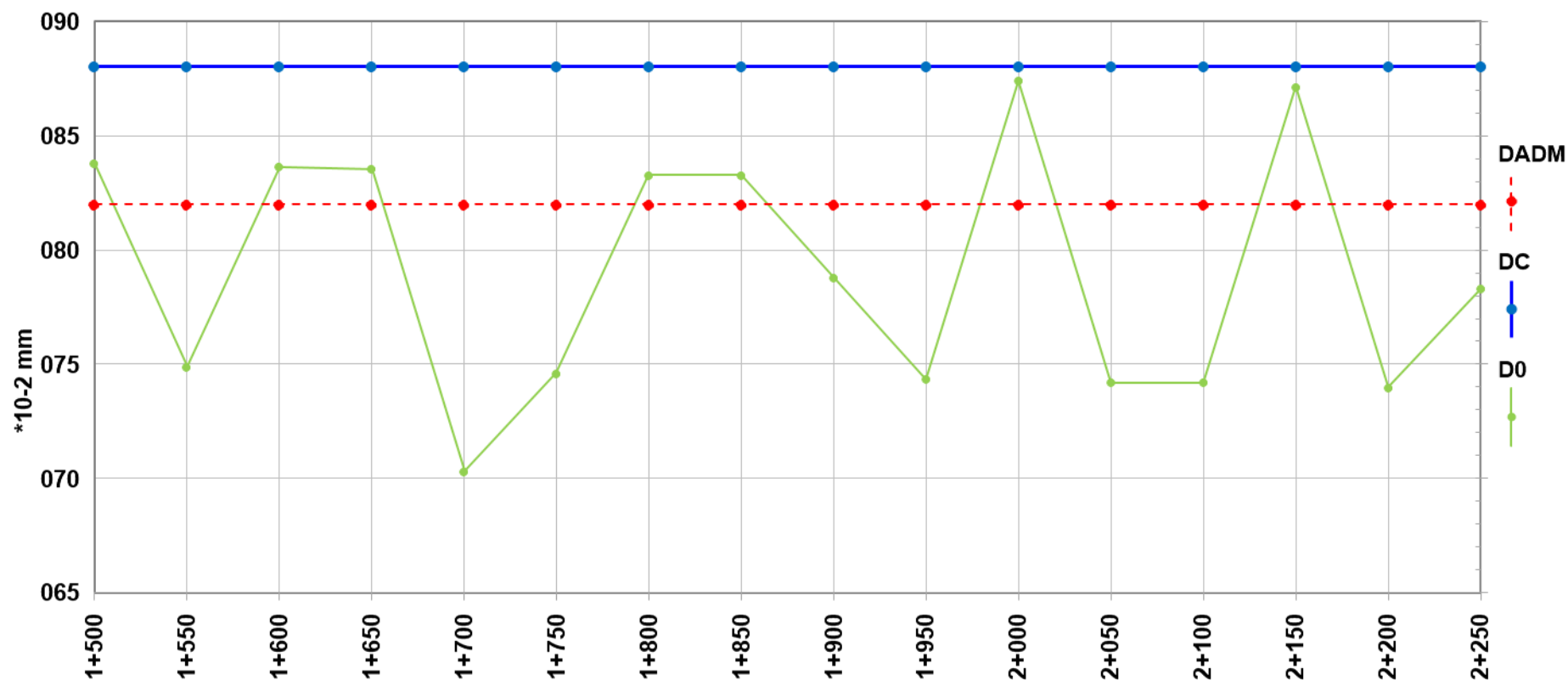
D. Promedio	80.36×10^{-2}
Desviación estándar	5.563
D. Característica	89.5×10^{-2}
D. Admisible	82×10^{-2}
DC > Dadm.	No pasa

Se presenta los resultados de las mediciones de deflexión para el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+500 y el 2+250. El D. Promedio es 80.36×10^2 mm y la Desviación estándar es 5.563 mm. La D. Característica es 89.5×10^2 mm, mientras que la D. Admisible es 82×10^2 mm. Debido a que la D. Característica supera la D. Admisible, el pavimento no cumple con los estándares requeridos, indicando que el estado vial no pasa la evaluación de calidad.



Figura 41

Deflexiones, P 1+500 – 2+250



Se muestra el comportamiento de las deflexiones en el tramo de la carretera entre el kilómetro 1+500 y el 2+250 (vuelta). Se comparan los valores de deflexión obtenidos con la deflexión característica (DC), la deflexión admisible (DADM) y la deflexión máxima (D0).



Tabla 48

Características de las deflexiones a cada kilometro

Progresiva KM	Deflexión característica (Derecho)	Deflexión característica (Izquierda)	Deflexión admisible x 10 ⁻² mm
0+000 a 0+750	91.7 * 10 ⁻²	92.5 * 10 ⁻²	82
0+750 a 1+500	87.3 * 10 ⁻²	89.7 * 10 ⁻²	82
1+500 a 2+250	88.1 * 10 ⁻²	89.5 * 10 ⁻²	82
Deflex. General (PROMEDIO)	89.03 * 10⁻²	90.57 * 10⁻²	

Se presenta las características de las deflexiones a lo largo del tramo de la carretera entre el kilómetro 0+000 y el 2+250. Se indican las deflexiones características para los carriles derecho e izquierdo, con valores que varían entre 87.3 x 10² mm y 92.5 x 10² mm. La deflexión admisible se mantiene constante en 82 x 10² mm. El Deflex. General (Promedio) es 89.03 x 10² mm para el carril derecho y 90.57 x 10² mm para el izquierdo, lo que indica que la deflexión característica supera el valor admisible en ambos casos, reflejando un estado vial deficiente.

Tabla 49

Radios de curvaturas

Progresiva KM	Radio de curvatura (Derecho)	Radio de curvatura (Izquierda)	Mínimo de radio de curvatura
0+000 a 0+750	127 m	116 m	100 m
0+750 a 1+500	123 m	131 m	100 m
1+500 a 2+250	124 m	130 m	100 m
Deflex. General	124.67 m	125.67 m	

Se muestra los radios de curvatura para el tramo de la carretera entre el kilómetro 0+000 y el 2+250. Se detallan los radios de curvatura para los carriles derecho e izquierdo, con valores que oscilan entre 116 m y 131 m, todos superiores al mínimo radio de curvatura de 100 m. El radio de curvatura general promedio es de 124.67 m para el carril derecho y 125.67 m para el carril izquierdo.



4.1.3 Mejora para la rehabilitación del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca

El plan de mantenimiento vial tiene como objetivo asegurar la durabilidad y funcionalidad de la infraestructura del pavimento flexible de la salida Arequipa de Juliaca, garantizando una correcta ejecución de las reparaciones y minimizando el deterioro del pavimento mediante la aplicación de soluciones correctivas y preventivas.

Diagnóstico Inicial:

Se identifican diversas fallas a lo largo del tramo que incluyen:

1. **Piel de cocodrilo:** Grietas interconectadas por fatiga debido a la acción repetida de las cargas de tránsito.
2. **Fisuras de bloque:** Originadas por la contracción del concreto asfáltico o cambios de temperatura.
3. **Fisuras longitudinales:** Grietas causadas por el movimiento y debilidad del pavimento.
4. **Huecos:** Desintegración del pavimento debido a tráfico pesado.
5. **Pulimiento de agregados:** Pérdida de textura superficial debido al paso continuo de vehículos.

Intervenciones y Soluciones:

1. Piel de cocodrilo (Kilómetros 0+544 a 2+250)
 - Área afectada: 0.85 m²
 - Solución: Sellado de grietas y parcheo parcial.
2. Fisuras de bloque (Kilómetros 0+544 a 2+250)
 - Área afectada: 4.5 m²
 - Solución: Sellado de grietas y parcheo profundo.
3. Fisuras longitudinales (Kilómetros 0+288 a 2+250)
 - Área afectada: 10 m



- Solución: Reparación con fresado y capa de asfalto.
- 4. Huecos (Kilómetros 0+544 a 2+250)
 - Número de unidades: 4
 - Solución: Parcheo profundo en áreas afectadas.
- 5. Pulimiento de agregados (Kilómetros 0+288 a 2+250)
 - Área afectada: 30 m²
 - Solución: Tratamiento superficial con sobrecapa de asfalto.

❖ Diseño de sobrecapa asfáltica

Para el diseño de la capa asfáltica, se utilizan nuevamente las ecuaciones de diseño previamente detalladas, con el objetivo de obtener los parámetros necesarios para la creación de la sobrecapa. El coeficiente "a", asignado tanto a la capa asfáltica como a las capas granulares, se determina según la evaluación de los daños y se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 50

Coeficiente "a"

Material	Coeficiente "a"
Carpeta Asfáltica	0,40
Capa Granular	0,14

Se procede a analizar las condiciones de drenaje de las diferentes capas estructurales, obteniendo el siguiente resultado:

Calcular la pérdida de agua para determinar la porosidad efectiva utilizando la siguiente fórmula:

$$Ne_{max} = 1 - \frac{\text{Desidad seca maxima}}{\text{Peso especifico}} * 100$$

$$Ne_{max} = 1 - \frac{1755.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2650} * 100$$

$$Ne_{max}=33.74 \%$$

Con base en la granulometría de los agregados, se observa que el material predominante es la grava, con un contenido de finos inferior al 2,5%. En este caso, el valor del coeficiente "C" se establece en 40. Posteriormente, se calculan los valores de porosidad, permeabilidad y el tiempo de drenaje, con el fin de determinar el coeficiente de drenaje "m" de la capa granular.

Volumen efectivo de vacíos:

$$N_e = \frac{N_{e_{max}} * c}{100}$$

$$N_e = 13.496 \%$$

Tabla 51

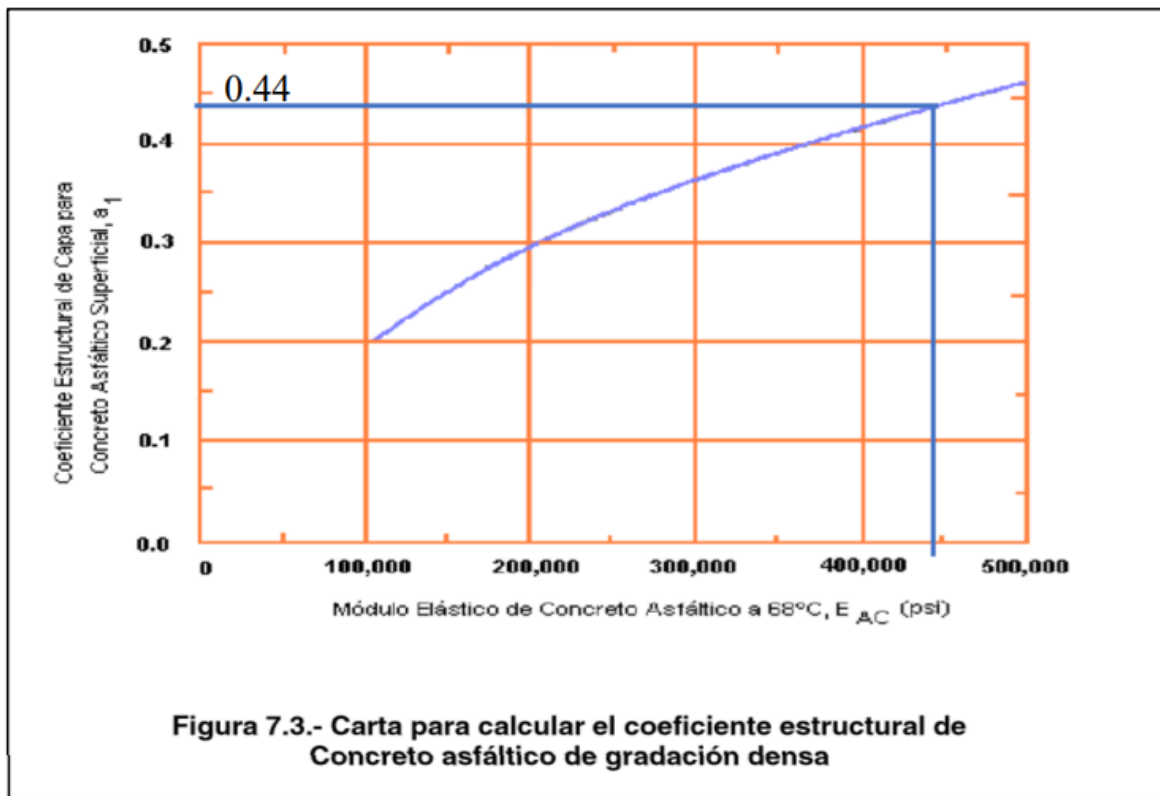
Parámetros

Parámetros	Símbolos	Cantidades	Unidades
Volumen máximo de vacíos	Ne max	33,740	%
Tasa de drenaje diaria	K	248,94	ft/día
Volumen efectivo de vacíos	Ne	13,50	%
Tiempo total de drenaje	m*	0,142	DÍAS
Factor de tiempo al 50%	T50	0,0508	-
Tiempo de drenaje en horas	t	0,174	horas
Calidad de drenaje	-	EXCELENTE	-
Lluviosidad	-	8,77%	-
Coeficiente m	m	1,20	-

Al examinar los datos obtenidos, se pudo determinar que la calidad del drenaje se clasifica como excelente, conforme a los parámetros establecidos, ya que el tiempo de drenaje es inferior a dos horas. A continuación, se procedió a calcular el coeficiente estructural específico para la sobrecapa. Este cálculo se realizó utilizando un nomograma que conecta el módulo elástico con la estabilidad Marshall. Los resultados del análisis indicaron que el coeficiente "a" tiene un valor de 0,44. Estos hallazgos son fundamentales para tomar decisiones informadas en el diseño de la sobrecapa, garantizando un desempeño estructural eficiente y una adecuada capacidad de drenaje para el pavimento.

Figura 42

Monograma



A continuación, utilizando los datos previamente obtenidos, se procede a calcular el espesor de la sobrecapa mediante las fórmulas descritas. Como resultado de este cálculo, el valor de SN_{eff} es el siguiente:

$$\text{Numero estructural existente } SN_{eff} = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2$$

$$SN_{eff} = 0.4 * 2.95 + 0.14 * 7.87 * 1.20$$

$$SN_{eff} = 2.504$$

El valor de SN_{futuro} , obtenido a partir del análisis de tráfico, fue calculado y se estableció en 4.03, mientras que la deficiencia estructural resultó ser de 1.83. Con estos datos, el espesor de la sobrecapa se determinó como 4,15 pulgadas.

$$\text{Espesor de la sobrecarpeta} = \frac{4.03 - 2.504}{0.44}$$

$$\text{Espesor de la sobrecarpeta} = 3.46 \text{ pulg}$$

$$\text{Espesor de la sobrecarpeta} = 9 \text{ cm}$$



4.2 Discusión

De acuerdo con Mendoza (2023), la investigación realizada en la vía Tugaduaja - Engunga proporcionó datos que demostraron un comportamiento estructural aceptable del pavimento, con deflexiones dentro del rango permisible. Mendoza utilizó tanto la Viga de Benkelman para medir las deflexiones como el análisis de radios de curvatura, lo que permitió una visión más amplia de la resistencia estructural del pavimento. En nuestro caso, los resultados obtenidos con la Viga de Benkelman para el tramo de la salida Arequipa de Juliaca también mostraron valores dentro de los límites permitidos, indicando que la pavimentación tiene una capacidad estructural funcional. No obstante, al igual que Mendoza, es necesario recalcar la importancia de incluir la temperatura superficial en futuras mediciones, ya que esta puede influir significativamente en la deflexión y comportamiento estructural del pavimento.

Por otro lado, Lara (2022) empleó el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para evaluar el nivel de serviciabilidad de las carreteras de segundo orden en el cantón Guaranda, encontrando un IRI de 4.367 m/km que indicó un estado deficiente del pavimento. Este valor de IRI es indicativo de una pavimentación deteriorada, lo que contrasta con las mediciones obtenidas en nuestra investigación, donde el IRI promedio en la salida Arequipa se mantuvo dentro de los parámetros aceptables, aunque se observó una ligera variabilidad en diferentes tramos, similar a los resultados de Velásquez (2024), donde se encontró que el pavimento de la avenida 3 de Julio en Manabí presentó un IRI superior a 2,50 m/km, lo que llevó a clasificarlos como pavimentos en mal estado.

En este contexto, la medición de la rugosidad del pavimento se confirma como una herramienta esencial para diagnosticar el estado de las vías, tal como se evidenció en el trabajo de Velásquez (2024) y Armijos & Fernández (2022), quienes usaron el Rugosímetro de Merlín para determinar la condición superficial de varios tramos de pavimento, correlacionando eficazmente el IRI con las mediciones de deflexión. Estos estudios coinciden en que el IRI es un indicador clave para evaluar la transitabilidad y comodidad



de los usuarios de la vía, además de ser fundamental en la toma de decisiones para la intervención de pavimentos.

El análisis de Caceres (2024) sobre el pavimento flexible en la carretera Juliaca-Lampa también ofrece información valiosa al evaluar el estado superficial del pavimento. En este caso, los valores de IRI y la deflexión registrada fueron alarmantes, con una clasificación de "malo" para la vía, lo que llevó a recomendar una intervención urgente. Nuestros resultados, al igual que los de Caceres (2024), muestran que aunque el pavimento de la salida Arequipa de Juliaca tiene un desempeño aceptable en términos de deflexión, la rugosidad es un aspecto a mejorar, con algunos tramos presentando un IRI superior al umbral recomendado para un estado óptimo.

Además, investigaciones como la de Quina & Hanco (2024) resaltan la importancia de las intervenciones basadas en la medición periódica del IRI y la deflexión para asegurar la calidad y durabilidad de las infraestructuras viales. En este sentido, los resultados obtenidos en la salida Arequipa de Juliaca muestran que, aunque la pavimentación aún mantiene una condición funcional, se recomienda realizar mejoras en tramos donde el IRI supera los valores óptimos, siguiendo las recomendaciones de los estudios mencionados.

En conclusión, los resultados obtenidos en esta investigación son consistentes con estudios previos realizados tanto a nivel nacional como internacional. Las mediciones de rugosidad y deflexión en el tramo de la salida Arequipa de Juliaca indican que el pavimento se encuentra en condiciones aceptables, pero existen áreas que requieren intervención. Estos hallazgos resaltan la importancia de utilizar herramientas como el Rugosímetro de Merlín y la Viga de Benkelman para la evaluación continua del estado del pavimento, ya que permiten identificar de manera precisa las áreas problemáticas que requieren mantenimiento, siguiendo los enfoques y metodologías utilizadas en otros estudios internacionales como los de Mendoza (2023), Lara (2022), y Velásquez (2024). Sin embargo, es crucial continuar con la monitorización periódica de estos parámetros para garantizar la conservación a largo plazo de la infraestructura vial y asegurar un tránsito seguro y cómodo para los usuarios.



CONCLUSIONES

General, la evaluación de la condición del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca, mediante el uso del rugosímetro de Merlín y la viga de Benkelman, reveló que el pavimento presenta una clasificación "mala" en todos los tramos analizados. Los valores de índice de rugosidad (IRI) fueron superiores a 4 en cada tramo, alcanzando un IRI de hasta 4.84 m/km, lo que indica un pavimento deteriorado. Las mediciones con la viga de Benkelman también mostraron deflexiones por encima de los límites admisibles, con un promedio de deflexión característica de 86.08 mm, lo que refuerza la necesidad de rehabilitación estructural en esta vía.

Primero, se determinó que la condición del pavimento flexible en la Salida Arequipa es "mala", ya que los valores de rugosidad superan los 4 m/km en los tramos evaluados de ambos carriles. Esto indica que el pavimento presenta un alto nivel de deterioro, lo que afecta directamente su funcionalidad y seguridad. Es evidente que se requiere una intervención urgente para mejorar la calidad del pavimento, reduciendo su rugosidad y restaurando su capacidad para soportar el tránsito de manera eficiente y segura.

Segundo, las mediciones de deflexión mostraron un valor promedio de $89.03 * 10^{-2}$ mm en el lado derecho y de $90.57 * 10^{-2}$ mm en el lado izquierdo, ambos superando el límite admisible de $82 * 10^{-2}$ mm. Estos resultados indican que el pavimento no posee la capacidad estructural suficiente para soportar las cargas del tráfico sin que se produzca un deterioro adicional, lo que resalta la necesidad urgente de reforzar la estructura para garantizar su funcionalidad y durabilidad a largo plazo.

Tercero, con base en los datos obtenidos, se propone una rehabilitación que incluya sellado de grietas, parcheo de fisuras, reparación de huecos y la instalación de una sobrecapa asfáltica. El diseño de la sobrecapa, calculado a partir de un coeficiente



estructural "a" de 0.44 y un espesor de 4.03 pulgadas, permitirá mejorar la capacidad estructural y el drenaje del pavimento, proporcionando una solución efectiva para restaurar su funcionalidad a largo plazo.



RECOMENDACIONES

Primero, se recomienda ampliar la evaluación a otros tramos de la carretera en la salida Arequipa de Juliaca o incluso a otras rutas viales de la región. Esto permitiría obtener una visión más completa sobre el estado del pavimento flexible y sus características, ayudando a generalizar los resultados obtenidos en esta investigación.

Segundo, se podrían incorporar tecnologías más avanzadas como el uso de sensores inteligentes o drones para monitorear la condición del pavimento de manera más eficiente y con mayor cobertura. Esto facilitaría la recolección de datos y su análisis en tiempo real, mejorando la toma de decisiones.

Tercero, investigar el uso de diferentes tipos de materiales para la rehabilitación del pavimento flexible, como asfaltos modificados, mezclas de alto rendimiento, y otros tratamientos superficiales. Comparar su efectividad en la mejora de la rugosidad y la capacidad estructural del pavimento sería un aporte valioso para la ingeniería vial.

Cuarto, realizar un análisis económico sobre los costos de las intervenciones y los beneficios a largo plazo de la rehabilitación del pavimento. Esto incluiría el impacto en la seguridad vial, la durabilidad del pavimento y la reducción de los costos de mantenimiento a largo plazo.



REFERENCIAS

- Aldás Sánchez, M. R., Acosta Lozada, R. I., Frías Torres, A. J., & López Sánchez, B. L. (2024). Modelo de mantenimiento de vías, con pavimento flexible de la zona central del Ecuador. *Ciencia Digital*, 8(2), 86-102. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v8i2.2978>
- Alnaqbi, A. J., Zeiada, W., Al-Khateeb, G., Abttan, A., & Abuzwidah, M. (2024). Predictive models for flexible pavement fatigue cracking based on machine learning. *Transportation Engineering*, 16, 100243. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100243>
- Alvarez Romero, F. Y., & Sifuentes Espinoza, J. M. (2021). Influencia de la ceniza de paja de trigo en las propiedades del ladrillo de arcilla, Pomabamba, Ancash—2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/64872>
- Alvino Mayta, L. V. (2025). Efectos del uso de la metodología PCI en la evaluación de fallas de un pavimento en la ciudad de Huancayo. *Universidad Peruana Los Andes*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/9613>
- Armijos Garate, M. P., & Fernández Landívar, I. S. (2022). *Correlación entre el índice de rugosidad internacional (IRI) y deflexiones medidas mediante deflectometría de impacto (FWD) para la optimización del análisis de desempeño del pavimento*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/38525>
- Arteaga Pazmiño, H. A. (2025). *Evaluación de la estructura de la capa de rodadura de la vía La Merced en el tramo km 0+000 al km 4+200 del cantón Pujilí de la provincia de Cotopaxi*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/44078>
- Benavides Medina, L. E., & Román Rentería, B. C. (2025). *Evaluación situacional del pavimento rígido y flexible utilizando el método pci y la viga benkelman de la ciudad de Lambayeque, distrito de Lambayeque, provincia de Lambayeque, región de Lambayeque*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/15112>



- Cabral, M. N., Francelino, M. J. M., & Lucio, W. F. (2024). CORRELAÇÃO ENTRE OS DADOS DEFLECTOMÉTRICOS OBTIDOS COM VIGA BENKELMAN E DEFLECTÔMETRO DE PESO LEVE (LWD): ESTUDO DE CASO PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO PAVIMENTO. *Anais da 49a Reunião Anual de Pavimentação - RAPv*, 13-24. <https://doi.org/10.29327/1430212.49-2>
- Caceres Quispe, D. G. (2024). *Análisis de la condición del pavimento flexible empleando el rugosímetro de Merlin y la viga benkelman en la Carretera Juliaca – Lampa – 2023*. <https://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/2431>
- Cruz-Ruiz, J. (2024). *Evaluación estructural de pavimento usando viga Benkelman, aplicada en el camino vecinal Callejón de Miraflores—Salitral, Sullana*.
- Delgado Vilchez, H. J. (2025). Evaluación superficial del pavimento flexible aplicando el método del PCI en el tramo de la carretera Jaén – San Ignacio—Cajamarca 2024. *Universidad Nacional de Jaén||Repositorio Institucional - UNJ*. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/20.500.14689/907>
- Domínguez Delgado, M. Á., & López Yanza, S. E. (2024). *Construcción de una viga benkelman para la evaluación estructural de pavimentos flexibles, usada en el Laboratorio de Pavimentos de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26767>
- Fiallos Iglesias, J. A. (2024). *Fotogrametría aérea para identificación de fallas en pavimentos flexibles* [masterThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/15096>
- Galindo Gamonal, K. (2024). *Determinación de los factores que se vinculan con el deterioro del pavimento flexible en el tramo Mayrasco – Occopata del distrito de Santiago – Cusco 2023*.
- Gualli Sáez, J. P., & Riera Pozo, L. J. (2025). *Variables externas que infieren en el desgaste del pavimento flexible en vías de segundo orden del cantón guano*. [bachelorThesis, Riobamba]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/15838>



- Huamancayo Gutierrez, M. I., & Aldunate Huaman, R. A. (2024). Evaluación del estado de conservación de la vía Chinchaypujio -Cotabambas mediante el IRI para obtener un mantenimiento vial eficiente. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/674224>
- Huanca Quispe, B. (2024). *Mejoramiento de la transitabilidad vehicular de pavimento flexible en la Avenida las Malvinas mediante el análisis funcional aplicando el Rugosímetro de Merlin – Abancay, 2023*. <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1446>
- Inga Castellanos, K., & Huarcaya Torres, C. A. (2024). *Evaluación y análisis de pavimentos para proponer una mejor alternativa estructural en el diseño de pavimentos en la ciudad de Huancavelica*. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/9314>
- Liu, Z., Yu, S., Huang, Y., Liu, L., & Pan, Y. (2024). A systematic review of rigid-flexible composite pavement. *Journal of Road Engineering*, 4(2), 203-223. <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2024.02.001>
- Mamani Mamani, C. G. (2024). *Construcción de un rugosímetro bump integrator clase 3 para medición del índice internacional de rugosidad IRI*. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/4602>
- Mamani Ramos, R. (2023). Influencia en las propiedades físico-mecánicas de ladrillos artesanales con adición de ceniza de queñoa por unidad, pila y murete, Azángaro 2023. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/132935>
- Maza Corpus, E. J., & Melendez Dioses, B. V. (2024). Análisis del comportamiento funcional y estructural de las carreteras Acobamba – Palcamayo y Tarmatambo – Huaricolca con tratamientos superficiales. *Universidad Peruana Los Andes*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/8795>
- Mendez Mantuano, I. J., & Villao Borbor, J. A. (2023). *Rehabilitación de pavimento flexible existente, aplicando la metodología AASHTO en la vía Manglaralto—Dos Mangas, Santa Elena-Ecuador*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10592>



- Muslim, H. B., Haider, S. W., & Khazanovich, L. (2024). Flexible pavement longitudinal joint quality evaluation using non-destructive testing. *Journal of Road Engineering*, 4(2), 189-202. <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2024.03.001>
- Paucar Garcia, B. L. A., & Torpoco Flores, Y. Y. (2025). Comportamiento dinámico estructural de una bicapa asfáltica ante solicitaciones de carga vehicular. *Universidad Peruana Los Andes*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/8865>
- Poma Meza, Q. A. (2024). Planteamiento de diseño para la reconstrucción de tramos de pavimento flexible reutilizando el pavimento deteriorado en la av. Perú, Amarilis – Huánuco – 2023. *Universidad de Huánuco*. <https://repositorio.udh.edu.pe/xmlui/handle/20.500.14257/5024>
- Quina Espinoza, D. E., & Hancoo Quispe, J. F. U. (2024). *Evaluación De La Ruta PE-3S Tramo Santa Rosa – Pucara (Km 1175+000 – Km 1251+000), Mediante Perfilómetro Laser y Rugosímetro De Merlín*. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/8488>
- Quispe Rivera, K. A. (2024). Los reductores de velocidad tipo resalto en las fallas de pavimentos flexibles de la vía El Tambo—Tres de diciembre, Junín. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/15462>
- Salas Moncada, K. L. (2025). *Evaluación de fallas del pavimento flexible mediante el método PCI, en la Prolongación Francisco Rosas Distrito de Huacho—Huaura—2024*. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/11289>
- Salazar Acuña, L. E., & Chicoma Siancas, F. (2024). Evaluación de fallas en el pavimento flexible aplicando la metodología PCI, en avenida Chiclayo, distrito José Leonardo Ortiz. *Repositorio Institucional - USS*. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/13024>
- Solórzano Ferrín, A. J. (2024). *Evaluación de la textura del tramo E39A (km 48) en El Carmen mediante el análisis con rugosímetro y método de la mancha de arena*



[bachelorThesis,

Jipijapa-Unesum].

<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6504>

Tamayo Mediavilla, J. A. (2024). *Desarrollo de un plan de mantenimiento de las vías que abarcan una longitud de km 4+000 y conectan el barrio la libertad con el sector gran Colombia, ubicados en la parroquia Huachi Grande del cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/42124>

Velásquez Zambrano, H. R. (2024). "Aplicación del índice de Regularidad Internacional para la Seguridad Vial en la avenida 3 de julio El Carmen-Manabí" [bachelorThesis, Jipijapa - Unesum]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6866>

Villegas Freire, L. del B. (2024). *Evaluación superficial y estructural del pavimento de la av. Pitágoras desde el redondel de Terremoto Km 0+000 hasta el caserío San Luis km 4+000 de la parroquia Picaihua del cantón Ambato provincia de Tungurahua*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/41292>

Yanchaguano Sanchez, J. M. (2025). *Optimización de la geometría de la vía desde el puente Yanayacu hasta Píllaro entre las abs 0+000 – 4+875 perteneciente a la provincia Tungurahua*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/44177>



ANEXOS



Anexo 1. Matriz de Consistencia

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p>Problema General:</p> <p>¿Cuál es la condición del pavimento flexible con la utilización del rugosímetro de merlín y propuesta con la viga de benkelman en la salida Arequipa de Juliaca?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Evaluar la condición del pavimento flexible con la utilización del rugosímetro de merlín y propuesta con la viga de benkelman en la salida Arequipa de Juliaca.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>La evaluación de la condición del pavimento con la utilización del rugosímetro de merlín y propuesta con la viga de benkelman en la salida Arequipa de Juliaca, el tipo de pavimento se encontraría en un mal estado.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Rugosímetro de merlín, Viga benkelman)</p>	<p>Rugosímetro de Merlín Viga de Benkelman</p>
<p>Problemas Específicos</p> <p>1. ¿Cuál es la condición del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca mediante la medición de la rugosidad utilizando el rugosímetro de Merlín? 2. ¿Cuál es la deflexión del pavimento flexible mediante el uso de la viga de Benkelman, para identificar la capacidad estructural del pavimento de la salida Arequipa? 3. ¿Cuál es la mejora para la rehabilitación del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca, basándose en los resultados obtenidos de las mediciones de rugosidad y deflexión?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>1. Determinar la condición del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca mediante la medición de la rugosidad utilizando el rugosímetro de Merlín. 2. Determinar la deflexión del pavimento flexible mediante el uso de la viga de Benkelman, para identificar la capacidad estructural del pavimento de la salida Arequipa. 3. Proponer una mejora para la rehabilitación del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca, basándose en los resultados obtenidos de las mediciones de rugosidad y deflexión.</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>1. La medición de la rugosidad del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca, utilizando el rugosímetro de Merlín, mostrará un nivel de deterioro significativo, lo que indicará la necesidad urgente de intervención y mantenimiento en las zonas críticas del pavimento. 2. La medición de la deflexión del pavimento flexible mediante la viga de Benkelman revelará una baja capacidad estructural del pavimento en la salida Arequipa de Juliaca, indicando que el pavimento no cumple con los estándares de resistencia para soportar el tráfico actual y futuro. 3. Con base en los resultados de las mediciones de rugosidad y deflexión, se podrá proponer una mejora técnica viable para la rehabilitación del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca, lo que incrementará su durabilidad y seguridad vial.</p>	<p>Indicadores: <i>IRI (Índice de Rugosidad Internacional)</i> <i>Deflexión del pavimento (mm).</i></p> <p>Variable Dependiente</p> <p>Condición del pavimento flexible</p> <p>Indicadores: <i>Clasificación del pavimento</i></p>	<p>Evaluación a partir de mediciones de IRI y deflexión.</p>



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS			
PROYECTO	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLIN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024		
SOLICITANTE	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO		
LUGAR	JULIACA (SALIDA AREQUIPA) - LADO DERECHO (IDA)		
FECHA	01/04/2025		
PROGRESIVA	0+200	0+400	Longitud 200

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

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

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 1.350

CALCULO DE "D"

$$D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$$

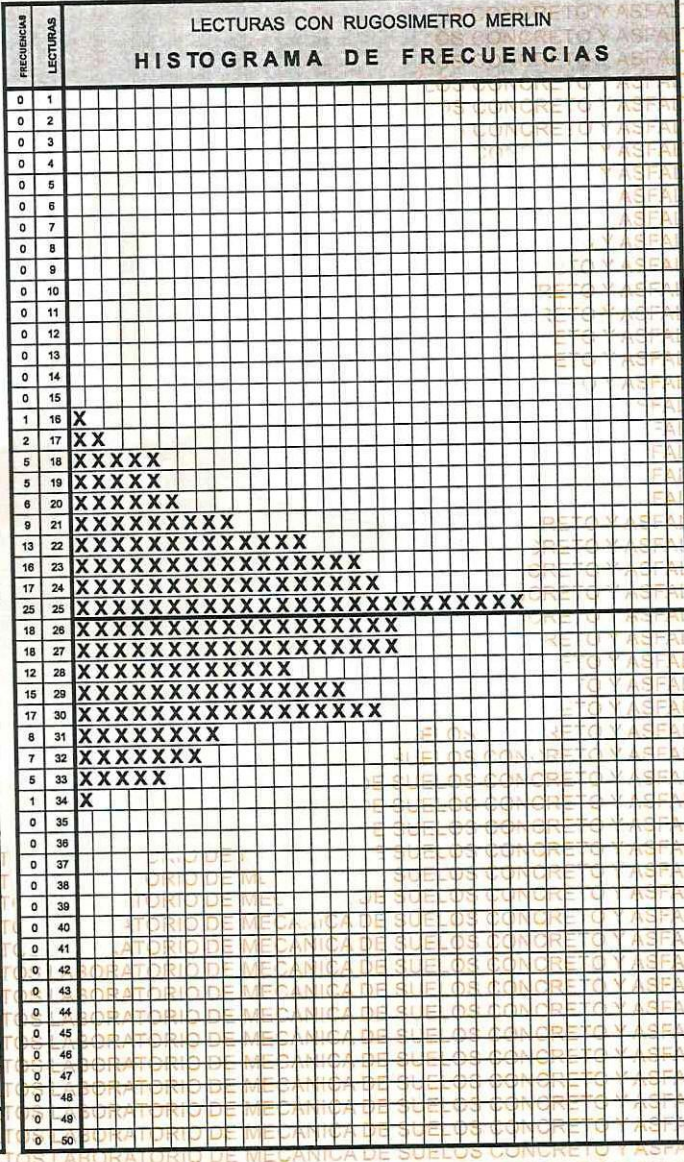
DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)

$$R = 0.0485 \times D \text{ Cuando } IRI < 2.4$$

	LEVANTAMIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIENTO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	5		7
LECTURAS CONSIDERADAS	3		3
FRACCIONES RESULTANTES	0.60	12	0.43
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)	13.03		
Rango "D"	87.94		
IRI	4.27		

Observaciones:



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
JULIACA - PERU

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS			
PROYECTO	EVALUACION DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLIN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024		
SOLICITANTE	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO		
LUGAR	JULIACA (SALIDA AREQUIPA) - LADO DERECHO (IDA)		
FECHA	01/04/2025		
PROGRESIVA	0+600	↔	0+800 Longitud 200

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

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

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 1.350

CALCULO DE "D"

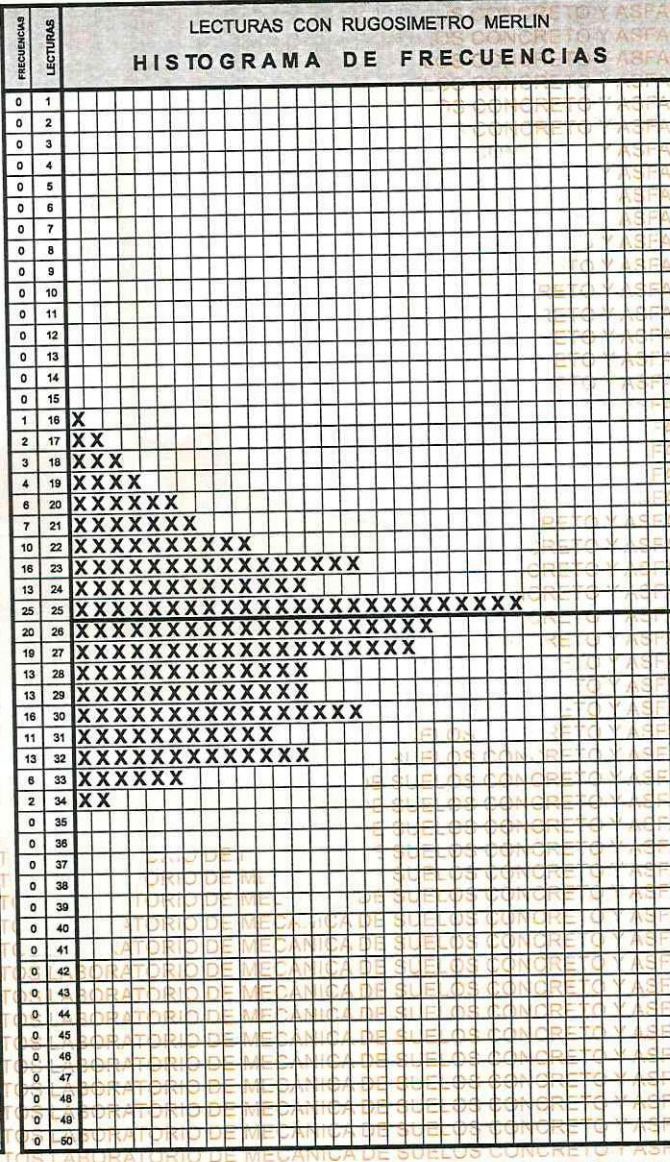
$$D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$$

(DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO, CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO)

CALCULO DE "R" (IRI)

$$R = 0.0485 \times D \text{ Cuando } IRI < 2.4$$

	LEVANTA_MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIEN_TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	6		13
LECTURAS CONSIDERADAS	6	-	11
FRACCIONES RESULTANTES	1.00	11	0.85
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)	12.85		
Rango "D"	86.71		
IRI	4.21		



Observaciones:

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
JULIACA

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP: 403257



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



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS			
PROYECTO	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLIN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024		
SOLICITANTE	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO		
LUGAR	JULIACA (SALIDA AREQUIPA) - LADO DERECHO (IDA)		
FECHA	01/04/2025		
PROGRESIVA	1+000	↔ 1+200	Longitud 200

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

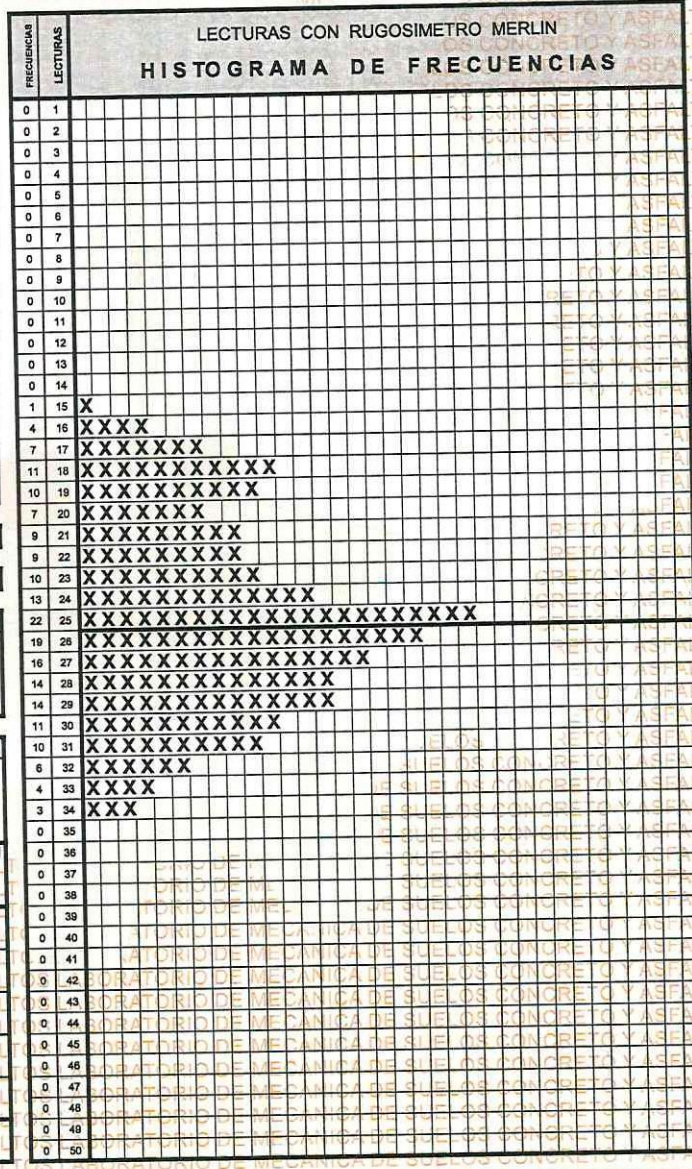
LECTURAS CAMPO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	27	30	20	18	22	22	24	31	33	19
2	21	27	16	21	22	29	32	20	28	23
3	24	28	29	31	34	20	30	30	25	24
4	18	32	27	26	25	29	22	25	16	24
5	25	25	29	18	26	26	26	25	22	19
6	20	21	23	28	32	30	19	24	25	16
7	16	22	24	27	21	26	29	27	25	29
8	25	27	25	29	26	19	21	19	30	27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

CONTROL CANTIDADE MARCAS:	200
FACTOR DE CORRECCION F.C. =	1.350

CALCULO DE "D"
 $D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$
DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
 HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)
 $R = 0.0485 \times D$ Cuando $IRI < 2.4$

	LEVANTA MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMEN TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	7		6
LECTURAS CONSIDERADAS	2	-	3
FRACIONES RESULTANTES	0.29	14	0.50
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)	14.79		
Rango "D"	99.80		
IRI	4.84		



Observaciones:



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
 FICP - CAP INGENIERIA CIVIL
 M.S.C.A. JEFATURA
 Dr. Arnaldo Yano Torres
 CIP: 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS			
PROYECTO	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLIN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024		
SOLICITANTE	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO		
LUGAR	JULIACA (SALIDA AREQUIPA) - LADO DERECHO (IDA)		
FECHA	01/04/2025		
PROGRESIVA	1+400	1+600	Longitud 200

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

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

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 1.350

CALCULO DE "D"

$$D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$$

DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA

HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)

$$R = 0.0485 \times D \text{ Cuando IRI} < 2.4$$

	LEVANTA MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIEN TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	9	-	8
LECTURAS CONSIDERADAS	9	-	4
FRACIONES RESULTANTES	1.00	13	0.50
SUMA FRACIONES (CI + CE + CD)	14.50		
Rango "D"	97.88		
IRI	4.75		

LECTURAS		LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN	
FRECUENCIA	LECTURAS	HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS	
0	1		
0	2		
0	3		
0	4		
0	5		
0	6		
0	7		
0	8		
0	9		
0	10		
0	11		
0	12		
0	13		
0	14		
0	15		
4	16	XXXX	
6	17	XXXXXX	
9	18	XXXXXXXXXX	
9	19	XXXXXXXXXX	
10	20	XXXXXXXXXX	
9	21	XXXXXXXXXX	
10	22	XXXXXXXXXX	
11	23	XXXXXXXXXX	
16	24	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	
25	25	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	
18	26	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	
14	27	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	
11	28	XXXXXXXXXX	
10	29	XXXXXXXXXX	
12	30	XXXXXXXXXX	
12	31	XXXXXXXXXX	
8	32	XXXXXXXXXX	
6	33	XXXXXX	
0	34		
0	35		
0	36		
0	37		
0	38		
0	39		
0	40		
0	41		
0	42		
0	43		
0	44		
0	45		
0	46		
0	47		
0	48		
0	49		
0	50		

Observaciones:

UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO M.S.C.A. JULIACA

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS			
PROYECTO	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLIN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024		
SOLICITANTE	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO		
LUGAR	JULIACA (SALIDA AREQUIPA) - LADO DERECHO (IDA)		
FECHA	01/04/2025		
PROGRESIVA	1+800	2+000	Longitud 200

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

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

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 1.350

CALCULO DE "D"

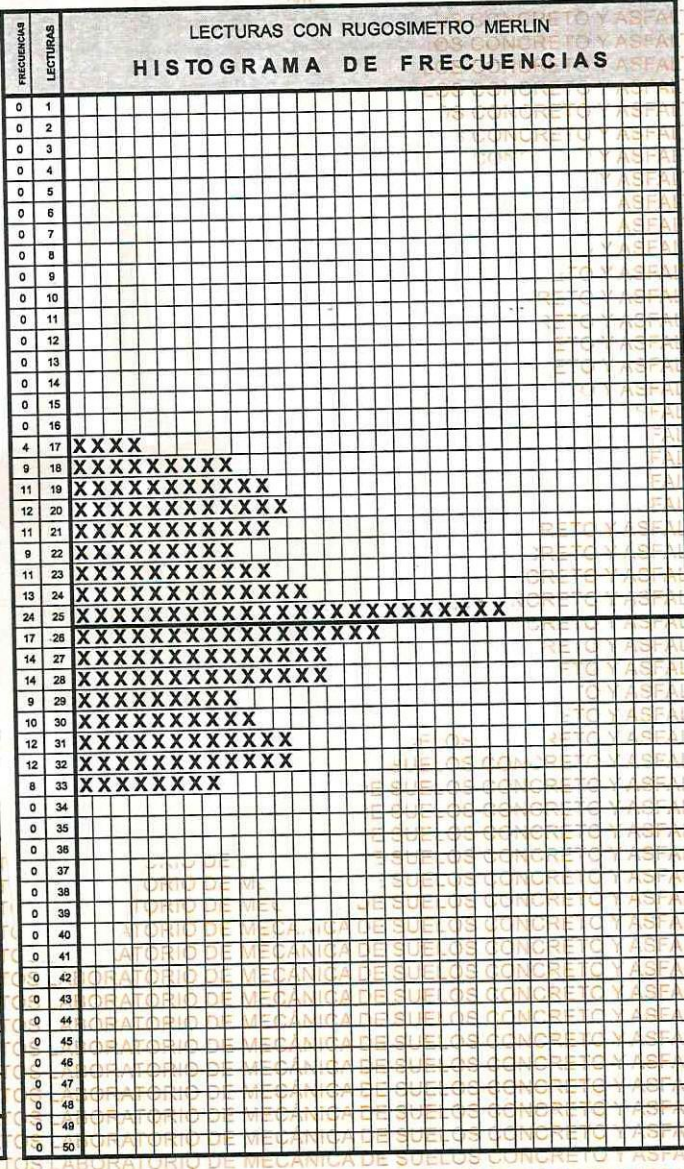
$$D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$$

DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)

$$R = 0.0485 \times D \text{ Cuando } IRI < 2.4$$

	LEVANTAMIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIENTO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	9		12
LECTURAS CONSIDERADAS	3		10
FRACCIONES RESULTANTES	0.33	13	0.83
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)	14.17		
Rango "D"	95.63		
IRI	4.64		



Observaciones:

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA JULIACA

Dr. Arnaldo Yago Torres
CIP. 103257



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



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

PROYECTO	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLIN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024		
SOLICITANTE	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO		
LUGAR	JULIACA (SALIDA AREQUIPA) - LADO IZQUIERDO (VUELTA)		
FECHA	01/04/2025		
PROGRESIVA	0+200	0+400	Longitud 200

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

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

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 1.350

CALCULO DE "D"

$$D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$$

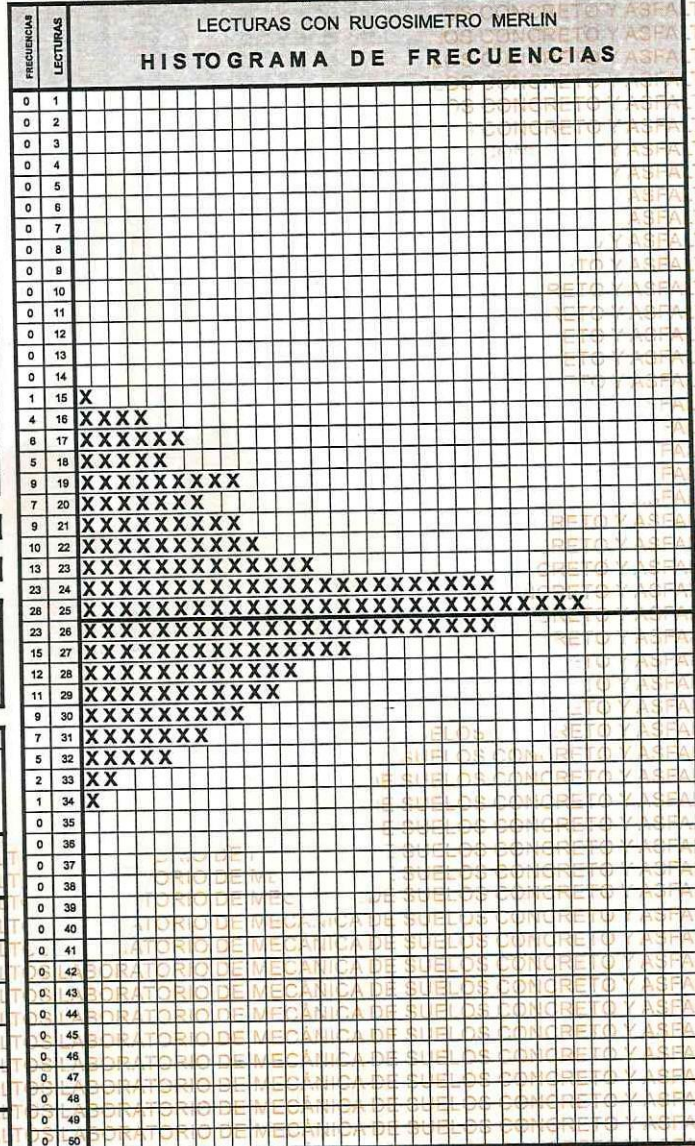
DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA

HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)

$$R = 0.0485 \times D \text{ Cuando } IRI < 2.4$$

	LEVANTAMIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIENTO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	6		7
LECTURAS CONSIDERADAS	1		5
FRACCIONES RESULTANTES	0.17	13	0.71
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)	13.88		
Rango "D"	93.70		
IRI	4.54		



Observaciones:



UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

PROYECTO	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLIN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024		
SOLICITANTE	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO		
LUGAR	JULIACA (SALIDA AREQUIPA) - LADO IZQUIERDO (VUELTA)		
FECHA	01/04/2025		
PROGRESIVA	0+600	0+800	Longitud 200

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

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

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 1.350

CALCULO DE "D"

$$D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$$

DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO | CE = CENTRO | DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)

$$R = 0.0485 \times D \text{ Cuando } IRI < 2.4$$

	LEVANTAMIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIENTO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	7		8
LECTURAS CONSIDERADAS	5		8
FRACIONES RESULTANTES	0.71	13	1.00
SUMA FRACIONES (CI + CE + CD)	14.71		
Rango "D"	99.32		
IRI	4.82		

Observaciones:

LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN	
FRECUENCIAS	LECTURAS
0	1
0	2
0	3
0	4
0	5
0	6
0	7
0	8
0	9
0	10
0	11
0	12
0	13
0	14
3	15
5	16
7	17
9	18
8	19
8	20
9	21
11	22
14	23
16	24
24	25
18	26
14	27
12	28
12	29
12	30
6	31
6	32
4	33
0	34
0	35
0	36
0	37
0	38
0	39
0	40
0	41
0	42
0	43
0	44
0	45
0	46
0	47
0	48
0	49
0	50

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL

M.S.C.A. JEFATURA

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP 103257



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



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

PROYECTO	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024.		
SOLICITANTE	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO		
LUGAR	JULIACA (SALIDA AREQUIPA) - LADO IZQUIERDO (VUELTA)		
FECHA	01/04/2025		
PROGRESIVA	1+000	1+200	Longitud 200

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLÍN)

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

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 1.350

CALCULO DE "D"

$$D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$$

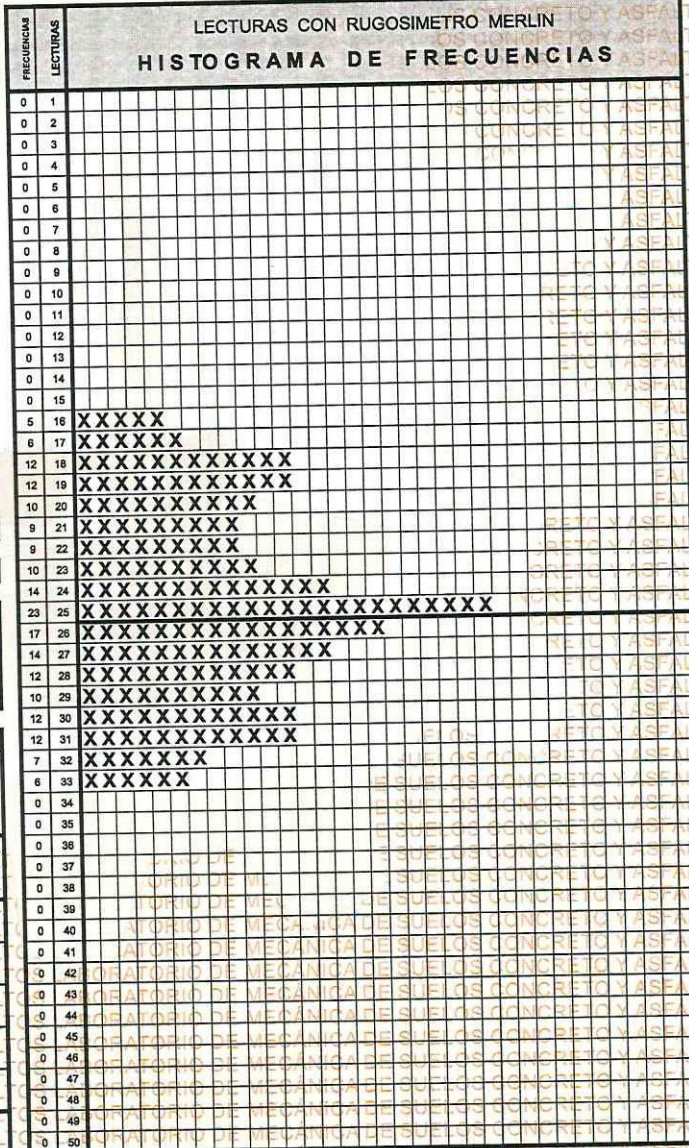
DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA

HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)

$$R = 0.0485 \times D \text{ Cuando } IRI < 2.4$$

	LEVANTA MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMEN TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	6	-	7
LECTURAS CONSIDERADAS	1	-	3
FRACCIONES RESULTANTES	0.17	14	0.43
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)	14.60		
Rango "D"	98.52		
IRI	4.78		



Observaciones:



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

Dr. Arnaldo Yane Torres
CIP. 103257



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



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS			
PROYECTO	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLIN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024		
SOLICITANTE	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO		
LUGAR	JULIACA (SALIDA AREQUIPA) - LADO IZQUIERDO (VUELTA)		
FECHA	01/04/2025		
PROGRESIVA	1+400	1-600	Longitud 200

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

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

CONTROL GANTIDADE MARCAS: 200

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 1.350

CALCULO DE "D"

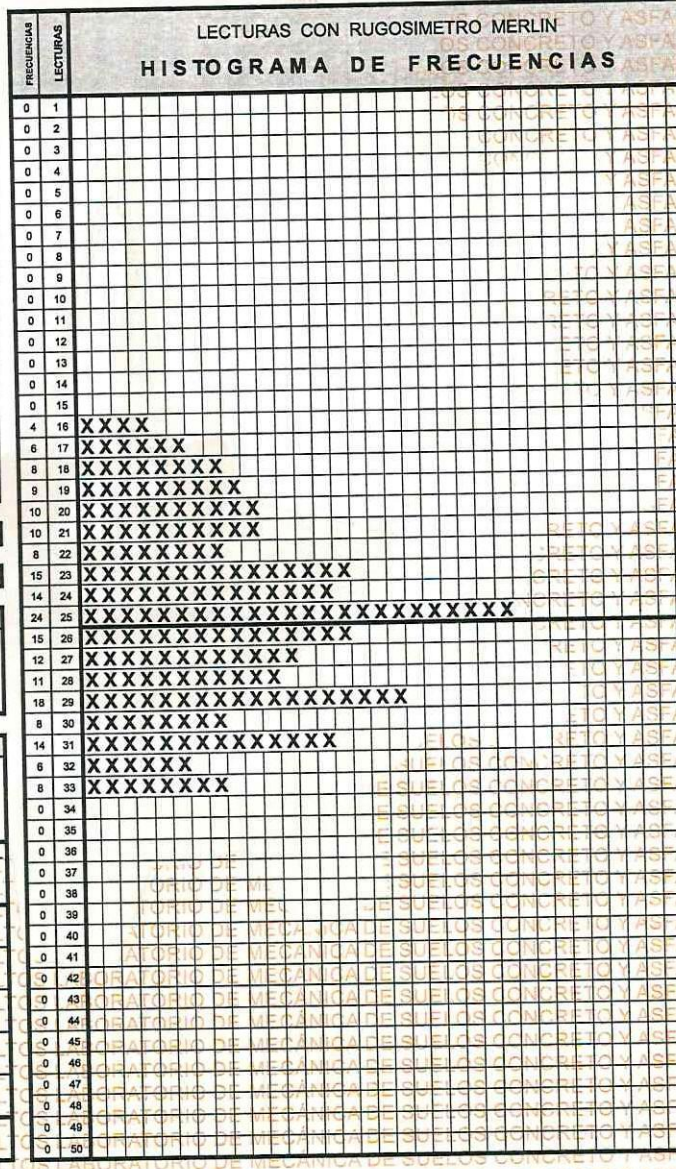
$$D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$$

DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)

$$R = 0.0485 \times D \text{ Cuando } IRI < 2.4$$

	LEVANTA- MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIEN- TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	8	-	6
LECTURAS CONSIDERADAS	8	-	4
FRACCIONES RESULTANTES	1.00	13	0.67
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)	14.67		
Rango "D"	99.00		
IRI	4.80		



Observaciones:

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERRES VELASQUEZ"
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA
JULIACA

Dr. Amalia Lara Torres
CIP. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

PROYECTO	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024		
SOLICITANTE	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO		
LUGAR	JULIACA (SALIDA AREQUIPA) - LADO IZQUIERDO (VUELTA)		
FECHA	01/04/2025		
PROGRESIVA	1+800	2+000	Longitud 200

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

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

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 1.350

CALCULO DE "D"

$$D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$$

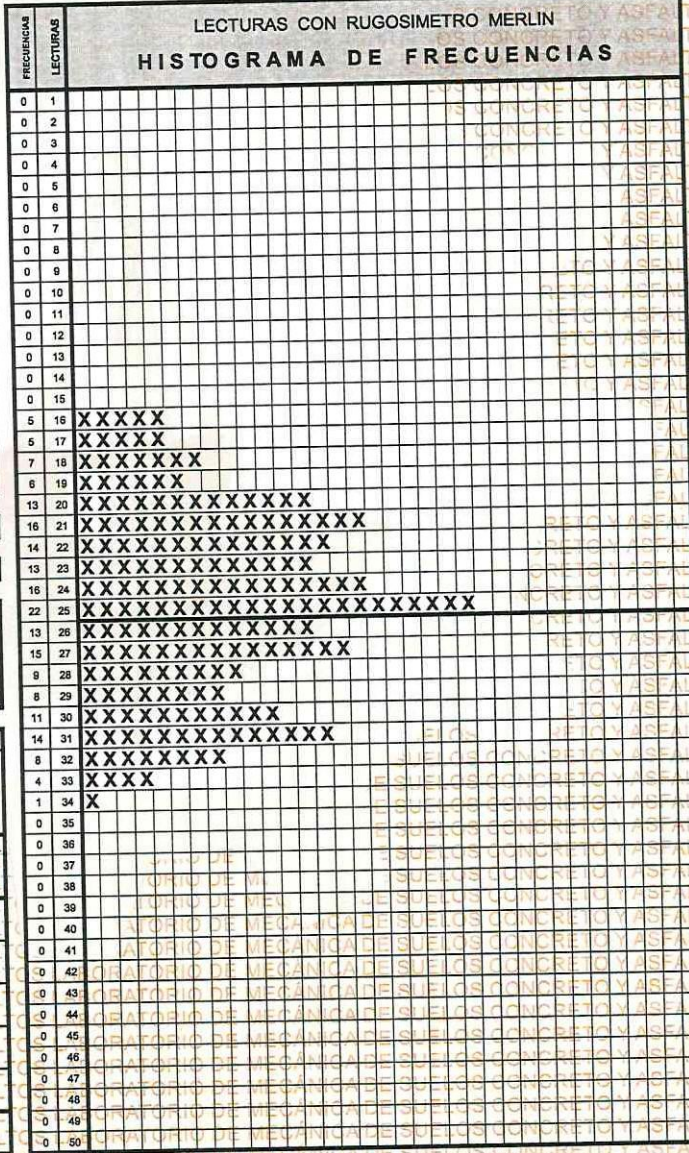
DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA

HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)

$$R = 0.0485 \times D \text{ Cuando } IRI < 2.4$$

	LEVANTA- MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIEN- TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	7	-	8
LECTURAS CONSIDERADAS	7	-	3
FRACCIONES RESULTANTES	1.00	13	0.38
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)	14.38		
Rango "D"	97.03		
IRI	4.71		



Observaciones:

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL

M.S.C. JEFATURA

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP: 103257



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



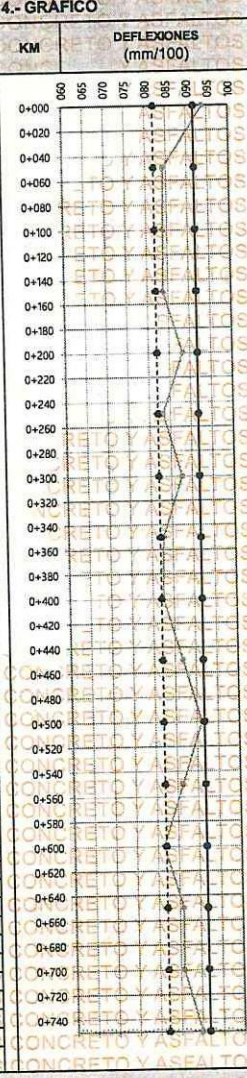
EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA VIGA BENKELMAN

PROYECTO:	EVALUACION DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACION DEL RUGOSIMETRO DE MERLIN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA
SOLICITANTE:	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO
TRAMO:	0+000 a 0+750
LUGAR:	JULIACA(SALIDA AREQUIPA) - CARRIL DERECHO
FECHA:	7 DE ABRIL DEL 2025

1.- DATOS DEL ENSAYO						
CARGA EJE:	8,200 Kg	PRESIÓN DE INFLADO:	80 psi	ESPESOR (e):	D _{adm}	RELACION BRAZO:
		CAPA:	CARPETA ASFALTICA	6cm	82.0 mm/100	F. ESTACNL
					Nº BRAZOS VIGA:	1.1

2.- LECTURAS DE CAMPO		LECTURA DE DIAL (mm/100)						TEMPERATURA			INICIAL=100				
KM	DIST. AL BORDE EXTER.	DIAL 1						DIAL 2		[°C]		CORREC	D0	D25	Rc
		0 cm	25 cm	50 cm	75 cm	100 cm	L _i	0 cm	25 cm	AMB.	CAPA				
0+000	0.60 m	0	5	8	13	15	20			8.0	8.1	1.077	94	70	133
0+050	0.60 m	0	4	9	14	16	18			8.5	8.6	1.073	84	66	167
0+100	0.60 m	0	6	10	13	18	18			8.9	9.1	1.070	84	56	112
0+150	0.60 m	0	5	8	14	16	18			9.4	9.5	1.067	84	65	134
0+200	0.60 m	0	5	9	13	16	19			9.9	10.0	1.064	88	65	135
0+250	0.60 m	0	7	8	13	15	18			10.3	10.5	1.060	83	51	97
0+300	0.60 m	0	6	9	14	16	19			10.8	11.1	1.056	88	60	113
0+350	0.60 m	0	5	11	13	15	18			11.2	11.3	1.055	83	60	136
0+400	0.60 m	0	6	10	14	16	18			11.7	12.0	1.050	82	55	114
0+450	0.60 m	0	6	8	13	17	19			12.2	12.3	1.048	87	59	114
0+500	0.60 m	0	5	9	15	18	20			12.6	12.9	1.044	91	68	137
0+550	0.60 m	0	6	9	13	17	19			13.1	13.3	1.042	86	59	115
0+600	0.60 m	0	5	10	15	16	18			13.6	13.9	1.038	81	59	138
0+650	0.60 m	0	6	9	15	17	19			13.9	14.1	1.037	88	59	115
0+700	0.60 m	0	5	10	16	18	19			14.0	14.3	1.035	86	63	138
0+750	0.60 m	0	5	10	15	18	20			14.3	15.0	1.031	90	67	139

3.- RESULTADOS		
DEFLEXIONES mm/100		RADIO (m) CURVATURA
D0	D25	Rc
94	70	133
84	66	167
84	56	112
84	65	134
88	65	135
83	51	97
88	60	113
83	60	136
82	55	114
87	59	114
91	68	137
86	59	115
81	59	138
88	59	115
86	63	138
90	67	139



6.- EQUIPOS DE MEDICIÓN			
EQ.	VIGA BENK	DIAL	VIBE
ID.			

7.- COMENTARIOS Y/O OBSERVACIONES

UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CERERES VELASQUEZ
FIOP - CAP INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA
Dr. Arnaldo Lara Torres
CIP. 103257



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



EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA VIGA BENKELMAN

PROYECTO:	EVALUACION DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACION DEL RUGOSIMETRO DE MERLIN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024
SOLICITANTE:	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO
TRAMO:	0+750 a 1+500
LUGAR:	JULIACA(SALIDA AREQUIPA) - CARRIL DERECHO
FECHA:	7 DE ABRIL DEL 2025

1.- DATOS DEL ENSAYO

CARGA EJE:	8,200 Kg	PRESIÓN DE INFLADO:	80 psj	ESPESOR (e):	D _{adm}	RELACIÓN BRAZO:	F. ESTACNL
CAPA:	CARPETA ASFALTICA			6cm	82.0 mm/100	Nº BRAZOS VIGA:	1.1

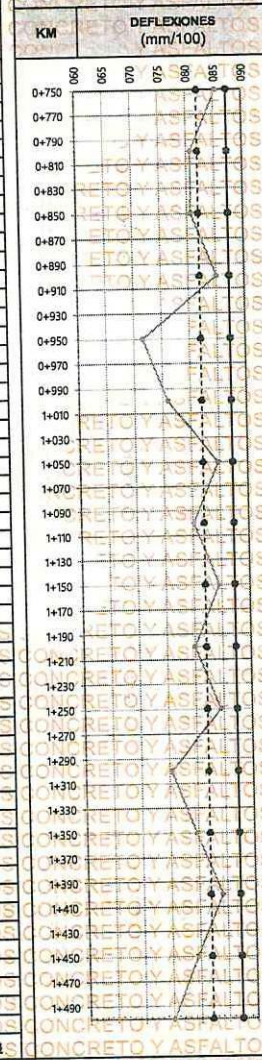
2.- LECTURAS DE CAMPO

KM	DIST. AL BORDE EXTER.	LECTURA DE DIAL (mm/100)							TEMPERATURA			
		DIAL 1					DIAL 2		[°C]			
		0 cm	25 cm	50 cm	75 cm	100 cm	L _i	0 cm	25 cm	AMB.	CAPA	CORREC
0+750	0.60 m	0	7	9	12	14	19			14.8	15.0	1.031
0+800	0.60 m	0	8	10	13	15	18			15.0	15.4	1.028
0+850	0.60 m	0	7	9	12	14	18			15.2	15.5	1.028
0+900	0.60 m	0	6	8	13	15	19			15.4	15.7	1.026
0+950	0.60 m	0	5	9	14	15	16			15.6	15.7	1.026
1+000	0.60 m	0	4	10	15	16	17			15.8	16.1	1.024
1+050	0.60 m	0	4	9	13	15	19			16.0	16.3	1.023
1+100	0.60 m	0	6	10	12	14	18			16.2	16.5	1.021
1+150	0.60 m	0	5	8	13	15	19			16.2	16.8	1.020
1+200	0.60 m	0	6	9	12	14	18			16.5	16.9	1.019
1+250	0.60 m	0	7	10	14	16	19			16.7	16.9	1.019
1+300	0.60 m	0	6	9	13	15	17			16.9	17.2	1.017
1+350	0.60 m	0	7	8	12	14	18			17.1	17.5	1.015
1+400	0.60 m	0	5	8	11	13	19			17.3	17.4	1.016
1+450	0.60 m	0	6	9	12	15	18			17.3	17.9	1.013
1+500	0.60 m	0	6	9	13	15	17			17.5	18.0	1.012

3.- RESULTADOS

D0	D25	Rc	DEFLEXIONES mm/100	
			D0	D25
85	54	99	85	54
81	45	87	81	45
81	49	100	81	49
85	58	116	85	58
72	49	140	72	49
76	58	175	76	58
85	67	175	85	67
80	53	117	80	53
84	62	141	84	62
80	53	117	80	53
84	53	100	84	53
75	49	117	75	49
80	49	101	80	49
84	62	141	84	62
79	53	118	79	53
75	49	118	75	49

4.- GRÁFICO



NOTA: Corrección temperatura: $D_{adj} = 1 / (0.001 * (T_{capa} - 20) * e + 1)$, T_{capa} en °C

DATOS: 16

NO PASA

87.3

Rc=123

6.- EQUIPOS DE MEDICIÓN

EQ.	VIGA BENK.	DIAL
ID.	VIBE	

7.- COMENTARIOS Y/O OBSERVACIONES



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FICP - INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



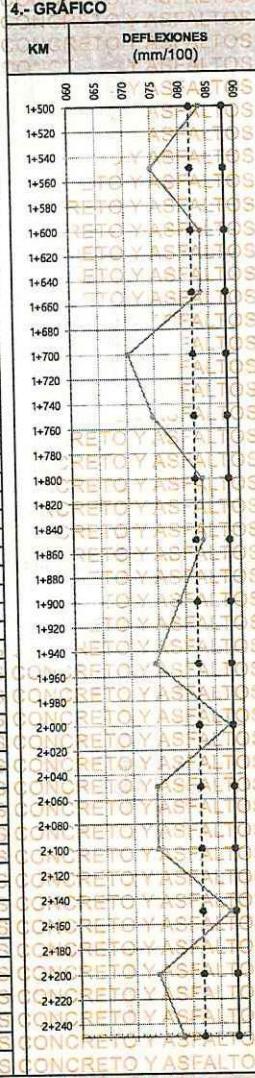
EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA VIGA BENKELMAN

PROYECTO:	EVALUACION DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACION DEL RUGOSIMETRO DE MERLIN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024
SOLICITANTE:	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO
TRAMO:	1+500 a 2+250
LUGAR:	JULIACA(SALIDA AREQUIPA) - CARRIL DERECHO
FECHA:	7 DE ABRIL DEL 2025

1.- DATOS DEL ENSAYO						
CARGA EJE:	8,200 Kg	PRESIÓN DE INFLADO:	80 psi	ESPESOR (e):	D _{adm}	RELACION BRAZO:
		CAPA:	CARPETA ASFALTICA	6cm	82.0 mm/100	4
						F. ESTACNL
						1.1
						Nº BRAZOS VIGA:
						1

KM	DIST. AL BORDE EXTER.	LECTURA DE DIAL (mm/100)										TEMPERATURA			CORREC
		DIAL 1					DIAL 2					[°C]			
		0 cm	25 cm	50 cm	75 cm	100 cm	L _i	0 cm	25 cm	AMB.	CAPA				
1+500	0.60 m	0	6	9	11	14	19					18.0	18.1	1.012	
1+550	0.60 m	0	9	9	14	14	17					18.0	18.3	1.010	
1+600	0.60 m	0	6	10	12	15	19					18.0	18.4	1.010	
1+650	0.60 m	0	5	8	13	15	19					18.1	18.6	1.008	
1+700	0.60 m	0	4	9	13	14	16					18.6	18.7	1.008	
1+750	0.60 m	0	5	9	16	15	17					18.6	18.9	1.007	
1+800	0.60 m	0	8	10	12	15	19					18.8	19.1	1.005	
1+850	0.60 m	0	6	9	13	13	19					18.8	19.1	1.005	
1+900	0.60 m	0	6	7	14	14	18					18.8	19.3	1.004	
1+950	0.60 m	0	5	9	12	15	17					18.9	19.5	1.003	
2+000	0.60 m	0	6	10	13	16	20					18.9	19.6	1.002	
2+050	0.60 m	0	7	8	13	15	17					18.9	19.8	1.001	
2+100	0.60 m	0	7	9	13	15	17					19.1	19.8	1.001	
2+150	0.60 m	0	8	8	10	13	20					19.1	20.1	0.999	
2+200	0.60 m	0	5	8	13	14	17					19.1	20.3	0.998	
2+250	0.60 m	0	5	8	12	14	18					19.1	20.4	0.998	

3.- RESULTADOS		
DELECCIONES mm/100	RADIO (m) CURVATURA	
D0	D25	Rc
84	57	118
75	35	78
84	57	118
84	62	142
70	53	178
75	53	142
83	48	89
83	57	119
79	53	119
74	52	143
87	61	119
74	44	102
74	44	102
87	61	120
74	52	144
78	57	144



6.- EQUIPOS DE MEDICIÓN		
EQ.	VIGA BENK	DIAL
ID.	VIBE	

7.- COMENTARIOS Y/O OBSERVACIONES

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 102257



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



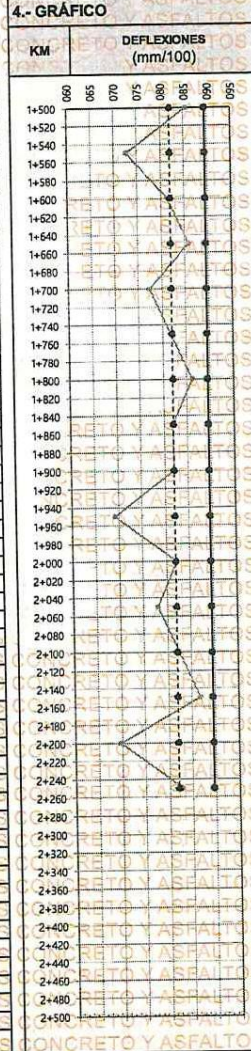
EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA VIGA BENKELMAN

PROYECTO:	EVALUACION DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACION DEL RUGOSIMETRO DE MERLIN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024
SOLICITANTE:	NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO
TRAMO:	1+500 a 2+250
LUGAR:	JULIACA(SALIDA AREQUIPA) - CARRIL IZQUIERDO
FECHA:	7 DE ABRIL DEL 2025

1.- DATOS DEL ENSAYO						
CARGA EJE:	8,200 Kg	PRESIÓN DE INFLADO:	80 psi	ESPESOR (e):	D _{min}	RELACIÓN BRAZO:
CAPA:	CARPETA ASFALTICA		6cm	82.0 mm/100	Nº BRAZOS VIGA:	1.1
				F. ESTACNL		

2.- LECTURAS DE CAMPO										INICIAL=100		
KM	DIST. AL BORDE EXTER.	LECTURA DE DIAL (mm/100)						TEMPERATURA				
		DIAL 1						DIAL 2		[°C]		CORREC
		0 cm	25 cm	50 cm	75 cm	100 cm	L ₁	0 cm	25 cm	AMB.	CAPA	
1+500	0.60 m	0	6	8	10	14	20			23.0	23.3	0.981
1+550	0.60 m	0	8	10	13	14	17			22.8	23.2	0.981
1+600	0.60 m	0	7	9	12	15	19			22.6	22.9	0.983
1+650	0.60 m	0	4	9	12	16	20			22.4	22.7	0.984
1+700	0.60 m	0	3	10	12	13	18			22.1	22.4	0.988
1+750	0.60 m	0	5	9	17	14	19			21.9	22.3	0.986
1+800	0.60 m	0	8	9	12	16	20			21.7	22.0	0.988
1+850	0.60 m	0	5	9	13	13	19			21.5	22.0	0.988
1+900	0.60 m	0	7	8	15	13	19			21.3	21.8	0.989
1+950	0.60 m	0	5	8	12	16	18			21.1	21.4	0.992
2+000	0.60 m	0	5	11	12	15	19			21.1	21.3	0.992
2+050	0.60 m	0	6	7	12	16	18			21.1	20.9	0.995
2+100	0.60 m	0	8	9	13	15	19			20.8	20.7	0.996
2+150	0.60 m	0	6	8	10	12	20			20.8	20.7	0.996
2+200	0.60 m	0	6	7	13	15	16			20.6	20.1	0.999
2+250	0.60 m	0	6	7	12	15	19			20.6	20.1	0.999

3.- RESULTADOS		
DELECCIONES mm/100	RADIO (m) CURVATURA	
D0	D25	Rc
88	60	122
73	39	91
81	51	104
86	69	182
77	64	242
82	60	145
86	52	91
82	60	145
69	48	145
82	61	144
78	52	120
82	48	90
87	61	120
70	44	120
83	57	120



NOTA: Corrección temperatura: $D_{20} = 1 / (0.001 * (T_{capa} - 20) * e + 1)$, T_{capa} en °C

6.- EQUIPOS DE MEDICIÓN		
EQ.	VIGA BENK.	DIAL
ID.	VIBE	

7.- COMENTARIOS Y/O OBSERVACIONES

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
M.S.C.A.
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 17-10-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: NELSON ARTURO HUAQUISACA UCHARICO

Dirección: PASAJE ALVINO VELASCO 139 BARRIO CERRO COLORADO

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 43052197

Teléfono: 951 198 300 email: _____

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: ESCUELA DE POSGRADO

Escuela Profesional o Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

Título o Grado Académico a optar: MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA UTILIZACIÓN DEL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN Y PROPUESTA CON LA VIGA DE BENKELMAN EN LA SALIDA AREQUIPA DE JULIACA 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): EVALUACIÓN, CONDICIÓN DE PAVIMENTO, RUGOSÍMETRO DE MERLÍN, VIGA BENKELMAN

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

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

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



2. Referencia de tesis:

- Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

Autorizo su publicación (marque con una X)

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

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

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

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: _____



[Handwritten Signature]
Firma de Autor

huella digital

17-10-2025

Fecha