TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NÚÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO REGIÓN PUNO

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. MARCO ANTONIO YUPA SURCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA - PERÚ

2025

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NUÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO REGIÓN PUNO

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. MARCO ANTONIO YUPA SURCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO : Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

ASESOR DE TESIS : M. Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor

http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1673-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 10 de diciembre del 2025

VISTO: El expediente **N° 2025 - CU - 12429** presentado por el (la) Bachiller: **MARCO ANTONIO YUPA SURCO** 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. **MARCO ANTONIO YUPA SURCO,** quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NUÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO 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, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

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

* **Presidente** : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
* **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
* **2do Miembro** : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

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

ARTICULO TERCERO. – APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **MARCO ANTONIO YUPA SURCO;** del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NUÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO REGIÓN PUNO** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.** de acuerdo al siguiente detalle:

* **FECHA** : jueves 18 de diciembre del 2025
* **HORA** : 15:30 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 CS. PURAS
Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. César G. Camargo Nájar
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 160-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 27 de marzo del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 770 por el señor (a): **MARCO ANTONIO YUPA SURCO** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO – N° 095 - 2025-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 016 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **MARCO ANTONIO YUPA SURCO,** ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NUÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO 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° 016 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NUÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO 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): **MARCO ANTONIO YUPA SURCO,** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NUÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO 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), **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA.**

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERIAS Y Cs. PURAS
Mgtr. WALTER J. LIZARRAGA ARMAZA
DECANO (e)
CIP. 70808

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
Interesado (a)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/
Jr. Loreto N° 450 - Central Telefónica: (051) 321142 - Juliaca - Puno - Perú - Pag. Web: www.uancv.edu.pe

TESIS UANCV

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1921-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 30 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 18509, presentado el señor (a) MARCO ANTONIO YUPA SURCO solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO – N° 1529 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 398-2024 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): MARCO ANTONIO YUPA SURCO ha presentado su propuesta de investigación Titulado: EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NUÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO 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° 398-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NUÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO 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): MARCO ANTONIO YUPA SURCO, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NUÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO 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 M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
DIRECTOR
JULIACA - PUNO

Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2024
Interesado (a)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

MARCO ANTONIO YUPA SURCO

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NÚÑEZ BUT...

Trabajos de tesis para ingreso a repositorio

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::13016:607585872

Fecha de entrega
13 jul 2026, 10:15 GMT-5

Fecha de descarga
13 jul 2026, 21:51 GMT-5

Nombre del archivo
T036_70102266_T.docx

Tamaño del archivo
19.6 MB

99 páginas

15.306 palabras

82.088 caracteres

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

14% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

13% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
10% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

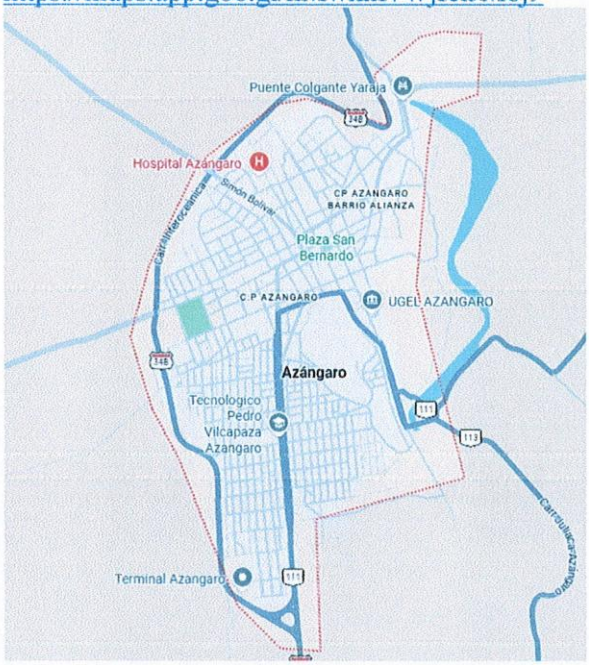
TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUELNÚÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO REGIÓN PUNO	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	Marco Antonio Yupa Surco
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70102266
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0001-6382-6016
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jesus Esteban Castillo Machaca
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4595-7589
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Oscar Vicente Viamonte Calla
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Arnaldo Yana Torres
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Wilfredo David Supo Pacori
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02428673

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Datos de investigación	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN –P50
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: Azángaro Distrito: Azángaro Latitud: -15.8458708" S Longitud: -70.0578296" W https://maps.app.goo.gl/nMwhhfvWjfeiJM8j9 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Diciembre 2024 – Diciembre 2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	**Ingeniería Civil** **https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01**

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

TESIS UANCV
TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo MARCO ANTONIO YUPA SURCO, identificado con DNI Nro. 70102266 en mi condición de egresado de:

☒ **Escuela Profesional**

☐ **Programa de Segunda Especialidad,**

☐ **Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERÍA CIVIL,

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

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NÚÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO REGIÓN PUNO

Asesorado por: M. Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Es un tema original.

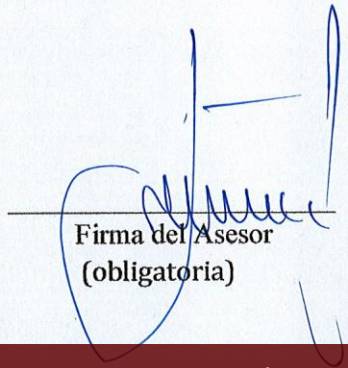
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales,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

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como suyas 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 27 de abril del 2026



Firma del Asesor
(obligatoria)



Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

DEDICATORIA

Al Señor debido a su gran cariño e inteligencia.

A mi abuela Salomé, por su apoyo incondicional a pesar de mis errores y momentos difíciles de mi vida.

A mi madre Mayra Surco Miranda, por su modelo de existencia, esfuerzo y ayuda para completar esta noble carrera.

A mis hermanas Nycol y Angie debido a su respaldo constante y al ser un recurso de motivación que lleva al logro.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, valoro al Señor por cada asuntos increíbles las cuales me ha concedido en el instante adecuado.

A mi mamá, al estar siempre a mi lado y proporcionarme todo su afecto, su respaldo incondicional y sus consejos que me ayudan a alcanzar mis metas.

A mis hermanas por ofrecerme su afecto y respaldo en cada instante de mi existencia.

A mi primo Edson, a quien considero como un hermano, por esas enseñanzas que me forjaron en la vida y profesionalmente, así como sus sabios consejos.

Al Magister Wilfredo David Supo Pacori por su apoyo en la conclusión de esta tesis, y por sobre todo por encaminarme en el camino del bien, por sus sabios consejos como profesional con ética y moral.

A mi amigo el Ingeniero Darwin Platón Ccapa Queque, por compartir sus conocimientos conmigo y aconsejarme como persona.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA iii

AGRADECIMIENTO ii

ÍNDICE GENERAL iii

ÍNDICE DE TABLAS viii

ÍNDICE DE FIGURAS ix

RESUMEN x

ABSTRACT xi

INTRODUCCIÓN xiii

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Exposición de la situación problemática 12

1.2. Planteamiento del problema 12

1.2.1. Problema general 12

1.2.2. Problemas específicos 13

1.3. Objetivos de la investigación 13

1.3.1. Objetivo general 13

1.3.2. Objetivos específicos 13

1.4. Hipótesis 14

1.4.1. Hipótesis general 14

1.4.2. Hipótesis especifica 14

1.5. Justificación de la investigación 15

1.5.1. Justificación teórica 15

1.5.2. Justificación práctica 15

1.5.3. Justificación metodológica 15

1.6. Variables De La Investigación 15
1.6.1. Variable de caracterización 15
1.6.2. Variables de interés 15
1.7. Operacionalización de variables 16

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación 17
2.1.1. Antecedentes internacionales 17
2.1.2. Antecedentes nacionales 18
2.1.3. Antecedentes regionales 22
2.2. Marco teórico 23
2.2.1. Transitabilidad 23
2.2.2. Serviciabilidad 23
2.2.3. Cálculo de la serviciabilidad y transitabilidad mediante el IRI 24
2.2.4. Rugosidad 24
2.2.5. Causas posibles de Alta Rugosidad 25
2.2.6. Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos 26
2.2.7. Importancia de la rugosidad en la superficie de rodadura en pavimentos para la circulación de vehículos 27
2.2.8. Índice de Regularidad Internacional (IRI) 27
2.2.9. Escalas y características del IRI 27
2.2.10. Cálculo de la Rugosidad (IRI) 29
2.2.11. Rugosímetro MERLIN 29
2.2.12. Fundamentos teóricos del MERLIN 31
2.2.13. Ejecución de ensayos 33

2.2.14. Cálculo del rango "D" 34
2.2.15. Correlación de Índice de Regularidad Internacional (IRI) con distintas fuentes 36
2.2.16. Correlación con el MTC 39
2.2.17. Correlación con PCI 42
2.2.18. Correlación con Niveles de Servicio 43
2.2.19. Correlación con HDM – 4 44
2.2.20. Correlación con Datos de Smartphones (Crowdsourcing) 49
2.2.21. Estrategias de intervención 56
2.2.22. Recapeos Asfálticos 57
2.3. MARCO CONCEPTUAL 59
2.3.1. Transitabilidad 59
2.3.2. Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) 59
2.3.3. Índice de Regularidad Internacional (IRI) 59
2.3.4. Rugosímetro de MERLIN 59
2.3.5. Pavimento Flexible 60

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN 61
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN 61
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 62
3.4. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN 62
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA 62
3.5.1. Población 62
3.5.2. Muestra 62

3.6. TÉCNICAS FUENTES E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN 63
3.6.1. Técnica 63
3.6.2. Instrumento 63
3.7. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO 63
3.7.1. Validez del instrumento 63
3.7.2. Confiabilidad del instrumento 63

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS 64
4.1.1. Resultados del objetivo general 64
4.1.2. Resultados del OE1 (Cálculo del IRI) 68
4.1.2.1. Cálculo del Factor de Corrección 68
4.1.2.2. Recolección de datos de campo 68
4.1.2.3. Graficar el histograma de frecuencias de los datos de campo 69
4.1.2.4. Calcular el rango D 69
4.1.2.5. Corrección del rango "D" 69
4.1.2.6. Cálculo del IRI 70
4.1.2.7. Cálculo de IRI de las ecuaciones restantes 70
4.1.3. Resultados del OE2 (Cálculo del PSI en función al IRI) 70
4.1.3.1. Cálculo de PSI del tramo 1, carril izquierdo 70
4.1.3.2. Cálculo de PSI del tramo 2, carril izquierdo 71
4.1.3.3. Cálculo de PSI del tramo 1, carril derecho 71
4.1.3.4. Cálculo de PSI del tramo 2, carril derecho 71
4.1.4. Resultados del OE3 71
4.2. DISCUSIÓN 73

CONCLUSIONES **75**

RECOMENDACIONES **76**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **77**

ANEXOS **82**

Anexo 1 Matriz de consistencia 83

Anexo 2 Ubicación 85

Anexo 3 Planos 86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables 16

Tabla 2 Escala de índice de serviciabilidad 24

Tabla 3 Transitabilidad mediante PSI 24

Tabla 4 Valores de IRI (m/km) utilizados internacionalmente 29

Tabla 5 Relaciones IRI - Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) 37

Tabla 6 Rugosidad Inicial IRI (m/km) 42

Tabla 7 Correlación IRI - PCI 43

Tabla 8 Rugosidad de carreteras pavimentadas (IRI, m/km) 45

Tabla 9 Alternativas de mantenimiento periódico en función al IRI 49

Tabla 10 Resumen de los hallazgos de la literatura sobre aplicaciones de teléfonos inteligentes para la detección de la rugosidad de la superficie del pavimento 54

Tabla 11 Resumen de resultados de la rugosidad en términos de IRI 64

Tabla 12 Resumen, resultados de transitabilidad vehicular (PSI) en función al IRI 66

Tabla 13 Datos de medición IRI 68

Tabla 14 Cálculo de IRI 70

Tabla 15 Estrategias de intervención 72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Escala estándar empleada por el Banco Mundial para clasificar los caminos según su IRI 28

Figura 2 Límites de velocidades según el tipo de pavimento 28

Figura 3 Metodología para la determinación de la rugosidad, uso del Rugosímetro de MERLIN 30

Figura 4 Detalles del instrumento de MERLIN 30

Figura 5 Detalles del instrumento de MERLIN 31

Figura 6 Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la curva promedio AB 32

Figura 7 Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento 32

Figura 8 Formato para la recolección de datos de campo 34

Figura 9 Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva 35

Figura 10 Relaciones de PSI - IRI para pavimentos flexibles 38

Figura 11 Relación PSI - IRI para pavimentos rígidos 39

Figura 12 Escala de Índice de Serviciabilidad 40

Figura 13 Escala de Rugosidad IRI (m/km) 41

Figura 14 Niveles de Servicio para: CALZADA (Tratamiento Superficial) 44

Figura 15 Concepto de análisis del ciclo de la vida útil en el HDM-4 45

Figura 16 Efecto del estado de la carretera sobre los costos de operación vehicular para un terreno ondulado 46

Figura 17 Efecto de los niveles de financiamiento en el comportamiento de la red de carreteras 47

Figura 18 Efecto de las asignaciones presupuestarias en el comportamiento de las subredes 48

Figura 19 Método de detección de crowdsourcing 51

Figura 20 Procedimiento de ejecución de Recapeo 59

Figura 21 Resultados de PSI - IRI en el tramo 1 y 2 de la Avenida Manuel Núñez Butrón 66

Figura 22 Resultados (PSI - IRI), de la Avenida Manuel Núñez Butrón 67

Figura 23 Histograma de frecuencias de datos de rugosidad de 400m de carretera 69

RESUMEN

Esta indagación buscó valorar la situación superficial actual del asfalto flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón en Azángaro, Región Puno, mediante la cuantificación del IRI y su vínculo con el PSI, para fundamentar una propuesta de intervención técnica. El estudio fue de diseño no experimental, de enfoque cuantitativo y nivel descriptivo. La metodología se centró en el cálculo directa de la regularidad longitudinal usando el calibre de Merlín para obtener los inicios del IRI. Los efectos revelaron que el estado del asfalto es deficiente. El valor ponderado del Índice de Regularidad Internacional (IRI) alcanzó los 4.47 m/km, superando significativamente el criterio máximo admisible de 2.5 m/km, establecido por la normativa. Esta alta irregularidad se correlaciona con un bajo PSI de 2.22 en promedio, clasificando la transitabilidad en un estado operativo de REGULAR a MALO. Se determina que el asfalto no es adecuado con los estándares mínimos de servicio, lo cual justifica la necesidad perentoria de una intervención estructural mayor. Por consiguiente, se recomienda la formulación de una estrategia de Rehabilitación o Mejoramiento para corregir las irregularidades y restaurar la vida útil de la vía.

Palabras Clave: Asfalto Flexible, IRI, PSI, Rugosímetro de MERLIN.

ABSTRACT

The main reason for this study were to evaluate the current surface how a versatile ground is in Manuel Núñez Butrón Avenue in the city of Azángaro, Puno Region, by quantifying the IRI and its correlation with the PSI, in order to substantiate a proposal for technical intervention. The study was non-experimental in design, quantitative in approach, and descriptive in nature. The methodology focused on the direct measurement of longitudinal regularity using the Merlin slope metre to find IRI numbers. The results revealed that the pavement condition is poor. The weighted value of the International Roughness Index (IRI) reached 4.47 m/km, significantly exceeding the maximum permissible criterion of 2.5 m/km established by the regulations. This high irregularity correlates with a low Present Serviceability Index (PSI) of 2.22 on average, classifying the passability as REGULAR to POOR. It is concluded that the pavement does not meet minimum service standards, which justifies the urgent need for major structural intervention. Therefore, the formulation of a Rehabilitation or Improvement strategy is recommended to correct the irregularities and restore the time that the path.

Keywords: Flexible Asphalt, IRI, PSI, MERLIN Roughness Meter.

INTRODUCCIÓN

La red de caminos es un motor esencial para el crecimiento territorial, condicionando la conectividad, la protección y la efectividad económica. En este marco, la gestión efectiva de asfaltados (PMS) demanda diagnósticos rigurosos para optimizar la inversión pública. En la ciudad de Azángaro, Región Puno, la Avenida Manuel Núñez Butrón se ha posicionado como un corredor de alto flujo vehicular, cuya condición superficial, sin embargo, ha mostrado evidencias claras de deterioro que comprometen gravemente el grado de serviciabilidad da a los clientes.

El problema fundamental que aborda esta tesis radica en la ausencia de una cuantificación técnica y objetiva de este deterioro, lo cual limita la capacidad de la administración vial para definir y priorizar acciones de mantenimiento o rehabilitación. Ante esta realidad, el estudio se formuló bajo el Asunto Complejo: ¿Qué es el estado del asfalto blando de la Avenida Manuel Núñez Butrón de Azángaro, Región Puno, ¿al ser evaluada usando el calibre de Merlín?

El propósito primordial del análisis fue cursar la condición del asfalto flexible, usando la medición estandarizada del IRI y su correlación con el PSI, a fin de establecer técnicamente su estado funcional y fundamentar la urgencia de un plan de acción. Se planteó La Teoría Clásica de que la condición actual es deficiente (clasificada como Regular-Malo), dado que el IRI conseguido con el densitómetro Merlín superaría el límite admisible establecido por la normativa 2.5 m/km, generando un bajo PSI.

Se empleó como instrumento el densitómetro Merlín para obtener la data del IRI (Constante Autónoma), para determinar el estado de la Condición Superficial (Constante Responsable). En resumen, esta investigación se justifica al proveer la data técnica indispensable para la toma de decisiones

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Exposición de la situación problemática

La gestión eficiente de la infraestructura vial es relevante para el desarrollo socioeconómico. Sin embargo, en la Avenida Manuel Núñez Butrón de Azángaro, Región Puno, un eje vial de alto flujo y relevancia urbana, se observa un deterioro superficial evidente que compromete la seguridad y el confort vehicular. El problema fundamental radica en la ausencia de una cuantificación técnica y objetiva de este deterioro, ya que no se ha determinado si la vía cumple con los criterios máximos admisibles de serviciabilidad, medidos por el IRI. Esta falta de datos técnicos impide una gestión vial adecuada y la programación de una estrategia de intervención óptima.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la condición superficial del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón de la ciudad de Azángaro, Región Puno, al ser evaluada mediante el uso del rugosímetro de Merlín?

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

1.2.2. Problemas específicos

PE1: ¿Cuál es el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) obtenido mediante la medición con el rugosímetro de Merlín en el pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón de la ciudad de Azángaro?

PE2: ¿Cómo se correlacionan los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) con los estándares internacionales de desempeño funcional?

PE3: ¿Qué tipo de estrategia de intervención se requiere para optimizar la condición superficial del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la condición superficial actual del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón de la ciudad de Azángaro, Región Puno, mediante la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) utilizando el rugosímetro de Merlín.

1.3.2. Objetivos específicos

OE1: Determinar el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón, mediante la medición con el rugosímetro de Merlín.

OE2: Establecer la correlación entre el Índice de Regularidad Internacional (IRI) y los indicadores internacionales de desempeño funcional.

OE3: Proponer una estrategia de intervención para optimizar la condición superficial del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón, basada en los resultados de IRI y PSI.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La condición superficial del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón de la ciudad de Azángaro se encuentra en estado de deficiencia (clasificada como MALO), lo cual se debe a que el Índice de Regularidad Internacional (IRI) medido mediante el rugosímetro de Merlín exceda el valor máximo admisible establecido por la normativa técnica vigente.

1.4.2. Hipótesis especifica

HE1: El valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón es superior al valor límite de aceptación de 2.5 m/km establecido por la normativa técnica, evidenciando una condición deficiente de rodadura.

HE2: Los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) se correlacionan de forma estrecha con los estándares de desempeño funcional, actuando como un indicador determinante para predecir la pérdida de calidad de servicio y el aumento de los costos operativos en la infraestructura vial.

HE3: Se requiere una estrategia de intervención mayor (Rehabilitación o Reconstrucción), y no una simple conservación rutinaria, para optimizar la condición superficial del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón, dados los niveles críticos de IRI y PSI determinados.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

La contribución tecnológico y especializado se enfoca en identificar de forma clara y precisa los desafíos relacionados con el paso de vehículos en el camino vecinal, específicamente en la superficie de rodadura, con el densitómetro de Merlín, se puede ver claramente el deterioro del asfalto y cómo afecta negativamente el tráfico en el camino. También se pueden sugerir alternativas eficaces para optimizarla.

1.5.2. Justificación práctica

La revisión reveló que el tipo de Merlín es esencial para evaluar la densidad y entender su impacto en la circulación de vehículos.

1.5.3. Justificación metodológica

La singularidad de esta disertación está en su método único de estudio operativo con el tipo de Merlín para medir la accesibilidad de vehículos en la Av. Andrés Avelino Cáceres. Desde este estudio, se desarrolla una alternativa.

1.6. Variables De La Investigación

1.6.1. Variable de caracterización

Superficie del asfalto flexible (esta variable sirve para descubrir el objeto de estudio (la Avenida) y asegurar que los datos sean válidos).

1.6.2. Variables de interés

Son las variables del núcleo de la investigación:

IRI (causa/independiente)

PSI (efecto/dependiente)

1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables		Indicadores	Instrumento	Tipo
Variable de Caracterización	Condición Superficial del Pavimento Flexible	1. Clasificación del estado (en base al PSI	▪ AASHTO 1993 ▪ Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (Sección Suelos y Pavimentos	Ordinal
		2. Nivel del cumplimiento del IRI	▪ The Little Book of Profiling (W. Sayers & M. Karamihas, 1998)	Nominal
Variables de Interés	Índice de Regularidad Internacional (IRI)	Valor ponderado de IRI por tramo (m/km)	▪ ASTM E 867 ▪ Rugosímetro de MERLIN ▪ Hoja de cálculo	Continua
	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)	Valor del PSI (Escala de 0 al 5)	▪ AASHTO 1993 ▪ Ecuación de correlación (IRI – PSI)	Continua

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según (Pérez-Acebo et al., 2023) en su análisis realizada de los Sistemas de Gestión de Pavimentos (PMS), los modelos de rendimiento y de deterioro del pavimento, se consideran un elemento clave porque pueden pronosticar el estado futuro del pavimento basándose en los datos disponibles. Por lo tanto, una vez que se predice el rendimiento del pavimento para los próximos años, se puede planificar el momento y el tratamiento óptimos a realizar, maximizando el presupuesto existente limitado para el cuidado y la reparación de caminos (M&R). Existe una amplia variedad de características que se evalúan en un pavimento, y, además, también hay varios índices para medir dichas características. Sin embargo, se puede decir que hay una propiedad, la textura del suelo, medida por el IRI, que es la tasa más común en todo el mundo. Utilizando los datos IRI, el tráfico y la estructura del pavimento de la autopista A-636 de Gipuzkoa, El propósito de esta tesis es crear esquemas de predicción IRI para autopistas de Gipuzkoa (España), ajustados a las características climáticas de la provincia. Los resultados mostraron que se pueden crear modelos precisos si se incluyen

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

variables adecuadas, como el tipo de pavimento, alcanzando un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,827$. Este hecho subraya la importancia de registrar la mayor cantidad de información posible, especialmente la sección estructural del pavimento, en el PMS.

2.1.2. Antecedentes nacionales

La investigación hecha por (Lloclla Huaychao, 2019), Se comparó la tasa de densidad Global del asfalto de la Av. La Cultura en Cusco, utilizando los métodos: Se usó el densitómetro de Merlín. También se estimó la PSR de la carretera analizada según el valor de firmeza mundial. Laun enfoque de técnica cuantitativa, con un grado detallado, una técnica teórico deducción y un esquema sin experimentar. Se analizaron los hallazgos con el estado verificado en la práctica por los 3 grupos en la av. La Cultura de Cusco, tanto sobre el sentido de subir como en el carril baja. Después, se analizaron los registros para conseguir logros y evaluarlos. Los datos muestran que el paso para bajar posee IRI de 7.31 m/km, 6.75 m/km y 6.79 m/km, evaluados con un calibre tipo de merlín, con un valor medio de 6.95 m/km. En el sentido de subir, las cifras son 3.88 m/km, 3.98 m/km y 3.04 m/km, con un valor medio de 3.63 m/km. Esto indica que el sentido de disminución es mayor dañado que el de subir. Asimismo, en las dos vías, los índices de deformidad están por encima de los márgenes autorizados la regulación NTP CE 0.10 establece que el límite superior autorizado para el IRI es de 2.5 m/km en asfaltos flexibles. Progreso de la revisión muestra que el cambio en los hallazgos del IRI usando la aplicación para ROADROID, el tipo de Merlín, en los segmentos cruciales de la Av. La Cultura, posee un índice de 18,92%

TÍTULO: "VALORACIÓN DE LA IRI CON EL GRUPO MERLIN DEL ALFALTO FLEXIBLE EN LA VÍA LOS BAÑOS DEL INCA – OTUZCO,CAJAMARCA."

En la investigación realizada por (Diaz Quispe, 2021) el objetivo fue se evaluó el IRI utilizando la maquina Merlin en el asfalto flexible del vial Los Baños del Inca– Otuzco, Con ese fin, se efectuó una evaluación geométrica de la vía para determinar cuántas pruebas debían hacerse con el equipo Merlin. Este sistema verifica las alturas cada 2 m a través de la vía, y se realizan pruebas en tramos de 400 metros todos. Se realizaron 15 test que evaluaron 3000 metros de asfalto. Los indicadores típicos de IRI para la intersección derecha e izquierdo son 1.87 m/km y 2.22 m/km, de acuerdo, y el IRI medio para toda la ruta es de 2.02 m/km. Esto indica que la vía, en su totalidad, está en buen estado según los rangos definidos en los Requerimientos Técnicos Generales para la Protección de Vías del MTC.

DEMONINACIÓN: "VALORACIÓN EFICIENTE DEL ASFALTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA MOVILIDAD, USANDO EL MÉTODO DE MERLIN EN LA AVENIDA GUSTAVO PINTO, EN TACNA - 2020"

La labor de teoría actual realizado por (Flores Jara & Pilco Galindo, 2021) se lleva a cabo una valoración útil y básica del asfalto en la avenida Gustavo Pinto a lo largo de su totalidad. El segmento revisado mide alrededor de 3,330.00 m y tiene un grosor de asfalto que varía entre 6.60 y 7.20 m La meta de esta evaluación es analizar el asfalto flexible para optimizar el tráfico de vehículos, usando el rugosímetro MERLIN en la avenida Gustavo Pinto, Tacna – 2020. Esta es un estudio aplicado con un método numérico, ya que busca generar saber que se aplique directamente a los desafíos. El estudio sigue una forma descriptiva y

indicativo. Se encontró que el IRI en la vía derecho IRI es de 4.38 m/km, lo que significa que la condición del asfalto es REGULAR. En la sección izquierda, la rugosidad es de 5.71 m/km, con una condición del asfalto considerado MALO. Con los hallazgos conjuntos, se logra un IRI de 5.05 m/km, lo que clasifica todo el asfalto de la avenida Gustavo Pinto como MALO. Con el fin de establecer la viabilidad, se estima el PSI usando la fórmula de William Paterson, D. Dejusin y A. Arroyo, que da un valor de 1.987. Debido a esto, se considera que la TRANSITABILIDAD es MALA. Se llega a la conclusión de que, según el definición de la asfalto flexible con el tipo de MERLIN, la consistencia indica que el asfalto está en MAL estado. Esto significa que tiene dificultades para ser transitado. Los hallazgos de la densidad rugosa de los dos segmentos, tomando en cuenta el índice del IRI, muestran que el estado del asfalto es malo y la accesibilidad también es mala.

TÍTULO: "VALORACIÓN DE SUPERFICIE DEL ASFALTO FLEXIBLE EN LA CALLE PABLO ROSELL, NÚMEROS 5, 6 Y 7, UTILIZANDO EL TIPO DE MERLÍN, IQUITOS – 2021"

Esta indagación realizada por (Varas Navas & Cárdenas Flores, 2022), La meta es hacer un análisis previo del asfalto flexible en la calle Pablo Rossell, áreas 5, 6 y 7,en Iquitos - 2021. La indagación es detallada y práctica, con un esquema sin experimentar y una técnica cualitativa. Se intenta analizar el asfalto flexible en esas áreas con el rugosímetro de Merlín. Los hallazgos de esta evaluación son los siguientes: según el IRI, en el carril 1, la parte izquierda tiene 7.34 m/km y la parte derecha 8.75 m/km. En la vía 2, la parte izquierda es de 8.01 m/km y la parte

derecha de 7.24 m/km. El hecho del asfalto flexible de la calle Pablo Rossell, en las áreas 5, 6 y 7, se midió con un calibre de merlín y se encontró que no se incluye las barreras permitidas para un asfalto anticuado. Usando la técnica PCI, a área 5 se clasificó como muy mala, a área 6 como mala y a área 7 como estándar. De los datos recogidos se llegaron a las próximas pruebas: la suma de problemas halladas en la vía Pablo Rossell, calle 5, 6 y 7, es de 61. En la calle 5 se hallaron 23 daños, en la calle 6 se hallaron 18 defectos y en la calle 7 se hallaron 20 daños. Los fallos más comunes en la vía Pablo Rossell, en las calle 5, 6 y 7, son fisuras en los extremos, parches, orificios y piel de cocodrilo. Después de hacer la Prueba preliminar del asfalto flexible en la vía Pablo Rossell, específicamente en las calle 5, 6 y 7, se ha decidido que el asfalto necesita mejoras en la área examinad.

Asunto: "ESTUDIO DE LA TASA DE FRICCIÓN MUNDIAL DEL SUPERFICIE DEL ASFALTO FLEXIBLE DEL CAMINO COLIMES-PAJÁN, EMPLEANDO MATERIALES MODERNOS".

Según (Menéndez Sánchez, 2023), El IRI constituye un indicador que se usa para evaluar el asfalto. Sirve para medir la regularidad de la superficie del asfalto, lo cual ayuda an identificar el bienestar y la protección de este, así como su durabilidad. La meta de este análisis es evaluar la calidad de la superficie del camino Colimes-Paján utilizando una tasa de firmeza con aplicaciones móviles. Además, se busca verificar la conexión entre los hallazgos desde el cruce del camino Colimes hacia la estatua sobre las golondrinas en el área de Paján. Se utilizó una técnica de investigación junto con las apps móviles IRI CALCULATOR y TOTALPAVE. Estas herramientas evaluan la calidad de la capa del asfalto con los aparatos de los teléfonos móviles y también utilizan GPS.

Estos programas actuales y útiles instrumentos para revisar vías y hacer cálculos el IRI. Las mediciones hechas con el software TOTALPAVE mostraron que la inclinación de la Vía Colimes – Paján va de 1,87 m/km a 7,11 m/km. Usando el programa IRI Calculator, los datos van de 2,26 m/km al menos a 5,11 m/km al máximo. Para encontrar la tasa atento del camino, se hizo una conexión con la tarifa del IRI, lo que dio un indicador de servicio de 3,51. Se alcanza al resultado de que los grados de IRI cambian y que un área de la carretera está muy mal. Sin embargo, los niveles de servicio del pavimento están dentro del rango que indica que el camino tiene buena accesibilidad. Se presenta un enfoque de conservación para la carretera que se está analizando.

2.1.3. Antecedentes regionales

Según la investigación realizada por (Almanza Mendoza, 2014), denominada "Análisis del esquema 'Quarter Car' con el fin de estimar el IRI del camino Huancavelica - Santa Inés" se compone de 6 secciones: Sección I: Se presenta un resumen del ante plan y se incluyen sugerencias sobre ciertas pesquisas que son idénticos a esta. Sección 2: Se explicará la limpieza de superficie del asfalto que se va an analizar, las diferentes clases que hay, las técnicas para diseñarlos, las exigencias para su elaboración y uso, así como la fase de construcción. Se establece la tasa de firmeza mundial, se explican sus ventajas y se describen ciertos equipos disponibles a la venta para medir el IRI. Además, se presenta el orden del Campeonato Mundial de los grupos en 4 categorías, destacando las más comunes. Sección 3: Se describe el equipo MERLIN, sus comienzos técnicos y se da una explicación minuciosa de cómo se mide con este sistema. Sección IV: En este artículo se explica el esquema "Quarter Car", incluyendo la evaluación de su movimiento y una solución lógica mediante un

sistema numérico. También se presenta la unidad Roughometer III, que es un dispositivo de tipo reacción, así como el sistema y el proceso para obtener el IRI. Sección V: Se muestran los hallazgos de la inspección del área de rodadura con los equipos elegidos, para examinar, evaluar y vincular a través de fórmulas de logro en el sección VI. Como sección Al final, se muestran los hallazgos y sugerencias del estudio de análisis hecho.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Transitabilidad

La idea de "durabilidad" en el Perú se refiere en una condición de "accesibilidad de empleo". Presenta que hay una vía concreta que se puede usar, es decir, que no ha sido prohibida a la circulación pública por causas de "incidentes en la carretera" que las habrían cerrado en ciertos sitios del trayecto, debido a daños graves provocados por energías naturales, como crecidas de tierra con agua "ríos", caídas de piedras, daños en la vía, erosiones por crecidas y rompimiento de vías. (Pomasonco De La Cadena, 2010)

2.2.2. Serviciabilidad

La aptitud es cómo se percibe que poseen los usuarios del grado de labor de asfalto. Para evaluar La utilizabilidad del asfalto se mide con el criterio llamado PSI, que indica el estado real o la facultad de uso del asfalto. Los índices del PSI se miden en un rango del 0 al 5, donde el mejor estado es el que tiene el índice más alto. (Pomasonco De La Cadena, 2010)

Tabla 2

Escala de índice de serviciabilidad

Índice de serviciabilidad	Calidad
5	Muy buena
4	
3	Buena
2	Regular
1	Mala
0	Pésima

Nota: Fuente (*Guía AASHTO*, 1993)

2.2.3. Cálculo de la serviciabilidad y transitabilidad mediante el IRI

Se debe recopilar la información del área para un área de análisis según las áreas de variaciones. Después, se calcula el rango "D" para ver cómo se distribuyen las tasas de los registros obtenidos y se introduce el criterio de corrección requerido para calibrar el sistema. (Sologorre Huayta, 2005)

Tabla 3

Transitabilidad mediante PSI

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

Nota: Fuente (Sachún Quispe, 2016)

2.2.4. Rugosidad

En la ley de evaluación (ASTM E867-06, 2002) "Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems", se describe el término "Rugosidad" como: "disminución de una área específica en relación con una área recta teórica, con medidas que impactan el flujo del coche, la eficiencia de manejo, pesos variables y la evacuación, como, la forma de longitud y horizontal. En este aspecto de la superficie se pueden ver varias partes diferentes: fricción y irregularidad.

La rugosidad se establece como la textura inicial de una superficie, consistente en micro irregularidades o surcos producidos por diferentes elementos que dañan el área durante el procesamiento (compuestos duras, efecto química, etc.). Esta textura de alta frecuencia se superpone a las ondulaciones del perfil. La geometría de esta rugosidad se caracteriza porque la separación entre las crestas es típicamente 4 a 50 veces mayor que la profundidad de sus depresiones.

La irregularidad es posible define como un aspecto secundario. Esto se refiere a un grupo de imperfecciones que se repiten con ondas gran parte de la magnitud. Estas ondulaciones se originan por diferentes movimientos de la máquina-herramienta, cambios por calor, o fricciones que quedan después de procesos como la forja o la fabricación. Los espacios dentro de la luz (sondas de giro) podrían ser de 100 a 1000 intervalos su altura. (Rodríguez Zelaya et al., 2019)

2.2.5. Causas posibles de Alta Rugosidad

En la actualidad, las vías y caminos en su totalidad enfrentan múltiples desafíos durante su trayecto; ciertas de las razones son las siguientes: la gran parte de las arterias viales actuales fueron edificadas más de tres décadas con métodos de planificación, normativas y recursos distintos a los actuales. El tráfico actual supera con creces las expectativas iniciales sobre estas arterias viales. Además, la cantidad de coches grandes y el transporte urbano han aumentado notablemente. Cada uno de dichos elementos provoca que el área de una carretera se deteriore y se vea obligada a metamorfosearse progresivamente, adaptándose a las exigencias

de la circulación y las actividades del terreno circundante. Así pues, esto altera la elasticidad del asfalto para permitir el tránsito de automóviles.

Ausencias y cambios habituales de la máquina de asfalto; colectivos de obra defectivas, que deben ser revisadas con una base al instante tras su ejecución y ajustadas si se requiere mientras la materia está caliente; irregularidad térmica de la estructura: las cargas heladas no se moldean a la misma altura que las más frescas; se repara revisando el calor de la materia antes desecharlo; irregularidad térmica de la materia: las fuerzas frías no se agrupan de igual tamaño que las más fresca. (Rodríguez Zelaya et al., 2019)

2.2.6. Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos

La serie de cambios en la longitud de la vía que no sean consecuencia de defectos constructivos y que eleven el IRI en el área afectada se denomina excepciones. Entre las figuras geométricas que moldean el trazado de la vía destacan los ríos de revisión, los retenes, los cruces de asfalto antiguo, los fines de pavimentación, los cerros, los limitadores de velocidad, los límites de vías y demás.

El entorno asimismo es capaz de influir en la conducta del asfalto de múltiples formas. Las variaciones térmicas y húmedas pueden alterar la fortaleza, longevidad y habilidad de peso del terreno y los terrenos del subsuelo. El flujo de agua por medio de la superficie, barreras, fricciones o como agua subterránea originada en un grado de fricción elevado y reservorios acuíferos desconectados puede desencadenar defectos en los cimientos de hormigón, tales como la fricción del subterráneo y el desgaste del hormigón por imperfecciones persistentes. (Rodríguez Zelaya et al., 2019)

2.2.7. Importancia de la rugosidad en la superficie de rodadura en pavimentos para la circulación de vehículos

La superficie rugosa es el rasgo más percibido por la persona, influyendo en la eficacia del movimiento. Con el paso del tiempo, el perjuicio provocado por los elementos anteriores se incrementa. Así, se generan imperfecciones en la superficie del suelo, las cuales, si no se abordan o rectifican oportunamente, podrían desencadenar una degradación total del mismo. Es vinculado a los resultados de las vibraciones: si un terreno es de gran espesura, no solo se corre el peligro de que asfalto se colapsa, así como hay muchas posibilidades de afectar las cosas que se están transportando, deterioro de los vehículos y más consumo de recursos. Sin embargo, es crucial que el asfalto tenga un poco de fricción porque, si la tierra resultara completamente lisa, las ruedas de los vehículos se deslizarían. Esto haría que no hubiera presión y colocaría en peligro el bienestar de los motoristas y/o viajeros. (Rodríguez Zelaya et al., 2019)

2.2.8. Índice de Regularidad Internacional (IRI)

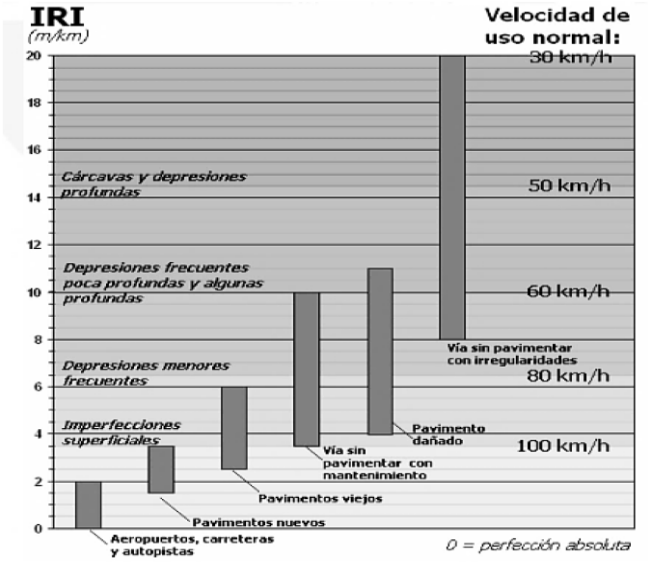
El IRI se detalla rigurosamente como una transformación matemática específica de un perfil verdadero, es decir, una medida de la suavidad de una carretera. El Banco Mundial ha sugerido una medida común de la rugosidad que muestra cómo la forma de longitud de la vía afecta la eficiencia del manejo. Esta medida se calcula en m/km. (W. Sayers & M. Karamihas, 1998)

2.2.9. Escalas y características del IRI

El IRI se mide en mm/m, m/km o in/mi, y va de 0 a 20 m/km o de 0 a 126 in/mi (una rugosidad de 0 m/km significa un camino completamente liso y 20 m/km indica uno aún complicado de usar). (W. Sayers & M. Karamihas, 1998)

Figura 1

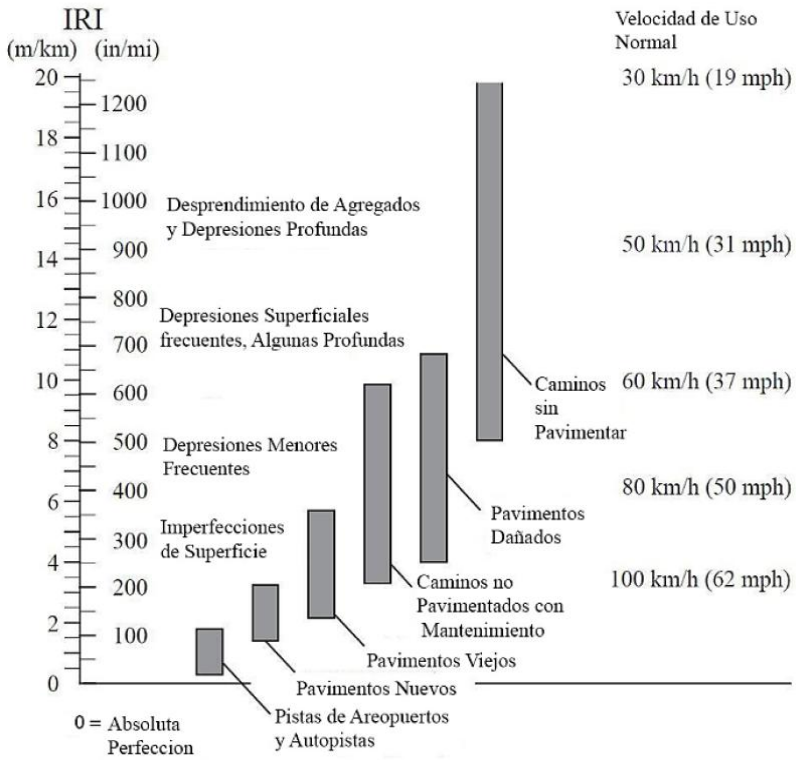
Escala estándar empleada por el Banco Mundial para clasificar los caminos según su IRI



Nota: *Fuente* (W. Sayers & M. Karamihas, 1998)

Figura 2

Límites de velocidades según el tipo de pavimento



Nota: Fuente (W. Sayers & M. Karamihas, 1998)

Tabla 4

Valores de IRI (m/km) utilizados internacionalmente

País	Bueno	Regular	Malo	Rechazo
EE. UU	< 2.4	2.4 – 4.7	> 4.7	-
España	0 – 2.5	2.5 – 4.0	> 5.0	2.85
Chile	0 – 3.0	3.0 – 3.6	> 4.0	2.5
Honduras	< 3.5	3.5 – 6.0	> 6.0	-
Uruguay	< 3.9	4.0 – 6.0	> 4.6	-
Perú	< 2.5	2.5 – 4.5	> 4.5	-

Nota: Fuente (Ventura Espinal & Alvarenga, 2005)

2.2.10. Cálculo de la Rugosidad (IRI)

La vivencia más grande en Perú está ligada al enfoque que utiliza del rugosímetro llamado MERLIN, que es un símbolo de la expresión en inglés Machine for Evaluating Roughness using Low cost Instrumentation (Máquina para evaluar la firmeza con herramientas económicas). (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

2.2.11. Rugosímetro MERLIN

Es una herramienta útil, fácil de usar y económica, diseñada particularmente para naciones avanzados.

El sistema de evaluación que emplea el MERLIN, porque este sistema fue creado como una versión de un cronometría estable y por la elevada exactitud de sus hallazgos, se cataloga como un sistema categoría 1. La relación entre los hallazgos del MERLIN y el nivel del IRI tiene algún valor de precisión casi igual a uno (R2=0.98). Por su gran exactitud, sólo es igualado por el enfoque geotécnico (evalúa y escala). (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

Figura 3

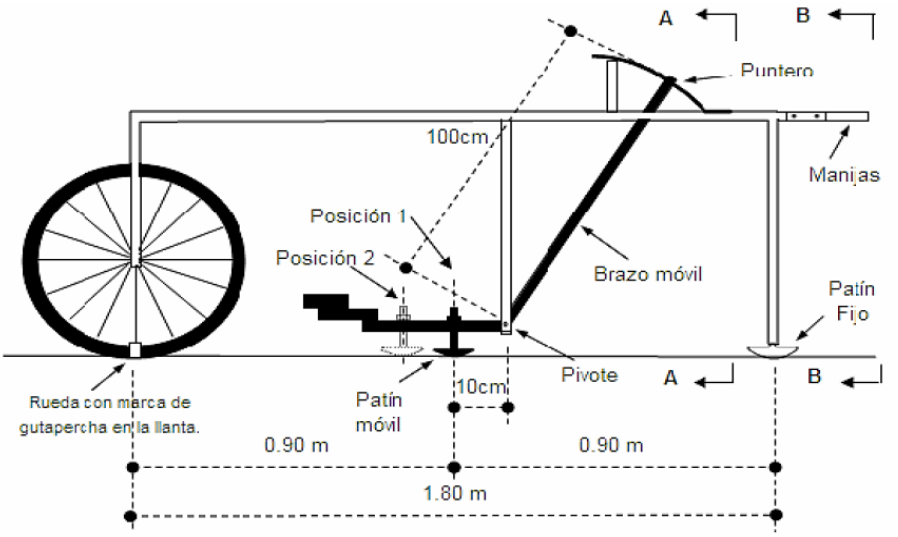
Metodología para la determinación de la rugosidad, uso del Rugosímetro de MERLIN



Nota: Fuente (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

Figura 4

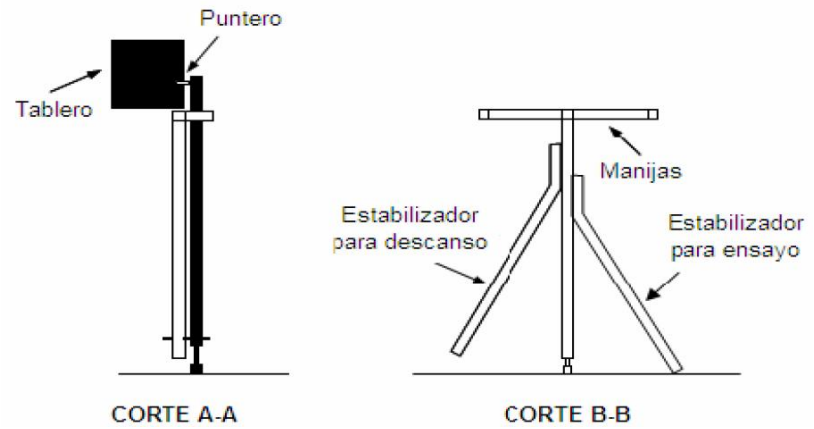
Detalles del instrumento de MERLIN



Nota: Fuente (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

Figura 5

Detalles del instrumento de MERLIN



Nota: Fuente (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

2.2.12. Fundamentos teóricos del MERLIN

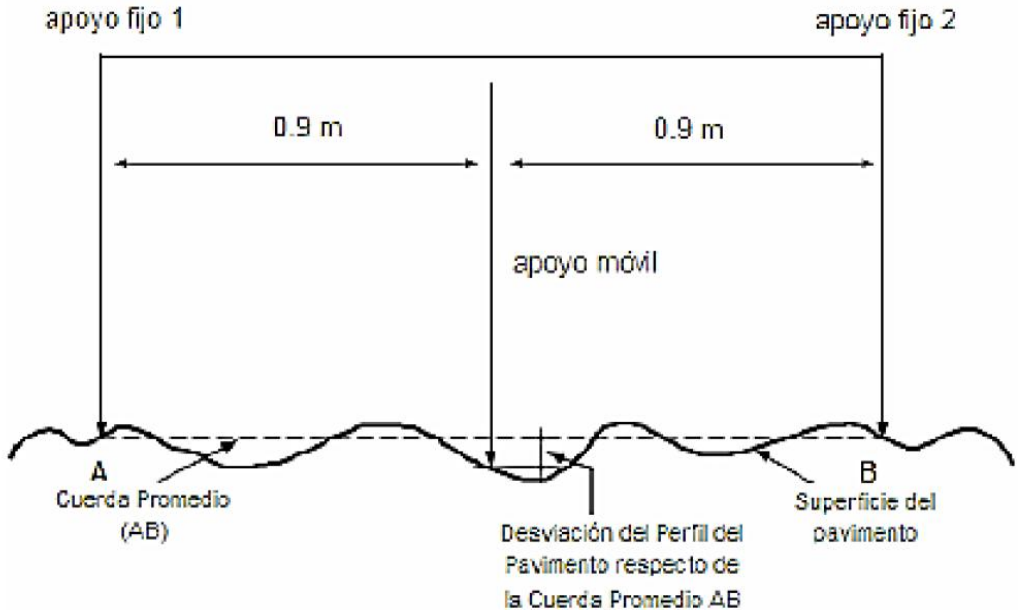
La firmeza de un terreno se fija utilizando el orden de las diferencias del área en comparación con una línea típica. La Figura N.º 6 ilustra como el MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. La inclinación se define a modo de "la disminución en relación al cable típica". (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

Cerca del centro de la figura horizontal, hay una sección abierta que baja, pero no toca el suelo. En su punta de abajo, un músculo fijo gira.

La parte baja del brazo fijo toca el suelo a través de un rodillo adaptable y atornillado, que se adapta a las irregularidades del ámbito. La parte alta concluye en un símbolo o señal que se mueve a lo largo del bordo de un panel, según la ubicación de la parte inferior del dispositivo fijo al tocar el asfalto. (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999

Figura 6

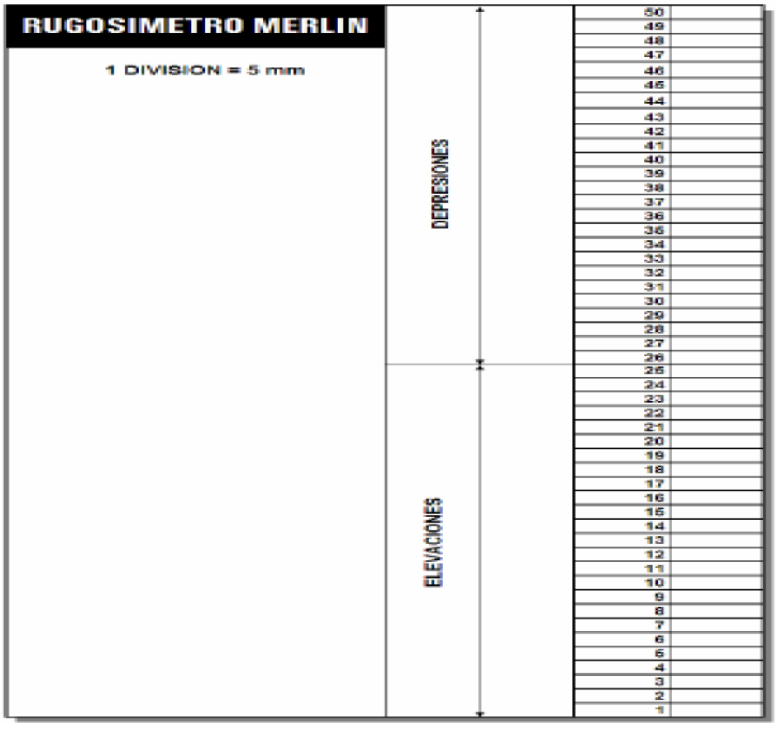
Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la curva promedio AB



Nota: Fuente (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

Figura 7

Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento



Fuente: (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

2.2.13. Ejecución de ensayos

Para llevar a cabo las pruebas, se necesitan dos individuos que colaboren juntas: un técnico que dirige el conjunto y recoge notas, y un ayudante que las registra. También hay que elegir un segmento de 400m de largo en un camino específico del camino. Las evaluaciones se realizan observando el contorno del circulación externo.

Para medir la densidad, se deben hacer 200 inspecciones de las imperfecciones que muestra el asfalto" (irregularidades relacionadas en la cuerda promedio), todas de ellas son encontradas por el patín fijo del MERLIN, y que también se muestran por el asento del indicador en la gráfica graduada del panel, creando así los resultados.

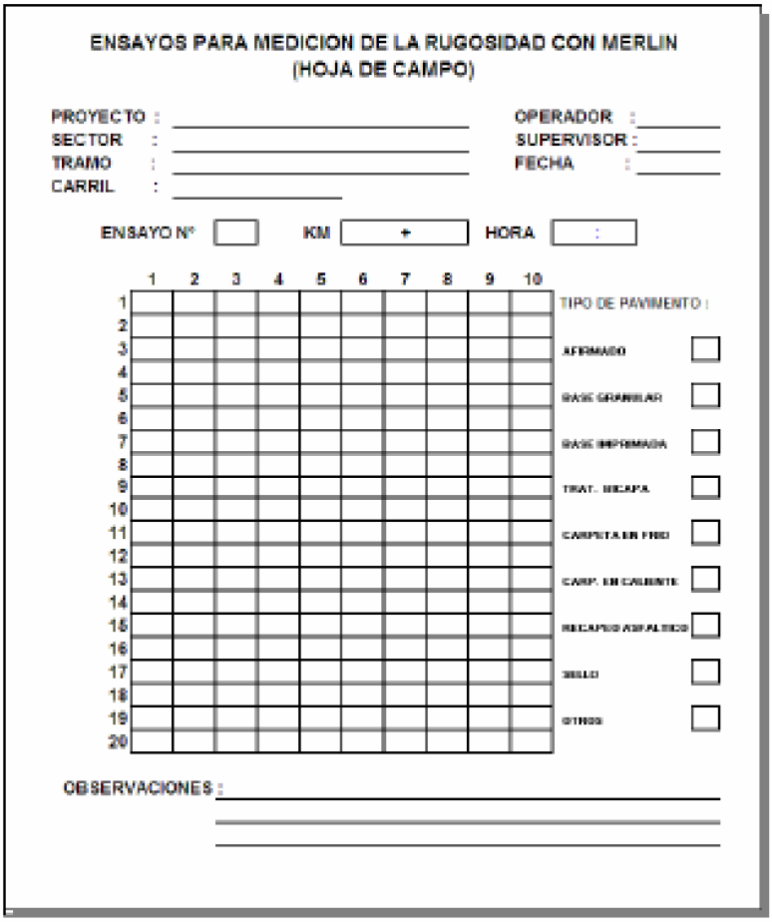
Los ensayos se deben hacer deteniendo la unidad a lapsos periódicos, usualmente cada 2m. En la práctica, esto se hace usando el tamaño del eje del MERLIN como fuente, que tiene un tamaño similar. Por lo tanto, cualquier evaluación se lleva a cabo después de una gira del eje.

Durante cada inspección, el aparato debe estar apodado en tres sitios estables y constantes: el eje, el soporte lateral y el apoyo para ensayo.

El ícono mostrará un número entre 1 y 50, que se debe registrar en un tipo del campo, como se muestra en la figura N°8. El esquema tiene una cuadrícula de 20 filas y 10 columnas. Los registros se ingresan comenzando desde el casillero (1,1), llenando en dirección en inferior y de la izquierda a la derecha. (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

Figura 8

Formato para la recolección de datos de campo



Fuente: (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

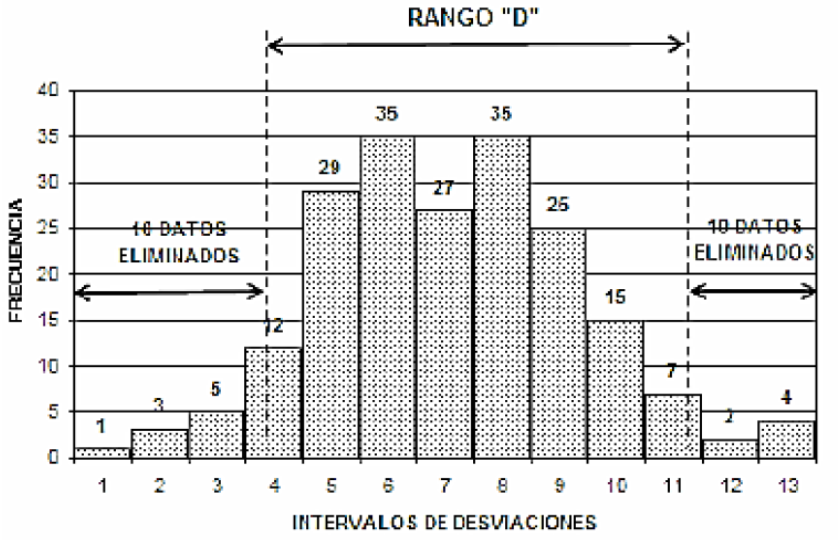
2.2.14. Cálculo del rango "D"

Para obtener los 200 datos necesarios para calcular la firmeza, se utiliza una métrica de 50 unidades ubicada en el panel del densitómetro, que anota las 200 posturas que la punta del brazo fijo acepta. El punto principal del ícono en la pizarra se encuentra cuando el diseño del área se encuentra en sintonía con la curva o banda típica. Conforme el indicador se alinee con la separación 25 o con una próxima (dispersión reducida), la prueba revelará que el asfalto posee un diseño que se asemeja o se aproxima a una línea recta (media inclinación). Si el puntero se aferra a áreas distantes del límite No25 (dispersión alta), se revelará que el suelo exhibe una forma con variadas curvas (elasticidad notable).

La división de las cifras recogidas con el MERLIN se descifra mediante la estimación de las tasas de revisión y posturas del indicador, la cual es capaz de representarse, con propósitos pedagógicos, como una gráfica. Luego, se determina la gama de índices clasificados en periodos de intervalos (D), eliminando el 10% de datos que representan posturas del puntero que no reflejan la realidad o son erróneas. La gráfica pierde un 5% (10 información) en su parte inferior y un 5% (10 información) en su parte principal. (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

Figura 9

Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva



Nota: Fuente (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

Al eliminar los registros, se determina el tamaño del histograma" en dimensiones del rango, teniendo en cuenta las segmentos que podrían surgir al suprimir los archivos. En la Figura 9, en la esquina baja del histograma, se observa que, al descartar los 10 datos, se descartan los segmentos 1, 2 y 3, dejando solo una cifra del segmento 4. De esta manera, se obtiene una fracción dividida que equivale a 11/12=0.92. En la cúspide del histograma, emerge una cifra fraccionada

que equivale a 3/7=0.43. Así que, se obtiene una gama de 0.92+6+0.43 = 7.35 valores. (RODRÍGUEZ DEL ÁGUILA, 1999)

El intervalo D específico se mide en milímetros, multiplicándolo por la suma de cada medida en ml. (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

Rango D = 7.35 x 5mm = 36.75mm.

Factor de corrección.

$$F.C. = (EP * 10) \ / \ (Li - Lf) * 5$$

Donde:

EP = Espesor de la pastilla

Li = Posición inicial del puntero

Lf = Posición final del puntero

Cálculo del Rango D corregido

$$Dc = D \times Fc$$

Cálculo de IRI

$$IRI = 0.593 + 0.0471Dc$$

2.2.15. Correlación de Índice de Regularidad Internacional (IRI) con distintas fuentes

2.2.15.1. Correlación a través de fórmulas de IRI - PSI

En la tab N. 5 se despliegan las conexiones entre IRI y PSI, conforme a diversos investigadores. (Dujisin Q. & Arroyo A., 1995)

Tabla 5

Relaciones IRI - Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

Pavimentos de Asfalto	Pavimentos de Hormigón	Fuente
$p = 5.85 - 1.68\ IRI^{0.5}$	$p = 7.10 - 2.19\ IRI^{0.5}$	D. Dujisin A. Arroyo
$p = 5\ e^{-0.24\ IRI}$	$p = 5\ e^{-0.272\ IRI}$	Al-Omari y Darter 1994 (2)
$p = 7.21\ e^{-0.47\ IRI}$ $p = 5.5 - 1.25\ IRI$ $p = 4.8 - 6.36 \log (IRI)$ $p = 8.3 - 3.78\ IRI^{1/2}$	$p = 14.05\ e^{-0.74\ IRI}$ $p = 7.1 - 1.88\ IRI$ $p = 6.0 - 9.35 \log (IRI)$ $p = 11.2 - 5.58\ IRI^{0.5}$	S. Gulen et. al. 1994 (3)
$p = 5\ e^{-IRI/5.5}$	-	HDM III 1987 (4)

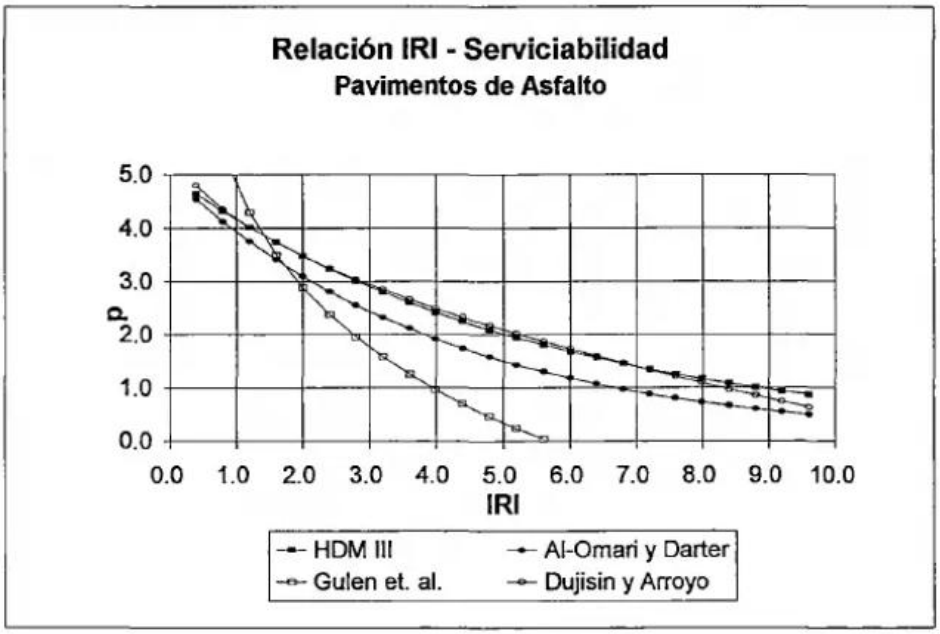
Nota: Fuente (Dujisin Q. & Arroyo A., 1995)

En el ámbito de los asfaltos, la conexión hallada se asemeja notablemente a la del HDM III, una tecnología que se emplea con frecuencia en nuestra nación. (Dujisin Q. & Arroyo A., 1995)

En la figura 10 y 11 se ilustran estas diversas conexiones y se listan ciertos índices de PSI a partir del IRI. (Dujisin Q. & Arroyo A., 1995)

Figura 10

Relaciones de PSI - IRI para pavimentos flexibles

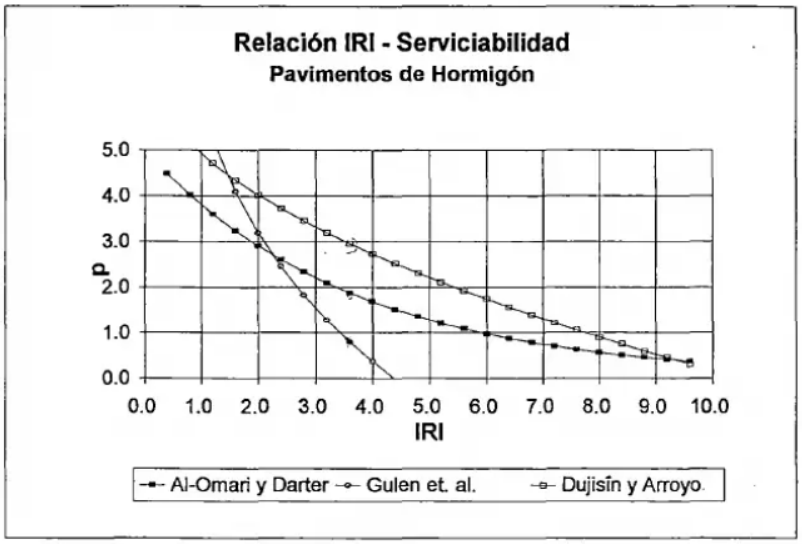


IRI (m / Km)	Indice de Serviciabilidad "p"			
	HDM III	Al - Omari y Darter	S. Gulen et. al.	D. Dujisin A. Arroyo
1.0	4.2	3.9	4.8	4.2
1.5	3.8	3.5	3.7	3.8
2.0	3.5	3.1	2.9	3.5
2.5	3.2	2.7	2.3	3.2
3.0	2.9	2.4	1.8	2.9
3.5	2.6	2.2	1.3	2.7
4.0	2.4	1.9	1.0	2.5
4.5	2.2	1.7	0.6	2.3
5.0	2.0	1.5	0.4	2.1

Nota: Fuente (Dujisin Q. & Arroyo A., 1995)

Figura 11

Relación PSI - IRI para pavimentos rígidos



IRI (m / Km)	Indice de Serviciabilidad "p"			
	HDM III	Al - Omari y Darter	S. Gulen et. al.	D. Dujisin A. Arroyo
1.0	-	3.8	5.0	4.9
1.5	-	3.3	4.4	4.4
2.0	-	2.9	3.2	4.0
2.5	-	2.5	2.3	3.6
3.0	-	2.2	1.5	3.3
3.5	-	1.9	0.9	3.0
4.0	-	1.7	0.4	2.7
4.5	-	1.5	0.0	2.5
5.0	-	1.3	0.0	2.2

Nota: Fuente (Dujisin Q. & Arroyo A., 1995)

2.2.16. Correlación con el MTC

2.2.16.1. Serviciabilidad - Regularidad Superficial

La felicidad de los conductores se revela, primordialmente, en la excelencia de la carretera y en los componentes que conforman la estabilidad vial.

AASHTO fue la primera en sistematizar un procedimiento objetivo para Determinar el estado de degradación de los asfaltos, buscando entrelazar su funcionalidad con su forma.

Para ello, aplicó el PSI, una innovación nacida de un sondeo realizado en los años 60 entre los conductores de vías en EEUU.

El Índice de Empleabilidad Actual se refiere a la habilidad de un asfalto para adaptarse al tráfico específico para el que fue concebido. Los asfaltos recibieron calificaciones que oscilaban entre O, para un sendero impracticable, y 5 para un área en estado de óptimo estado (escenario óptimo). (MTC, 2014)

Figura 12

Escala de Índice de Serviciabilidad



Nota: Fuente (Guía AASHTO)

La evaluación de la condición de un suelo mediante el PSI o el Valor de Empleabilidad surge de una inspección visual de su superficie.

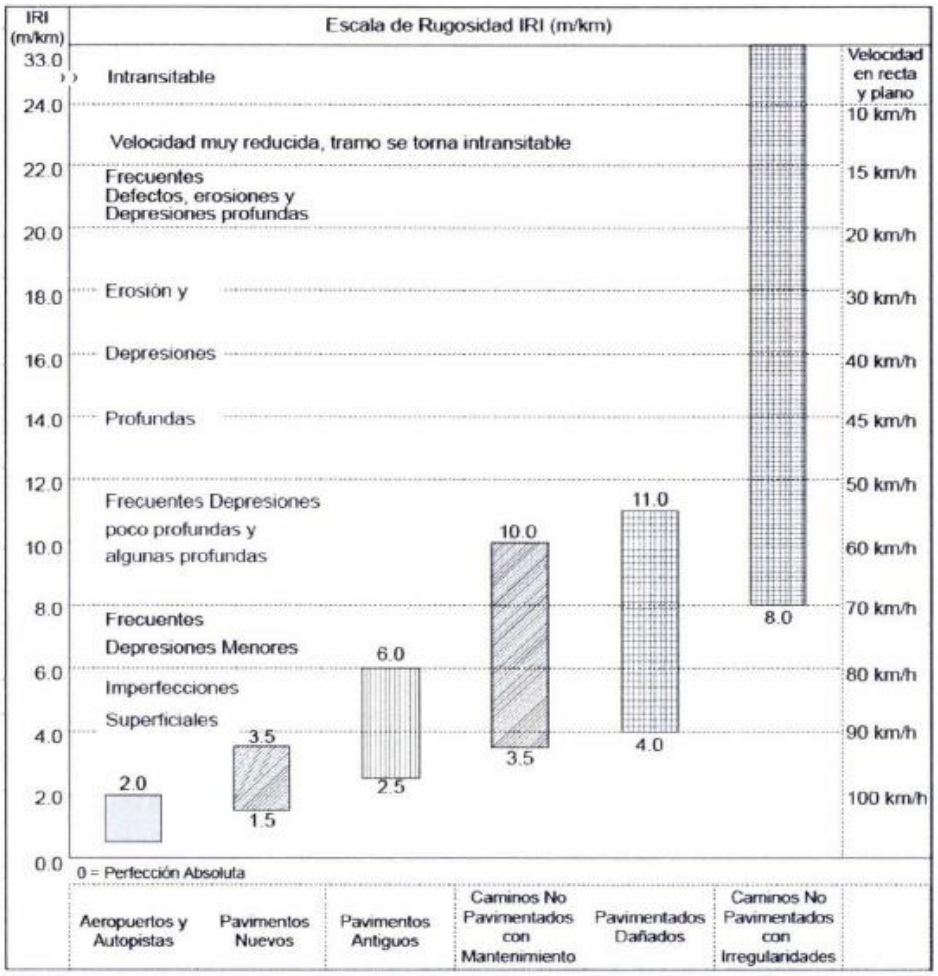
A través del estudio brasileño (GEIPOT, 1982; Paterson, 1987), se analizaron y simularon las repercusiones físicas del desgaste y el manejo del asfalto, estableciendo así las características físicas esenciales un reciente criterio llamado IRI, que denota la armonía inferior de un asfalto y influye en la operativa del automóvil, influyendo en la protección, el bienestar, la rapidez del recorrido y el deterioro de sus componentes.

Los análisis del Banco Mundial revelan la firmeza tanto con dispositivos precisos como mediante observaciones visuales que entrelazan la clase y

condición del asfalto con la rapidez con la que los coches circulan. Luego, se muestra un diagrama, mejorado y convertido de "Normas para la realización y calibración de mediciones de rugosidad en caminos", (Sayers M.W., Gillespie T.D., Paterson W.D; Workl Bank T.echnical Paper No 46, 1986), que ilustra las métricas de firmeza para diversos tipos de asfalto y su estado. (MTC, 2014)

Figura 13

Escala de Rugosidad IRI (m/km)



Nota: Fuente (MTC, 2014)

La evaluación de las deformidades se llevará a cabo conforme al Manual de Experimentación de Componentes del MTC.

Para evaluar la densidad preliminar de un asfalto recién instalado y de un asfalto ya reforzado, así como la firmeza durante su uso, se sugieren los próximos parámetros:. (MTC, 2014)

Tabla 6

Rugosidad Inicial IRI (m/km)

Tipo de Carretera	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Nuevo IRI (m/km)	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Reforzado IRI (m/km)	Rugosidad Característica Durante el Periodo de Servicio IRI (m/km)	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 85%

Nota: Fuente (MTC, 2014)

2.2.17. Correlación con PCI

2.2.17.1. Índice de Condición del Pavimento (PCI)

El PCI mide el estado presente del asfalto según el desgaste visto, lo que asimismo muestra la solidez de la edificación y el estado operativo del fondo . El PCI no evalúa la aptitud física, la oposición al movimiento ni la rugosidad. Ofrece un pilar clara y lógica para identificar las demandas y prioridades de conservación y restauración. El vigilancia constante del PCI ayuda a conocer la velocidad del desgaste del asfalto, lo que facilita detectar a tiempo las demandas más relevantes

de reparación. El PCI da información sobre cómo está el asfalto con el fin de confirmar o optimizar el esquema y los métodos de cuidado actuales.

2.2.17.2. Correlación mediante el modelo matemático general

Gran parte de los investigadores están de acuerdo en que el nexo no es una línea recta, sino una curva exponencial. El modelo más aceptado actualmente es el propuesto por (Arhin et al., 2015) para pavimentos asfálticos:

$$PCI = 100 * e^{-0.045*IRI}$$

Donde:

PCI = escala de 0 a 100.

IRI = Medido en m/km.

$e = 2.718$ $(constante\ de\ euler)$

2.2.17.3. Comparación de Escalas

Según la Norma (*ASTM D6433*, s. f.) nos indica que la correlación que tiene el IRI y el Valor de Estado del asfaltado (PCI):

Tabla 7

Correlación IRI - PCI

Estado del Pavimento	PCI (0 a 100)	IRI (m/km)
Excelente / Muy Bueno	85 - 100	< 1.5
Bueno	70 - 84	1.5 - 2.5
Regular / Satisfactorio	55 - 69	2.5 - 3.5
Pobre / Malo	40 - 54	3.5 - 4.5
Muy Pobre	25 - 39	4.5 - 6.0
Fallado	0 - 24	> 6.0

Nota: Fuente (*ASTM D6433*, s. f.)

2.2.18. Correlación con Niveles de Servicio

2.2.18.1. Para la conservación de pavimentos flexibles – calzada y berma

Figura 14

Niveles de Servicio para: CALZADA (Tratamiento Superficial)

3a. Niveles de servicio para: CALZADA (Tratamiento Superficial)		Nivel de Servicio Tipo de Vía				
		Autopista 1ra clase	Autopista 2da clase	Carretera 1ra clase	Carretera 2da Clase	Carretera 3ra Clase
Parámetro	Medida	IMD > 6000	4001 ≤ IMD ≤ 6000	2001 ≤ IMD ≤ 4000	400 ≤ IMD ≤ 2000	IMD < 400
Piel de Cocodrilo	Porcentaje máximo de área con piel de cocodrilo	-	-	-	-	0%
Fisuras Longitudinales	Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3 mm de grosor	-	-	-	-	0%
	Porcentaje máximo de área con fisuras entre 1 y 3 mm de grosor	-	-	-	-	5%
Deformación por deficiencia estructural	Porcentaje máximo de área con hundimientos mayores que 25 mm.	-	-	-	-	0%
Ahuellamiento	Porcentaje máximo de área con ahuellamiento mayor que 12 mm.	-	-	-	-	5%
Reparaciones o parchados	Porcentaje máximo de parches en mal estado	-	-	-	-	0%
Peladura y Desprendimiento	Porcentaje máximo de áreas con peladuras	-	-	-	-	5%
	Porcentaje máximo de áreas con desprendimiento	-	-	-	-	0%
Baches (Huecos)	Porcentaje máximo de área con Baches (huecos)	-	-	-	-	0%
Fisuras Transversales	Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3 mm de grosor	-	-	-	-	0%
	Porcentaje máximo de área con fisuras entre 1 y 3 mm de grosor	-	-	-	-	5%
Desprendimiento de bordes	Porcentaje máximo de longitud con desprendimiento de bordes	-	-	-	-	5%
Rugosidad Obra Nueva	Rugosidad característica del tramo (TSB nuevo)	-	-	-	-	3.0 IRIc (1)
Rugosidad Obra con Recapa Asfáltica	Rugosidad característica del tramo (TSB con Recapa Asfáltica)	-	-	-	-	3.5 IRIc (1)
Rugosidad Periodo de Servicio	Rugosidad característica del tramo (TSB Periodo de Servicio)	-	-	-	-	4.3 IRIc (1)
Fricción Superficial	Coeficiente de fricción medido en pavimento mojado	-	-	-	-	No menor de 0.50

(*) De acuerdo al Manual de Suelos y Pavimentos del MTC las superficies de rodadura con Tratamiento Superficial se aplican en caminos con IMD ≤400 no obstante en caso de presentarse Tratamientos Superficiales en Caminos con IMD > 400 vehículos, los niveles de servicio serán los que determine la Entidad encargada de la Conservación Vial.

(1) IRI_c característico (IRI_c), a la confiabilidad de 70%
IRI_c = IRI_p + 0.524 x ds
IRI_p = IRI promedio
ds = desviación estándar

Fuente: Elaboración Propia, en base a Contratos de Concesión Vial, Contratos por Niveles de Servicio, Tabla de parámetros globales del HDM4, Manual de Suelos y Pavimentos del MTC.

Nota: Fuente (MTC, 2014) (Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial)

2.2.19. Correlación con HDM – 4

2.2.19.1. HDM – 4

Este modelo está diseñado para calcular los gastos unitarios de los conductores de la vía adoptando el MDGC (HDM-4) Versión 2 relaciones para velocidades, tiempos de viaje, gastos de funcionamiento de automóviles y emisiones. Los costos de seguridad vial se calculan siguiendo la metodología del Programa Internacional de Evaluación de Carreteras (iRAP). (*HDM - 4*, 2010)

El modelo HDM-4 recomienda valores predeterminados para las diferentes características de la carretera. Los valores predeterminados recomendados por HDM-4 para la rugosidad se dan en la tabla a continuación. (*HDM - 4*, 2010)

Tabla 8

Rugosidad de carreteras pavimentadas (IRI, m/km)

Rugosidad de carreteras pavimentadas (IRI, m/km)			
Estado de la carretera	Carreteras primarias	Carreteras secundarias	Carreteras terciarias
Bueno	2	3	4
Regular	4	5	6
Pobre	6	7	8
Malo	8	9	10

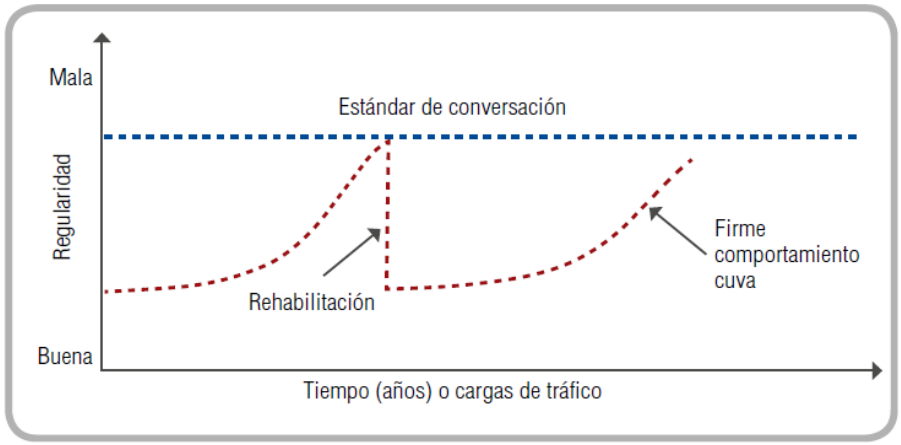
Nota: Fuente (*HDM - 4*, 2010)

2.2.19.2. Marco analítico de HDM-4

La gráfica 2.1 muestra las directrices previstas en el desempeño de hormigón, que se mide por el nivel de rodadura. Esto normalmente se evalúa utilizando el IRI. Al definir un plan de conservación, se establece una meta para el desgaste que puede alcanzar el asfalto. (*MEF*, 2015)

Figura 15

Concepto de análisis del ciclo de la vida útil en el HDM-4

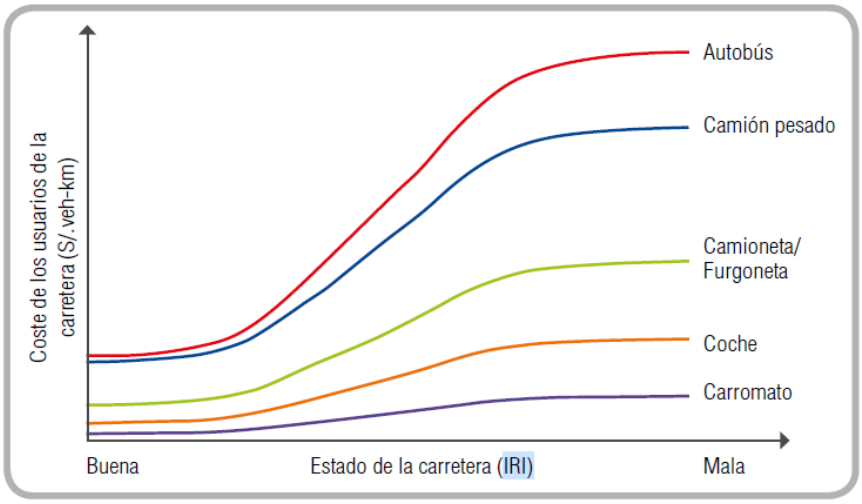


Nota: Fuente (*Ministerio de Economía y Finanzas*, 2015)

Es importante señalar que en el HDM-4 es posible estimar para movilidad automóvil (autos, camionetas, buses, camiones, etc.) para movilidad sin motor (bicicletas, triciclos, etc.). La Fig 16 muestra cómo el estatus de la vía (medido con el IRI) afecta la tarifa de los diversos tipos de movilidad. (MEF, 2015)

Figura 16

Efecto del estado de la carretera sobre los costos de operación vehicular para un terreno ondulado



Nota: Fuente (*Ministerio de Economía y Finanzas*, 2015)

2.2.19.3. Aplicaciones del HDM-4

La estrategia de costos en las estructuras viales a medio y largo plazo' implica que la entidad debe considerar las demandas de todas sus vías.

Así, el estudio táctico incluirá estructuras integrales o subredes que son controladas por una sola empresa. Casos de las pioneras son las rutas esenciales, las rutas campestres y las vías metropolitanas (o municipales), entre otras. Un caso de redes subterráneas son todas las vías, carreteras y las rutas, ya sean asfaltadas o no. En la realidad de Perú, este análisis lo realiza una sola equipo encargada (como Provias Nacional y Provias Descentralizado), que ofrece bienes como el Plan Movil del Transporte.

Para prever las demandas a temporal y prolongada duración de un conjunto o subred de vías, el HDM-4 utiliza una base de red de caminos. Esta matriz incluye diferentes tipos de la red, basadas en las características más importantes que

afectan el estado del asfalto y los gastos para los clientes. (*Ministerio de Economía y Finanzas*, 2015)

La evaluación estratégica se puede utilizar para estudiar una red completa y hacer proyecciones para organizar los gastos necesarios con el fin del progreso y el mantenimiento de vías a medio y prolongado plazo, con diversas opciones de presupuesto.

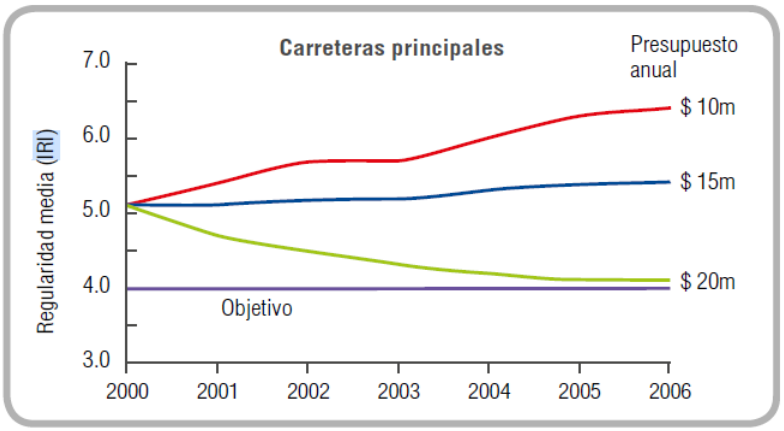
Se crean estimaciones de gastos para períodos de 5 - 40 años. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015)

Algunas de los usos comunes del estudio táctico para las entidades de vías son:

- Proyecciones a corto y largo plazo de la aspiración a fondos para acatar normativas de preservación en una red específica de vías o secciones.

Figura 17

Efecto de los niveles de financiamiento en el comportamiento de la red de carreteras

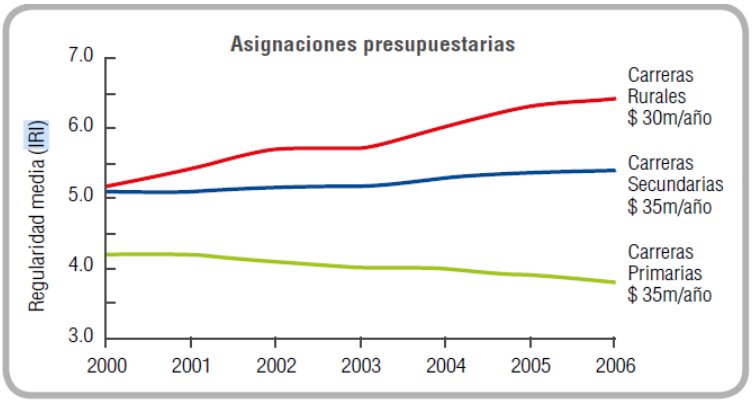


Nota: Fuente (*Ministerio de Economía y Finanzas*, 2015)

- Predicciones sobre el estado en el futuro de las redes de vías con distintos grados de recursos.

Figura 18

Efecto de las asignaciones presupuestarias en el comportamiento de las subredes



Nota: Fuente (*Ministerio de Economía y Finanzas*, 2015)

2.2.19.4. Estándares del HDM-4

La entidad nacional ha establecido normas para el mantenimiento y optimización de las rutas que exigen la realización de los próximos servicios:

2.2.19.4.1.1. Estándares de mejora

- Rehabilitar los vías con un TDPA de más de 150 automóviles al día.
- Aumentar el largo de las vías que tienen una proporción entre peso y habilidad superior mayor a 0.85. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015)

2.2.19.4.1.2. Estándares de conservación periódica

- Reparar los asfaltos que tengan una imperfección mayor a 9.5 IRI.
- Potenciar los cimientos que están en mal deterioro y presentan una imperfección superior a 5.0 IRI.
- Usar suelos de adhesivo en los cimientos donde se note un daño mayor al 30% de la superficie (agujeros, grietas, desgastes, roturas en los bordes, etc.). Esto abarca labores de preparación, como sellar roturas, reparar baches y arreglar esquinas. (*Ministerio de Economía y Finanzas*, 2015)

2.2.19.5. Optimización de la política de mantenimiento pavimentada

Este plan busca la mejor estrategia de conservación para una vía de asfalto sintético con un IMDa de 1,500 en circunstancias adecuadas (3.0 IRI, m/km). Este es el propio método que se examinó en el análisis del caso previo. La única distinción es que actualmente analizamos múltiples directrices de conservación para encontrar la que tenga el mayor VAN. Todas las opciones que se analizan consideran la conservación cotidiana (obras de drenaje y diversas labores) y el 100% de reparaciones de baches a lo largo del tiempo de análisis, y los próximos labores de conservación regular (*MEF*, 2015)

Tabla 9

Alternativas de mantenimiento periódico en función al IRI

Nombre de la alternativa	Trabajos de mantenimiento periódico
Alternativa base	Reconstrucción cuando el IRI llegue a 8 m/km
Sello de 25 mm a 10%	Sello de 25 mm cuando el área dañada llegue a 10%
Sello de 25 mm a 20%	Sello de 25 mm cuando el área dañada llegue a 20%
Sello de 25 mm a 30%	Sello de 25 mm cuando el área dañada llegue a 30%
Ref. de 40 mm a IRI 3.0	Refuerzo de 40 mm cuando el IRI llegue a 3.0 m/km
Ref. de 40 mm a IRI 4.0	Refuerzo de 40 mm cuando el IRI llegue a 4.0 m/km
Ref. de 40 mm a IRI 5.0	Refuerzo de 40 mm cuando el IRI llegue a 5.0 m/km
Ref. de 80 mm a IRI 3.0	Refuerzo de 80 mm cuando el IRI llegue a 3.0 m/km
Ref. de 80 mm a IRI 4.0	Refuerzo de 80 mm cuando el IRI llegue a 4.0 m/km
Ref. de 80 mm a IRI 5.0	Refuerzo de 80 mm cuando el IRI llegue a 5.0 m/km

Nota: Fuente (*Ministerio de Economía y Finanzas*, 2015)

2.2.20. Correlación con Datos de Smartphones (Crowdsourcing)

2.2.20.1. Aplicaciones para teléfonos inteligentes para el monitoreo del estado del pavimento

Los teléfonos inteligentes son uno de los componentes de la comunicación inteligente que son críticos para permitir que dicha tecnología contribuya a lograr

las ciudades inteligentes deseadas. Los teléfonos inteligentes están equipados con una variedad de sensores junto con capacidades de computación, comunicación y almacenamiento a bordo. Estas características les permiten volverse autónomos, escalables, inteligentes y rentables para las próximas generaciones de sistemas de monitoreo de ingeniería civil en las futuras ciudades inteligentes. La recopilación de información multisensorial a través de teléfonos inteligentes utilizando un método de detección de crowdsourcing tiene el potencial de ser un recurso valioso para tomar decisiones inteligentes en ciudades inteligentes. Las aplicaciones de teléfonos inteligentes pueden recopilar datos de las condiciones del pavimento y transmitirlos a sistemas centrales, lo que permite a las ciudades inteligentes administrar mejor su infraestructura a través de decisiones informadas sobre mantenimiento y reparación. (Al-Sabaeei et al., 2024)

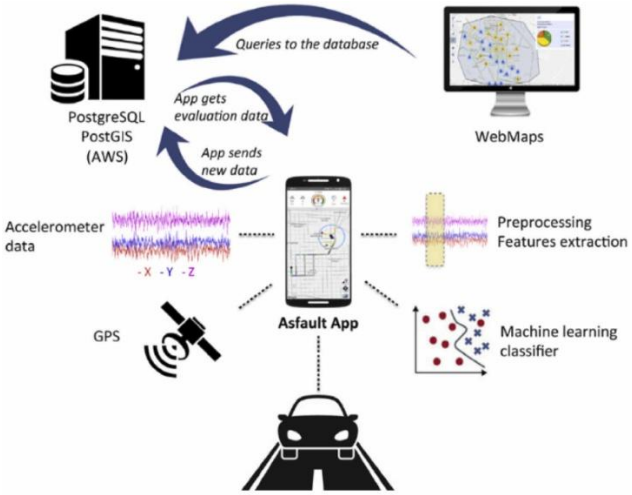
2.2.20.2. Estudios experimentales y de modelo sobre el monitoreo del estado del pavimento

La efectividad de la aplicación para teléfonos inteligentes de la herramienta de condición de la carretera (RCT) fue investigada por Staniek, basándose en los datos de colaboración abierta recopilados a través de los usuarios de celulares para diagnosticar las circunstancias del pavimento en Polonia. Se afirmó que la aplicación podrá identificar y evaluar los defectos del pavimento analizando el movimiento dinámico de los vehículos en las redes de carreteras . El usuario con teléfonos inteligentes equipados con la aplicación RCT puede registrar la velocidad, la aceleración y el estado del vehículo y enviar automáticamente los datos a la base de datos del servidor RCT principal para su análisis y enviar de vuelta la estimación del estado de la carretera a los usuarios cada 10 m de largo. El sistema desarrollado se compone de una aplicación para

Android y una aplicación web. Se afirmó que el sistema desarrollado puede ser útil para todos los usuarios de la vía pública, ya que les permite planificar mejores rutas basándose en la comodidad del viaje y la detección de la calidad del pavimento. (Al-Sabaeei et al., 2024)

Figura 19

Método de detección de crowdsourcing



Nota: Fuente (Al-Sabaeei et al., 2024)

2.2.20.3. Estudios centrados en las aplicaciones de los teléfonos inteligentes para la monitorización del estado del pavimento

Basándose en las aplicaciones para teléfonos inteligentes que se han utilizado en diversos estudios para evaluar la viabilidad de esta tecnología para evaluar el estado del pavimento, se puede clasificar el estado del mismo según el tipo de defecto que perjudique la protección y el confort de las personas de la vía. Estos defectos pueden presentarse en forma de rugosidades, surcos, grietas, baches u otros que provoquen el deterioro del pavimento o incluso su daño total. (Al-Sabaeei et al., 2024)

2.2.20.3.1.1. Rugosidad

La rugosidad constituye las cualidades más relevantes del asfalto debido a sus impactos inmediatos en la protección en las carreteras, la comodidad de los clientes y el coste de operación de los móviles. Es fundamental, además de otros problemas que los grupos de gestión de pavimentos tienen en cuenta para realizar tareas de mantenimiento y rehabilitación.

Varios métodos se utilizan comúnmente para cuantificar el IRI de la área del asfalto, pero la mayoría de ellos son ineficientes o costosos. Por lo tanto, el acelerómetro en la técnica del teléfono inteligente fue propuesto por investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts para detectar los defectos del pavimento, incluida la rugosidad, que resultó ser un gran método para capturar la rugosidad del pavimento rápidamente de una manera muy económica. En este sentido, Islam et al., determinaron el IRI de tres sitios de prueba de 2 millas de largo utilizando la aceleración vertical del vehículo basada en un teléfono inteligente y basándose en métodos de perfilador inercial. Se informó que el IRI obtenido de la aplicación del teléfono inteligente y el obtenido del perfilador inercial son muy cercanos. También se afirmó que los datos del teléfono inteligente basados en IRI se pueden utilizar para decidir más efectiva para el diseño , conservación y rehabilitación de pavimentos.

Islam et al., realizaron otro análisis con el fin de medir la textura de la capa del asfalto utilizando una aplicación para teléfonos inteligentes de nuevo desarrollo. La aplicación Roughness Capture se desarrolló y utilizó en este estudio. Se empleó el software ProVAL para crear el perfil del pavimento basándose en los registros de rapidez recogidos por el dispositivo del acelerómetro

del teléfono inteligente. La rugosidad se calculó con base en los datos del teléfono inteligente y se comparó con un perfil del pavimento obtenido a partir del método del perfilador inercial. Se informó que la aplicación desarrollada tiene una buena correlación con los resultados obtenidos a partir del método del perfilador inercial.

Con base en los estudios revisados sobre las aplicaciones de detectores de celulares táctiles para medir la densidad del asfalto y el resumen presentado en la Tabla 10, se puede afirmar que esta tecnología es rentable y presenta una precisión adecuada en comparación con la mayoría de los demás métodos utilizados para medir la rugosidad de carreteras y aeropuertos. Si bien se ha realizado una amplia investigación al respecto, aún se necesitan más estudios para mejorar la precisión y desarrollar un método estándar para teléfonos inteligentes que pueda recomendarse como alternativa a los métodos existentes en diferentes países para diferentes condiciones. (Al-Sabaeei et al., 2024)

Tabla 10

Resumen de los hallazgos de la literatura sobre aplicaciones de teléfonos inteligentes para la detección de la rugosidad de la superficie del pavimento

Referencia/País	Objetivos	Método de recopilación de datos	Métodos de análisis	Resultados y hallazgos	Observaciones
Islam et al. 2014 / EE. UU.	Medir y comparar el IRI obtenido del acelerómetro del teléfono inteligente y el perfilador inercial.	Acelerómetro y perfilador inercial de teléfonos inteligentes.	Se utilizó el código MATLAB y el programa de visualización y análisis de perfiles para estimar el IRI.	El IRI obtenido a partir de datos de aplicaciones de teléfonos inteligentes es muy similar al obtenido a partir del perfilador inercial.	Se recomendó que se recopilen más datos para futuros estudios a diferentes velocidades y ritmos del vehículo.
Janani et al. 2021 / India	Estudiar los efectos de diferentes rendimientos de teléfonos inteligentes y diferentes velocidades del vehículo en la detección de rugosidad	Sensor y rugosímetro para smartphone	Simulación de un cuarto de vagón (QCS)	Se encontró una alta correlación entre la rugosidad de los datos de teléfonos inteligentes a diferentes velocidades de vehículos y el IRI del rugosímetro.	Se recomendó que en el futuro se realicen más estudios sobre los efectos del tipo de pavimento, la temporada de recopilación de datos, el estado de la carretera (húmeda o seca) y la temperatura del pavimento en la estimación de la rugosidad basada en datos de teléfonos inteligentes.
Aleadelat et al. 2018 / EE. UU.	Explorar la viabilidad de utilizar un acelerómetro basado en teléfonos inteligentes para la medición de rugosidad	Acelerómetro 3D y perfilador de Dakota del Sur	Técnicas de procesamiento de señales y reconocimiento de patrones	La rugosidad obtenida a partir del método basado en teléfonos inteligentes resultó aceptable en comparación con la obtenida a partir del perfil de Dakota del Sur.	Se recomiendan más estudios para investigar los efectos de diferentes teléfonos inteligentes, diferentes velocidades y diferentes vehículos en la precisión de la rugosidad basada en teléfonos inteligentes.
Zeng et al. 2017 / EE. UU.	Estudiar la capacidad de los sensores basados en teléfonos inteligentes para medir la rugosidad del pavimento	Acelerómetros de teléfonos inteligentes	Microsoft Excel	Una aplicación basada en teléfonos inteligentes resultó ser eficiente y	Se recomendaron diferentes carriles de autopista, diferentes vehículos, diferentes

				rentable para monitorear la rugosidad del pavimento.	velocidades y diferentes viajes de recopilación de datos para futuras investigaciones.
Zhang et al. 2021 / China	Proponer un método teórico basado en datos de teléfonos inteligentes para la estimación del IRI	Aplicación Android Studio 2.0, GPS, acelerómetro y vehículo de reconocimiento digital (DSV)	Modelo de vehículo real de un cuarto, MATLAB para preprocesamiento de señales	El método teórico propuesto basado en datos de teléfonos inteligentes exhibió menos del 10% de error en comparación con el método basado en DSV	Se destacaron los algoritmos teóricos basados en modelos de vehículos completos o de medio vehículo que serán utilizados en estudios futuros por los mismos autores.
Bisconsini et al. 2018 / Brasil	Evaluar la aplicabilidad de datos basados en teléfonos inteligentes para estimar el IRI	Acelerómetro de teléfono inteligente y sensores GPS, método de varilla y nivel	Software ProVAL	El IRI obtenido a partir de datos basados en teléfonos inteligentes mostró un valor R^2 de 0,97 con el IRI obtenido de la técnica de varilla y nivel, lo que indica la precisión de los datos basados en teléfonos inteligentes para estimar el IRI	El IRI basado en teléfonos inteligentes debe compararse con el IRI basado en otros instrumentos, como los perfilómetros inerciales.
Alatoom y Obaidat 2021 / Jordania	Se propone un procedimiento para estimar el IRI para caminos rurales.	Sensor acelerómetro y GPS de smartphone con diferente frecuencia de muestreo	Transformación de Fourier, integración trapezoidal doble y transformación de Fourier inversa para generar el perfil de la carretera. Software ProVal utilizado para el análisis de datos.	El procedimiento desarrollado demostró ser una muy buena estimación para el IRI con un valor R^2 de 0,72	Se recomendaron más estudios sobre los efectos de diferentes presiones de neumáticos, tamaños de vehículos, motores y rigidez de resortes en la medición del IRI.

Nota: Fuente (Al-Sabaeei et al., 2024)

2.2.21. Estrategias de intervención

Dependiendo de los valores de IRI que obtengas con el MERLIN, la estrategia de intervención se clasifica generalmente en 3 tipos:

2.2.21.1. Mantenimiento Rutinario (Conservación)

Según el (MTC - 2018, s. f.), nos dice que:

- Cuando: El IRI es bajo (< 2.5 m/km) y el PSI es alto (4.0 - 5.0).
- Acciones: Limpieza de calzada, bacheo puntual, limpieza de drenajes.
- Objetivo: Evitar que pequeñas fallas se conviertan en daños estructurales.

2.2.21.2. Mantenimiento Periódico / Correctivo (Recuperación)

Según el (*MTC - 2018*, s. f.), nos dice que para una vía de recuperación se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Cuando: El IRI es Regular/Malo (3.6 - 5.0 m/km) y el PSI está entre 2.0 - 3.0.
- Acciones: Recapeo asfáltico (refuerzo de la carpeta), fresado de la superficie irregular y colocación de una nueva capa de rodadura.
- Objetivo: Devolver el confort de manejo (bajar el IRI) y reforzar la capacidad estructural.

2.2.21.3. Rehabilitación o Reconstrucción

Cuando la estructura ha fallado, la (*Guía AASHTO*, 1993) es la fuente madre para el diseño de estas intervenciones profundas, nos dice que hay que tener en cuenta las siguientes características:

- Cuando: El IRI es Muy Malo (> 5.0 m/km) y el PSI es menor a 2.0.

- Acciones: Levantamiento total del pavimento, estabilización de la base/subbase y colocación de una nueva estructura.
- Objetivo: La vía ha fallado totalmente y ya no es segura ni económica de mantener.

2.2.22. Recapeos Asfálticos

2.2.22.1. Descripción

Esta labor implica poner varias cubiertas de compuesto asfáltico a través de el área de un asfalto, abarcando canales, vías y diversas partes.

El deber es restaurar la edificación y la superficie del asfalto para lograr un tráfico vial seguro, cómodo, rápido y económico.

Normalmente, los remociones asfálticas se hacen durante el mantenimiento periódico del asfalto flexible, cuando está en un estado aceptable. Este condición debe ser evaluado mediante pruebas técnicas. La condición normal de un asfalto flexible se logra cuando el IRI está entre 2.8m/km y 4.5m/km. (MTC, 2014)

2.2.22.2. Procedimiento de ejecución

El proceso común es el próximo:

1. Poner indicaciones de advertencia y equipos de protección que aseguren que las tareas se realicen de forma confiable y que el tráfico se mantenga organizado sin peligros de colisiones a lo largo del lapso necesario.
2. Los empleados deben tener los atuendos y cada equipamiento de salvaguardia propio según las directrices actuales.

3. Detectar las áreas donde se trabajará y definir los límites para la tarea diaria, según lo que se indica en el Plan Técnico preparado antes.

4. Capturar imágenes de los escenarios más significativos y/o emblemáticos tanto en el escenario previo como en las siguientes fases de evolución.

5. Hacer el plan minucioso para la pavimentación y asignar el equipo necesario.

6. Hacer el terreno para la limpieza asfáltica, realizando perforaciones y sellados de orificios y fallas, y llevar a cabo una minuciosa limpieza, eliminando cualquier residuo, suciedad, pedregoso y otros elementos sueltos. En ocasiones, es necesario pulir la capa asfáltica actual y, tal vez, alguna porción de la capa inicial, hasta alcanzar la medida indicada en el Plan de Estructuras.

7. A lo largo del desarrollo, asegurarse de que el clima se mantenga sereno y sin precipitaciones. Además, inspeccionar los problemas de los aparatos para asegurar una aplicación eficiente y efectiva.

8. Desentrañar un manto de acero y facilitar su sanación.

9. Acatar las directrices de la sección 423 del Manual de Carreteras para la instalación y reducción de la mezcla. Esquemas Técnicos Fundamentales para la Edificación, actuales. Los métodos empleados para llevar a cabo estas labores no deberán impactar, de ninguna manera, otras zonas del asfalto, las bermas y diversas partes de la vía no contemplados en el proyecto; cualquier perjuicio deberá ser repuesto por el proveedor en el transcurso de esta tarea.

10. Desentrañar y poner los residuos sobrantes en los lugares designados.

11. Al finalizar los labores, quita las alarmas y aparatos protegidos. (MTC, 2014).

Figura 20

Procedimiento de ejecución de Recapeo



Nota: Fuente (MTC, 2014)

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Transitabilidad

La condición del conjunto viaria que garantiza un flujo del automóvil constante en un lapso específico. (Pomasonco De La Cadena, 2010)

2.3.2. Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

Constituye una cifra, en un rango de 0 a 5, que revela el estado de los caminos en un instante específico, garantizando así un tránsito protegido y placentero para los conductores. (Pomasonco De La Cadena, 2010)

2.3.3. Índice de Regularidad Internacional (IRI)

El IRI es el termómetro que revela el aspecto más distintivo de la salud operativa de la fibra de conexión de un pavimento. (W. Sayers & M. Karamihas, 1998)

2.3.4. Rugosímetro de MERLIN

Es un artilugio concebido exclusivamente para evaluar la elasticidad del suelo, siendo una metamorfosis del perfilómetro inmutable. Encapsulado en capa sintética de tonalidades amarillas y negras. Plegable, para que el empaque y el movimiento.. (DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, 1999)

2.3.5. Pavimento Flexible

Los pavimentos flexibles son estructuras multicapa las cuales se deflactan o flexibilidad se adapta al flujo del tránsito o a las pesadas que soportan, se caracterizan por su capacidad de recuperar su forma original, comportándose como una estructura elástica; el uso de pavimentos flexibles se da principalmente en pavimentos de carreteras, autopistas, pistas de aeropuertos y aparcamientos con cargas de tráfico moderadas a altas. Es ideal para zonas con climas y condiciones de suelo variables, ya que resiste el agrietamiento y la deformación. Esta flexibilidad resulta crucial para adaptarse a terrenos con distintas características geotécnicas, permitiendo soluciones más económicas y de rápida ejecución. (Prada, 2025)

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Hernández Sampieri & Mendoza (2018), se enfoca en solucionar desafíos tangibles empleando habilidades teóricas que permitan optimizar procedimientos, adoptar resoluciones bien fundamentadas y crear soluciones efectivas en contextos concretos (p.151). El análisis explora de forma práctica el asfalto flexible usando el tipo de Merlin para evaluar la firmeza y examinar el PSI. A partir de estos hallazgos, se elaboró la arquitectura de la capa de asfalto como una iniciativa para optimizar la movilidad en la Avenida Andrés Avelino Cáceres. Esta prueba adopta una perspectiva cuantitativa, lo que conlleva la evaluación y escrutinio minucioso de información.

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Según Hernández Sampieri & Mendoza (2018), recolecta registros que se someten a un estudio profundo y revela data sobre múltiples nociones, factores, aspectos y elementos del evento o asunto en cuestión. En el estudio descriptivo, el científico elige un conjunto de interrogantes y, posteriormente, recolecta datos sobre cada interrogante para desentrañar (explicar o definir) lo que se encuentra explorando (p. 108).

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El análisis adopta un enfoque sin experimentar, según (Hernández Sampieri & Mendoza, 2018), destacando que los factores autónomos no se alteran deliberadamente para evaluar su influencia en otras variables. En este grado de estudio, se contemplan los eventos en su contexto natural, pues ya han ocurrido y los efectos se examinan posteriormente. Este método se denomina exploración holística o holística.

En nuestro estudio, empleamos una métrica rugosífera de Merlin para registrar las alturas y alineaciones del asfaltado, y determinar su tipo y PSI. Con dichos datos, sugerimos optimizar la creación de la capa estructural, teniendo en cuenta la diversidad de automóviles que transitan por la ruta.

3.4. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

Es una metodología cuantitativa, ya que se recolectan datos de la audiencia investigada para verificar las teorías formuladas.

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1. Población

La precisa es la Av. Manuel Núñez Butron, que tiene una longitud total de 1377.04m y un ancho variable de 6.60m a 7.20m.

3.5.2. Muestra

La muestra de estudio son 800 m., divididos en 2 tramos de 400 m. cada uno; es específicamente en el tramo desde Jr. Putina hasta el cruce con el Jr. San José (Puente colgante Yaraja), de la Avenida Manuel Núñez Butrón; las que tienen problemas que vienen afectando la superficie del pavimento flexible.

3.6. TÉCNICAS FUENTES E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.6.1. Técnica

Hernández Sampieri & Mendoza (2018), la indagación nos brinda una perspectiva más ordenada de lo que observamos, abarcando desde cimientos materiales hasta conductas y actitudes en el ámbito de análisis (p. 290).

3.6.2. Instrumento

En el estudio se empleó la herramienta de hoja de recopilación de registro, dictada por el documento del Rugosímetro Merlin y el (MTC, s. f.), para analizar la circulación acta estimado. A partir de (Hernández Sampieri et al., 2014), los celulares son herramientas que te facilitan capturar información o datos mediante la aplicación de técnicas, sobre las variables.

3.7. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO

3.7.1. Validez del instrumento

Como indica Charaja (2011) afirma: «La credibilidad propone cuánto se ajusta realmente un instrumento a la variable que desea examinar y evaluar, los resultados de la investigación determinarán si existe claridad, por lo tanto, garantizará que tiene autenticidad». (p.331)

3.7.2. Confiabilidad del instrumento

Como retrata Gotuzzo (2007): «La calidad resistente se evalúa por los resultados del énfasis de la prueba que produce resultados comparables en un momento sustitutivo» (p.451).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Resultados del objetivo general

La revisión del ámbito del asfaltado flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón de Azángaro, Región Puno, realizada con el rugosímetro de Merlín, concluye que la vía presenta una condición funcional severamente deficiente, clasificada en un estado operativo de REGULAR a MALO.

Tabla 11

Resumen de resultados de la rugosidad en términos de IRI

Tramo	Carril	D (mm)	IRI Admisible (m/km)	IRI calculado (m/km)	IRI promedio carril (m/km)	Estado del pavimento
0+000 a 0+400	Izquierdo	84.42	2.50	4.57	4.55	Malo
0+400 a 0+800	Izquierdo	83.54	2.50	4.53		Malo
0+000 a 0+400	Derecho	81.96	2.50	4.45	4.43	Regular
0+400 a 0+800	Derecho	79.66	2.50	4.34		Regular
Promedio				4.47	4.47	Regular

La identificación de el orden longitudinal fue cuantificada mediante la evaluación del IRI, calculándose este parámetro en los carriles izquierdo y derecho a lo largo de los sectores definidos: Tramo 1 (km 0+000 - 0+400) y Tramo 2 (km 0+400 - 0+800). Se obtuvieron valores sectoriales de IRI de 4.55 y 4.43, respectivamente, resultando en un valor ponderado de 4.47 m/km. Este valor excede el umbral máximo admisible de 2.5 m/km creo por la normativa técnica peruana (MTC 2014, s. f.). La superación de este límite normativo clasifica el estado de la superficie del asfalto flexible de la Av. Manuel Núñez Butrón en un estado operativo de REGULAR-MALO, caracterizado por la presencia que afecta de manera negativa el tráfico automóvil, causando sonoridades fuertes deterioro severo en áreas específicas y una rugosidad excesiva. Esta deficiencia impacta negativamente en la transpirabilidad vehicular, generando vibraciones intensas que comprometen el confort del usuario y propician el daño prematuro de los componentes mecánicos de los vehículos a largo plazo.

Tabla 12

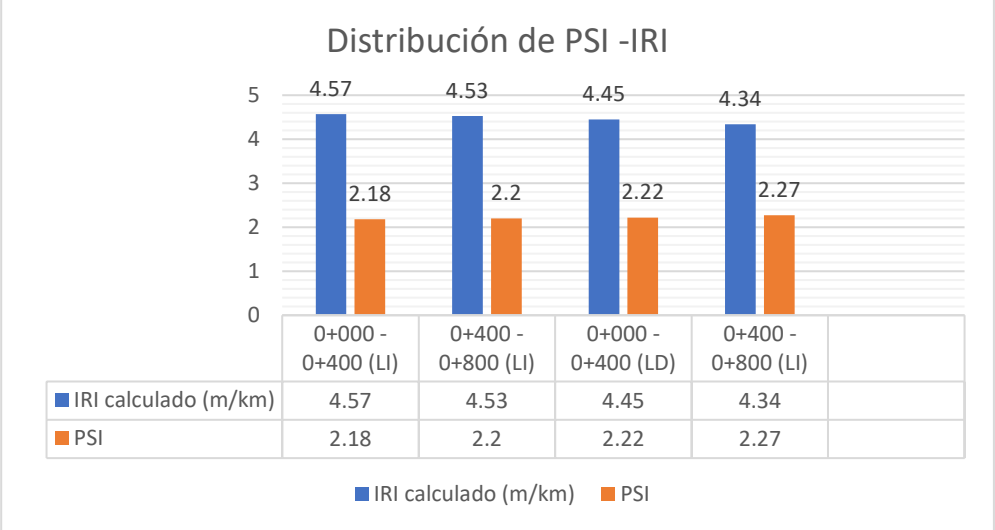
Resumen, resultados de transitabilidad vehicular (PSI) en función al IRI

Tramo	Carril	IRI calculado (m/km)	PSI	PSI promedio carril	Clasificación del (PSI)
0+000 a 0+400	Izquierdo	4.57	2.18	2.19	Regular
0+400 a 0+800	Izquierdo	4.53	2.20		Regular
0+000 a 0+400	Derecho	4.45	2.22	2.25	Regular
0+400 a 0+800	Derecho	4.34	2.27		Regular
Promedio		4.47	2.22	2.22	Regular

Después de analizar los hallazgos del IRI calculado de la rugosidad, se consigue el grado de la accesibilidad de la Av. Manuel Núñez Butron en el instante del análisis. Para esto, se utiliza la tasa del PSI basado en el IRI. Se ve que en el segmento 1 y 2 de la vía izquierdo y derecho, la tasa de PSI está entre 2 y 3 Un promedio da un índice de PSI = 2.22, lo que indica que la ruta nos proporciona una transpirabilidad regular. Esto significa que la superficie del pavimento presenta desvíos que podrían influir en la habilidad de los coches para moverse de forma ágil y confiable

Figura 21

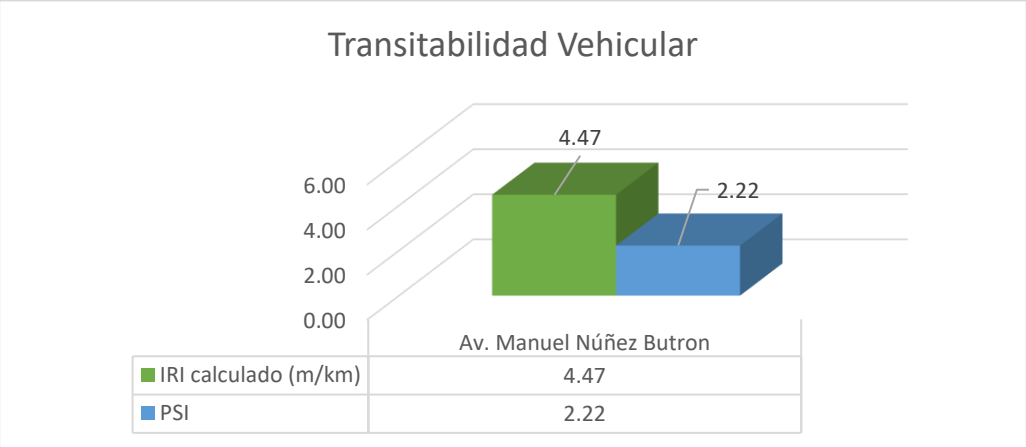
Resultados de PSI - IRI en el tramo 1 y 2 de la Avenida Manuel Núñez Butrón



En resumen, es posible ver en la imagen que cuando la densidad del asfalto incrementa, la tasa de PSI baja y la excelencia del asfalto se empeora. Esto impacta claramente la circulación de vehículos, ya que una mayor anchura hace más difícil manejar, lo que podría poner en riesgo la eficacia y la protección en la Av. Manuel Núñez Butron.

Figura 22

Resultados (PSI - IRI), de la Avenida Manuel Núñez Butrón



El uso del Rugosímetro de Merlín facilita la cuantificación precisa de la constancia longitudinal del asfalto, cuyos resultados, expresados a través del IRI, influyen a través en el paso de vehículos. Es importante evaluar esta deformidad con un estudio operativo, porque ofrece la información necesaria para identificar las alteraciones operativas de la vía. Se ha determinado que la Avenida Manuel Núñez Butrón presenta un Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) de nivel regular, lo cual se traduce en problemas significativos de transitabilidad vehicular, calificándola como funcionalmente mala. Por consiguiente, la elaboración de un reciente esquema de suelo flexible, fundamentado en la data precisa de rugosidad (IRI) y serviciabilidad (PSI), resulta indispensable para garantizar un paso de automóviles óptima, al estar ajustado a las normas reales y requerimientos actuales de la Avenida Manuel Núñez Butrón.

4.1.2. Resultados del OE1 (Cálculo del IRI)

4.1.2.1. Cálculo del Factor de Corrección

F.C.= (EP x 10) / [(LI – LF) x 5]

EP: Espesor de la pastilla = 5.9

LI: Posición inicial del puntero = 25

LF: Posición final del puntero = 12

$$F.C. = \frac{(5.9 * 10)}{[(25 - 12) * 5]}$$

$$F.C. = 0.90769$$

4.1.2.2. Recolección de datos de campo

Tabla 13

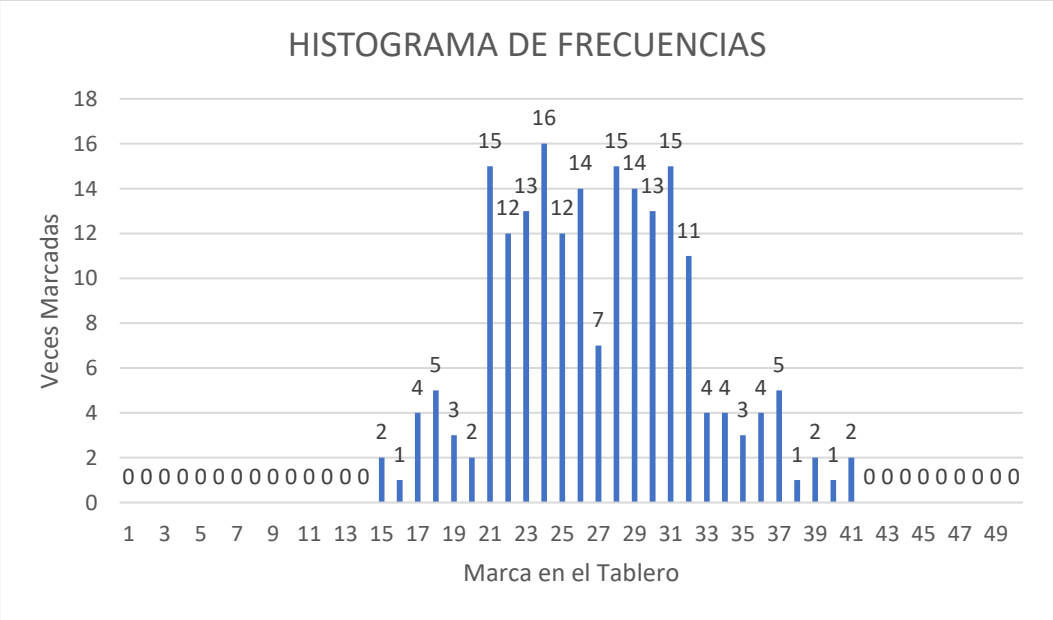
Datos de medición IRI

LECTURAS DE CAMPO									
26	27	29	26	28	31	29	29	18	17
29	26	27	29	29	24	29	22	26	31
23	29	22	22	28	24	39	25	26	22
32	30	24	28	24	20	22	22	31	24
28	15	28	17	21	21	18	25	28	32
31	15	32	24	26	30	27	24	32	37
27	21	23	32	24	21	29	28	21	25
34	29	30	25	31	24	35	26	29	21
21	19	30	35	23	26	32	36	26	40
28	16	28	24	33	36	21	23	21	21
30	24	26	31	24	30	23	28	31	32
31	33	32	34	28	30	34	31	27	25
30	22	23	28	24	39	25	26	28	30
17	23	23	28	22	37	22	19	23	18
24	27	23	33	33	21	18	30	29	35
18	17	26	29	30	22	20	23	28	22
25	36	25	22	24	37	26	21	25	30
31	23	31	25	24	19	32	32	31	21
36	21	26	25	31	38	41	27	21	30
32	41	37	34	29	31	23	31	25	37

4.1.2.3. Graficar el histograma de frecuencias de los datos de campo

Figura 23

Histograma de frecuencias de datos de rugosidad de 400m de carretera



4.1.2.4. Calcular el rango D

Para calcular la gama "D", quitamos 10 información de cada esquina del diagrama de intervalos, y lo que queda es el intervalo que deseamos:

Lado Izquierdo: en la barra (18) quedará.

$$\frac{(5-3)}{5} = 0.4$$

Lado Derecho: en la barra (37) quedará.

$$\frac{(5-4)}{5} = 0.2$$

Entonces el rango "D"

$$D = 0.4 + 18 + 0.2$$
$$D = 18.6$$

4.1.2.5. Corrección del rango "D"

Para ajustar el intervalo "D", incrementamos el F.C. por 5, ya que el panel posee segmentos de 5mm todas ellas.

$$D_{corregido} = 18.6 * 0.90769 * 5$$
$$D_{corregido} = 84.41538$$

4.1.2.6. Cálculo del IRI

$$IRI = 0.593 + 0.0471 * 84.41538$$
$$IRI = 4.56896$$
$$IRI = 4.57$$

4.1.2.7. Cálculo de IRI de las ecuaciones restantes

Tabla 14

Cálculo de IRI

	D (corregido)	IRI calculado	IRI
0+400 – 0+800 (LI)	83.53870	4.52767	4.53
0+000 – 0+400 (LD)	81.96456	4.45353	4.45
0+400 – 0+800 (LD)	79.65800	4.34489	4.34

4.1.3. Resultados del OE2 (Cálculo del PSI en función al IRI)

4.1.3.1. Cálculo de PSI del tramo 1, carril izquierdo

Fórmula propuesta de William Paterson (1987):

$$PSI = 5e^{-IRI/5.5}$$

Donde:

$$e = constante\ de\ euler$$

$$e = 2.71828$$

Entonces reemplazamos valores en la fórmula:

$$PSI = 5e^{-4.57/5.5}$$

$$PSI = 2.17868$$

$$PSI = 2.18$$

Calculando el resultado del PSI, El asfalto flexible de la Av. Manuel Núñez Butron, en el segmento inicial, en la progresiva 0+000 y 0+400, muestra una accesibilidad adecuada deficiente.

4.1.3.2. Cálculo de PSI del tramo 2, carril izquierdo

$$PSI = 5e^{-4.53/5.5}$$
$$PSI = 2.19509$$

$$PSI = 2.20$$

El estado del asfalto flexible en el lado izquierdo de la Av. Manuel Núñez Butron, segmento 2 desde el punto 0+400 hasta el 0+800, es de accesibilidad regular reducida.

4.1.3.3. Cálculo de PSI del tramo 1, carril derecho

$$PSI = 5e^{-4.45/5.5}$$

$$PSI = 2.22489$$

$$PSI = 2.22$$

El estado del asfalto flexible en la parte derecha de la Av. Manuel Núñez Butron, en el tramo 1 desde la progresiva 0+000 hasta la 0+400, es de accesibilidad regular adversa.

4.1.3.4. Cálculo de PSI del tramo 2, carril derecho

$$PSI = 5e^{-4.34/5.5}$$

$$PSI = 2.26927$$

$$PSI = 2.27$$

El estado del asfalto flexible en el lado derecho de la Av. Manuel Núñez Butron, segmento 2, desde el punto 0+400 hasta el 0+800, es de accesibilidad regular desfavorable.

4.1.4. Resultados del OE3

De acuerdo a nuestro Objetivo Específico 3, nos pide proponer una estrategia de intervención para optimizar el estado de la superficie del asfalto

flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón, basada en los resultados de IRI y PSI.

Para ello tomamos los valores finales de IRI y PSI que resultaron de la muestra evaluada.

Según la Tabla N11 nuestro valor de IRI promedio es:

$$IRI_{promedio} = 4.47 m/km$$

De acuerdo la Tabla N12 nuestro valor de PSI promedio es:

$$PSI_{promedio} = 2.22$$

Por lo tanto, de acuerdo al (MTC- 2018, s. f.) nos menciona que existen 3 tipos de estrategias de intervención de acuerdo a los valores de IRI y PSI.

Tabla 15

Estrategias de intervención

	Mantenimiento Rutinario	**Mantenimiento Periódico**	**Rehabilitación o Reconstrucción**
Cuando den valores	IRI < 2.5 m/km y PSI = 4.0 – 5.0	IRI = 3.6 m/km – 5.0 m/km y PSI = 2.0 – 3.0	IRI > 5.0 m/km y PSI < 2.0
Objetivo	Evitar que pequeñas fallas se conviertan en daños estructurales.	Devolver el confort de manejo y reforzar la capacidad estructural.	La vía ha fallado totalmente y ya no es segura ni económica mantener.
Qué medidas tomar	Limpieza de calzada, bacheo puntual, limpieza de drenajes.	**Recapeo Asfáltico**, fresado de la superficie irregular y colocación de una nueva capa de rodadura.	Levantamiento total del pavimento, estabilización de la base/subbase y colocación de nueva estructura.

Nota: Fuente *(Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial - 2018, s. f.)*

4.2. DISCUSIÓN

Según los hallazgos de mi estudio, se estima que el estudio funcional usando el tipo de Merlín ha generado una influencia importante en el tráfico de vehículos en la Av. Manuel Núñez Butron. Se usó una técnica práctica con una buena base conceptual en un estudio de cuatro secciones. Se halló una tasa de IRI = 4.47 m/km y PSI = 2.22, que está en el intervalo de 2 a 3, lo que sugiere que la viabilidad regular.

(Flores Jara & Pilco Galindo, 2021), analizó en la Av. Gustavo Pinto, ciudad de Tacna, alcanzando un IRI de 5.05 m/km y una PSI de 1.987. Estos valores indican que el asfalto está en mal condición y no resulta apto para el paso de vehículos. En síntesis, se verifica que cuanto más liso sea el asfalto, mejor será la circulación de vehículos. Esto indica que el asfalto analizado está en estado superior en comparación en Tacna..

El estudio descriptivo sobre la Av. Manuel Núñez Butron usando el tipo de Merlín, se encontró que la rugosidad media del asfalto flexible es de IRI = 4.47 m/km. Esta medida se tomó en dos segmentos de 400 m en cada parte de los carriles. Se concluye que la rugosidad afecta la circulación de los vehículos.

(Varas Navas & Cárdenas Flores, 2022) se analizó el estado del asfalto flexible en la calle Pablo Rossell, específicamente en las cuadras 5, 6 y 7, en los carriles derecho e izquierdo. Se utilizó el tipo de Merlin en Iquitos y se empleó una técnica explicativo-aplicativa. Se encontró que las calles revisadas poseían un gran mérito de IRI = 7.84 m/km, lo que indica que el asfalto era viejo. También se hallaron problemas típicos como fallas, orificios y infiltraciones. Se llega a la conclusión de que el asfalto en este análisis está a ideal estado que la de Iquitos en esta zona, pero requiere cambios.

La evaluación analizó cómo el PSI afecta el rango de la capacidad de tránsito automóvil del asfalto flexible en la Av. Manuel Núñez Butron, en 4 muestras. La técnica

consistió en evaluar la rugosidad del asfalto para encontrar el PSI, que costó 2.22, lo que muestra que la visibilidad es mala. Según los conceptos del PSI y la densidad del asfalto, se llegó a la conclusión de que el asfalto está en deterioro severo y requiere una medida inmediata. Esto corrobora la teoría de que el PSI afecta cómo se clasifica la accesibilidad.

(Menéndez Sánchez, 2023), Estudio la tasa de firmeza global del piso del asfalto flexible de la vía Colimes-Paján. Usando herramientas avanzados, se examinó la estabilidad del piso de esta vía mediante la tasa de firmeza y apps móviles. La meta fue estudiar la conexión de los hallazgos en diversas partes de la vía. Se usa el IRI Calculator para calcular entre 2,26m/km y 5,11m/km con Totalpave, y se obtiene una rugosidad que va de 1,87m/km a 7,11m/km. El valor de servicio de PSI es 3,51, basado en un vínculo con el importe del IRI. Se llega a la conclusión de que, pese a las diferencias en la densidad, la circulación por el asfalto de la Avenida las Malvinas de Abancay es buena en comparación de la Avenida Manuel Núñez Butrón que tiene un PSI = 2.22.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se determinó que el Índice de Regularidad Internacional (IRI) promedio de la Avenida Manuel Núñez Butrón es de 4.47 m/km, obtenido mediante el análisis de información recogidos con el rugosímetro de Merlín. Según los estándares del Manual de Carreteras del MTC, este resultado clasifica la vía en un estado Malo.

SEGUNDA: Se estableció una correlación estadísticamente significativa entre el IRI y los indicadores internacionales de desempeño funcional. Los resultados confirman que mientras el IRI sube, el PSI baja. hasta alcanzar un valor de 2.22.

TERCERA: A partir del diagnóstico integral basado en los valores de IRI y PSI, se propone como estrategia de intervención la ejecución de un Tipo de intervención: Mantenimiento Periódico mediante un recapeo asfáltico. Esta propuesta técnica está diseñada para reducir la rugosidad actual y devolver los niveles de serviciabilidad a rangos óptimos, lo cual optimizará la condición superficial de la Avenida Manuel Núñez Butrón.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda a las autoridades locales adoptar los lineamientos del modelo HDM-4 para la planificación presupuestaria, priorizando intervenciones basadas en el Costo Total del Ciclo de Vida. Esto implica invertir en mantenimientos preventivos cuando el IRI es bajo, evitando que la progresión del deterioro alcance niveles que disparen los costos de rehabilitación total, optimizando así los recursos públicos de la provincia.

SEGUNDA: Se recomienda a futuros investigadores realizar un estudio comparativo entre los hallazgos del Rugosímetro de Merlín obtenidos en esta tesis y el uso de sensores de smartphones (crowdsourcing), para validar métodos de monitoreo de bajo costo en zonas rurales.

TERCERA: La presente tesis solo se evalúo 800m en un total de 1377.04 que es la longitud total de toda la Avenida Manuel Núñez Butrón, por limitaciones de costos. Queda pendiente una brecha para investigaciones futuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almanza Mendoza, D. A. (2014). Evaluación del Modelo "QUARTER Car" Para la Estimación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del Tramo Huancavelica—Santa Inés. *Universidad Nacional del Altiplano*. https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/1681

Al-Sabaeei, A. M., Souliman, M. I., & Jagadeesh, A. (2024). Smartphone applications for pavement condition monitoring: A review. *Construction and Building Materials*, *410*, 134207. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134207

Arhin, S. A., Williams, L. N., Ribbiso, A., & Anderson, M. F. (2015). Predicting Pavement Condition Index Using International Roughness Index in a Dense Urban Area. *Journal of Civil Engineering Research*, *5*(1), 10-17.

ASTM D6433 (Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys). (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://store.astm.org/d6433-20.html

ASTM E867-06. (2002). *ASTM E867-06—ASTM International—Terminología relacionada con sistemas de pavimento vehicular | GlobalSpec*. https://datasheets.globalspec.com/ds/astm-international/astm-e867-02/80c612f4-e981-4dbb-babf-eee0c9e9f28d

DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, P. (1999). *Manual de Usuario MERLINER para la Determinación de Rugosidad*. Studocu. https://www.studocu.com/pe/document/universidad-senor-de-sipan/diseno-de-pavimentos/manual-de-usuario-merliner-para-la-determinacion-de-rugosidad/145394319

Diaz Quispe, M. I. (2021). *Evaluación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) mediante el equipo MERLIN del pavimento flexible de la carretera los Baños del Inca – cruce carretera aeropuerto – Otuzco, distrito los Baños del Inca—Cajamarca*. https://repositorio.upn.edu.pe/item/5af961c2-a38f-4e1c-8381-468cd59dae83

Dujisin Q., D., & Arroyo A., A. (1995). *DESARROLLO DE UNA RELACIÓN INDICE DE SERVICIABILIDAD (p)—INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)*. Scribd. https://es.scribd.com/document/603712660/Clave-Para-Elecion-de-Formula-de-Relacion-Psi-Iri

Flores Jara, E. J., & Pilco Galindo, D. G. (2021). Análisis funcional del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular, utilizando el Rugosímetro de Merlin en la av. Gustavo Pinto, Tacna—2020. *Universidad Privada de Tacna*. http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1760

Fourth Highway Development and Management Model (HDM-4) road use costs model documentation (Inglés). (2010). [Text/HTML]. World Bank. https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail

Guía AASHTO. (1993). Studocu. https://www.studocu.com/pe/document/universidad-cesar-vallejo/pavimentos/guia-aashto-93-en-espanol/73447874

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill España. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008

Hernández Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta | RUDICS*. https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612

Lloclla Huaychao, A. J. (2019). *Análisis comparativo del índice de rugosidad internacional del pavimento de la Av. La Cultura de la ciudad del Cusco mediante el aplicativo para smartphone roadroid, rugosimetro electrónico bump integrator B1-100a y Rugosimetro de Merlin*. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UACI_81ce35f2b327c07f3f9f936db9945841

Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial—2018. (s. f.). Recuperado 4 de diciembre de 2025, de https://plataforma.constructivo.com/articulo/manual-de-carreteras-mantenimiento-o-conservacion-vial-2018

Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos—MTC 2014. (s. f.). uDocz. Recuperado 4 de diciembre de 2025, de https://www.udocz.com/apuntes/1263846/manual-de-carreteras-suelos-geologia-geotecnia-y-pavimentos-mtc-2014

Menéndez Sánchez, D. G. (2023). *"Análisis del Índice de Rugosidad Internacional de la Superficie del Pavimento Flexible de la Vía Colmes-Paján, Utilizando Equipos Inteligentes"*. [bachelorThesis, Jipijapa-Unesum]. http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4853

MTC. (2014). *Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html

PAUTAS METODOLÓGICAS PARA EL USO Y APLICACIÓN DEL HDM-4 EN LA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA DE TRANSPORTES (RD N° 003-2015-EF/63.01, vigente 28.Feb.15). (2015). Slideshare. https://es.slideshare.net/slideshow/pautas-metodolgicas-para-el-uso-y-aplicacin-del-hdm4-en-la-formulacin-y-evaluacin-social-de-proyectos-

de-inversin-pblica-de-transportes-rd-n-0032015ef6301-vigente-28feb15/50617701

Pérez-Acebo, H., Isasa, M., Gurrutxaga, I., García, H., & Insausti, A. (2023). International Roughness Index (IRI) prediction models for freeways. *Transportation Research Procedia*, *71*, 292-299. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.087

Pomasonco De La Cadena, R. C. M. (2010). Evaluación de la transitabilidad utilizando el rugosímetro Merlín: Monitoreo de conservación carretera Cañete - Huancayo Km. 110+000 al Km. 112+000. *Universidad Nacional de Ingeniería*. http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/5288163

Prada, J. A. (2025). *Pavimentos flexibles: Estructura y mantenimiento - Strinso*. https://strinso.com/blog/pavimentos-flexibles-guia-completa/

Rodríguez Zelaya, E. V., Torres Mayorga, L. M., & Villeda Alvarenga, M. Á. (2019). *RUGOSIDAD DE PAVIMENTOS - MARCO TEÓRICO - Desarrollo de metodología para la medición de IRI (In*. https://1library.co/article/rugosidad-pavimentos-marco-te%C3%B3rico-desarrollo-metodolog%C3%ADa-medici%C3%B3n-iri.zww1o47z

Sachún Quispe, J. E. N. (2016). *Estudio del índice de rugosidad internacional de la Panamericana Norte—Zona Trujillo, Para su mantenimiento*.

Sologorre Huayta, J. D. (2005). *Sologorre HJ PDF | PDF | Medición | Evaluación*. Scribd. https://es.scribd.com/document/402670870/sologorre-hj-pdf

Varas Navas, M. E. P., & Cárdenas Flores, E. N. (2022). *Evaluación superficial del pavimento flexible en la calle Pablo Rosell cuadras 5, 6 y 7 aplicando el rugosímetro de merlín, Iquitos – 2021*. http://hdl.handle.net/20.500.14503/1880

Ventura Espinal, J. A., & Alvarenga, E. R. (2005). *Determinación Del Índice de Regularidad Internacional (Iri) | PDF | Metrología | Ingeniería de Transporte*. Scribd. https://es.scribd.com/document/557972473/Iri

W. Sayers, M., & M. Karamihas, S. (1998). *The Little Book of Profiling*. Scribd. https://www.scribd.com/document/801218925/1-The-little-book-of-Profiling-espanol

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ANEXOS

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Anexo 1

Matriz de consistencia

TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NÚÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO REGIÓN PUNO

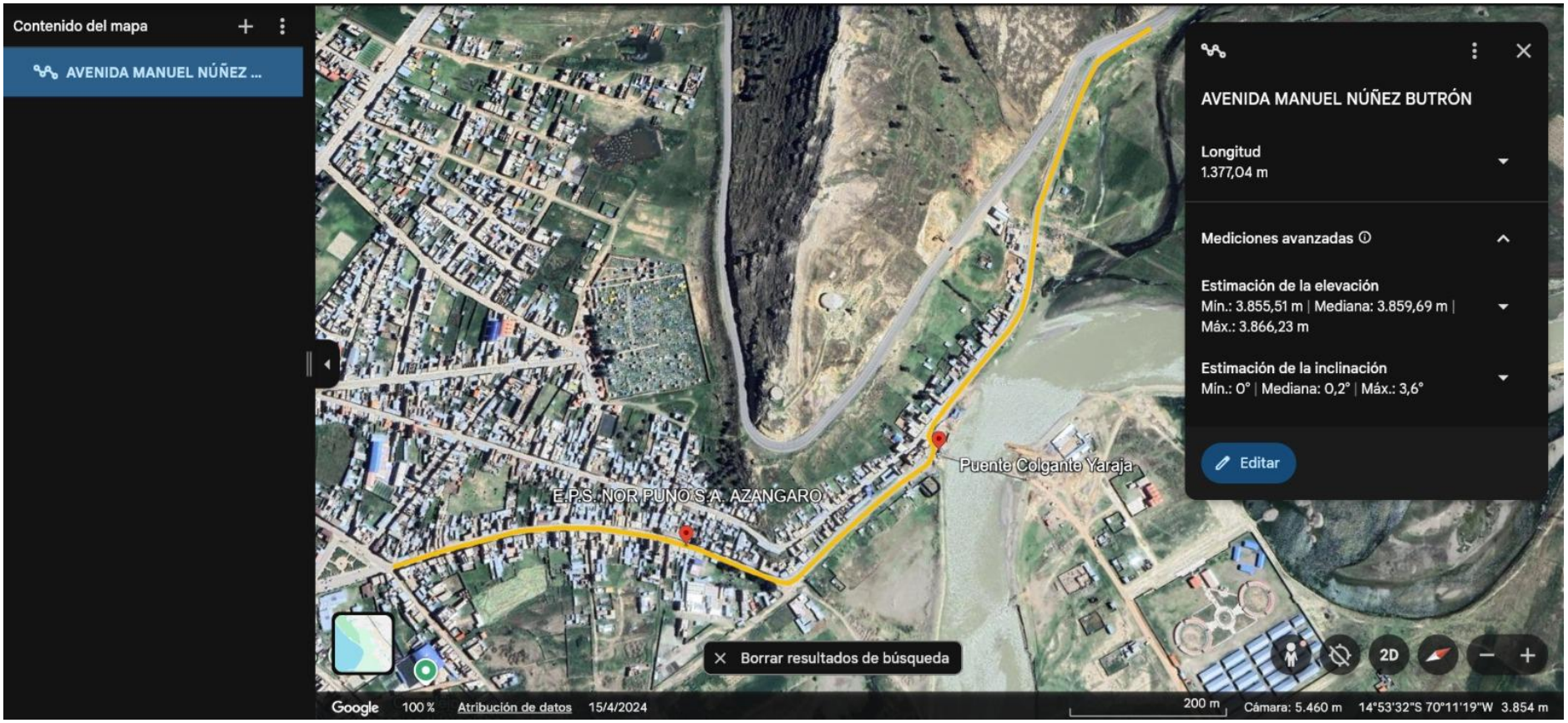
	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES	INSTRUMENTO	TIPO DE VARIABLE
GENERAL	¿Cuál es la condición superficial del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón de la ciudad de Azángaro, Región Puno, al ser evaluada mediante el uso del rugosímetro de Merlín?	Evaluar la condición superficial actual del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón de la ciudad de Azángaro, Región Puno, mediante la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) utilizando el rugosímetro de Merlín.	La condición superficial del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón de la ciudad de Azángaro se encuentra en estado de deficiencia (clasificada como MALO), lo cual se debe a que el Índice de Regularidad Internacional (IRI) medido mediante el rugosímetro de Merlín exceda el valor máximo admisible establecido por la normativa técnica vigente.	VARIBLE DE CARACTERIZACIÓN	Condición Superficial del Pavimento Flexible.	1. Clasificación del estado (en base al PSI	▪ AASHTO 1993 ▪ Manual de Carreteras: Suelos, Geotecnia y Pavimentos (Sección Suelos y Pavimentos).	Ordinal
						2. Nivel del cumplimiento del IRI	▪ The Little Book of Profiling (W. Sayers & M. Karamihas, 1998)	Nominal
ESPECÍFICOS	¿Cuál es el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) obtenido mediante la medición con el rugosímetro de Merlín en el pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón de la ciudad de Azángaro?	Determinar el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón, mediante la medición con el rugosímetro de Merlín.	El valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón es superior al valor límite de aceptación de 2.5 m/km establecido por la normativa técnica, evidenciando una condición deficiente de rodadura.	VRIABLES DE INTERÉS	Índice de Regularidad Internacional (IRI) (causa/independiente)	Valor ponderado de IRI por tramo (m/km)	▪ ASTM E 867 ▪ Rugosímetro de MERLIN ▪ Hoja de cálculo	Continua
	¿Qué nivel de serviciabilidad presenta el pavimento flexible de	Determinar el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del pavimento	El pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón presenta un bajo		Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)	Valor del PSI (Escala de 0 al 5)	▪ AASHTO 1993	Continua

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

	la Avenida Manuel Núñez Butrón, utilizando el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), en función del valor del IRI determinado?	flexible, en función al Índice de Regularidad Internacional (IRI), con el fin de cuantificar y establecer el estado funcional de la vía.	nivel de Serviciabilidad Presente (PSI), correlacionado con el alto valor del IRI, lo que lo clasifica en una categoría de servicio deficiente (Regular o Malo).		Efecto (dependiente)		▪ Ecuación de correlación (IRI – PSI)	
	¿Qué tipo de estrategia de intervención se requiere para optimizar la condición superficial del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón?	Proponer una estrategia de intervención para optimizar la condición superficial del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón, basada en los resultados de IRI y PSI.	Se requiere una estrategia de intervención mayor (Rehabilitación o Reconstrucción), y no una simple conservación rutinaria, para optimizar la condición superficial del pavimento flexible de la Avenida Manuel Núñez Butrón, dados los niveles críticos de IRI y PSI determinados.					

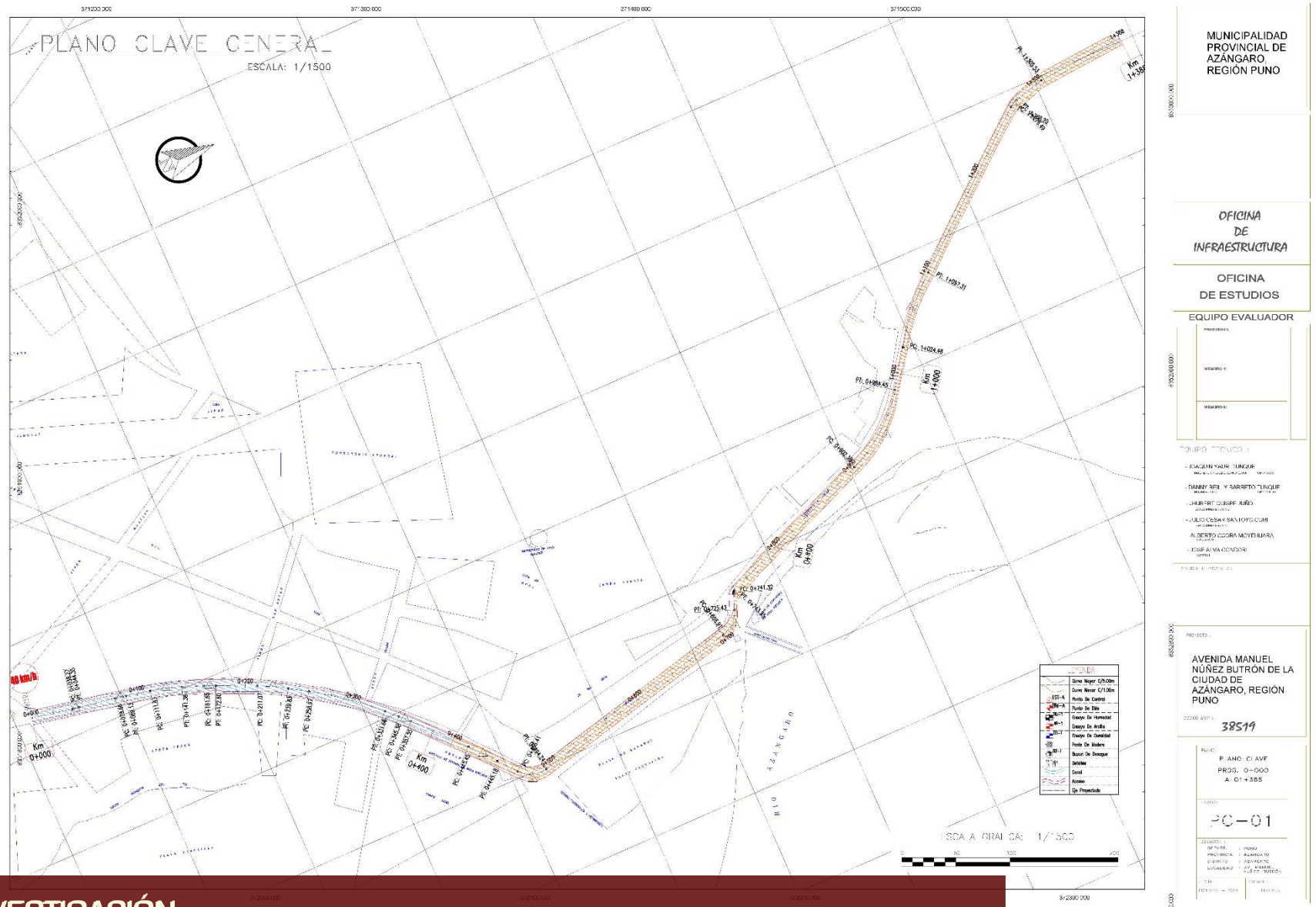
Anexo 2

Ubicación



Anexo 3

Planos



TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital [X] Fecha de entrega: 27/04/2026

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: MARCO ANTONIO YUPA SURCO
Dirección: Jr. volta Urb. Taparachi Mz. I12 Lt-17C
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°70102266
Teléfono: 964071747 email: surco.marco.a@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: M. Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:
Trabajo de Investigación [ ] Tesis [X] Trabajo de Suficiencia Profesional [ ] Trabajo Académico [ ]
Título:
EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA MANUEL NÚÑEZ BUTRÓN DE LA CIUDAD DE AZÁNGARO REGIÓN PUNO
Palabras claves, (3 a 5 términos): Pavimento Flexible, Índice de Regularidad Internacional (IRI), Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), Rugosímetro de MERLIN.
¿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, entré otros relacionados.
[2] Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Titulo ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

Autorizo su publicación (marque con una X)

☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.

☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____

☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

¿Quiere permitir usos comérciales 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

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Jurisdicción de su Licencia

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

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

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

☐ Internacional

☒ Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



Firma de Autor | huella digital | 27 de abril del 2026 Fecha

UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES JULIACA

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/