



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



**ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL
DEL CENTRO POBLADO ANTAJAHUA – HUANUTUYO
DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

JULIACA - PERÚ

2024



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL
DEL CENTRO POBLADO ANTAJAHUA – HUANUTUYO
DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:


Bach. LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:


PRESIDENTE


: _____
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

PRIMER MIEMBRO


: _____
Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

SEGUNDO MIEMBRO


: _____
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

ASESOR DE TESIS


: _____
Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1845-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 23 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 19013 presentado por el (la) Bachiller **LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO ANTAJAHUA - HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

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

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

RESUELVE:

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

- * **Presidente** : Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
- * **1er Miembro** : Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
- * **2do Miembro** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

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

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO ANTAJAHUA - HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Jueves 26 de diciembre del 2024
- * **HORA** : 08:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 406 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
.....
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
.....
Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
Intermedio (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1349-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 22 de octubre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 14887 por el señor (a): **LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 1217- 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 221- 2024 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO ANTAJAHUA - HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 221- 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO ANTAJAHUA - HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

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

RESUELVE:


ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO ANTAJAHUA - HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

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

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.


MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790


Dr. Efraim Julio Soza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1005-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 11 de setiembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 12009, presentado el señor (a) **LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 922-2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 274 -2024 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO ANTAJAHUA - HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 274 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO ANTAJAHUA - HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO ANTAJAHUA - HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

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

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

[Handwritten Signature]
.....
DR. QUISPE HUANCA
DECANO
CIR. 47790



UNIVERSIDAD "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

[Handwritten Signature]
.....
Dr. Efraim Pomito Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2024
Interesado (a)



ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VEICINAL DEL CENTRO POBLADO ANTAJAHUA – HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

14%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	9%
2	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Prairie View A&M University Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Superior Science Higher Secondary School Trabajo del estudiante	1%
6	docplayer.es Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1%




Metadatos Complementarios UANCV



Título de la tesis	
ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO ANTAJAHUA – HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72851331
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-6433-8314
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	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO



Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Recursos propios
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: Carabaya Distrito: Macusani</p> <ul style="list-style-type: none"> - Latitud: S 13° 58' 55.2'' - Longitud: O 70° 28' 25.8''  <p>https://maps.app.goo.gl/Uha1fxL3kbs22N7Y6</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Setiembre 2024 – Octubre 2024
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	<p>Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</p> <p>Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</p>



UNIVERSIDAD NACIONAL "NÉSTOR CÉSAR VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS EXACTAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS, identificado con DNI Nro. 72 851331, en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA CIVIL

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

ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO ANTAAHUA - HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Es un tema original.

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

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

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

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

Juliaca 13 de JUNIO del 20 25


Firma del Asesor


Firma del Estudiante


Huella



ÍNDICE

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	viii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación del estudio.....	3
1.4.1. Justificación técnica.....	4
1.4.2. Justificación económica.....	4
1.4.3. Justificación social.....	4
1.4.4. Justificación ambiental.....	5



1.5.	Hipótesis del estudio	5
1.5.1.	Hipótesis general	5
1.5.2.	Hipótesis específica	5
1.5.3.	Variables e Indicadores	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de la investigación	7
2.1.1.	Antecedentes internacionales	7
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	9
2.1.3.	Antecedentes locales.....	11
2.2.	Marco teórico	12
2.2.1.	Definición de carreteras no pavimentadas.....	12
2.2.2.	Serviciabilidad	30

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	Categoría y nivel de investigación	32
3.1.1.	NIVEL	32
3.1.2.	TIPO	33
3.2.	Diseño de la investigación	33
3.3.	Descripción del ámbito de estudio de la investigación	33
3.3.1.	Ubicación.....	33



- 3.4. Población y muestra 37
 - 3.4.1. Población 37
 - 3.4.2. Muestra 37
- 3.5. Métodos, recursos e instrumentos utilizados en la investigación. 37
- 3.6. Autenticidad y confiabilidad del instrumento 38
- 3.7. Plan de recopilación y procesamiento de datos..... 38
 - 3.7.1. Condición superficial..... 38
 - 3.7.2. Relación entre el IRI y el PSI 42
- 3.8. Tabulación y evaluación de datos 43

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- 4.1. Resultados 44
 - 4.1.1. A nivel de la variable X/I. capacidad vial 44
- 4.2. Discusión..... 50
- CONCLUSIONES..... 53
- RECOMENDACIONES 55
- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 57
- ANEXOS 60



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	6
Tabla 2. Ubicación geográfica del camino vecinal.....	34
Tabla 3. Altura de las localidades.....	34
Tabla 4. Los métodos e instrumentos utilizados para recopilar datos.	38
Tabla 5. Índice Internacional de Rugosidad (IRI)	44
Tabla 6. Resultados del ÍRI	45
Tabla 7. Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)	47
Tabla 8. Resultados del (PSI).	47
Tabla 9. Evaluación final de la condición superficial.....	51
Tabla 10. Evaluación final de la vía.	52



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de carreteras no pavimentadas.	14
Figura 2. Modelo de cuarto de carro.	17
Figura 3. Escala IRI.....	19
Figura 4. Escala para establecer la rugosidad.....	20
Figura 5. Instrumento Rugosímetro Merlín.....	21
Figura 6. Mecanismos del Rugosímetro Merlín	22
Figura 7. Variación de la superficie del pavimento en función de la línea central media..	24
Figura 8. Gráfico de frecuencia por intervalos.....	25
Figura 9. Instrumento empleado para recopilar información.	26
Figura 10. Mapa del Perú.	35
Figura 11. Mapa de Puno.	35
Figura 12. Mapa de Carabaya.....	36
Figura 13. Mapa del Camino vecinal	36
Figura 14. Formato de recopilación de datos para el IRI	40
Figura 15. Resultados del Índice de Regularidad Internacional – Variaciones.....	45
Figura 16. Resultados del Índice de Regularidad Internacional – tramos.....	46
Figura 17. Resultados del Índice de Regularidad Internacional – porcentaje	46
Figura 18. Resultados del (PSI) – Variaciones.....	48
Figura 19. Resultados del (PSI) – tramos	49
Figura 20. Resultados del (PSI) – porcentaje	49
Figura 21. Resultado de la condición superficial	51



RESUMEN

Durante el desarrollo de este proyecto de estudio, se realizó una evaluación del estado de la vía no pavimentada que une al Centro Poblado de Antajahua y al Centro Poblado de Huanutuyo, ambos ubicados en la provincia de Carabaya, Región Puno. Esta evaluación se realizó con la intención de determinar si la vía es apta para el uso de la comunidad de la zona aledaña, así como evaluar el estado general de la superficie de la vía.

En el proyecto de investigación se utilizó una estrategia que incluyó evaluaciones de tránsito. Estas evaluaciones fueron evaluaciones in situ no experimentales que se llevaron a cabo en tiempo real, tanto durante como después de la evaluación realizada. El propósito es evaluar el estado de las vías que no se encuentran pavimentadas, así como calcular el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) y el Índice de Transitabilidad Actual (PSI) correspondientes a las vías que se encuentran bajo investigación. Con el propósito de determinar si la vía cumple o no con los estándares que se especificaron de la vía, se realizará esta inspección con el fin de evaluar el estado actual de la vía. No se incluyeron todas las técnicas experimentales en el estudio, ya que se realizó utilizando un enfoque cuantitativo. En la parte denominada "Resultados" podemos informar que la vía local presenta un IRI de 7.225, lo que indica que se encuentra en condiciones normales, y un PSI de 1.36, lo que indica que se encuentra en un estado inadecuado, de acuerdo a la norma.

Los hallazgos de la investigación nos llevaron a concluir que la vía se encuentra en condiciones tanto regulares como insuficientes, lo que representa un riesgo para quienes utilizan esta vía para sus necesidades de transporte. De igual forma, recomendamos encarecidamente realizar un mantenimiento de nivel rutinario para restablecer la vía a sus niveles óptimos y suficientes de transitabilidad.

Palabras claves: Rugosidad, Serviciabilidad, Camino vecinal, Deterioro, Afirmado.



ABSTRACT

During the development of this study project, an assessment was carried out on the condition of the unpaved road connecting the towns of Antajahua and Huanutuyo, both located in the province of Carabaya, Puno Region. This assessment was carried out with the intention of determining whether the road is suitable for use by the surrounding community, as well as evaluating the general condition of the road surface. The research project used a strategy that included traffic assessments. These assessments were non-experimental, on-site evaluations carried out in real time, both during and after the assessment. The purpose is to evaluate the condition of unpaved roads and calculate the International Roughness Index (IRI) and the Current Passability Index (PSI) for the roads under investigation. In order to determine whether or not the road meets the specified standards, this inspection will be carried out to evaluate the current condition of the road. Not all experimental techniques were included in the study, as it was conducted using a quantitative approach. In the section entitled "Results," we can report that the local road has an IRI of 7.225, indicating that it is in normal condition, and a PSI of 1.36, indicating that it is in an inadequate condition, according to the standard.

The findings of the investigation led us to conclude that the road is in both fair and poor condition, which represents a risk to those who use this road for their transportation needs. Similarly, we strongly recommend routine maintenance to restore the road to its optimal and sufficient levels of trafficability..

Keywords: Roughness, Serviceability, Country road, Deterioration, Asphalt.



INTRODUCCIÓN

Las carreteras locales son fundamentales para el crecimiento económico regional. El mantenimiento de su superficie es fundamental para mejorar la producción, garantizar la seguridad y ahorrar costos para la organización. Para mejorar estas vías y fomentar un desarrollo sostenible, es necesario tomar medidas como la evaluación y corrección.

En este estudio se evaluó el estado de la superficie de la carretera sin pavimentar que conecta el Centro Poblado Solitario con el Centro Poblado Huijipata en la provincia de Huancané, enfocándose en su rugosidad y capacidad de servicio. El siguiente es el formato organizado de esta investigación:

La investigación se presenta una descripción del problema de estudio, los objetivos, los fundamentos teóricos, la importancia y las limitaciones. La conclusión del capítulo es la proyección de la hipótesis, seguida de las variables relacionadas con ella.

El marco teórico que aborda el contexto mundial, nacional y local, aportando ideas que ayuden en la investigación e interpretación de los hallazgos.

Capítulo III. En esta sección del artículo se discutirá la población y la muestra, así como el nivel, tipo y diseño del estudio. En el marco de esta discusión también se incluirá el diseño metodológico del estudio, que incluirá tanto la población como la muestra. En este trabajo se describen en profundidad los procedimientos e instrumentos que se utilizaron en el proceso para la realización donde se realiza la recolección de datos, así como el cálculo de los valores de IRI y PSI.

En el proyecto se tendrán en cuenta al realizar el análisis de los datos que se realizará en este capítulo. Los resultados de este análisis se examinarán posteriormente con los autores para validar el estudio realizado. También se hará una comparación entre los hallazgos y los resultados que se adquirieron para el IRI, el PSI y la relación entre ambos.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema

Las carreteras representan un activo nacional primordial y sirven como catalizador del crecimiento económico, por lo que su estudio requiere un cuidado minucioso y debe guiarse por un marco holístico (ambiental, económico y social) que asegure una eficacia sostenible a largo plazo. Espinoza, M. (2015)

Cuando se trata del desarrollo socioeconómico de las áreas, la infraestructura vial es muy necesaria y el transporte tiene un impacto significativo en la economía de un país, independientemente de si se refiere a entornos urbanos o rurales. Por lo tanto, es esencial establecer un programa de proyectos viales que abarque un diseño eficiente y una correcta implementación de la construcción de pavimentos; sin embargo, sin un mantenimiento adecuado de calles y caminos, no se puede asegurar la ocurrencia de inconvenientes y problemas de circulación. Flores E. (2021)

En la provincia de Carabaya se ha producido un importante crecimiento poblacional, lo que ha generado una mayor necesidad de transporte terrestre, tanto de personas como de mercancías. Ha habido un aumento en el número de automóviles en



Macusani, lo que ha provocado el desarrollo de baches y la degradación de la superficie de la carretera local que es el foco de este estudio.

1.2. Planteamiento del problema

La vía vecinal que comunica el Centro Poblado de Antajahua con el Centro Poblado de Huanutuyo se encuentra en regular estado debido al tránsito vehicular que transita por esta vía, sin embargo, la superficie de esta vía presenta deterioro estructural y falta de señalización adecuada en todo el tramo, lo que dificulta el tránsito normal por esta vía y la seguridad de los usuarios.

1.2.1. Problema general

Al respecto, nos planteamos la siguiente interrogante: ¿Cuál es el grado de transitabilidad de la ruta local que une el Centro Poblado de Antajahua con el Centro Poblado de Huanutuyo en el distrito de Macusani de la Región Puno? Esta pregunta se refiere tanto al índice IRI como al PSI.

1.2.2. Problemas específicos

1. En lo que respecta a la superficie de la carretera que se encuentra entre el Centro Poblado de Antajahua y Huanutuyo en el distrito de Macusani, ubicado en la Región Puno, ¿cuál es el valor esperado del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)?
2. En la zona de Macusani de la Región Puno, ¿cuál es el Índice de Transitabilidad Actual (ICS) de la ruta que ofrece una conexión entre el Centro Poblado de Antajahua y el Centro Poblado de Huanutuyo?
3. ¿Cuál es la situación actual del Centro Poblado de Huanutuyo y del Centro Poblado de Antajahua, ambos ubicados en el distrito de Macusani, Región Puno?



1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. *Objetivo general*

Se realizará un análisis del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) y del Índice Internacional de Desempeño Vehicular (IVP), con el fin de determinar si la vía es apta para el transporte, entre el Centro Poblado de Antajahua y el Centro Poblado de Huanutuyo, ambos ubicados en el distrito de Macusani, perteneciente a la Región Puno.

1.3.2. *Objetivos específicos*

1. Para iniciar, es fundamental conocer el Índice de Transitabilidad Actual (ICS) de la vía que une al Centro Poblado de Antajahua y al Centro Poblado de Huanutuyo, ambos ubicados en el distrito de Macusani, perteneciente a la Región Puno.
2. Calcular el valor del Índice de Transitabilidad Actual (IPA) para la ruta que comunica el Centro Poblado de Antajahua con el Centro Poblado de Huanutuyo, ubicado en el distrito de Macusani de la Región Puno.
3. Se sugiere realizar un estudio para comparar las condiciones actuales del Centro Poblado de Huanutuyo, ubicado en la zona de Macusani de la Zona Puno, con las del Centro Poblado de Antajahua.

1.4. Justificación del estudio

En este estudio se examinarán el índice de servicio actual (PSI), el método del medidor de rugosidad Merlin y el IRI. Esto solo puede lograrse profundizando en la teoría y las ideas básicas de las técnicas de ensayo no destructivo. En la provincia de Huancané, estos métodos mejorarían el estado de la carretera local que conecta Centro Poblado Solitario y Centro Poblado Huijipata. Esta evaluación se llevará a cabo siguiendo las directrices establecidas por el MTC en 2017 y 2018 para los procedimientos de seguridad vial y el



mantenimiento de las carreteras, respectivamente. Se basará en los criterios que se han desarrollado para detectar defectos en la superficie de la carretera sin asfaltar que se está estudiando.

1.4.1. Justificación técnica

Con el fin de facilitar el descubrimiento de soluciones factibles a los problemas de rugosidad, el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) y el Índice de Servidabilidad del Pavimento (PSI) de la superficie de la carretera local en la región con la intención de facilitar la identificación de soluciones. De igual forma, es un parámetro que debe ser analizado y controlado por los ingenieros civiles, ya que sus resultados ayudarán a formular recomendaciones de diseño para el mantenimiento de las vías locales.

1.4.2. Justificación económica

Para la explicación de esta investigación, se hace hincapié en la capacidad técnica específica que se requiere para especificar criterios importantes para gestionar la reparación de carreteras pavimentadas. Se pretende motivar a las entidades estatales, regionales y locales a cumplir con la normativa vial, preservando así las diferentes redes viales de nuestra región. Esto permitirá maximizar el uso de los recursos mejorando los niveles de servicio, disminuyendo la cantidad de tiempo y dinero gastados en transporte y facilitando la producción y transferencia de insumos agrícolas. Además, garantizará que se mantenga la transitabilidad de la carretera en caso de una emergencia que experimenten los usuarios.

1.4.3. Justificación social

Debido a la creciente transitabilidad vial, que se ve afectada por los daños significativos que causan los vehículos más pequeños, como taxis y furgonetas, al desplazarse para evitar averías al entrar en contacto con la vía, la investigación es socialmente justificable. Una de las razones de esto es la creciente transitabilidad vial, que es especialmente significativa. La carretera entre Solitario y Huijipata ahora está siendo



evaluada como resultado de las modificaciones propuestas que de hecho serían de valor directo tanto para los usuarios como para la población local. El deterioro de las condiciones de la carretera puede tener una influencia negativa en la seguridad de los conductores, así como en su comodidad y su capacidad para hacer las cosas.

1.4.4. Justificación ambiental

Este estudio que pretende mejorar la ruta sin pavimentar entre Solitario y Huijipata tiene una justificación ambiental y tiene como objetivo la modernización de la carretera. Es una verdad bien conocida que los automóviles son responsables de la producción de gases contaminantes, que se sabe que contribuyen a la contaminación del aire. Esto afecta negativamente al ecosistema, impactando no solo a las personas sino también a la flora y fauna natural presente a lo largo del camino examinado. Una vía deteriorada exagera la erosión del suelo y disminuye la biodiversidad, alterando el hábitat natural de la fauna. Para mejorar significativamente estas circunstancias, es fundamental mejorar la infraestructura vial, ya que esto redundaría en beneficio tanto de quienes utilizan las vías como del medio ambiente.

1.5. Hipótesis del estudio

1.5.1. Hipótesis general

El pavimento de la ruta local que comunica el Centro Poblado Antajahua con el Centro Poblado Huanutuyo en el distrito de Macusani de la Región Puno, presenta valores promedio de IRI menores a 10 y valores de PSI menores a 2. En ambos casos, los resultados son inferiores al umbral de dos.

1.5.2. Hipótesis específica

1. El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la vía entre el Centro Poblado Antajahua al Centro Poblado Huanutuyo en el distrito de Macusani, Región Puno, se encuentra por debajo de diez.

2. En el distrito de Macusani de la Región Puno, la ruta que comunica el Centro Poblado Antajahua con el Centro Poblado Huanutuyo presenta un Índice de Servidumbre Actual (IPV) inferior a 2.
3. La implementación de procedimientos de estabilización de la vía mejora tanto el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) como el Índice de Superficie de Pavimento (IPV) a lo largo de la ruta que une el Centro Poblado Antajahua al Centro Poblado Huanutuyo en el distrito de Macusani de la Región Puno.

1.5.3. Variables e Indicadores

Tabla 1.

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Operacionalización		Técnicas e instrumentos
		Indicadores		
Variable independiente				
Condición superficial del afirmado	IRI	Índice de Rugosidad Internacional (IRI)		Rugosímetro de Merlín (Instrumento de levantamiento de datos) Formato MTC (Instrumento de registro de datos de campo, ver ANEXO 3)
Variable dependiente				
Análisis del PSI en Relación al IRI	PSI	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)		Formato MTC



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Cadenas (2023). El estudio que se realizó en Jipijapa tuvo como objetivo conocer el IRI del camino que conduce desde Los Ángeles hasta Andil. El estudio se realizó en un contexto transversal y no incluyó ningún experimento. Se utilizó el rugosímetro Merlin con el objetivo de obtener mediciones directas del pavimento. Esto se logró mediante la utilización de una aplicación móvil conocida como ROADROID, la cual recopila datos mediante la utilización del acelerómetro de un teléfono inteligente. Se realizó una comparación y evaluación de los datos recopilados mediante el uso de estadísticas descriptivas. Sin embargo, el ROADROID informó un valor de 1,60 metros por kilómetro, que es mucho menor que el índice de rugosidad que se determinó en 1,90 metros por kilómetro cuando se evaluó con el rugosímetro Merlin. El rugosímetro determinó una puntuación de 3,38 al evaluar el índice de calidad de transitabilidad de la vía. Este número indica que las condiciones son extremadamente excelentes. Tras un examen cuidadoso de los hechos, se ha determinado que la ruta entre Ángeles y Andil tiene una transitabilidad y una aptitud para circular excepcionales.



López (2018). La investigación en este ámbito tenía como objetivo determinar cómo el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) afectaba a la gestión y el rendimiento de tramos de carretera. La rugosidad de la carretera es uno de los componentes estructurales y funcionales que evalúa el Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI). Los resultados muestran que el IRI tiene un impacto importante en la percepción que tienen los conductores del flujo del tráfico a lo largo de sus trayectos. Una disminución del IRI indicaba una mejora del PSI, lo que a su vez se traducía en una mejor experiencia para los usuarios, un flujo de tráfico más eficiente y tiempos de viaje más cortos para todo tipo de transporte. Los componentes investigados están respaldados por este estudio, que también muestra que la vía analizada presenta una asociación constante entre los resultados del IRI y el PSI. La validación de los resultados subraya la importancia de estos hallazgos para la gestión eficiente de la infraestructura vial. Según la investigación, un componente clave de las carreteras es la rugosidad del pavimento, y su reducción mejorará la gestión del tráfico y la experiencia del usuario.

Álvarez (2021). La investigación utilizó un enfoque de campo no experimental para analizar el rendimiento de un pavimento vial en Jipijapa, una localidad de la región de Manabí, en Ecuador. Se examinaron los criterios del IRI, la microtextura, la macrotextura y el índice de rugosidad MERLIN. Con el fin de mejorar los procedimientos de construcción, se recomienda realizar una evaluación del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) antes de ejecutar proyectos de infraestructura vial. Los materiales utilizados para construir la capa superficial deben tener una fuerte adherencia a la superficie de rodadura, baja reflexión de la luz, buena absorción del ruido, proyección limitada de agua durante la lluvia y baja degradación de los neumáticos. Consumo de combustible en los vehículos. También se demostró que la uniformidad inadecuada de la superficie del pavimento y la abundancia de macrotextura afectan negativamente al confort de los vehículos y a los gastos de



mantenimiento. Para respaldar los resultados, realizamos una serie de experimentos en varias capas de pavimento.

2.1.2. *Antecedentes nacionales*

Tingal (2021). Concentró su investigación en la evaluación del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) del pavimento flexible en la vía Cajamarca – Baños del Inca utilizando el Rugosímetro Merlin, evaluando así la transitabilidad, la capacidad de servicio y el confort para derivar valores que reflejen con precisión el estado de la superficie de la vía. El inicio de este estudio incluyó una evaluación del campo visual, análisis del tráfico, evaluaciones topográficas de ambas vías y posteriores mediciones de irregularidades utilizando el aparato Merlin. Estos resultados sentaron las bases para el estudio y, por lo tanto, brindan soporte para futuras investigaciones, diseños y construcciones de pavimentos asfálticos para resolver numerosos desafíos de construcción. Los valores de rugosidad en unidades IRI se obtuvieron de los datos: en la ruta de ida (Cajamarca – Baños del Inca), el valor IRI fue de 1,07 m/km, y para la ruta de regreso (Baños del Inca – Cajamarca), fue de 1,10 m/km. En consecuencia, podemos afirmar que el Rugosímetro Merlin es un instrumento eficaz, de fácil manejo y rentable.

Chevarria (2019). Se realizó una tesis para examinar la relación entre el Índice IRI y el Índice de Inventario Estatal del MTC. La investigación reveló una pequeña correlación en carreteras mayoritariamente planas y rectas, con un valor $r=-0,429$. Asimismo, en carreteras sin pavimentar que muestran características similares, la correlación se consideró débil, con valores $r=-0,274$ y $-0,316$. La comparación de valores no es aplicable para vías pavimentadas que presentan un deterioro leve o que están sufriendo reparaciones importantes. La asociación suele ser más pronunciada en áreas que experimentan una degradación significativa. La premisa general del estudio fue descartada debido a la



correlación insuficiente observada tanto en vías pavimentadas como de tierra. Por lo tanto, el IRI y el Índice de Inventario de Condición no son comparables, lo que sugiere que el tamaño inferido puede ser engañoso en algunos casos.

Anaya (2020). Conservación y mantenimiento de carreteras: investigadores de Huari, provincia de Ancash, utilizaron el medidor de rugosidad Merlin para estudiar las condiciones del tráfico en un pavimento flexible. El objetivo de este estudio era mejorar estas circunstancias. Este estudio no utilizó métodos experimentales, sino un diseño transversal prospectivo con énfasis en los datos cualitativos. Según los resultados, casi el 62,50 % de la longitud de las carreteras encuestadas era inaccesible y el 37,50 % se encontraba en mal estado. Con un PSI global de 0,87, el pavimento flexible tenía un índice IRIp de 9,62 m/km y un índice IRIC de 11,31 m/km. Esto indica que la transitabilidad del pavimento flexible fue inadecuada. La desorción de la superficie se destacó como un problema clave y se detectaron varias fallas y degradaciones del pavimento, incluidas deformaciones por desconchado, baches, surcos y anomalías estructurales. Se registraron degradaciones y fallas del pavimento en múltiples ubicaciones. El fresado de asfalto en frío y el mantenimiento periódico son dos de las formas propuestas para mejorar el mantenimiento de las carreteras. Estos métodos cumplen con el mantenimiento de carreteras para la publicación MTC de 2018. Además, se hizo del conocimiento que la ausencia de mantenimiento preventivo incide negativamente en la ruta evaluada.

Matto (2019). Investigadores de la zona central de Huánuco se propusieron calcular el índice de servicio de los pavimentos hidráulicos de hormigón. Los problemas en la superficie del pavimento, como grietas, baches y fisuras en los bordes, representaban casi el 68 % de la superficie total. La investigación reveló que los pavimentos hidráulicos de la ciudad tienen un Índice Internacional de Rugosidad (IRI) de entre 4,71 y 7,66 m/km. Se determinó que los pavimentos se encontraban en muy mal estado. Con un PSI medio de 2,01



en la escala de operatividad, nos encontramos ante una situación de operatividad moderada. Los modelos matemáticos para cada calle mostraron una tendencia negativa significativa y una fuerte correlación estadística. Esta correlación demuestra que un aumento en el IRI corresponde a una disminución en el PSI. De manera similar, un aumento en el coeficiente de agrietamiento se correlaciona con una disminución en el PSI. Esto significa una correlación inversa entre los atributos estructurales y funcionales y el PSI, como se ve en la práctica. En conclusión, se demostró que la evaluación del pavimento no se ve afectada significativamente por la selección del suelo que se utilizó para la cimentación. La zona B tiene un PSI promedio de 1,05, mientras que la zona C tiene un PSI promedio de 1,10; ambas zonas se consideran de mala serviciabilidad. Esto sugiere que el diseño del pavimento debe estar alineado con el tipo de cimentación.

2.1.3. Antecedentes locales

De La Cruz (2022). Se evaluó la capacidad de carga y la aptitud para el servicio del pavimento flexible del tramo Azángaro-Salinas, en el tramo comprendido entre el kilómetro 0+000 y el kilómetro 3+000, en Puno, Perú. La parte sometida a ensayo tiene una capacidad de carga de 3,41 según el método Merlin. Este tramo es muy funcional y adecuado para el uso previsto. También se investigaron la subbase, la base y el lecho de la carretera. Se creó una estructura de pavimento que cumple los requisitos de diseño utilizando los espesores medidos sobre el terreno y los valores del índice de rodadura crítica de California (CBR) para cada capa. Los resultados muestran que la transitabilidad es buena, con un índice de servicio del pavimento (PSI) medio de 3,41 y un IRI medio de 2,15. Los resultados muestran que la transitabilidad de la zona analizada ofrece un grado de satisfacción general satisfactorio.



GOBIERNO REGIONAL DE PUNO (2016). Con el objetivo de mejorar la seguridad vial en la zona, se llevó a cabo el «Estudio final sobre la mejora de la carretera PU 135 Checca-Mazocruz». Las investigaciones de campo y la recopilación de datos sobre accidentes de tráfico nos permitieron alcanzar nuestro objetivo. El propósito de estas investigaciones era determinar el estado físico de la carretera y detectar cualquier riesgo que pudiera afectar a la seguridad del proyecto. Cumplir con las especificaciones establecidas en el «Manual de dispositivos de control del tráfico de vehículos motorizados para calles y autopistas» publicado por la Comisión de Transporte de Manitoba al instalar señales de tráfico. Debido al tráfico intenso, las malas condiciones meteorológicas y la falta de mantenimiento, la carretera se encuentra actualmente en mal estado. Desalineaciones, puntos de acceso irregulares, deformaciones del pavimento, arceles inadecuados, pasos de peatones que suponen un peligro tanto para los animales como para las personas y terminales de transporte público con señalización inadecuada son solo algunos de los muchos problemas que se han derivado de esta situación. La mejora de la seguridad vial a lo largo de la PU 135 Checca-Mazocruz fue el motor de la investigación. Para lograrlo, se utilizarán técnicas arquitectónicas y de señalización adecuadas. Este objetivo se alcanzará haciendo que la zona sea más segura para los conductores y reduciendo la posibilidad de accidentes.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Definición de carreteras no pavimentadas

Según la definición del MTC, las carreteras sin pavimentar son líneas de comunicación que consisten principalmente en tierra, grava o piedras. Suelen estar ubicadas en regiones rurales o montañosas y sirven para conectar comunidades aisladas. Por lo general, es necesario un mantenimiento regular para garantizar su transitabilidad, en particular después de fenómenos meteorológicos severos. Si bien son cruciales para la



conexión, pueden presentar obstáculos, incluido un mayor riesgo de accidentes y complicaciones durante las inclemencias del tiempo.

2.2.1.1. Tipos de las carreteras no pavimentadas

Carretera de tierra: Este es el tipo de camino sin pavimentar más simple, que en su mayoría está compuesto de tierra natural compactada. Suelen estar ubicados en regiones rurales y pueden ser susceptibles a la erosión y degradación después de lluvias intensas.

Carretera de grava: Para crear estos caminos, se coloca una capa de grava compactada sobre una base de tierra. Gracias a su superficie más firme y duradera, la grava mejora la eficiencia del drenaje y reduce la probabilidad de deterioro causado por la lluvia, en comparación con el suelo natural.

Carretera de piedra triturada: El camino de piedra triturada parece grava, pero en realidad está construido con piedra triturada. En lugares con mucho tránsito peatonal o condiciones climáticas adversas, esto puede proporcionar una superficie más resistente y duradera.

Carretera de tierra estabilizada: Estos caminos se mejoran con estabilizadores químicos o geotextiles para aumentar la resistencia y disminuir el polvo. Esto es ventajoso en regiones con tráfico moderado donde se desea un compromiso entre costo y resistencia.

Carretera de tierra mejorado con revestimiento superficial: Este enfoque para la construcción de carreteras implica el uso de un tratamiento de superficie que implica el uso de una capa con emulsión asfáltica o alquitrán sobre una base de tierra compactada. Este proceso mejora la resiliencia y la longevidad de la carretera, al tiempo que minimiza las emisiones de polvo, ofreciendo así a los usuarios una superficie más segura y agradable.

Figura 1.

Tipos de carreteras no pavimentadas.



2.2.1.2. Diferentes tipos de daños en la carretera y su gravedad en vías sin asfaltar.

2.2.1.3. Elementos que componen las carreteras no pavimentadas

La plataforma: Elemento fundamental de las calzadas, formado por las superficies de circulación y los carriles para vehículos. Su función principal es soportar cargas, mejorar el drenaje y asegurar la longevidad, con una pendiente media moderada para favorecer el drenaje.

Las obras de drenaje: La acumulación de agua en las carreteras, que puede poner en peligro la infraestructura de transporte, es el objetivo de estas medidas, diseñadas para abordar el problema. El sistema de drenaje incluye componentes de superficie y subsuelo, como canaletas, sumideros y filtros. Estos componentes trabajan juntos para garantizar que la carretera siga funcionando correctamente y durante un período prolongado.

2.2.1.4. Deterioro en carreteras no pavimentadas

Debido a muchos factores diferentes, la tasa de desgaste en carreteras sin pavimentar es mucho más rápida que en carreteras pavimentadas. Cuando se combina con la humedad, los agregados finos tienden a adherirse a partículas más grandes y romperse cuando entran en contacto con los neumáticos, lo que finalmente conduce al aplastamiento como consecuencia. Además, el polvo fino en suspensión puede sufrir pérdidas. Esto da como resultado la segregación del agregado grueso antes del impacto del tráfico, lo que culmina en la degradación gradual de la superficie de la carretera.

Las degradaciones frecuentes en las carreteras de tierra abarcan:

Sección transversal impropia: La prevalencia de problemas de tráfico y drenaje es quizás uno de los factores que podrían ser responsables de este deterioro. Debido a que es de suma importancia facilitar el drenaje rápido del agua superficial de la carretera, es esencial.

Inestabilidad en curvas y pendientes: Los accidentes son más probables cuando la geometría básica de la carretera se deteriora debido a un mantenimiento inadecuado, lo que hace que las curvas sean más pronunciadas y las pendientes más empinadas.

Dificultad de drenaje: Una de las consecuencias de un drenaje inadecuado es que puede dar lugar a la formación de charcos. Esto puede intensificar la erosión y aumentar el riesgo de daño estructural.

Ondulaciones: Las ondulaciones son anomalías en la superficie de la carretera que ocurren a intervalos regulares y están ubicadas perpendicularmente a la dirección del movimiento vehicular. Varias circunstancias pueden inducir las, incluida la actividad vehicular persistente, el soporte insuficiente, la pendiente inadecuada y las capas granulares deficientes que conducen a la erosión del material granular fino.



Formación de baches: El tráfico continuo puede provocar el desarrollo de baches y sumideros en la carretera, especialmente en regiones con suelos blandos o inadecuadamente compactados.

Formación de Ahuellamientos: Cuando se forman surcos a lo largo de la línea central de una carretera, se dice que la carretera está llena de baches. Esto puede deberse a problemas previos en la superficie o la base de la carretera.

Desgaste superficial: La fricción continua de los neumáticos y el movimiento de los automóviles pueden erosionar la capa superficial de la carretera, exponiendo materiales más blandos que son susceptibles a la degradación.

Las carreteras sin pavimentar a menudo se degradan debido a la exposición a las condiciones ambientales y la actividad motora. En consecuencia, estas carreteras requieren reparaciones periódicas y costosas para satisfacer los estándares de seguridad y operación.

El ritmo de deterioro o falla, está en relación a la frecuencia de los vehículos, que puede conllevar al resultado del daño a la carretera donde los factores de mayor importancia a tener en cuenta al evaluar la calidad de las carreteras que no están pavimentadas.

El MTC (2014) delinea las siguientes categorías de deterioro o falla:

2.2.1.5. Índice de Rugosidad (IRI)

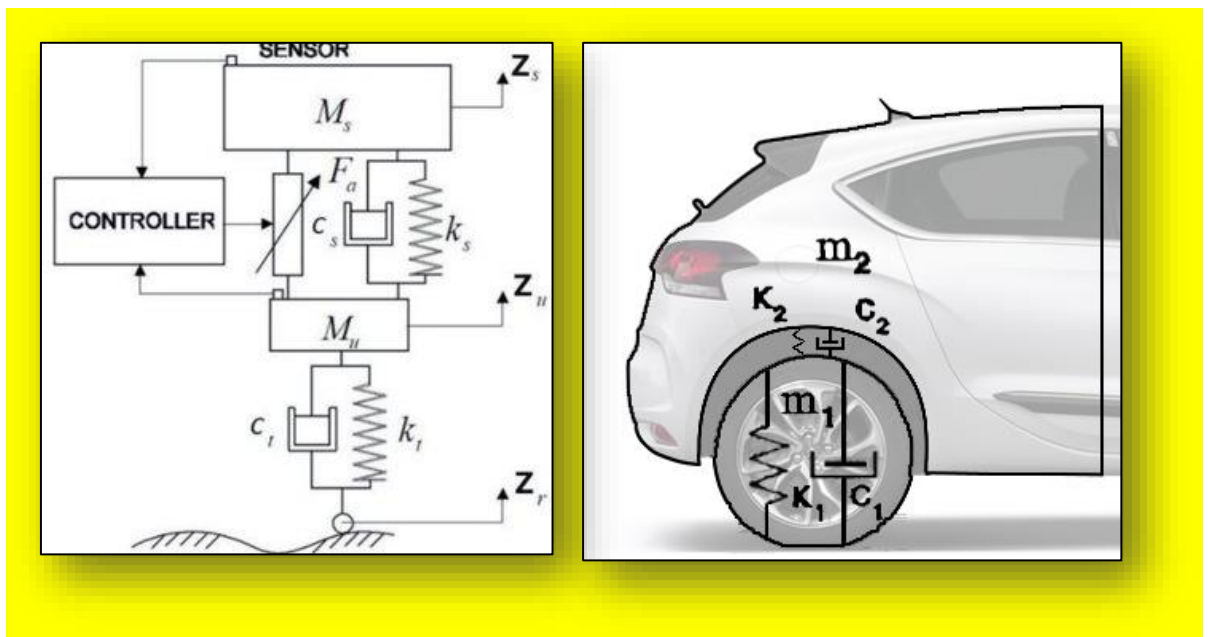
La irregularidad o rugosidad de una carretera puede medirse utilizando el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). Los ingenieros civiles suelen utilizar este parámetro para evaluar el estado de los pavimentos y el nivel de confort que proporcionan. Además, se puede medir la suavidad de la carretera y su idoneidad para el uso, normalmente en metros por kilómetro o en alguna otra unidad de longitud por kilómetro. Si el IRI es alto, la superficie de la carretera es irregular e incómoda para conducir, mientras que un IRI bajo significa que la superficie es suave y agradable.

2.2.1.6. Modelo de cuarto de carro

Para cuantificar la rugosidad de la superficie de la carretera, se utiliza el modelo Quarter Car (QC). El vehículo se conduce a una velocidad constante después de haberle acoplado un equipo de medición de la rugosidad, normalmente en la parte trasera. Para realizar la medición, se utiliza este método. El dispositivo detecta las vibraciones y los movimientos producidos por los automóviles. Al recopilar estos datos, podemos evaluar el estado del pavimento y planificar la reparación de las carreteras calculando el IRI u otras características de rugosidad. Esta tecnología permite medir de forma eficaz y precisa la rugosidad de largos tramos de carretera.

Figura 2.

Modelo de cuarto de carro.



Donde:

L = Longitud de cálculo del IRI

v = Velocidad de circulación del vehículo

m_1 = Masa inferior



m_2 = Masa superior o suspendida

K_1 = constante de rigidez de la suspensión primaria (entre el pavimento y la masa inferior), es decir del neumático

K_2 = constante de rigidez de la suspensión secundaria (entre la masa inferior y la masa superior) es decir la suspensión del vehículo

C_1 = constante de amortiguación de la suspensión primaria

C_2 = constante de amortiguación de la suspensión secundaria

Después de sumar las masas superior e inferior del modelo Quarter Car, divide el total por la distancia total recorrida en la carretera (en kilómetros) y obtendrás el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). Este cálculo se realiza para determinar el IRI. El IRI no solo se utiliza para evaluar el confort de marcha de los vehículos, sino también para analizar la calidad del pavimento. Además, diferencia el grado de rugosidad que tiene la superficie de la carretera. Un IRI mayor implica una mayor cantidad de rugosidad, lo que da lugar a una superficie lisa.

2.2.1.7. Valores del IRI.

Para determinar el nivel de rugosidad en distintos tipos de carreteras, el Banco Mundial ASTM E, 1926-98 utiliza una serie de valores IRI. A continuación, se muestra un ejemplo de uno de estos rangos en acción:

Las siguientes son algunas de las razones por las que el Banco Mundial utilizó esta escala para evaluar la calidad de las superficies pavimentadas:

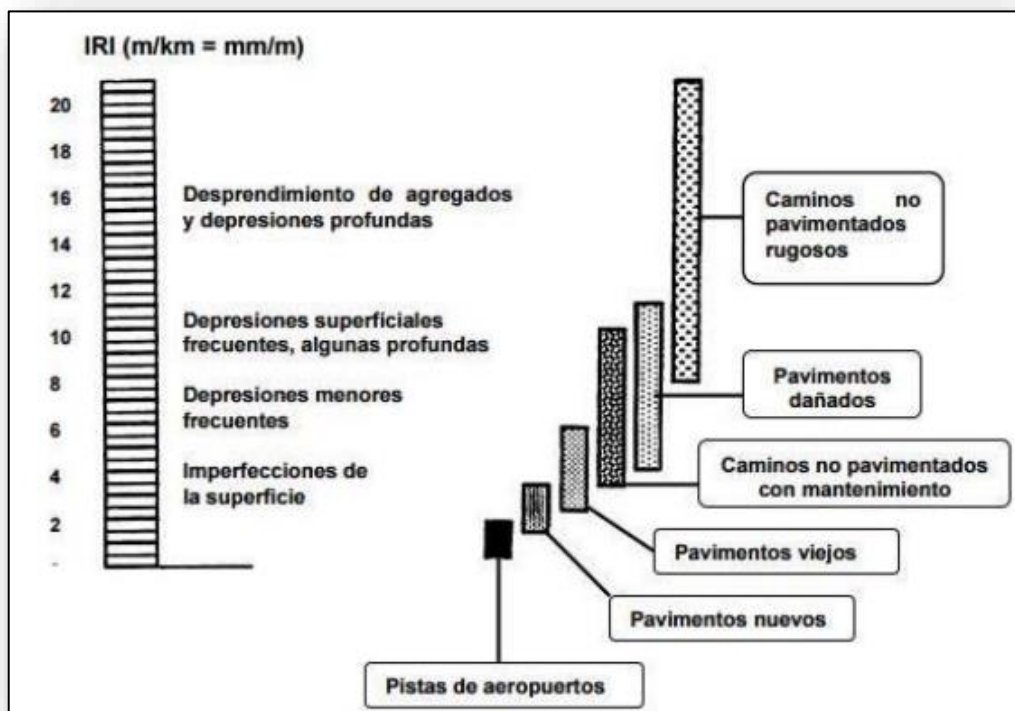
IRI de 0 a 12 m/km: La diferencia entre una calificación de 0 y un número de 12, que muestra un grado de rugosidad que aún es transitable, es que una calificación de 0 denota una superficie que es absolutamente lisa. La seguridad y la comodidad fluctúan en función del grado de rugosidad.

IRI de 0 a 20 m/km: La calificación de rugosidad de los caminos no pavimentados puede alcanzar un máximo de 20. Una calificación de 0 significa una superficie

satisfactoriamente lisa, sin embargo, una calificación de 20 puede indicar que un camino no pavimentado transitado es más irregular que una superficie pavimentada. La Figura 2 del Banco Mundial muestra esta calificación.

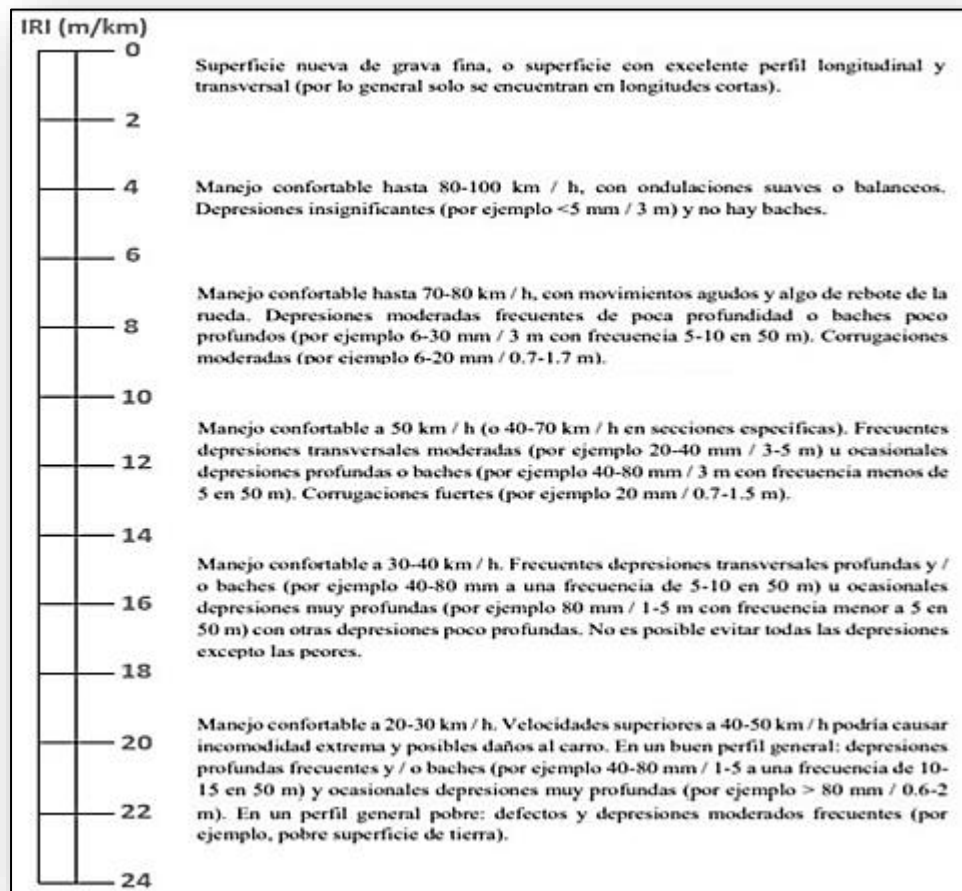
Figura 3.

Escala IRI



Nota: Escala de rugosidad del, los valores de IRI. (Murillo Solorio. R)

El IRI se clasifica en dos escalas, pavimentada y no pavimentada, según la norma (ASTM E 1926 - 98), que proporciona descriptores lingüísticos y valores correspondientes según el tipo de vía. La Figura 3 ilustra esta clasificación.

Figura**4.***Escala para establecer la rugosidad.*

Nota: (ASTM E 1926 - 98)

2.2.1.8. Escala según valores del IRI en el Perú

Para nuestro estudio nos basamos principalmente en el IRI de Perú. La publicación del MTC de 2007, Especificaciones Técnicas Generales para el Mantenimiento de Carreteras, sirvió de base para este índice.

Los valores exactos del IRI de Perú, sirvieron como referencia para nuestra investigación. El cumplimiento de las Especificaciones Técnicas Generales que fueron publicadas por el MTC en 2007 se mantuvo durante la ejecución de esta actividad.

2.2.1.9. Equipos empleados para la medición del IRI

El equipo que se utiliza para medir el IRI se divide en cinco categorías principales según Perera y Kohn (2002). La precisión del dispositivo, la velocidad de recopilación de datos y el grado de control son solo algunas de las características que diferencian a estas clases entre sí.

2.2.1.10. Clasificación de equipos para la medición del IRI

Diferentes documentos técnicos proporcionan la base para la categorización de los equipos de ensayo de superficies de carreteras. Entre ellos, se encuentran la norma ASTM E-95098 y el documento n.º 46 del Banco Mundial. Estos artículos facilitan la comparación de diversas categorías al describir los requisitos para el almacenamiento de datos y la resolución de las mediciones. La tabla 4 muestra la correlación entre la norma ASTM y el esquema de categorización del Banco Mundial.

2.2.1.11. Equipo principal para la investigación

Debido a su facilidad de uso y eficiencia general, decidimos utilizar el rugosímetro MERLIN.

Figura 5.

Instrumento Rugosímetro Merlín



Nota: (Oficina de apoyo tecnológico MTC)



superior y veinticinco en la inferior. Permite documentar el desplazamiento de puntos fijados en su perímetro, ofreciendo una escala gráfica precisa para medir y registrar el movimiento en el dispositivo.

Del Aguila (1999) ha informado que existe una relación de borde menor de la bisagra móvil del patín y la aguja giratoria que es de uno a diez. En lo que respecta a los dos dispositivos, se presume que existe este vínculo entre ellos. En términos de desplazamiento vertical, un movimiento de un centímetro de la aguja es comparable a un movimiento de un milímetro del borde del patín que se desliza sobre la aguja. La evaluación y documentación de la rugosidad de las superficies de la carretera se logra mediante el uso de este método.

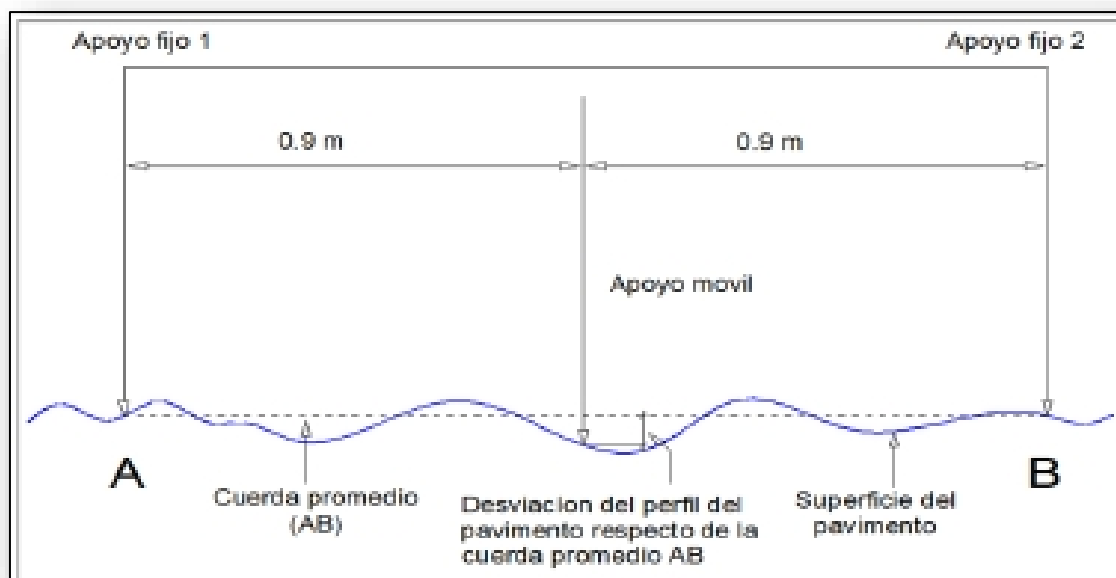
2.2.1.11.2. Metodología empleada para determinar la rugosidad.

Al determinar hasta qué punto las irregularidades se extienden desde una línea central hipotética, se utiliza el medidor de rugosidad conocido como Merlin para realizar la determinación requerida. Cuando se habla del desplazamiento vertical que se produce entre la superficie de la carretera y el centro de una longitud determinada, a menudo viene a la mente la expresión «desviación cordal media». La capacidad del equipo para captar este movimiento es fundamental para obtener una evaluación precisa de la rugosidad. Esta línea media suele tener una longitud de [insertar longitud aquí] si se tienen en cuenta las circunstancias de este discurso.

Con el fin de garantizar que el instrumento proporcione datos en los que se pueda confiar, es importante realizar evaluaciones en la ruta con el medidor de rugosidad a un intervalo constante de 200 lecturas. Existe una correlación entre el aumento de la rugosidad de la superficie de la carretera y el aumento de la variabilidad de los desplazamientos registrados por el sensor, como afirma Del Aguila (1999). Esta correlación ha sido demostrada por investigaciones. Esto es algo que se ha investigado al respecto.

Figura

Variación de la superficie del pavimento en función de la línea central media.



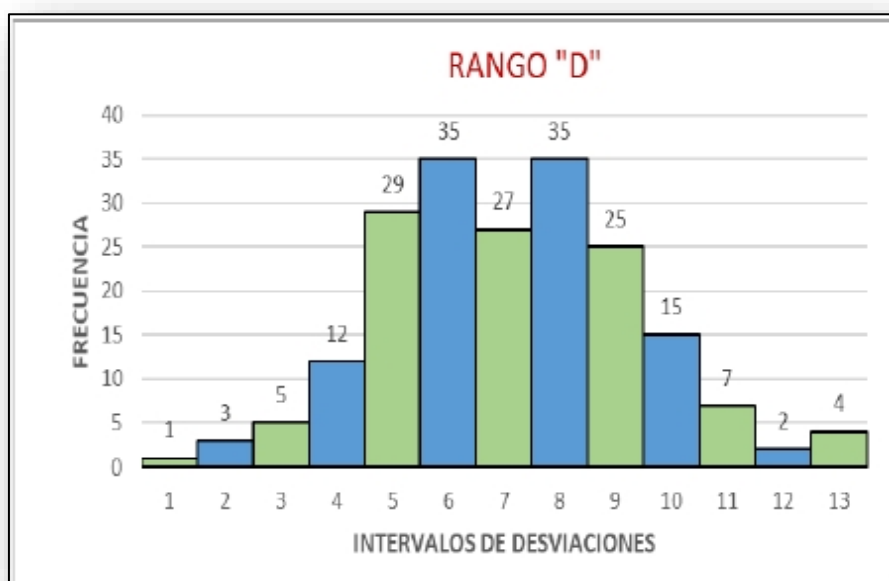
Nota: (Merliner, 1999)

Se requieren mediciones continuas de doscientas divergencias para lograr la construcción del gráfico de distribución de frecuencia. Las unidades de medidor de rugosidad, que se utilizan con el fin de cuantificar la rugosidad de la capa superficial, tienen una modificación que es un 10% más avanzada. Para el propósito de indicar la rugosidad de la capa superficial, el parámetro estadístico "D" es una herramienta importante. Con esta modificación, es necesario reunir diez puntos de datos en cada extremo del gráfico para cumplir con los criterios.

Para facilitar la conversión del "rango D" obtenido en unidades IRI, se realiza un cálculo de correlación especial. La relación que existe entre estos dos componentes es la base de este cálculo. En relación con esta modificación, la rugosidad puede ser comunicada mediante el uso del IRI, que es una medida que se emplea a menudo con el fin de analizar el estado de la vía.

Figura 8.

Gráfico de frecuencia por intervalos.



Nota: Adaptada del manual (Merliner, 1999)

2.2.1.11.3. Método de sondeo

Para evaluar la rugosidad, el Banco Mundial sugiere utilizar un sistema de clasificación que consta de cuatro categorías independientes.

Para establecer el procedimiento de medición con el rugosímetro MERLIN, se ha establecido que éste sea un perfilómetro estático, lo que se conoce como método de clase 1. Una de las características más destacadas de este procedimiento es su sorprendente precisión, que se midió en 0,98. Esta precisión fue medida. Del Aguila (1999), varios fabricantes abogan por el uso de esta tecnología expresamente para calibrar los instrumentos de evaluación de la rugosidad. Estas recomendaciones se basan en el hecho de que este método es preciso y relevante para medir superficies de terreno utilizando rieles y niveles.

Protocolo de ensayo. En el proceso de realización del examen, hay dos personas que participan activamente. Para obtener mediciones que van desde 1 hasta 50, un operador es responsable de manejar el instrumento. Como se puede observar en la Figura 8, es

responsabilidad de un asistente registrar esta información en un formato de campo que se basa en una cuadrícula de 20 por 10. Esta es la tarea del asistente mientras se lleva a cabo. Cuando se trata de la evaluación de la rugosidad, la conexión que existe entre el operador y el asistente garantiza la recopilación de datos confiables.

Figura 9.

Instrumento empleado para recopilar información.

ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN										
Carretera:										
Sector:										
Huella:										
Inspector:										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
Observaciones:										

Tipo de Pavimento	
Afirmado	<input checked="" type="checkbox"/>
Base granular	<input type="checkbox"/>
Base imprimada	<input type="checkbox"/>
Tratamiento bicapa	<input type="checkbox"/>
Carpeta en frío	<input type="checkbox"/>
Carpeta en caliente	<input type="checkbox"/>
Recapeo asfáltico	<input type="checkbox"/>
Sello	<input type="checkbox"/>
Otros	<input type="checkbox"/>

Busca un tramo de carretera de unos 400 metros de longitud y en un carril reservado para esta tarea; de lo contrario, el trabajo de campo no saldrá bien. Para resumir los hallazgos de la evaluación de la rugosidad, se utiliza una tabla. Esta evaluación implica la observación de irregularidades en la carretera en un total de doscientos sucesos diferentes. Estas observaciones son registradas por el rugosímetro MERLIN. A lo largo del tramo prescrito, se realizan observaciones de forma metódica a intervalos regulares de dos metros, tomando en cuenta la circunferencia de la rueda MERLIN después de que haya completado una vuelta. Si se desea tener una referencia que sea exacta, se recomienda delimitar la llanta. Para cada observación, existen tres puntos fijos que brindan apoyo al dispositivo cuando se



coloca en la carretera. Los elementos en disputa son el estabilizador que se utilizó para la prueba, las ruedas delanteras y el soporte trasero que se reparó. Según Del Aguila (1999), la operación de recolección de las mediciones se realiza durante todo el proceso.

2.2.1.11.4. Demostración de las correlaciones

El método que se utilizó para establecer una correlación entre los datos obtenidos del rugosímetro y el IRI se describe con más detalle después de este párrafo.

En cuanto a la situación en la que el IRI se encuentra entre 2,4 y 15,9

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D_C$$

Si el IRI es inferior a 2,4

$$IRI = 0.0485 \times D_C$$

Para evaluar el estado de las superficies que están compuestas por asfalto, grava o tierra, se utiliza la primera forma, que se denomina Forma 1. Por otro lado, la segunda forma se utiliza para evaluar el estado de los pavimentos recién creados. Estas ecuaciones permiten construir un vínculo entre los dos conjuntos de datos, de evaluación del estado de las carreteras y los pavimentos. Esta relación se puede establecer entre los datos producidos por el rugosímetro MERLIN y el IRI, que es una etapa vital en el proceso.

2.2.1.11.5. Cálculo de rugosidad

Para determinar el rango D, es esencial realizar una investigación sobre el grado de variabilidad que existe dentro de los datos que se recogen del rugosímetro MERLIN. La distribución de las mediciones obtenidas por la aguja se representa mediante un histograma de frecuencias, que se muestra en forma de histograma de frecuencias. Para clasificar los valores asociados que se encuentran dentro del rango de frecuencia (D), se elimina el 10 % de los datos. Este 10 % incluye el 5 % inferior y el 5 % superior del histograma, que se consideran no representativos o incorrectos. Debido a su proximidad a 25, es evidente que la superficie no es rugosa. Como resultado, podemos concluir que la superficie es plana. La



rugosidad de la superficie se indica mediante valores muy cercanos a 1 o 50. Esto es válido cuando se realizan mediciones de superficie. Basta con multiplicar el valor que aparece en el diagrama de frecuencia por el valor unitario, que en este caso es cinco milímetros, para obtener el valor en milímetros (mm). De este modo, se puede realizar la conversión. El valor se convertirá a milímetros como consecuencia de esta acción. Esto hace posible calcular la rugosidad MERLIN en esta escala, lo que anteriormente era difícil de hacer. Después de eso, la conversión a la escala IRI se lleva a cabo de la manera adecuada utilizando los pasos necesarios.

La relación de brazos del rugosímetro, que normalmente se establece en una relación de 1 a 10, está relacionada con la configuración del factor D del medidor. Esta relación también está vinculada a la relación del brazo. El medidor de rugosidad debe colocarse sobre una superficie plana y la primera lectura (por ejemplo, 25) debe tomarse con la plataforma móvil apoyada en el suelo para obtener este factor. A continuación, se obtiene una segunda serie de mediciones bajando y elevando la plataforma hasta el suelo. Tras este procedimiento, la indicación del gráfico se modificará para reflejar la relación estándar del brazo de 1:10, como es habitual.

Para realizar el ajuste "D", se utiliza la siguiente fórmula en caso de que el indicador se desvíe del valor previsto (que se encuentra aproximadamente en el campo 12):

La multiplicación del factor de corrección (F.C.) que será por el valor del rango "D" es un paso clave en el cálculo de la rugosidad. Una vez completado este procedimiento, el valor obtenido se expresa en "unidades MERLIN".

Se puede determinar el valor utilizando la siguiente expresión:

$$D_c = D \times F.C. \times RB$$

Donde:

D: rango D calculado



F.C.: *Factor de corrección*

RB: *Relación de brazos 45*

DC: *Rango D corregido*

La configuración del medidor de rugosidad se determina en función de la posición en la que se monta el patín en el brazo pivotante. La opción elegida especifica estos ajustes. Estas variables deben tenerse muy en cuenta, ya que la rugosidad de la carretera puede influir considerablemente en el procedimiento de evaluación.

SITUACIÓN 1: Para proporcionar una explicación más precisa, los ejes del rugosímetro se colocan a diez centímetros. Este caso concreto se tiene en cuenta. Periódicamente, este aparato se utiliza para evaluar pavimentos recién construidos. Uno a diez es la relación de brazos que se utiliza en este caso específico.

SITUACIÓN 2: Como alternativa para carreteras con superficies dañadas, se dispone de la posición de los ejes, que se sitúa a 20 centímetros de distancia. Con el fin de obtener una medición de rugosidad adecuada en este contexto, se utiliza una relación de palanca de 1:5, que requiere la multiplicación del valor D indicado por un factor de 2.

Ambos ejemplos ilustran el hecho de que el rugosímetro MERLIN puede utilizarse en una variedad de contextos diferentes. Además, destacan la necesidad de seleccionar el trazado más adecuado en función del estado de la carretera que se esté considerando.

La rugosidad de la escala del Índice de Regularidad de la Superficie (IRI) se determina utilizando tanto la ecuación (1) como la ecuación (2). Estos cálculos permiten convertir la rugosidad evaluada de unidades MERLIN a la escala IRI, lo que se lleva a cabo cuando se optimiza el estudio, dependiendo del tipo de pavimento que se esté estudiando. Utilizamos unidades MERLIN para medir la rugosidad de la carretera.

Cálculo de la rugosidad en la escala IRI. Para transformar los datos de rugosidad de la superficie de la carretera de las unidades MERLIN a la escala IRI, se puede utilizar la

ecuación (1) o la ecuación (2). Para completar la operación, se utilizan ambas ecuaciones. Para realizar este cambio, se debe seguir el mismo método que se utilizó anteriormente. Al decidir qué frase utilizar, el tipo de pavimento que se está examinando es el elemento que se tiene en cuenta. Como resultado del establecimiento de una relación entre las mediciones de rugosidad adquiridas con el rugosímetro MERLIN y los valores recibidos del Índice de Regularidad de la Superficie (IRI), estas ecuaciones permiten realizar un análisis con mayor precisión del estado de la superficie de la vía en el área circundante.

2.2.2. Serviciabilidad

Existe una relación importante entre el servicio, o el rendimiento útil de la superficie de la carretera, y el nivel de comodidad y seguridad que se ofrece al usuario. Existe un alto grado de concordancia entre estas dos variables. Se basa en cinco pilares: (1) diseño de carreteras centrado en el usuario; (2) evaluación de la comodidad del usuario basada en la percepción; (3) representación valorada por el usuario; (4) correlación entre las características físicas del pavimento y las evaluaciones subjetivas; y (5) uso histórico del pavimento como ejemplo del rendimiento de la carretera.

El estado de la superficie de la vía es el factor principal que influye en la calidad de la conducción en una carretera. Esta condición tiene un efecto sobre la seguridad del usuario, así como sobre su comodidad durante toda la experiencia de conducción. Esta característica se refleja en el Índice de Servidabilidad (PSI), que desempeña un papel importante para garantizar que la experiencia de conducción sea segura y placentera.

2.2.2.1. Índice de Serviciabilidad

La Sociedad Estadounidense de Funcionarios de Transporte por Carretera (ASHTO) fue pionera en la creación de formas objetivas de monitorear la degradación del pavimento con el fin de crear un vínculo entre las cualidades estructurales y funcionales de las carreteras. Esto se hizo con el fin de establecer una conexión entre las dos características.

En la tabla, podemos ver que el índice de habitabilidad comienza en 0 para las carreteras inaccesibles y llega hasta 5 para las superficies perfectamente transitables. En gran medida, este índice puede ayudar al mantenimiento y la reparación eficientes de las carreteras, ya que evalúa la resistencia del pavimento al tráfico de vehículos previsto.

El Índice de Servidumbre (PSI) evalúa el estado del pavimento mediante la inspección visual. Esta evaluación proporciona una visión general del estado funcional del pavimento, así como información crucial sobre su calidad y nivel de servicio. Las inspecciones y el mantenimiento periódicos de las carreteras son muy necesarios para la seguridad y el confort de los conductores.

2.2.2.1.1. Enlace entre PSI e IRI

En este trabajo, utilizamos el modelo HDMI II de Patterson de 1987 para comparar el Índice de Condición de la Superficie del Pavimento (PSI) actual con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). Varios lugares han utilizado esta fórmula para determinar el grado de correlación entre las estadísticas del IRI y el PSI, entre ellos, Sudáfrica, Brasil, Georgia y Pensilvania, entre otros.

$$PSI = \frac{5.0}{\exp\left(\frac{IRI}{5.5}\right)}$$

Donde:

IRI: Índice Internacional de Rugosidad

PSI: Índice de Serviciabilidad Presente

Dos académicos, Dujisin y Arroyo, propusieron una ecuación para incluir la rugosidad en las ecuaciones originales de la AASHO. Actuaron de esta manera al darse cuenta del profundo efecto que la rugosidad tenía sobre la transitabilidad.

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



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Categoría y nivel de investigación

Según el libro de Hernández, Baptista y Fernández de 2015, «Metodología de la investigación», este estudio es un ejemplo de investigación cuantitativa de nivel aplicado. El uso de este método garantiza que las variables no cambiarán en ningún momento a lo largo de las distintas fases del proceso de investigación y análisis. Para explorar el estado de la superficie de la carretera en un municipio en particular, se utilizan el IRI y el PSI como métodos de evaluación para el objetivo de esta investigación. El paso posterior es profundizar en estas señales.

3.1.1. NIVEL

DESCRIPTIVO: Esta metodología busca comprender los fenómenos evaluándolos directamente a través de la investigación en lugar de depender solo de marcos teóricos. Entre los autores que destacan la importancia de describir, explicar y anticipar eventos mediante el uso de la aplicación práctica y la evaluación empírica se encuentran Hernández y Sampieri, Fernández y Collado, y Baptista (2014).



3.1.2. Tipo

CUANTITATIVO: Esta técnica prioriza la recolección y el examen de datos para abordar las preguntas de investigación y validar los conceptos antes mencionados.

Para realizar un análisis preciso de los patrones de comportamiento mostrados por la población, se hace uso de enfoques estadísticos, cuantitativos y de conteo.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño utilizado fue no experimental, es decir, un diseño observacional y transversal, por lo que las variables permanecieron inalteradas y las evaluaciones se realizaron en un punto temporal singular. Esta estrategia, como lo describen Hernández Sampieri y Fernández Collado, implica observar lo que sucede en el entorno natural y luego investigar los resultados de esas observaciones.

- Se proporcionará un relato completo de los defectos y deficiencias en las superficies de la carretera.
- Se realizarán los cálculos que sean pertinentes en función de los datos que se hayan suministrado.
- Los datos estimados se utilizarán para formular una determinación sobre el estado de la superficie.
- Se extraerán conclusiones de los hallazgos adquiridos en la investigación.
- Se ofrecerán propuestas e ideas para mejorar el estado de la superficie del pavimento.

3.3. Descripción del ámbito de estudio de la investigación

3.3.1. Ubicación

3.3.1.1. Ubicación geográfica

La carretera no pavimentada está situada en la región sur del Perú, es decir, dentro de la provincia de Carabaya y el distrito de Macusani. Específicamente, se encuentra dentro

del departamento de Puno. El camino rural facilita la comunicación entre el Centro Poblado de Antajahua y el Centro Poblado de Huanutuyo.

A una altitud media de 3.825 metros sobre el nivel del mar, la zona geográfica objeto de estudio se encuentra situada en la cordillera central de los Andes.

3.3.1.2. Coordenadas geográficas

Para obtener las coordenadas geográficas, primero se deben procesar los datos UTM y luego convertir dichas coordenadas a coordenadas geográficas. La adquisición de las coordenadas geográficas comienza en esta etapa.

Tabla 2.

Ubicación geográfica del camino vecinal

Localidad	Latitud	
	Sur	Oeste
Inicio (Antajahua)	70°27'15"	13°59'28"
final (Huanutuyo)	70°28'12"	13°57'31"

3.3.1.3. Altitud

Específicamente, esta área de la zona de estudio se puede encontrar dentro de una ciudad que está geográficamente situada en medio de la cordillera de los Andes con un clima altamente agresivo.

Tabla 3.

Altura de las localidades

Localidad	Altura (m.s.n.m.)
Inicio (Antajahua)	4471
final (Huanutuyo)	4375

3.3.1.4. Ubicación

Considerando la situación política, el área de estudio se ubica en las siguientes regiones:

Distrito:	Macusani
Provincia:	Carabaya
Departamento:	Puno
Región:	Puno

Figura 10.

Mapa del Perú.



Figura 11.

Mapa de Puno.



Figura 12.

Mapa de Carabaya.



Figura 13.

Mapa del Camino vecinal





3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

El estudio se centrará en analizar la población de suelos específicamente ubicados en las carreteras no pavimentada del Centro Poblado Antajahua – Centro Poblado Huanutuyo.

3.4.2. Muestra

La ruta que seguirá esta investigación es la que une Antajahua y Huanutuyo, en el distrito de Macusani, provincia de Carabaya, departamento de Puno. El recorrido abarca desde el kilómetro 2000 hasta el kilómetro 5000.

3.5. Métodos, recursos e instrumentos utilizados en la investigación.

El objetivo principal de este estudio es examinar cómo se utilizan los niveles de servicio a lo largo de la ruta que une Antajahua y Huanutuyo para evaluar el estado de la carretera. Además, el proyecto pretende explorar otros métodos para resolver los problemas de seguridad vial detectados. De acuerdo con los términos de referencia, se pretende recopilar datos in situ y realizar un análisis comparativo para alcanzar este objetivo. Con el fin de presentar información detallada sobre las ventajas y desventajas del transporte, se utilizarán hojas de cálculo. Estas hojas de cálculo resaltarán las áreas de la carretera que han sobresalido en rendimiento, así como aquellas que han tenido fallas que tienen un impacto en la calidad general de la carretera. El uso de esta tecnología dará como resultado un estudio completo del estado actual de las carreteras y la provisión de recomendaciones para mejoras que mejorarán tanto el rendimiento como la seguridad de las carreteras.

Este estudio utilizará una amplia gama de instrumentos y tecnología, incluido el rugosímetro y el formulario MTC. Además, se utilizarán hojas de evaluación de Excel que abarcan varios criterios, incluidos, entre otros, la clasificación del vehículo y el estado de la superficie de la carretera. Es ampliamente conocido que estos dispositivos son excepcionales

cuando se trata de recopilar datos que sean precisos y relevantes en el contexto de la evaluación del estado de las carreteras. Este enfoque es útil porque facilita el análisis de las circunstancias de la carretera y contribuye a la generación de ideas y soluciones importantes que pueden utilizarse para mejorar la calidad y la seguridad de la carretera. En el curso de nuestra investigación, la técnica y las herramientas que se utilizaron.

Tabla 4.

Los métodos e instrumentos utilizados para recopilar datos.

Método	Técnica	Instrumentos
Deductivo	Observación de campo	Rugosímetro de Merlín (Instrumento de levantamiento de datos) Formato MTC (Instrumento de registro de datos)

3.6. Autenticidad y confiabilidad del instrumento

Una variedad de los formularios del MTC, se encuentran entre las herramientas que se utilizaron en esta investigación, como se muestra en la Tabla 9. Estos dispositivos están formalmente estandarizados y permitidos para mediciones de IRI, lo que obvia la necesidad de evaluar su confiabilidad y validez, ya que su uso está avalado por reglas oficiales establecidas.

3.7. Plan de recopilación y procesamiento de datos

3.7.1. Condición superficial

A lo largo de la recopilación de datos, las dos metodologías utilizadas para obtener el IRI y el PSI se mantuvieron independientes entre sí. El enfoque inicial consistió en determinar el IRI, lo que incluyó la recopilación de datos sobre el terreno y su posterior revisión. En la segunda fase, el enfoque principal fue el PSI, y los datos que se habían



recopilado para el IRI se utilizaron para derivar los valores del PSI que correspondían a esos valores.

ETAPA 1: La recopilación de datos de campo es necesaria para obtener el IRI.

Preparación y planificación: La técnica de recopilación de datos fue precedida por una preparación exhaustiva. Durante esta preparación se abordaron la formación de los responsables de la recopilación de datos, la selección de rutas o lugares adecuados y la identificación del equipo y los instrumentos necesarios.

Equipamiento y calibración: La precisión de las mediciones se comprobó inspeccionando y calibrando cada equipo de medición para garantizar que funcionara correctamente.

Recopilación de datos en campo:

Utilizando equipos de medición de rugosidad, se realizó la recopilación de datos en las carreteras que se asignaron para este propósito. La estructura que se describe a continuación se utilizó para registrar las anomalías que se presentaron en la superficie de la carretera en ciertas áreas.

A continuación, se dejó reposar el puntero durante unos instantes para que su posición pudiera seguirse con respecto a la escala del tablero y se pudiera realizar una lectura precisa. El segundo estudiante que estaba trabajando en la tesis fue quien documentó los valores que se registraron en el formulario que se proporciona aquí.

Figura 14.

Formato de recopilación de datos para el IRI

ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN												
Carretera:				Ensayo N°:								
Sector:				Progresora:								
Huella:				Fecha:								
Inspector:												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tipo de Pavimento	
1											Afirmado	<input checked="" type="checkbox"/>
2											Base granular	<input type="checkbox"/>
3											Base imprimada	<input type="checkbox"/>
4											Tratamiento bicapa	<input type="checkbox"/>
5											Carpeta en frío	<input type="checkbox"/>
6											Carpeta en caliente	<input type="checkbox"/>
7											Recapeo asfáltico	<input type="checkbox"/>
8											Sello	<input type="checkbox"/>
9											Otros	<input type="checkbox"/>
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
Observaciones:												

Posteriormente, se realizaron mediciones en otra posición, esta vez en ambos lados de la carretera, en contraste con la primera ubicación. Se obtuvieron un total de doscientas lecturas de cada lado como consecuencia de las mediciones realizadas en una serie de segmentos de 400 metros que se sucedían.

Tratamiento de datos: La información obtenida de una muestra de cincuenta variaciones medidas en tierra se utilizó para construir una tabla y se construyó un histograma utilizando los datos.

Análisis y validación:

Los valores se categorizaron sistemáticamente en un intervalo de frecuencia (D) calculando los intervalos de los datos recopilados y luego organizándolos en consecuencia. Se optó por aplicar un filtro, lo que resultó en la eliminación del cinco por ciento de los datos tanto del extremo izquierdo como del derecho del histograma. Esto permitió realizar un análisis más completo al eliminar los 10 puntos de datos más bajos y los 10 más altos del conjunto de datos.

El intervalo ajustado (D_c) se determinó luego utilizando la siguiente fórmula:

$$D_c = FC \times 5 \times D \times RB$$

Dónde: $FC = 0.95385$

$D = 30.667$

RB : Relación de brazo = 1

Al obtener el rango corregido (D_c), se calculó el IRI utilizando la ecuación que se muestra en la siguiente ilustración:

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times DC$$

Informe: Por último, se prepararon informes, incluyendo los valores de IRI para cada una de las diferentes longitudes examinadas durante esta fase del procedimiento.

ETAPA 2: Metodología utilizada para obtener los valores del PSI

Para obtener los valores PSI utilizando el IRI, los autores utilizaron un enfoque de aproximación que fue descrito por Sayers, Gillespie y Queiroz. La siguiente es una posible expresión de la fórmula:

$$PSI = \frac{5.0}{\exp\left(\frac{IRI}{5.5}\right)}$$

Tras la fase inicial de recopilación de los valores IRI para las bandas izquierda y derecha, la segunda fase consistió en calcular la media de estos valores. Nuestro objetivo



era obtener un valor IRI medio que reflejara bien las propiedades de rugosidad de ambas bandas.

La etapa posterior consistió en incorporar cada valor medio del IRI para los segmentos de 400 metros en la fórmula que había sido presentada previamente por Sayers, Gillespie y Queiroz. Los valores del PSI para cada sección se calcularon de acuerdo con los criterios que se discutieron anteriormente. A continuación, se realizó un cálculo para obtener el promedio de estos valores de PSI. La tabla denominada "Tabla N.º 12" contiene los resultados derivados de este enfoque sistemático.

3.7.2. Relación entre el IRI y el PSI

Es necesario realizar un estudio estadístico para evaluar la covariación de las dos variables y determinar la existencia de una correlación entre el IRI y el PSI. Un enfoque metódico para descubrir esta conexión es:

Identificación de fuentes de datos: Las bases de datos del Instituto de Investigación de Infraestructuras y del Índice de Estado del Pavimento, los registros de mantenimiento de carreteras, los datos de inspecciones sobre el terreno y los dispositivos de monitorización del pavimento son algunas de las posibles fuentes de datos. Estos recursos son fundamentales para comprender la relación entre las dos variables.

Medición del IRI: El uso de tecnología especializada, como equipos de perfilado de tráfico, es esencial para evaluar el IRI en segmentos de carretera específicos. Es vital llevar a cabo estas medidas de acuerdo con los estándares y procesos que se han establecido para garantizar que los hallazgos que se adquieran sean correctos y consistentes.

Medición del PSI: Examine el PSI para secciones específicas de la carretera utilizando procedimientos estándar. Como parte de este proceso, podemos utilizar ciertos criterios establecidos para realizar inspecciones visuales, análisis estructurales y



evaluaciones de la calidad del pavimento. Para obtener una evaluación fiable del estado del pavimento, es esencial seguir estos protocolos.

Procesamiento de datos: Para eliminar errores o anomalías de los datos, es necesario llevar a cabo un proceso de tratamiento y limpieza. Es solo a través de esta acción que los datos serán aceptables para el análisis. Es importante que esta fase se lleve a cabo obteniendo el estado de la carretera.

3.8. Tabulación y evaluación de datos

Se utilizó Excel, que es una herramienta de hoja de cálculo, para organizar y analizar con éxito los datos. Para lograr los resultados previstos, los datos obtenidos se procesaron utilizando la fórmula indicada y se realizaron los cálculos necesarios. Se utilizaron representaciones gráficas de los resultados y diagramas relacionados con cada componente de la muestra para transmitir los hallazgos. Los datos sobre la rugosidad de la superficie en partes particulares se entendieron e interpretaron mejor como resultado de esta representación visual que se ofreció de esta manera.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. A nivel de la variable X/I. capacidad vial

Tabla 5.

Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

Tramo: CENTRO POBLADO ANTAJAHUA – CENTRO POBLADO HUNUTUYO				
Progresiva	IRI(m/km)			Transitabilidad
	Huella Izquierda	Huella Derecha	Promedio	
0+000.0KM - 0+400.0KM	6.45	7.65	7.05	Regular
0+400.0KM - 0+800.0KM	7.25	6.25	6.75	Regular
0+800.0KM - 1+200.0KM	6.27	6.78	6.53	Regular
1+200.0KM - 1+600.0KM	7.89	7.65	7.77	Regular
1+600.0KM - 2+000.0KM	8.34	7.58	7.96	Regular
2+000.0KM - 2+400.0KM	9.53	8.32	8.93	Inadecuado
2+400.0KM - 2+800.0KM	7.11	7.45	7.28	Regular
2+800.0KM - 3+200.0KM	8.35	6.68	7.52	Regular
3+200.0KM - 3+600.0KM	6.68	6.85	6.77	Regular
3+600.0KM - 4+000.0KM	8.36	7.44	7.90	Inadecuado
4+000.0KM - 4+400.0KM	7.15	8.13	7.64	Regular
4+400.0KM - 4+800.0KM	5.82	5.64	5.73	Bueno
4+800.0KM - 5+000.0KM	5.88	6.36	6.12	Regular
PROMEDIO =			7.225	Regular

El IRI, para las huellas de los carriles izquierdo y derecho se muestra en la Tabla 10, que también incluye un promedio de los datos para cualquier representación gráfica adicional que pueda requerirse.

Tabla 6.

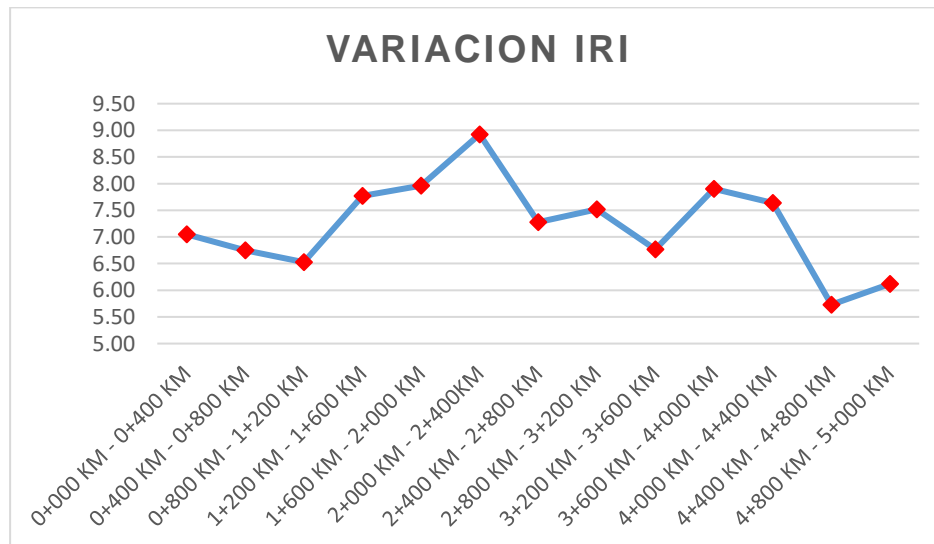
Resultados del ÍRI

ÍRI	Nº DE TRAMOS	% DE PROPORCIÓN
Bueno	1	8%
Regular	10	77%
Inadecuado	2	15%
Pésimo	0	0%
Total	13	100%

La Tabla 6 resume el IRI, reflejando la transitabilidad actual de las vías examinadas e indicando su nivel de condición.

Figura 15.

Resultados del Índice de Regularidad Internacional – Variaciones

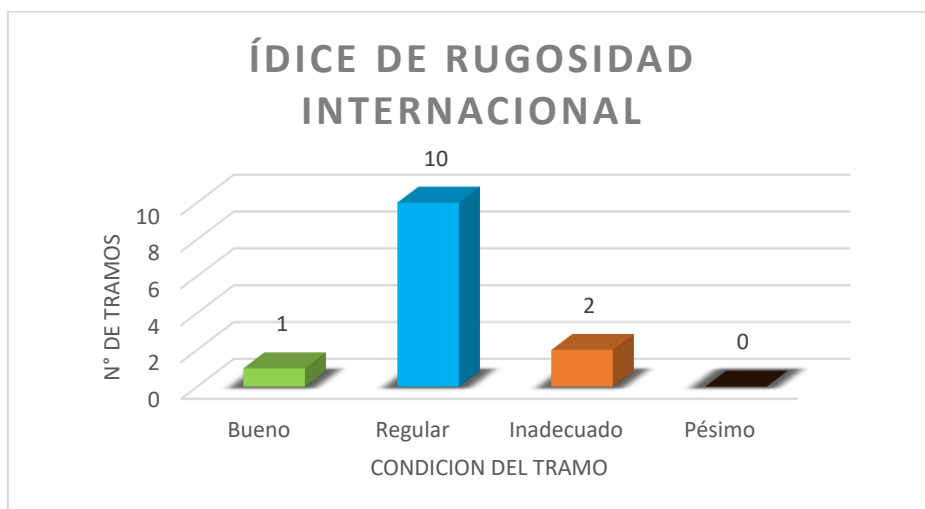


La Figura 15 muestra los puntajes del Índice de Rugosidad Internacional como variables, lo que demuestra la imprevisibilidad del escenario. En general, la mayoría se

mantiene estable, fluctuando entre 5 y 10 a lo largo de muchos avances, especialmente en el tramo que va del kilómetro 0+800 al kilómetro 3+200.

Figura 16.

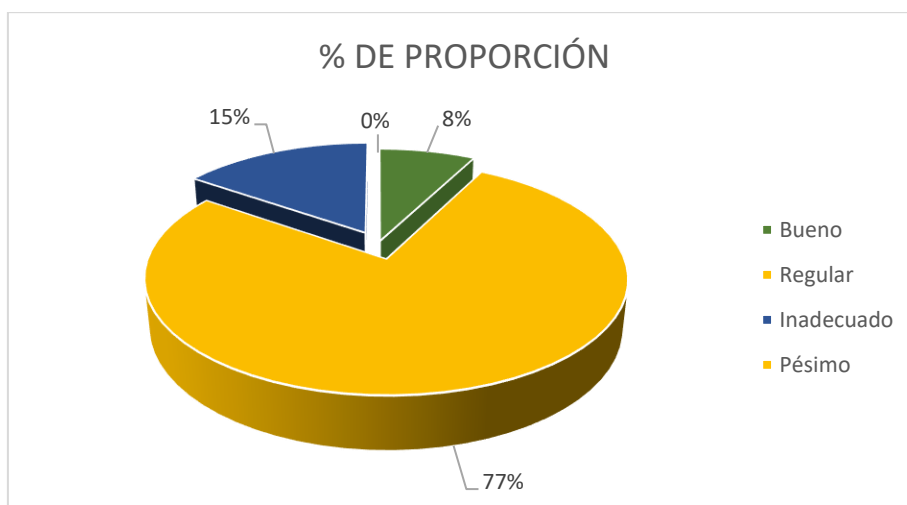
Resultados del Índice de Regularidad Internacional – tramos



La Figura 16 indica que dos segmentos de la vía rural exhiben un nivel insuficiente de rugosidad de la ruta, diez segmentos poseen una calificación regular y un segmento tiene una combinación excelente.

Figura 17.

Resultados del Índice de Regularidad Internacional – porcentaje



Los resultados de la evaluación se muestran en la Figura 17, que demuestra que el 15% de los tramos evaluados presentan una rugosidad inadecuada, el 77% se encuentran en condiciones normales y el 8% restante presentan una rugosidad extraordinaria.

Tabla 7.*Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)*

Tramo: CENTRO POBLADO ANTAJAHUA – CENTRO POBLADO HUANUTUYO			
Progresiva	IRI Prom. (m/km)	PSI	
0+000.0KM - 0+400.0KM	7.05	1.39	Inadecuado
0+400.0KM - 0+800.0KM	6.75	1.47	Inadecuado
0+800.0KM - 1+200.0KM	6.525	1.53	Inadecuado
1+200.0KM - 1+600.0KM	7.77	1.22	Inadecuado
1+600.0KM - 2+000.0KM	7.96	1.18	Inadecuado
2+000.0KM - 2+400.0KM	8.925	0.99	Inadecuado
2+400.0KM - 2+800.0KM	7.28	1.33	Inadecuado
2+800.0KM - 3+200.0KM	7.515	1.28	Inadecuado
3+200.0KM - 3+600.0KM	6.765	1.46	Inadecuado
3+600.0KM - 4+000.0KM	7.9	1.19	Inadecuado
4+000.0KM - 4+400.0KM	7.64	1.25	Inadecuado
4+400.0KM - 4+800.0KM	5.73	1.76	Inadecuado
4+800.0KM - 5+000.0KM	6.12	1.64	Inadecuado
PROMEDIO =		1.36	Inadecuado

En la tabla 7 se explica la clasificación de los resultados del PSI como «Deficiente», «Insuficiente», «Aceptable», «Bueno» y «Muy bueno». Los resultados que oscilan entre 0 y 1 se clasifican de esta manera. También se incluye una comparación entre el PSI y el IRI.

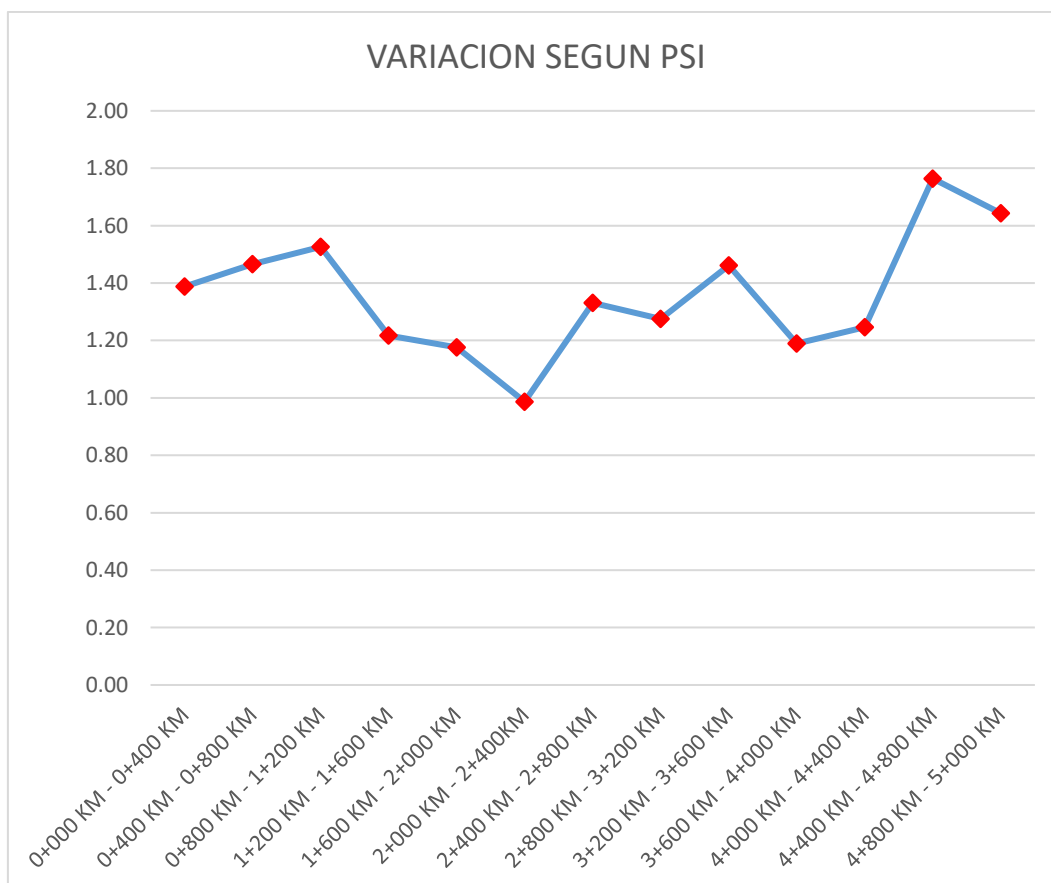
Tabla 8.*Resultados del (PSI).*

ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE	Nº DE TRAMOS	% DE PROPORCIÓN
Muy bueno	0.0	0.0%
Bueno	0.0	0.0%
Regular	0.0	0.0%
Inadecuado	13.0	100%
Pésimo	0.0	0%
Total	13	100%

La Tabla 8 resume la transitabilidad actual de los tramos progresivos evaluados según el PSI, delineando su condición en un formato conciso con base en la clasificación establecida por este índice.

Figura 18.

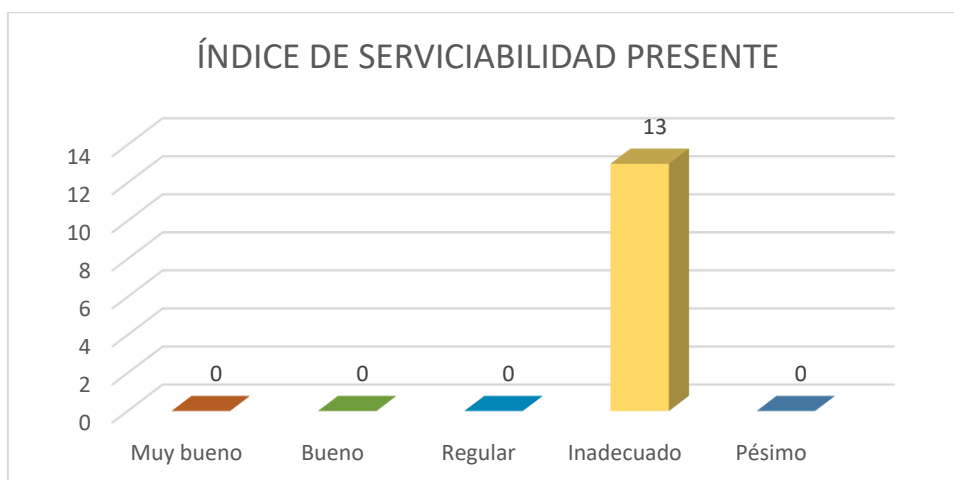
Resultados del (PSI) – Variaciones



La Figura 18 ilustra una fluctuación en el índice de transitabilidad, que en su mayoría indica una situación adversa, categorizada como "insatisfactoria" en una escala de 1 a 2. Un ejemplo es el segmento del kilómetro 0+800 al kilómetro 4+000.

Figura 19.

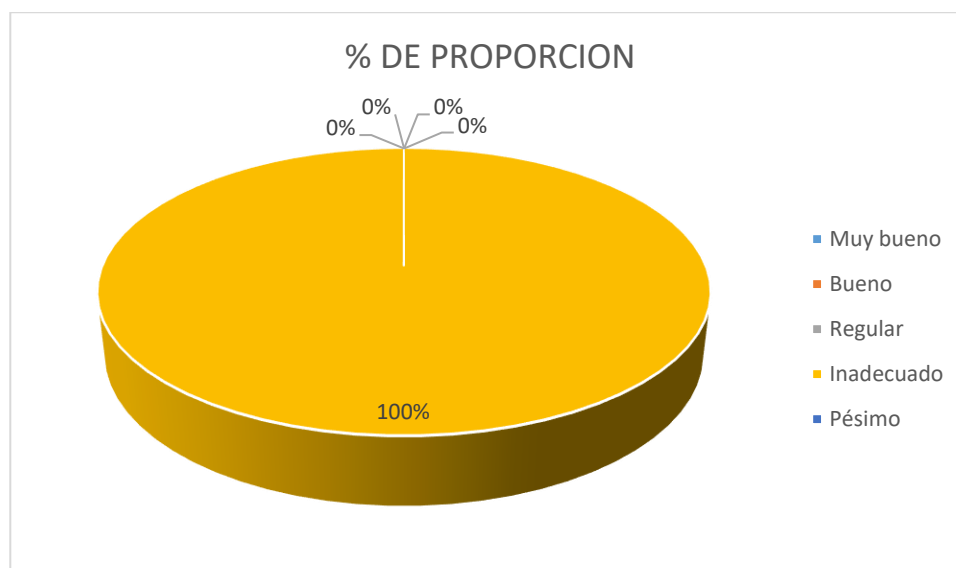
Resultados del (PSI) – tramos



La Figura 19 ilustra que los trece segmentos de la carretera local están calificados como "inadecuados".

Figura 20.

Resultados del (PSI) – porcentaje



La Figura 20 ilustra que todos los ítems evaluados, el 100%, presentan un estado de transitabilidad "malo" o "inadecuado".



4.2. Discusión

Con base en los resultados, se ha determinado que el 58 por ciento de la vía no pavimentada que comunica el Centro Poblacional Solitario con el Centro Poblacional Huijipata presenta condiciones superficiales inadecuadas o malas, lo que genera preocupaciones tanto sobre la seguridad como sobre la durabilidad. Basándonos en investigaciones anteriores y nuestra experiencia, establecimos umbrales de 10 para el IRI y 2 para el PSI. Esto da lugar a nuestra hipótesis: mejorar la condición de la superficie dentro de estos parámetros mitigará los problemas de seguridad y durabilidad.

La hipótesis de trabajo para el IRI es $H_1 X < 10$, lo que significaría que la media de los valores del IRI sería menor que 10.

X es mayor que 10, que es la media de los valores del IRI, según la hipótesis nula $H_0 X$.

La hipótesis alternativa es que el valor de X es igual a diez, que es la media de los valores del IRI.

En el caso del PSI, el valor de $H_1 Y$ es menor que dos, lo que indica que la media de las lecturas del PSI es menor que dos.

Hipótesis de no efecto (H_0): Y es mayor que 2 (la media de las lecturas del PSI es mayor que 2)

$H_a Y = 2$ (la media de las lecturas del PSI es igual a 2) es la hipótesis alternativa en este punto.

Descubriremos que ambas hipótesis de trabajo se sustentan cuando comparemos los valores estimados en nuestra hipótesis con los promedios que descubrimos a partir de nuestro estudio para el IRI y el PSI. Las hipótesis de estimación estadística son consideradas como hipótesis de diferencia por varios académicos, como lo señala Black y Champion

(1976). La razón de esto es que, al final, se evalúa la diferencia entre un valor que se asume y un valor que se encuentra.

Tabla 9.

Evaluación final de la condición superficial

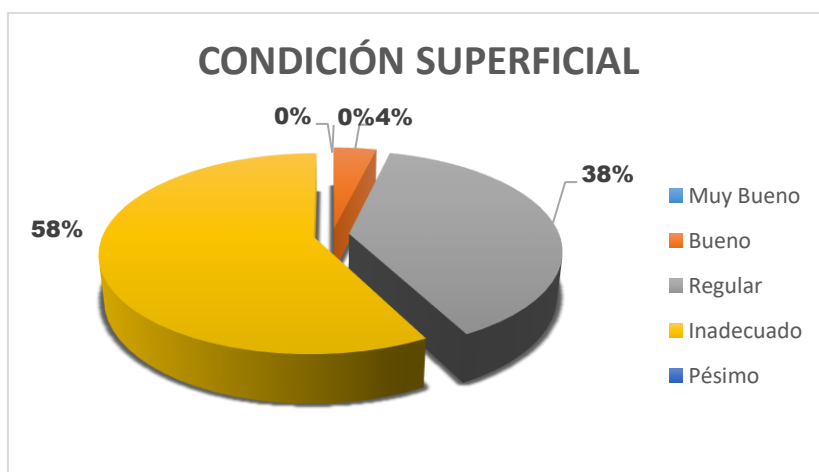
CONDICIÓN SUPERFICIAL	Muy Bueno	Bueno	Regular	Inadecuado	Pésimo
Índice de Rugosidad Internacional	0	1	10	2	0
Índice de Serviciabilidad Presente	0	0	0	13	0
Total	0	1	10	15	0
Total %	0%	4%	38%	58%	0%

La degradación superficial, el Índice de Superficie del Pavimento (PSI) y el Índice IRI, son algunos de los parámetros que se tienen en cuenta a lo largo del proceso de recogida de datos sobre el estado de la superficie. Estos elementos se pueden consultar en la Tabla 14, a la que se puede acceder aquí. Para proporcionar una evaluación integral de la ruta, hay un segmento que se registra como en buen estado, diez porciones que están en condiciones aceptables y quince secciones que también están en mal estado.

Figura

21.

Resultado de la condición superficial



La Figura 21 indica que ningún segmento de la carretera local se encuentra en un estado muy malo o pésimo; el 58% del segmento de la carretera local se encuentra en condiciones insuficientes, el 38% en condiciones aceptables y el 4% en condiciones excelentes.

Tabla 10.

Evaluación final de la vía.

Progresiva		Tipo de Terreno	Pendiente (%)		Ancho Superf. Rodadura
Del Km	Al Km		Mín.	Máx.	
0+000	0+400.0	1	6.1	7.3	3.50
0+400	0+800.0	2	1.9	2.5	3.80
0+800	1+200.0	2	1.4	1.9	3.60
1+200	1+600.0	3	0.9	1.3	3.50
1+600	2+000.0	2	1.3	1.7	3.60
2+000	2+400.0	2	0.6	1.5	3.40
2+400	2+800.0	4	2.1	3.3	3.30
2+800	3+200.0	4	2.5	2.6	3.70
3+200	3+600.0	2	1.3	1.5	3.40
3+600	4+000.0	2	0.9	1.4	3.90
4+000	4+400.0	1	0.8	1.2	4.20
4+400	4+800.0	1	1.3	1.6	4.10
4+800	5+000.0	3	1.3	1.6	3.80

TIPO DE TERRENO	Plano (Tipo 1)	Ondulado (Tipo 2)	Accidentado (Tipo 3)	Escarpado (Tipo 4)
Pendiente longitudinal	p% < 3%	3% > p% < 6%	6% > p% < 8%	p% < 8%

Se proporciona información específica para cada componente en progreso, como se ve en la Tabla 10, que muestra la información. Las características que se incluyen en esta información son el tipo de terreno, el grado de pendiente y la anchura de la huella. Nuestra comprensión se mejora como resultado de esta descripción, que proporciona información particular sobre las características de cada porción de la carretera. Esto hace que sea más fácil evaluar y planificar futuras mejoras o mantenimientos que sean del nivel adecuado.

CONCLUSIONES

Una vez finalizada la investigación, finalmente se recopilaron los datos e información que se requirieron para proceder con los resultados correspondientes a la investigación.

PRIMERO. Entre el Centro Poblado Antajahua (kilómetro 0+000) y el Centro Poblado Huanutuyo (kilómetro 5+000) del departamento de en el año 2024, se presentan las siguientes condiciones superficiales del pavimento en cuanto al IRI del pavimento: $IRI = 7.225$ que corresponde a un estado Regular

A continuación, se indican los valores máximo y mínimo del IRI obtenidos:

El IRI más alto posible es 8,93, lo que lo sitúa en la categoría de Malo.

El IRI mínimo se ha fijado en 5,73, lo que equivale a un criterio de Bueno.

SEGUNDO. Desde el Centro Poblado Antajahua (kilómetro 0+000) hasta el Centro Poblado Huanutuyo (kilómetro 5+000) en el departamento de en el año 2024, se presentan las siguientes condiciones superficiales del pavimento en términos del PSI del pavimento:

Cuando el PSI es igual a 1,36, indica que la transitabilidad es inadecuada o mala.

Para el PSI obtenido, se encontraron los siguientes valores máximos y mínimos:

PSI máxima = 1.76 que representa una transitabilidad de Inadecuado o malo

PSI mínima = 0.99 representa una transitabilidad Inadecuado

TERCERO. Es necesaria la intervención para mejorar los niveles de rugosidad y transitabilidad del pavimento de la ruta vecinal que une al Centro Poblado de Antajahua (kilómetro 0+000) con el Centro Poblado de Huanutuyo (kilómetro 5+000) en el departamento de Puno. Esta ruta se encuentra en el



departamento de Puno del departamento. Se ha establecido, después de tener en cuenta todos los aspectos antes mencionados, que el estado actual de la carretera local evaluada no es adecuado.



RECOMENDACIONES

PRIMERO. Una idea que podría considerarse a la luz del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) es la de realizar operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo para mejorar el estado de la superficie de la carretera en las zonas en las que se han detectado valores elevados del IRI. Este es uno de los marcos teóricos que pueden investigarse. Los resultados del estudio servirían como base para esta estrategia, que también tendría en cuenta las características de la ruta que se elegiría. Esto puede implicar la realización de operaciones de rehabilitación de la superficie de la carretera, como rellenar baches y nivelar la superficie de la carretera. La comodidad y la seguridad de los usuarios de la vía pública son los objetivos principales de estas actividades, que tratan de mejorar el estado de las carreteras. Además, vale la pena considerar la posibilidad de realizar inspecciones y evaluaciones periódicas del firme para detectar cualquier problema en una fase temprana. Esto es algo que se puede considerar. Esto se puede hacer con el fin de garantizar que las circunstancias del tránsito sigan siendo seguras.

SEGUNDO. Para mejorar el estado de la carretera, se recomienda realizar mantenimiento preventivo y reparaciones. El proceso de nivelación de la superficie es un área que necesita atención específica con el fin de mejorar la comodidad del tráfico y garantizar la seguridad de quienes utilizan el sistema de transporte. La categorización de los resultados del PSI como «Deficiente», «Insuficiente», «Aceptable», «Bueno» y «Muy bueno» se explica en la tabla 7. Esta es la única forma de clasificar los resultados que oscilan entre 0 y 1. También se incluye una comparación entre el PSI y el IRI.



TERCERO. Se recomienda aplicar un tratamiento con el aditivo PROES a la calzada local que se extiende desde Centro Poblado Solitario (kilómetro 0 mil) hasta Centro Poblado Huijipata (kilómetro 5 mil). Este tratamiento se aplicaría en la superficie de la vía. Esto es parte de una intervención que busca mejorar los niveles de rugosidad y transitabilidad de la vía. Teniendo en cuenta que la vía se encuentra en mal estado, se brinda esta recomendación.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- (Alvarado Mariño R. A, 2012). "Evaluación de la gestión de mantenimiento rutinario de la carretera afirmada Aija – La Merced Km. 0+000 AL Km. 08+800 Aija – Áncash 2010- 2011.Ancash, Perú. (s.f.).
- Badilla Vargas, G. (2009). *Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI):*
- Cordero Huanca, L. A. (2019). *Serviciabilidad del pavimento flexible y transitabilidad vehicular - Avenida Carlos Izaguirre intersección Avenida 12 de Octubre, distrito San Martín de Porres, Lima en el 2018*
- Adaptado de Work bank Technical Paper Number 46 y Norma ASTM E - 950 – 98. (s.f.).
- Guirguis M. (2018) "Design and performance assessment of chip seal applications" (Tesis de posgrado) Universidad del Estado de Iowa, Estados Unidos
- Alejos Perez, M. & Caceres Vidal, J. C. (2016). "Alternativas para la transitabilidad al anexo Huacacorral del distrito de Guadalupe – Viru – La Libertad .La libertad, Perú".
- Alvarado Mariño R. A. (2012). "Evaluación de la gestión de mantenimiento rutinario de la carretera afirmada Aija – La Merced Km. 0+000 AL Km. 08+800 Aija – Áncash 2010- 2011.Ancash, Perú".
- Colque C. (2023) "Análisis de la Capacidad vial y nivel de servicio de la vía afirmada Jarpaña – Orduña del Distrito de Paratia Provincia de Lampa Región Puno. (Tesis de posgrado) - Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Puno, Perú
- Banco Mundial y la American Society for Testing and Materials ASTM E. (1926-98).
- Black, J. A. y Champion, D.J. (1976). "Methods and issues in social research, Nueva York, pág. 56 (citado por Roberto Hernández Sampieri, et al. (2003) Metodología de la Investigación, México".



- Chevarría B, E. (2019). "*Correlación entre el índice de regularidad internacional y el índice del inventario de condición del Ministerio de Transportes y Comunicaciones*". Tesis de Pregrado, Universidad San Martín de Porres. Lima – Perú.
- Cordero H, L. (2019). "*Análisis del índice de Serviciabilidad del pavimento flexible en la Avenida Túpac Amaru km 11, Comas-Lima 2018*". Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo.
- Muñoz, L (2018) "Evaluación Superficial del Pavimento Flexible del Tramo 3 de la Carretera Interoceánica Norte Perú - Brasil Aplicando el Método PCI" (Tesis de pregrado) Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú
- Del Águila R, P. (1999). Manual de Usuario merliner: Merlin equipo para rugosidad. Lima: Camineros S.A.C.*
- Gobierno regional de puno. (2016). *estudio definitivo para el mejoramiento de la carretera PU 135 checca - Mazocruz. Puno.*
- Justo Casaretto, M.A. (2013). "*Experiencia de medición de niveles de servicio en carreteras asfaltadas en la zona de Selva. Lima, Perú*".
- Manual de capacidad de carreteras 2000 highway capacity manual HCM . (2000).
- Manual de carreteras conservación vial MTC. (2013).
- Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas. (2005).
- Manual de seguridad vial (MSV) R.D n°05 – 2017 – MTC. (2014).
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, pág. 157. (2014).
- Salto Zavala, E. L. (2023). *Determinación del índice de rugosidad internacional de la vía los Ángeles-Andil* (Bachelor's thesis, Jipijapa-Unesum).
- Tingal Limay, H. (2021). Análisis de índice de rugosidad internacional (IRI) de la superficie del pavimento flexible de la vía Cajamarca-Baños del Inca, utilizando el rugosímetro de Merlin.



Tovar, G. L. (1986). *El asentamiento y la segregación de los Blancos y Mestizos*. Bogotá:

Cengage.



ANEXOS



ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO ANTAJAHUA – HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

RESPONSABLE: Bach. LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA									
PROBLEMA	OBEJIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	VALORACIÓN	UNIDAD DE ANÁLISIS	
G E N E R A L	¿Cuál es la serviciabilidad en términos de IRI y PSI del camino vecinal Centro Poblado Antajahua hacia Centro Poblado Huanutuyo del distrito de Macusani, Región Puno?	Analizar la serviciabilidad del afirmado en términos del IRI y PSI del camino vecinal Centro Poblado Antajahua hacia Centro Poblado Huanutuyo del distrito de Macusani, Región Puno. Poblado Solitario – Centro Poblado Huijipata de la Provincia de Huancané Región Puno.	Condición superficial del afirmado	IRI	Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	Rugosímetro de Merlín (Instrumento de levantamiento de datos) Formato MTC (Instrumento de registro de datos, ver ANEXO 3)	m/km	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Cuantitativo - Explicativo NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Aplicativo DISEÑO: No experimental POBLACIÓN Y MUESTRA El estudio se enfoca en carreteras en Puno con similitudes en sus características.	
	¿Cuál será el valor del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) del afirmado del camino vecinal Centro Poblado Antajahua hacia Centro Poblado Huanutuyo del distrito de Macusani, Región Puno?	Calcular el valor del Índice de Serviabilidad Presente (PSI) del afirmado del camino vecinal Centro Poblado Antajahua hacia Centro Poblado Huanutuyo del distrito de Macusani, Región Puno.							El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) en el afirmado del camino vecinal que conecta al Centro Poblado Antajahua hacia el Centro Poblado Huanutuyo del distrito de Macusani, Región Puno, es inferior a 10.
	¿Cuál es el valor del Índice de Serviabilidad Presente (PSI) del afirmado del camino vecinal Centro Poblado Antajahua hacia Centro Poblado Huanutuyo del distrito de Macusani, Región Puno?	Determinar el valor del Índice de Serviabilidad Presente (PSI) del afirmado del camino vecinal del Centro Poblado Antajahua hacia el Centro Poblado Huanutuyo del distrito de Macusani, Región Puno.							El Índice de Serviabilidad Presente (PSI) en el afirmado del camino vecinal Centro Poblado Antajahua hacia el Centro Poblado Huanutuyo del distrito de Macusani, Región Puno, está por debajo de 2.
E S P E C I F I C O S	¿Cuál será el estado situacional del camino vecinal Centro Poblado Antajahua hacia Centro Poblado Huanutuyo del distrito de Macusani, Región Puno?	Analizar el estado situacional del camino vecinal Centro Poblado Antajahua hacia el Centro Poblado Huanutuyo del distrito de Macusani, Región Puno	Análisis del PSI en Relación al IRI	PSI	Índice de Serviabilidad Presente (PSI)	Formato MTC	Adimensional		
									La aplicación de medidas de estabilización del afirmado mejora el IRI y el PSI en el afirmado del camino vecinal Centro Poblado Antajahua hacia Centro Poblado Huanutuyo del distrito de Macusani, Región Puno.



ANEXO 2. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Formato de la condición superficial - Índice Internacional de Rugosidad

TESIS

DETERMINACION DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO

ANTAJAHUA – HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI, REGIÓN PUNO

Índice Internacional de Rugosidad

ESTADO	RUGUSIDAD
Bueno	$IRI \leq 6$
Regular	$6 < IRI \leq 8$
Inadecuado	$8 < IRI \leq 10$
Pésimo	$10 \leq IRI$

Tramo: CENTRO POBLADO ANTAJAHUA – CENTRO POBLADO HUNUTUYO

Progresiva	IRI(m/km)			Transitabilidad
	Huella Izquierda	Huella Derecha	Promedio	
0+000 KM - 0+400 KM	6.45	7.65	7.05	Regular
0+400 KM - 0+800 KM	7.25	6.25	6.75	Regular
0+800 KM - 1+200 KM	6.27	6.78	6.53	Regular
1+200 KM - 1+600 KM	7.89	7.65	7.77	Regular
1+600 KM - 2+000 KM	8.34	7.58	7.96	Regular
2+000 KM - 2+400KM	9.53	8.32	8.93	Inadecuado
2+400 KM - 2+800 KM	7.11	7.45	7.28	Regular
2+800 KM - 3+200 KM	8.35	6.68	7.52	Regular
3+200 KM - 3+600 KM	6.68	6.85	6.77	Regular
3+600 KM - 4+000 KM	8.36	7.44	7.90	Inadecuado
4+000 KM - 4+400 KM	7.15	8.13	7.64	Regular
4+400 KM - 4+800 KM	5.82	5.64	5.73	Bueno
4+800 KM - 5+000 KM	5.88	6.36	6.12	Regular
PROMEDIO =			7.225	Regular



ANEXO 3. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Formato de la condición superficial - Índice de Serviciabilidad Presente

TESIS

ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO

ANTAJAHUA – HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO

Índice de Serviciabilidad Presente

PSI	TRANSITABILIDAD
0 - 1	Pésimo
1 - 2	Inadecuado
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy buena

Tramo: CENTRO POBLADO ANTAJAHUA – CENTRO POBLADO HUANUTUYO

Progresiva	IRI Prom. (m/km)	PSI	
0+000 KM - 0+400 KM	7.05	1.39	Inadecuado
0+400 KM - 0+800 KM	6.75	1.47	Inadecuado
0+800 KM - 1+200 KM	6.525	1.53	Inadecuado
1+200 KM - 1+600 KM	7.77	1.22	Inadecuado
1+600 KM - 2+000 KM	7.96	1.18	Inadecuado
2+000 KM - 2+400KM	8.925	0.99	Inadecuado
2+400 KM - 2+800 KM	7.28	1.33	Inadecuado
2+800 KM - 3+200 KM	7.515	1.28	Inadecuado
3+200 KM - 3+600 KM	6.765	1.46	Inadecuado
3+600 KM - 4+000 KM	7.9	1.19	Inadecuado
4+000 KM - 4+400 KM	7.64	1.25	Inadecuado
4+400 KM - 4+800 KM	5.73	1.76	Inadecuado
4+800 KM - 5+000 KM	6.12	1.64	Inadecuado
PROMEDIO =		1.36	Inadecuado



ANEXO 4. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Ancho y tipo de calzada

RESUMEN RERESENTATIVO DE CALZADA

**DETERMINACION DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO
POBLADO ANTAJAHUA – HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI, REGIÓN PUNO**

Progresiva		Tipo de Terreno	Pendiente (%)		Ancho Superf. Rodadura
Del Km	Al Km		Mín.	Máx.	
0+000	0+400	1	5.9	7.1	3.1
0+400	0+800	2	2.8	2.6	3.6
0+800	1+200	2	1.6	2.0	3.6
1+200	1+600	3	0.7	1.1	3.7
1+600	2+000	2	1.5	1.6	3.3
2+000	2+400	2	0.7	1.2	3.4
2+400	2+800	4	2.3	3.4	3.9
2+800	3+200	4	2.1	2.9	3.1
3+200	3+600	2	1.2	1.4	3.4
3+600	4+000	2	0.8	1.6	3.6
4+000	4+400	1	0.7	1.4	4.5
4+400	4+800	1	1.7	1.8	4.8
4+800	5+000	3	1.7	1.8	3.5

TIPO DE TERRENO	Plano (Tipo 1)	Ondulado (Tipo 2)	Accidentado (Tipo 3)	Escarpado (Tipo 4)
Pendiente longitudinal	p% < 3%	3% > p% < 6%	6% > p% < 8%	p% < 8%

ANEXO 5. PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1. Inicio del tramo progresivo km 0+000



Fotografía 2. Tramo progresiva km 0+100



Fotografía 3. Tramo progresiva km 01+200



Fotografía 4. Tramo progresiva km 01+900



Fotografía 5. Tramo progresiva km 02+300



Fotografía 6. Tramo progresiva km 0+700



Fotografía 7. Tramo progresiva km 1+100



Fotografía 8. Tramo progresiva km 01+800



Fotografía 9. Tramo progresiva km 02+100



Fotografía 10. Tramo progresiva km 02+400



Fotografía 11. Tramo progresiva km 02+700



Fotografía 12. Tramo progresiva km 3+150



Fotografía 13. La fotografía muestra un deterioro de ahuellamiento mayor a 10 cm



Fotografía 14. La fotografía muestra un deterioro de ahuellamiento mayor a 5 cm





ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 13-06-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: LADY MARITZA HUARCAYA RAMOS

Dirección: Jr. CHICHLAPAC 100 BARRIO SIMÓN BOLIVAR - MACUSANI

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 72851331

Teléfono: 910276058 email: ladymaritzahr@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: ANÁLISIS DE LA SERVICIABILIDAD DEL CAMINO VECINAL DEL CENTRO POBLADO ANTATAHUA-HUANUTUYO DEL DISTRITO DE MACUSANI REGIÓN PUNO.

Palabras claves, (3 a 5 términos): RUGOSIDAD, SERVICIABILIDAD, CAMINO VECINAL, DETERIORO

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

2

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

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



2. Referencia de tesis:

Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

Autorizo su publicación (marque con una X)

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

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

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

Sí autorizo
 No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN - PI3

Firma de Autor



huella digital

13 DE JUNIO DE 2025

Fecha