

**UNIVERSIDAD DE HUANUCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS**

---

**“Relación entre el uso de acelerómetros vehiculares y la medición del IRI en caminos vecinales de Amarilis, Huánuco”**

---

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Herrera Lopez, Kenni Lois

ASESORA: Malpartida Valderrama, Yenerit Pamela

HUÁNUCO – PERÚ

2026

# U

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis ( X )
- Trabajo de Suficiencia Profesional ( )
- Trabajo de Investigación ( )
- Trabajo Académico ( )

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Transporte

**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)**

**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:**

**Área:** Ingeniería, Tecnología

**Sub área:** Ingeniería civil

**Disciplina:** Ingeniería civil

**DATOS DEL PROGRAMA:**

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio ( X )
- UDH ( )
- Fondos Concursables ( )

**DATOS DEL AUTOR:**

Documento Nacional de Identidad (DNI): 75973323

**DATOS DEL ASESOR:**

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22516875

Grado/Título: Grado de magíster en medio ambiente y desarrollo sostenible mención en gestión ambiental

Código ORCID: 0000-0003-2705-4300

**DATOS DE LOS JURADOS:**

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Mays Aquino, Ronald Günter	Maestro en diseño y construcción de obras viales	41567508	0009-0009-5573-0880
2	Miraval Rojas, Biseth	Maestro en gestión y negocios, con mención en gestión de proyectos	47474699	0000-0001-5605-3003
3	Suarez Landauro, Reynaldo Favio	Maestro en gestión pública	22498065	0000-0002-4641-3797

# D

# H



# UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

## Facultad de Ingeniería

### PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

#### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 16:00 horas del día **miércoles 24 de junio de 2026**, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

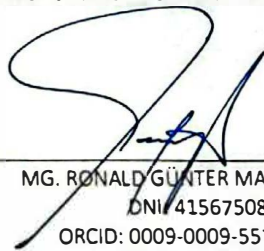
- |                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| ❖ MG. RONALD GÜNTER MAYS AQUINO      | PRESIDENTE |
| ❖ MG. BISETH MIRAVAL ROJAS           | SECRETARIO |
| ❖ MG. REYNALDO FAVIO SUAREZ LANDAURO | VOCAL      |

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN N° 1075-2026-D-FI-UDH para evaluar la Tesis intitulada: "RELACIÓN ENTRE EL USO DE ACELERÓMETROS VEHICULARES Y LA MEDICIÓN DEL IRI EN CAMINOS VECINALES DE AMARILIS, HUÁNUCO", presentado por el (la) Bachiller. Bach: Kenni Lois HERRERA LOPEZ, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) *aprobado* por *mayoría* con el calificativo cuantitativo de *11* y cualitativo de *suficiente* (Art. 47).

Siendo las *17:10* horas del día 24 del mes de junio del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



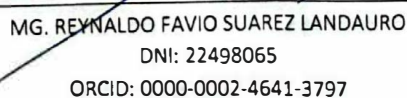
MG. RONALD GÜNTER MAYS AQUINO  
DNI: 41567508  
ORCID: 0009-0009-5573-0880

**PRESIDENTE**



MG. BISETH MIRAVAL ROJAS  
DNI: 47474699  
ORCID: 0000-0001-5605-3003

**SECRETARIO (A)**



MG. REYNALDO FAVIO SUAREZ LANDAURO  
DNI: 22498065  
ORCID: 0000-0002-4641-3797

**VOCAL**



## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: **KENNI LOIS HERRERA LOPEZ**, de la investigación titulada "**RELACIÓN ENTRE EL USO DE ACELERÓMETROS VEHICULARES Y LA MEDICIÓN DEL IRI EN CAMINOS VECINALES DE AMARILIS, HUÁNUCO**", con asesor(a): **YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA**, designado(a) mediante documento: **RESOLUCIÓN N° 0272-2025-D-FI-UDH** del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del **11 %** verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 03 de junio de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA  
D.N.I.: 71345687  
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

**Nota:** La presente constancia tendrá una **vigencia de cuatro (4) meses**, conforme a lo establecido en la **Directiva del Software de Identificación de Similitud y Originalidad**, aprobada mediante **Resolución N° 532-2024-P-CD-UDH**.

Vencido dicho plazo, el solicitante deberá realizar nuevamente el procedimiento correspondiente para la emisión de una nueva constancia.

**Válida hasta el 03 de octubre de 2026.**

# 145. KENNI LOIS HERRERA LOPEZ.docx

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>11</b> %	<b>11</b> %	<b>2</b> %	<b>3</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.udh.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3</b> %
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>3</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>www.lanamme.ucr.ac.cr</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>dspace.ups.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA  
D.N.I.: 71345687  
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

## **DEDICATORIA**

Con profunda gratitud y amor inquebrantable, dedico la culminación de este proyecto de tesis:

A Dios, por ser la fuente de fortaleza, sabiduría y el motor de cada día que me permitió alcanzar este logro académico.

A mi querida madre, por su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y por ser el pilar fundamental que sostuvo cada etapa de mi formación.

A la eterna memoria de mi padre, cuya luz me acompaña desde el cielo e inspira mi compromiso constante para edificar mi futuro profesional en la Ingeniería Civil.

Este logro es el reflejo de su fe y sacrificio.

## **AGRADECIMIENTO**

El desarrollo y la culminación de este proyecto de tesis en Ingeniería Civil es el reflejo de un esfuerzo mancomunado, basado en el soporte académico y la inspiración familiar. Expreso mi profunda gratitud a los siguientes pilares de apoyo:

Mi especial reconocimiento a la Mg. Yenerit Pamela Malpartida Valderrama, mi Asesora de Tesis. Su orientación metódica, paciencia invaluable y conocimientos especializados fueron la estructura maestra que garantizó el rigor científico en el desarrollo de esta investigación. Agradezco sinceramente que haya admitido la dirección de este proyecto

A la Universidad de Huánuco y a la Facultad de Ingeniería Civil, por proporcionar el cimiento educativo y las herramientas necesarias para mi formación universitaria y el éxito en este estudio.

Extiendo mi gratitud incondicional a mi familia, cuyo apoyo, cooperación e inspiración fueron la fuente de motivación esencial para lograr este informe final.

La demostración constante de lucha, honestidad y superación ha sido la tenacidad que me guio durante esta importante etapa de mi vida.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
CAPÍTULO I.....	15
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	17
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	17
1.3. OBJETIVOS.....	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	19
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	19
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	19
1.4.4. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	20
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.5.1. LIMITACIÓN RESPECTO A LA POBLACIÓN.....	21
1.5.2. LIMITACIÓN RESPECTO AL COSTO.....	22
1.5.3. LIMITACIÓN RESPECTO AL TIEMPO.....	22
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.6.1. VIABILIDAD RESPECTO A LA POBLACIÓN.....	23
1.6.2. VIABILIDAD RESPECTO AL COSTO.....	23
1.6.3. VIABILIDAD RESPECTO AL TIEMPO.....	24
CAPÍTULO II.....	25
MARCO TEÓRICO.....	25

2.1.	ANTECEDENTES.....	26
2.1.1.	A NIVEL INTERNACIONAL .....	26
2.1.2.	A NIVEL NACIONAL.....	27
2.1.3.	A NIVEL LOCAL.....	28
2.2.	BASES TEÓRICAS .....	29
2.2.1.	TEORÍA GENERAL: TEORÍA DE LOS SISTEMAS .....	29
2.2.2.	TEORÍA ESPECÍFICA: TEORÍA DE LA MECÁNICA VEHICULAR Y EL MODELO DEL CUARTO DE CARRO.....	30
2.3.	BASES CONCEPTUALES .....	31
2.3.1.	UTILIZACIÓN DE ACELERÓMETROS VEHICULARES .....	31
2.3.2.	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI).....	32
2.4.	HIPÓTESIS .....	34
2.4.1.	HIPÓTESIS GENERAL.....	34
2.4.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	35
2.5.	VARIABLES.....	36
2.5.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE .....	36
2.5.2.	VARIABLE DE DEPENDIENTE .....	36
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	37
CAPÍTULO III.....		39
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		39
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	39
3.1.1.	ENFOQUE .....	40
3.1.2.	NIVEL.....	40
3.1.3.	DISEÑO .....	41
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	42
3.2.1.	POBLACIÓN.....	42
3.2.2.	MUESTRA .....	43
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	46
3.3.1.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	46
3.3.2.	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	48
3.4.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	50

3.4.1. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	50
3.4.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	51
3.4.3. PRESENTACIÓN DE DATOS .....	53
3.5. ASPECTOS ÉTICOS.....	54
CAPÍTULO IV.....	56
RESULTADOS.....	56
4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS .....	57
4.2. ANÁLISIS DESCRIPTIVO .....	62
4.3. ANÁLISIS INFERENCIAL.....	69
CAPÍTULO V.....	76
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	76
CONCLUSIONES .....	84
RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
ANEXOS.....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rangos del IRI respecto al tipo de vía y Condición Superficial .....	34
Tabla 2 Operacionalización de las variables.....	37
Tabla 3 Caracterización del tramo en estudio.....	57
Tabla 4 Valores del IRI por cada uno de los subtramos de la carretera analizada .....	60
Tabla 5 Nivel de confort de la superficie por cada uno de los subtramos de la carretera analizada .....	61
Tabla 6 Tabla resumen de resultados de los indicadores por subtramo .....	63
Tabla 7 Estadísticos descriptivos de los indicadores cuantitativos .....	64
Tabla 8 Análisis descriptiva de la variable utilización de acelerómetros vehiculares y sus dimensiones .....	65
Tabla 9 Valores de distribución de la variable Nivel de confort.....	67
Tabla 10 Valores de los indicadores analizados por cada subtramo .....	69
Tabla 11 Correlación entre aceleración vertical promedio e IRI (n = 30) .....	71
Tabla 12 Correlación entre velocidad promedio e IRI (n = 30).....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del tramo en estudio, desde la localidad de Malconga hasta el poblado de Paucar .....	45
Figura 2 Valores del IRI promedio por cada subtramo.....	66
Figura 3 Distribución de la variable Nivel de Confort .....	68

## RESUMEN

La investigación se desarrolló en el tramo vecinal San José de Paucar – Malconga, distrito de Amarilis, provincia de Huánuco. Presenta un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, nivel relacional y diseño no experimental – transversal – correlacional. La muestra estuvo constituida por un tramo de 3 km subdividido en 30 subtramos de 100 m, donde se registraron aceleraciones verticales, velocidades de circulación y valores estimados del IRI mediante acelerómetros vehiculares. Los resultados muestran que la aceleración vertical promedio se relaciona significativamente con el IRI ( $\rho = 0.389$ ;  $p < 0.05$ ), comprobando que las vibraciones del vehículo reflejan la rugosidad superficial. Asimismo, se evidenció una relación muy fuerte entre el IRI y el nivel de confort de viaje ( $\rho = 0.924$ ;  $p < 0.01$ ). En contraste, la velocidad de circulación no presentó relación estadísticamente significativa con el IRI ( $p > 0.05$ ). Los valores de IRI oscilaron entre 4.80 y 9.50 m/km, clasificándose el 46.67 % de los subtramos como “Regular”, el 33.33 % como “Mala” y el 20.00 % como “Buena”, evidenciando deficiencias funcionales importantes. Se concluye que los acelerómetros vehiculares constituyen una alternativa técnica viable, accesible y confiable para la determinación del IRI en caminos vecinales no pavimentados. Se recomienda su incorporación en la gestión vial municipal para priorizar el mantenimiento, optimizar recursos y mejorar el confort y la seguridad de los usuarios.

**Palabras clave.** Acelerómetro, IRI, Velocidad, Rugosidad, Nivel de confort

## ABSTRACT

The research was conducted on the rural road section San José de Paucar – Malconga, located in the district of Amarilis, province of Huánuco. It follows a quantitative approach, of an applied type, relational level, and a non-experimental, cross-sectional, correlational design. The sample consisted of a 3 km road section subdivided into 30 sub-sections of 100 m, where vertical accelerations, traveling speeds, and estimated IRI values were recorded using vehicular accelerometers. The results show that the average vertical acceleration is significantly related to the IRI ( $\rho = 0.389$ ;  $p < 0.05$ ), confirming that vehicle vibrations reflect the surface roughness of the road. Likewise, a strong relationship between the IRI and the level of riding comfort was evidenced ( $\rho = 0.924$ ;  $p < 0.01$ ). In contrast, traveling speed did not present a statistically significant relationship with the IRI ( $p > 0.05$ ). The IRI values ranged between 4.80 and 9.50 m/km, with 46.67% of the sub-sections classified as “Fair,” 33.33% as “Poor,” and 20.00% as “Good,” evidencing significant functional deficiencies. It is concluded that vehicular accelerometers constitute a technically viable, accessible, and reliable alternative for the determination of the IRI on unpaved rural roads. Their incorporation into municipal road management is recommended to prioritize maintenance, optimize resources, and improve user comfort and safety.

**Keywords.** Accelerometer, IRI, Speed, Roughness, Comfort level.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se desarrolla en el marco de la necesidad de fortalecer los mecanismos técnicos de evaluación funcional de los caminos vecinales en contextos rurales, especialmente en zonas donde existen restricciones económicas para la aplicación de tecnologías tradicionales de medición vial. En el distrito de Amarilis, provincia de Huánuco, los caminos vecinales cumplen un papel fundamental en la conectividad de centros poblados, el acceso a servicios básicos y el desarrollo de las actividades productivas; sin embargo, estas vías presentan un deterioro progresivo de su superficie de rodadura que afecta la transitabilidad, el confort del usuario y la seguridad vial.

En este contexto, el Índice de Regularidad Internacional (IRI) se constituye en un indicador técnico de amplia aceptación para evaluar la rugosidad superficial de las vías. No obstante, su medición mediante equipos especializados como perfilómetros láser o sistemas MERLIN resulta económicamente inaccesible para muchos gobiernos locales. Frente a esta limitación, el avance de las tecnologías de sensores inerciales ha permitido disponer de alternativas de bajo costo basadas en acelerómetros vehiculares, integrados en dispositivos móviles, capaces de estimar el IRI con aceptable precisión.

Bajo estas consideraciones, la presente investigación titulada “Relación entre el uso de acelerómetros vehiculares y la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en caminos vecinales de Amarilis, Huánuco” tiene como propósito analizar, desde un enfoque cuantitativo y relacional, la validez técnica de estas tecnologías accesibles como herramienta de gestión vial. El estudio busca aportar evidencia científica para optimizar los procesos de diagnóstico, planificación del mantenimiento y toma de decisiones en la infraestructura vial rural.

El informe de tesis se estructura en siete capítulos, cuyo contenido se detalla a continuación:

Capítulo I. Problema de investigación. En este capítulo se expone la

situación problemática que dio origen al estudio, centrada en el deterioro progresivo de los caminos vecinales del distrito de Amarilis y en la ausencia de métodos técnicos accesibles para evaluar su rugosidad superficial. Se describe la magnitud del problema desde una perspectiva global, nacional y regional, sustentada en antecedentes empíricos. Asimismo, se formula el problema general y los problemas específicos, se establecen el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación, y se desarrolla la justificación desde los enfoques teórico, práctico, metodológico y social. Finalmente, se precisan las limitaciones encontradas durante la ejecución del estudio y se demuestra la viabilidad de la investigación en términos de población, costo y tiempo.

Capítulo II. Marco teórico. El marco teórico presenta los fundamentos científicos que sustentan el estudio. En primer lugar, se desarrollan los antecedentes de la investigación a nivel internacional, nacional y regional, evidenciando los avances existentes en la medición del IRI mediante métodos tradicionales y tecnologías basadas en acelerómetros. Posteriormente, se exponen las bases teóricas, sustentadas en la teoría de sistemas y en la teoría de la mecánica vehicular a través del modelo del cuarto de carro. Asimismo, se definen conceptualmente las variables principales: utilización de acelerómetros vehiculares y determinación del IRI. El capítulo integra también la formulación de la hipótesis general y las hipótesis específicas, la identificación de variables y su respectiva operacionalización mediante dimensiones, indicadores, escalas de medición e instrumentos.

Capítulo III. Metodología de la investigación. En este capítulo se describe de manera rigurosa el enfoque metodológico adoptado. Se precisa que la investigación es de enfoque cuantitativo, tipo aplicado, nivel relacional y diseño no experimental de corte transversal. Se define la población conformada por los caminos vecinales del distrito de Amarilis y la muestra seleccionada mediante muestreo no probabilístico por criterio intencional, correspondiente al tramo San José de Paucar – Malconga. Asimismo, se detallan las técnicas e instrumentos de recolección de datos basados en sensores acelerométricos, GPS y software de procesamiento, así como las

técnicas para el procesamiento y análisis estadístico de la información. Finalmente, se exponen los aspectos éticos que rigieron todo el proceso investigativo.

Capítulo IV. Resultados. Este capítulo presenta los resultados obtenidos como producto del trabajo de campo y del procesamiento de la información. En primer lugar, se describe detalladamente el procedimiento técnico seguido para la recolección de datos, desde la selección del tramo, la instalación de los dispositivos, la ejecución de los recorridos de medición y la validación de los registros. En segundo término, se desarrolla el análisis estadístico descriptivo de las variables, considerando la aceleración vertical, la velocidad de circulación, los valores del IRI y el nivel de confort de viaje. Finalmente, se expone el análisis estadístico inferencial mediante las pruebas de correlación aplicadas, orientadas a la contrastación de las hipótesis planteadas.

Capítulo V. Discusión de resultados. En este capítulo se interpretan los resultados obtenidos a la luz del marco teórico y de los antecedentes científicos. Se analiza la coherencia entre los hallazgos empíricos y la literatura existente, explicando el significado técnico de las relaciones encontradas entre las variables. Asimismo, se contrastan los resultados con estudios internacionales, nacionales y regionales, identificando coincidencias, diferencias y aportes específicos del presente trabajo. Se examinan también los hallazgos inesperados y se reconocen las limitaciones del estudio en el contexto de los resultados.

Conclusiones. En este capítulo se presentan las conclusiones derivadas directamente del cumplimiento del objetivo general y de los objetivos específicos de la investigación. Cada conclusión sintetiza los principales hallazgos obtenidos en el análisis inferencial, precisando el comportamiento de las variables y el grado de relación existente entre la utilización de acelerómetros vehiculares y la determinación del IRI, así como su vinculación con el nivel de confort de viaje. Asimismo, se formula la conclusión general, integrando los aportes centrales del estudio.

Recomendaciones. Finalmente, este capítulo formula recomendaciones

técnicas, institucionales y académicas, orientadas a la aplicación práctica de los resultados en la gestión vial del distrito de Amarilis. Se proponen lineamientos para la implementación del uso de acelerómetros vehiculares como herramienta de monitoreo funcional, para el fortalecimiento de las capacidades de los gobiernos locales en evaluación vial y para el desarrollo de futuras investigaciones que profundicen y amplíen los alcances del presente estudio.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el distrito de Amarilis, los caminos vecinales presentan un deterioro progresivo que afecta la transitabilidad y dificulta la toma de decisiones sobre mantenimiento vial. Esta situación se agrava debido a la ausencia de un método técnico, práctico y accesible que permita monitorear de manera sistemática la rugosidad superficial de estas vías, condición necesaria para planificar intervenciones oportunas y eficientes.

A nivel global, la rugosidad vial es reconocida como un parámetro crítico en la gestión de infraestructura, pues influye directamente en la seguridad y en los costos operativos del transporte. En el mundo, Mitiku et al. (2024) señalan que la rugosidad tiene impacto directo en el confort y la eficiencia vehicular; mientras que el Banco Mundial (2013) destaca que el Índice de Regularidad Internacional (IRI) es el estándar técnico más empleado para medirla, siendo utilizado en más de 100 países. En el Perú, Rivera y Alarcón (2021) advierten que la falta de datos objetivos sobre el estado de los caminos vecinales genera decisiones ineficientes en el mantenimiento vial. En la región Huánuco, Vidal (2016) reportó valores de IRI superiores a 5.9 en calzadas urbanas, indicando deficiencia severa en la regularidad; de manera similar, Bueno (2022) evidenció que, incluso tras estabilizar tramos rurales con aditivos, los valores de IRI continuaron siendo elevados. Estas referencias confirman que la problemática de rugosidad es persistente y presenta magnitudes significativas tanto a nivel nacional como regional.

La dificultad para medir la rugosidad superficial se explica principalmente por la dependencia de tecnologías de alto costo y complejidad operativa, como perfilómetros láser o equipos MERLIN, los cuales resultan inaccesibles para los gobiernos locales con recursos limitados (Zhang et al., 2022). Adicionalmente, Tucto y Medina (2023) señalan que los municipios carecen de protocolos técnicos para implementar métodos alternativos, lo que genera

vacíos en la gestión vial. A ello se suman condiciones naturales y operativas, como lluvias frecuentes, drenaje insuficiente y tránsito de vehículos pesados, que aceleran la deformación y pérdida de la capa de rodadura de los caminos vecinales.

En el contexto específico del distrito de Amarilis, gran parte de los caminos vecinales que conectan centros poblados rurales presentan deterioro progresivo de la superficie de rodadura, evidenciado por la presencia de baches, pérdida de material granular, deformaciones longitudinales y discontinuidades superficiales que afectan la transitabilidad vehicular. Particularmente, en el tramo vecinal San José de Paucar – Malconga, se observan condiciones de rodadura irregulares asociadas a la limitada frecuencia de mantenimiento, la acción de las precipitaciones pluviales y el tránsito continuo de vehículos menores y unidades de carga rural. Esta situación genera incomodidad durante el desplazamiento, incremento de vibraciones vehiculares y mayores costos operativos de transporte para los usuarios de la zona. Asimismo, la Municipalidad Distrital de Amarilis no cuenta con sistemas técnicos permanentes y accesibles para monitorear objetivamente la rugosidad superficial de sus caminos vecinales, lo que dificulta priorizar intervenciones de mantenimiento basadas en indicadores cuantitativos como el Índice de Regularidad Internacional, (Municipalidad Distrital de Amarilis, 2024; MTC, 2018).

Si esta situación continúa sin ser atendida, las poblaciones periféricas de Amarilis seguirán enfrentando trayectos inseguros, lentos y costosos, afectando su economía y su calidad de vida. Los transportistas incrementarán sus gastos de mantenimiento vehicular, mientras que los gobiernos locales continuarán planificando intervenciones sin diagnósticos técnicos confiables, lo que perpetúa decisiones basadas en percepciones o presiones sociales (Palomino, 2022). A mediano y largo plazo, la ausencia de un sistema accesible para medir el IRI incrementará los costos acumulados de rehabilitación, deteriorará la sostenibilidad de las vías y afectará la competitividad regional (CAF, 2020).

Ante esta limitación, han surgido alternativas de bajo costo basadas en

acelerómetros vehiculares instalados en smartphones o dispositivos acoplados a vehículos, capaces de registrar vibraciones y estimar el IRI mediante algoritmos de procesamiento (Wang & Zhao, 2023). Estudios recientes muestran que estas herramientas pueden adaptarse a diversos contextos siempre que se controlen variables como la velocidad, el tipo de vehículo y las condiciones topográficas (Guerra et al., 2022). En este marco, la presente investigación plantea el uso de acelerómetros vehiculares como alternativa técnica, accesible y replicable para estimar el IRI en los caminos vecinales de Amarilis, contribuyendo a una gestión vial basada en evidencia y orientada al mejoramiento sostenido de la infraestructura.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cómo se relaciona la utilización de acelerómetros vehiculares con la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

**PROBLEMA ESPECÍFICO 1.** ¿Cómo se relaciona la aceleración vertical registrada por los acelerómetros vehiculares con el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco?

**PROBLEMA ESPECÍFICO 2.** ¿De qué manera el procesamiento de señales captadas por acelerómetros vehiculares permite estimar el Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco?

**PROBLEMA ESPECÍFICO 3.** ¿Cómo se relaciona la velocidad de circulación de los vehículos equipados con acelerómetros con el valor del IRI obtenido en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco?

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la relación que existe entre la utilización de acelerómetros vehiculares y la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

**OBJETIVO ESPECÍFICO 1.** Determinar la relación que existe entre la aceleración vertical registrada por los acelerómetros vehiculares y el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

**OBJETIVO ESPECÍFICO 2.** Describir de qué manera el procesamiento de señales captadas por acelerómetros vehiculares permite estimar el Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

**OBJETIVO ESPECÍFICO 3.** Determinar la relación que existe entre la velocidad de circulación de los vehículos equipados con acelerómetros y el valor del IRI obtenido en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Toda investigación debe ser justificada desde múltiples enfoques para evidenciar su relevancia, pertinencia y valor para la ciencia, la sociedad y el contexto de aplicación. Según Sampieri, Collado y Lucio (2022), la justificación de una investigación puede abordarse en términos teóricos, al contribuir al conocimiento científico; prácticos, al ofrecer soluciones a problemas concretos; metodológicos, al aportar enfoques o herramientas innovadoras para investigar; y sociales, al beneficiar a una colectividad o responder a necesidades sociales detectadas y que el estudio se enmarca dentro del marco técnico del país y responde a una necesidad normativa de evaluar

funcionalmente los caminos vecinales

#### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

Desde el punto de vista teórico, esta investigación contribuye al cuerpo de conocimiento relacionado con la evaluación funcional de caminos vecinales mediante nuevas tecnologías. Aunque el Índice de Regularidad Internacional (IRI) es ampliamente utilizado como indicador de condición superficial, existen aún limitaciones en el acceso a equipos de alto costo, lo cual restringe su aplicación en contextos rurales o de escaso presupuesto, especialmente de caminos vecinales. Al estudiar la relación entre los acelerómetros vehiculares y la estimación del IRI, esta investigación complementará las bases teóricas sobre sistemas indirectos de evaluación vial, apoyando la validación de métodos alternativos, económicos y técnicamente viables.

#### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

Desde el enfoque práctico, el estudio responde a la necesidad de los gobiernos locales y regionales de contar con mecanismos accesibles para diagnosticar el estado de los caminos vecinales. El uso de acelerómetros vehiculares instalados en smartphones o integrados en vehículos, representa una alternativa factible para zonas donde el uso de perfilómetros láser o sistemas avanzados de medición resulta inviable. De comprobarse su validez, esta herramienta permitiría realizar evaluaciones más frecuentes, económicas y técnicas en tramos que suelen estar excluidos de las estrategias de mantenimiento y rehabilitación vial. De esta forma, la investigación propone un beneficio concreto y aplicable para la mejora de la gestión de la infraestructura vial rural.

#### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

Metodológicamente, esta investigación aporta al desarrollo y validación de un modelo relacional aplicado, que integra tecnologías móviles y procesamiento de datos para evaluar la rugosidad vial. Este

enfoque se alinea con las tendencias actuales de tecnologías inteligentes de transporte (ITS) y promueve el uso de herramientas innovadoras de bajo costo para la captura y análisis de datos. Asimismo, se propone una estructura operacional rigurosa basada en dimensiones específicas, indicadores cuantitativos y escalas técnicas, que podrán ser replicadas o adaptadas en otras investigaciones similares en contextos de recursos limitados, donde se argumenta que el uso de acelerómetros puede alinearse con los criterios del MTC.

Este enfoque metodológico se encuentra alineado con los lineamientos técnicos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, particularmente con el *Manual de Carreteras: Conservación Vial – Suelos y Pavimentos* (MTC, 2018), el cual reconoce la importancia de evaluar la condición funcional de las vías mediante indicadores de desempeño como el Índice de Regularidad Internacional (IRI), especialmente en procesos de diagnóstico, priorización y mantenimiento vial. Asimismo, el *Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial* aprobado mediante Decreto Supremo N.º 034-2008-MTC establece la necesidad de implementar mecanismos técnicos de monitoreo y conservación de la infraestructura vial con criterios de eficiencia, sostenibilidad y control del estado de servicio de las carreteras. En este sentido, la presente investigación contribuye al desarrollo de metodologías accesibles y técnicamente viables para la evaluación funcional de caminos vecinales en contextos de recursos limitados.

#### **1.4.4. JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

En el plano social, el proyecto busca impactar positivamente en la calidad de vida de los usuarios de caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco. Las deficiencias en la transitabilidad afectan directamente el acceso a servicios básicos, la seguridad vial y el desarrollo económico local. Al facilitar el monitoreo técnico de las condiciones del pavimento, se propicia una gestión vial más eficiente, lo que se traduce en mejor conectividad, reducción de tiempos de viaje,

ahorro en costos de transporte y disminución de riesgos de accidentes. Por tanto, la investigación también responde a una necesidad social latente en territorios que históricamente han sido desatendidos en términos de infraestructura vial.

## **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Toda investigación está sujeta a restricciones que pueden influir en su desenvolvimiento o en la interpretación de sus resultados. En este sentido, las limitaciones “son obstáculos o restricciones que pueden presentarse en el desarrollo de una investigación, y aunque no invalidan los resultados, es necesario reconocerlas para acotar el campo de aplicación y fortalecer la rigurosidad del estudio” (Hernández et al., 2014, p. 398). En coherencia con ello, durante la ejecución del presente estudio se identificaron las siguientes limitaciones y se adoptaron estrategias para superarlas adecuadamente.

### **1.5.1. LIMITACIÓN RESPECTO A LA POBLACIÓN**

La investigación se circunscribió exclusivamente a caminos vecinales del distrito de Amarilis, lo -cual restringía inicialmente la posibilidad de extrapolar los hallazgos a contextos viales de otros distritos o regiones con características operacionales y geométricas diferentes. Esta delimitación territorial representó un riesgo de limitar el alcance del estudio, puesto que las condiciones de los caminos evaluados no necesariamente reflejan la totalidad de la red vial rural del país.

Para mitigar esta restricción, se seleccionaron tramos con variabilidad representativa dentro del propio distrito (diferentes condiciones de superficie, tránsito y pendientes), lo que permitió capturar una mayor heterogeneidad dentro del ámbito de estudio. Asimismo, se precisaron los criterios de selección de los tramos, facilitando la replicabilidad del método en otros contextos. Esta estrategia fortaleció la validez externa del estudio sin salir del alcance territorial definido.

### **1.5.2. LIMITACIÓN RESPECTO AL COSTO**

El financiamiento fue asumido íntegramente por el tesista, lo que limitaba inicialmente la posibilidad de emplear equipos especializados de alto costo, como perfilómetros láser o sistemas MERLIN. Esta restricción presupuestal implicaba depender principalmente de acelerómetros vehiculares integrados en dispositivos móviles, cuya precisión debía ser rigurosamente validada frente a estándares de referencia.

Para enfrentar esta restricción, se implementó una estrategia de calibración cruzada entre los acelerómetros vehiculares y mediciones complementarias obtenidas mediante métodos convencionales disponibles. Asimismo, se emplearon aplicaciones certificadas y procedimientos de procesamiento de señales que incrementaron la confiabilidad de las mediciones. Gracias a ello, se demostró que el método alternativo era técnicamente viable y adecuado para los objetivos del estudio, sin comprometer la calidad de los resultados.

### **1.5.3. LIMITACIÓN RESPECTO AL TIEMPO**

El estudio se desarrolló dentro de un periodo temporal acotado, lo cual impedía realizar un seguimiento longitudinal de la rugosidad en diferentes estaciones climáticas. Esta limitación temporal podía reducir la capacidad de observar variaciones estacionales que afectarían el IRI y, por ende, la robustez temporal de los resultados.

Para superar esta restricción, las mediciones se realizaron en franjas horarias estables y bajo condiciones climáticas controladas, asegurando la uniformidad operativa durante la toma de datos. Adicionalmente, se registraron variables contextuales (humedad, tránsito, condiciones superficiales) para garantizar que los valores obtenidos fueran comparables. Esta estrategia permitió obtener resultados consistentes y técnicamente válidos, a pesar de no contar con un horizonte temporal extendido.

## **1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

Toda investigación debe demostrar su viabilidad, entendida como la factibilidad real de su ejecución en función de los recursos disponibles, el acceso a la información, el marco metodológico, las condiciones institucionales, el tiempo requerido y el soporte económico. En este sentido, Tamayo y Tamayo (2011) sostienen que la viabilidad está determinada por “las condiciones objetivas que permiten desarrollar un estudio, considerando los recursos disponibles, el acceso a las fuentes de información, la aplicabilidad de los métodos propuestos y la posibilidad real de su ejecución dentro de los límites temporales y espaciales previstos” (p. 145). Bajo esta perspectiva, la presente investigación demostró su plena viabilidad en los siguientes aspectos.

### **1.6.1. VIABILIDAD RESPECTO A LA POBLACIÓN**

El estudio se desarrolló satisfactoriamente en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, los cuales constituyeron las unidades de análisis observacionales. La disponibilidad y accesibilidad de los tramos permitió ejecutar el trabajo de campo sin restricciones logísticas. Asimismo, la selección de la muestra —representativa de las condiciones predominantes en la zona— permitió obtener información suficiente y pertinente para responder a los objetivos planteados. De esta forma, la población previamente delimitada resultó adecuada y manejable, garantizando que el estudio pudiera llevarse a cabo sin contratiempos.

### **1.6.2. VIABILIDAD RESPECTO AL COSTO**

El proyecto fue autofinanciado por el tesista, y los recursos destinados permitieron cubrir los desplazamientos, la toma de datos y el uso de dispositivos móviles con acelerómetros. La viabilidad económica se logró gracias a la elección de una metodología de bajo costo, basada en tecnologías accesibles y de fácil implementación, sin necesidad de adquirir equipos especializados de alto valor. Ello permitió ejecutar cada fase del estudio dentro del presupuesto previsto, sin afectar la

rigurosidad técnica de la investigación.

### **1.6.3. VIABILIDAD RESPECTO AL TIEMPO**

El estudio se desarrolló dentro de los plazos establecidos por el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco. Las etapas de revisión bibliográfica, trabajo de campo, procesamiento de información, análisis estadístico y elaboración del informe final fueron programadas y ejecutadas de acuerdo con el cronograma inicial. La disponibilidad oportuna de los escenarios de medición y la eficiencia de los métodos aplicados permitieron cumplir con los tiempos previstos, garantizando así la viabilidad temporal del proyecto.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

El presente capítulo desarrolla el marco teórico que sustenta la investigación y proporciona los fundamentos conceptuales necesarios para comprender las variables involucradas en el estudio. En primer lugar, se presentan los antecedentes de la investigación, organizados a nivel internacional, nacional y local, con el propósito de evidenciar el estado del conocimiento respecto al comportamiento vial, la influencia de las características geométricas y el análisis de la seguridad en carreteras. Esta revisión permite identificar avances, enfoques metodológicos y vacíos que justifican la pertinencia del estudio.

Posteriormente, se abordan las bases teóricas, donde se examinan los conceptos asociados a la pendiente de una carretera, la velocidad de operación y la seguridad vial. Este apartado expone definiciones técnicas, criterios normativos y principios operativos que explican cómo estas variables interactúan dentro del sistema vial, además de incorporar elementos relevantes provenientes de la ingeniería de transporte y del diseño geométrico.

El capítulo incluye asimismo las definiciones conceptuales de las variables centrales —pendiente, velocidad de operación y seguridad vial— con el fin de delimitar su significado en el contexto específico del estudio. A continuación, se presentan la hipótesis general y las hipótesis específicas, las cuales orientan el análisis relacional propuesto. Finalmente, se describen las variables y su operacionalización, articulando dimensiones, indicadores, escalas de medición y los instrumentos utilizados para su registro.

En conjunto, este capítulo establece la base científica y conceptual que guía el desarrollo metodológico y analítico de la investigación, garantizando coherencia entre los fundamentos teóricos y el enfoque aplicado del estudio.

## 2.1. ANTECEDENTES

### 2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL

En el ámbito internacional, el estudio de Qiao, Chen, Alinizzi, Alamaniotis y Labi (2023), titulado *“Estimating IRI based on pavement distress type, density, and severity: Insights from machine learning techniques”*, desarrollado en el Center for Connected and Automated Transportation (CCAT) de Purdue University, propone modelos predictivos del IRI a partir de datos sobre deterioros superficiales del pavimento, utilizando técnicas de machine learning como Random Forest y Gradient Boosting. Con un enfoque cuantitativo, aplicado y explicativo, los autores analizaron la relación entre el tipo, densidad y severidad de fallas y los valores de IRI, encontrando alta correlación y precisión predictiva. Este antecedente respalda conceptualmente la presente investigación, al demostrar que el IRI puede inferirse mediante variables indirectas asociadas al estado superficial de la vía, compatibilizándose con los datos recolectados por acelerómetros vehiculares. Además, proporciona un marco de comparación entre contextos de alta tecnología.

Asimismo, resulta relevante el estudio desarrollado por Guerra, Raymundo, Silvera, Zapata y Moguerza (2022), titulado *“Pothole detection and International Roughness Index (IRI) calculation using ATVs for road monitoring”*. Esta investigación, desarrollada entre Perú y España, tuvo un enfoque cuantitativo, de nivel explicativo y diseño experimental. Se utilizaron vehículos todoterreno con sensores inerciales y cámaras para evaluar tramos viales con diferentes condiciones superficiales. El objetivo fue implementar un sistema de monitoreo que, mediante acelerómetros y visión computacional, detecte baches y calcule el IRI de forma eficiente. Los resultados confirmaron la alta precisión del modelo propuesto y su viabilidad como alternativa económica a los métodos tradicionales. Este estudio es un referente clave para la presente investigación, al validar el uso de sensores inerciales como herramientas técnicas para medir la rugosidad vial, tal

como se plantea aplicar en caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

Finalmente, en el contexto latinoamericano, el estudio de Saltos (2021), titulado *“Determinación del Índice de Rugosidad Internacional de la vía Los Ángeles–Andil”*, realizado en Ecuador, aplicó un enfoque cuantitativo y un diseño transversal no experimental para evaluar el IRI en una vía rural mediante el equipo Merlín. El objetivo fue diagnosticar la condición funcional del tramo vial y formular propuestas de mantenimiento. Los resultados evidenciaron tramos con diferentes niveles de rugosidad, lo que permitió priorizar acciones correctivas y preventivas. Este antecedente valida el uso del IRI como parámetro técnico confiable en contextos rurales y aporta un referente metodológico que permite comparar el uso de instrumentos tradicionales con tecnologías más recientes, como los acelerómetros vehiculares.

### **2.1.2. A NIVEL NACIONAL**

En el ámbito nacional, el estudio de Ramírez (2023), titulado *“Cálculo del IRI mediante acelerómetro de smartphone en el tramo Huarmey – Casma de la carretera Panamericana Norte”*, empleó un enfoque cuantitativo, aplicado y correlacional-explicativo para evaluar la viabilidad de usar sensores de teléfonos inteligentes en la medición del IRI. Mediante registros de aceleración procesados en software especializado, se logró una correlación aceptable con métodos tradicionales, validando esta alternativa técnica de bajo costo. Este antecedente guarda estrecha relación con el presente estudio, al compartir el uso de sensores inerciales vehiculares para estimar el IRI. Aunque se centra en una carretera nacional, sus fundamentos metodológicos son transferibles a contextos rurales como el de Amarilis, Huánuco, reforzando la justificación técnica y práctica del enfoque adoptado.

Finalmente, el estudio de Chaca (2022), titulado *“Evaluación de la regularidad superficial en vías no pavimentadas mediante sensores*

*inerciales*”, se desarrolló en la ruta departamental HV-112, aplicando un enfoque cuantitativo, descriptivo-explicativo, con diseño no experimental y transversal. La investigación empleó acelerómetros vehiculares para estimar el IRI en tramos representativos, comparando los resultados con estándares internacionales. Los hallazgos demostraron que esta tecnología permite una clasificación eficaz del estado superficial en vías rurales, ofreciendo una alternativa técnica y económica frente a métodos tradicionales. Este antecedente respalda el uso de sensores inerciales en contextos con limitaciones de acceso tecnológico, aportando una base técnica para el diseño metodológico de investigaciones en entornos similares.

### **2.1.3. A NIVEL LOCAL**

En el ámbito local, el estudio de Bueno (2023), enfocado en la carretera no pavimentada Conchumayo – Mercenario, evaluó la eficiencia funcional de la superficie de rodadura tras su estabilización con el aditivo PROES. Con diseño cuasiexperimental y enfoque aplicado, la investigación comparó dos tramos —uno tratado y otro sin intervención— midiendo el IRI como indicador principal. Los resultados mostraron mejoras significativas en la regularidad superficial y reducción del polvo, validando el impacto del aditivo en la transitabilidad. Este antecedente complementa el enfoque de la presente investigación al reforzar el uso del IRI como parámetro clave en la evaluación del desempeño vial, especialmente en contextos de intervención técnica sobre vías rurales no pavimentadas.

Finalmente, el estudio de Vidal (2022), realizado en la ciudad de Huánuco, comparó métodos tradicionales y tecnologías accesibles para medir el IRI, utilizando nivelación con estadal y mira frente a un acelerómetro de smartphone con la aplicación Road LAB Pro. Con enfoque cuantitativo, tipo aplicado y diseño comparativo, la investigación demostró una alta concordancia entre ambos métodos, destacando la viabilidad de las aplicaciones móviles para evaluar la rugosidad vial en contextos de recursos limitados. Este antecedente resulta relevante por

validar el uso de sensores integrados en dispositivos móviles como alternativa técnica confiable, proporcionando una referencia empírica útil para contrastar niveles de precisión entre tecnologías convencionales y accesibles en entornos urbanos.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

Las bases teóricas constituyen el marco conceptual que orienta y respalda la presente investigación, al proporcionar explicaciones sistemáticas sobre los fenómenos estudiados y sugerir posibles respuestas a las preguntas planteadas. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), una teoría es un conjunto de proposiciones interrelacionadas que explican y predicen fenómenos dentro de ciertos límites. En este caso, se empleó una teoría general y una específica de la ingeniería civil, que sustentan conceptualmente el estudio de la relación entre acelerómetros vehiculares y el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

### **2.2.1. TEORÍA GENERAL: TEORÍA DE LOS SISTEMAS**

**De qué trata la teoría.** La teoría de los sistemas, formulada inicialmente por Ludwig von Bertalanffy (1968), plantea que los fenómenos pueden comprenderse como un conjunto de elementos interdependientes que interactúan para alcanzar un equilibrio o cumplir una función. Todo sistema está compuesto por entradas, procesos, salidas y retroalimentación, lo que permite analizar fenómenos complejos en su totalidad.

**Aportes de la teoría.** Uno de los principales aportes de la teoría de sistemas es ofrecer una visión holística para el estudio de realidades complejas, permitiendo integrar múltiples variables y establecer relaciones de causalidad o correlación (Checkland, 1999). En el campo de las ciencias aplicadas, esta teoría facilita la comprensión de los procesos como un todo estructurado y dinámico, en lugar de considerarlos de forma aislada.

**Relación con la investigación.** En el presente estudio, la teoría

de los sistemas se relaciona directamente con la evaluación de caminos vecinales. El estado de la infraestructura vial (salida) depende de entradas como las condiciones climáticas, el tránsito vehicular y las características constructivas, así como de procesos de monitoreo y gestión. La utilización de acelerómetros vehiculares se integra como parte del sistema de medición que retroalimenta la gestión vial, brindando información objetiva sobre la rugosidad superficial.

### **2.2.2. TEORÍA ESPECÍFICA: TEORÍA DE LA MECÁNICA VEHICULAR Y EL MODELO DEL CUARTO DE CARRO**

**De qué trata la teoría.** El modelo del “cuarto de carro” fue desarrollado por Sayers, Gillespie y Queiroz (1986) como un modelo simplificado de la dinámica vehicular. Este modelo representa la respuesta vertical de un vehículo a las irregularidades del pavimento, considerando dos masas (suspendida y no suspendida), un resorte y un amortiguador. Su propósito es calcular cómo las vibraciones generadas por la superficie vial afectan la dinámica del vehículo y, con ello, el confort del usuario.

**Aportes de la teoría.** El modelo del cuarto de carro permitió la estandarización del cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI), que se consolidó como uno de los indicadores técnicos más importantes para evaluar la condición superficial de las carreteras (Sayers & Karamihas, 1998). Además, permitió el desarrollo de metodologías reproducibles a nivel mundial, aplicadas tanto en carreteras pavimentadas como en vías no pavimentadas.

**Relación con la investigación.** Esta teoría es fundamental para el presente estudio, ya que los acelerómetros vehiculares registran aceleraciones verticales que, al ser procesadas mediante el modelo del cuarto de carro, se traducen en estimaciones del IRI. Así, la teoría de la mecánica vehicular sustenta el vínculo directo entre los datos recolectados por los sensores y la rugosidad de la vía, lo que permite validar la pertinencia del uso de tecnologías accesibles en la gestión de

caminos vecinales en Amarilis.

## **2.3. BASES CONCEPTUALES**

Las bases conceptuales constituyen la precisión de los términos fundamentales de la investigación, permitiendo al lector comprender claramente las variables y dimensiones implicadas en el estudio. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), definir conceptualmente los constructos es esencial para garantizar la validez interna y la coherencia metodológica de un trabajo científico. En este estudio, se distinguen dos variables principales: la utilización de acelerómetros vehiculares y la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI), cada una de ellas con dimensiones específicas que serán definidas a continuación.

### **2.3.1. UTILIZACIÓN DE ACELERÓMETROS VEHICULARES**

La utilización de acelerómetros vehiculares se refiere al uso de sensores inerciales instalados en vehículos o en dispositivos móviles para registrar vibraciones producidas por las irregularidades de la superficie de rodadura. Según la ISO (2017), los acelerómetros son transductores capaces de convertir la aceleración mecánica en señales eléctricas interpretables, lo que los hace idóneos para estudios de ingeniería del transporte. Mitiku et al. (2024) señalan que los acelerómetros vehiculares representan una alternativa viable y de bajo costo para medir parámetros de rugosidad vial, especialmente en países de ingresos medios y bajos donde no se dispone de perfilómetros láser.

#### **2.3.1.1. CAPTURA DE ACELERACIONES**

La captura de aceleraciones consiste en la adquisición directa de datos de vibración en los ejes del vehículo (principalmente el eje vertical), mientras este se desplaza por la vía. Según el IEEE (2021), esta captura constituye la primera etapa del proceso de medición, en la cual se recogen señales continuas que reflejan las condiciones dinámicas del vehículo y del pavimento. La relevancia de esta dimensión radica en que constituye la base empírica que,

tras su adecuada transformación, permitirá estimar el IRI.

### **2.3.1.2. PROCESAMIENTO DE SEÑAL**

El procesamiento de señal implica depurar, filtrar y transformar los datos brutos en información utilizable. Zhang et al. (2022) destacan que el ruido en los registros acelerométricos puede provenir de factores externos como vibraciones mecánicas ajenas al pavimento o condiciones ambientales, por lo que se aplican técnicas como filtros de media móvil, Fourier o wavelet. Esta etapa garantiza que las señales sean representativas de la interacción neumático-superficie y comparables con los estándares internacionales de rugosidad.

### **2.3.1.3. CONFIGURACIÓN VEHICULAR**

La configuración vehicular se refiere a los parámetros propios del vehículo utilizado en la medición, como tipo de suspensión, masa, rigidez del resorte y velocidad de operación. Sayers y Karamihas (1998) indican que estas condiciones modifican la respuesta dinámica captada por el acelerómetro, por lo que los valores del IRI deben interpretarse considerando el modelo vehicular. En este sentido, la investigación asumirá un control de velocidad y un mismo tipo de vehículo para mantener la consistencia de los datos recolectados.

## **2.3.2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)**

El Índice de Regularidad Internacional (IRI) es un indicador técnico que mide la rugosidad longitudinal de la superficie vial y que se expresa en metros por kilómetro (m/km). Fue desarrollado en el marco del *International Road Roughness Experiment* liderado por el Banco Mundial en 1986, con el propósito de estandarizar la evaluación de carreteras en todo el mundo (World Bank, 1986). De acuerdo con la ASTM (2015), el IRI constituye la referencia más confiable para establecer la condición

superficial de las vías, dado que correlaciona el perfil longitudinal con la respuesta dinámica de un vehículo estándar (modelo del cuarto de carro).

### **2.3.2.1. RUGOSIDAD LONGITUDINAL**

La rugosidad longitudinal hace referencia a las variaciones en el perfil de la vía a lo largo de la trayectoria vehicular. Según la ASTM E1926-08 (ASTM, 2015), estas irregularidades determinan en gran medida la comodidad del viaje, el desgaste de los vehículos y los costos de operación. En este estudio, la rugosidad longitudinal se medirá indirectamente a partir de los registros acelerométricos, transformados en valores de IRI mediante el modelo dinámico del cuarto de carro.

En el contexto peruano, los criterios para la evaluación de la rugosidad superficial en caminos rurales o no pavimentados aún se basan en adaptaciones del estándar internacional del Índice de Regularidad Internacional (IRI), principalmente el establecido por la FHWA (Federal Highway Administration) y el Banco Mundial, con ajustes técnicos según las condiciones operativas y climáticas locales.

Si bien las normas nacionales como el *Manual de Diseño Geométrico para Caminos No Pavimentados* (MTC, 2018) y el *Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial* (MTC, 2016) no especifican de manera directa una tabla oficial de rangos de IRI para caminos no pavimentados, reconocen la pertinencia de utilizar indicadores de desempeño técnico como el IRI, especialmente en etapas de diagnóstico, priorización y mantenimiento.

Por lo tanto, y siguiendo lo recomendado en experiencias nacionales (como las recogidas por Cabanillas, 2022; Bueno, 2023), se plantea emplear una tabla adaptada de clasificación del IRI para caminos no pavimentados, aplicable en el contexto rural

de Huánuco como se presenta en la tabla 1;

**Tabla 1**

*Rangos del IRI respecto al tipo de vía y Condición Superficial*

<b>Clasificación de la vía</b>	<b>Rango de IRI (m/km)</b>	<b>Condición Superficial</b>
Excelente	< 4.0	Superficie estable, mínima incomodidad
Buena	4.0 – 6.0	Rugosidad moderada, conducción confortable
Regular	6.1 – 8.0	Irregularidades perceptibles, menor confort
Mala	8.1 – 10.0	Superficie dispareja, transitabilidad afectada
Muy mala	> 10.0	Alta rugosidad, incomodidad y riesgos evidentes

*Fuente.* Adaptado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2018). Manual de Carreteras: Conservación vial – Suelos y pavimentos.

### **2.3.2.2. NIVEL DE CONFORT DE VIAJE**

El nivel de confort de viaje se relaciona con la percepción de comodidad o incomodidad experimentada por el usuario durante la circulación vehicular. De acuerdo con el World Bank (1995), el confort se ve comprometido cuando los valores de IRI superan determinados umbrales, lo que incrementa la fatiga del conductor, el riesgo de accidentes y los costos sociales del transporte. En este sentido, el análisis del nivel de confort complementará el estudio técnico de la rugosidad, aportando un criterio de evaluación directamente vinculado con la seguridad y la calidad del servicio vial.

## **2.4. HIPÓTESIS**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

Hipótesis general alterna ( $H_1$ ):

La utilización de acelerómetros vehiculares se relaciona significativamente con la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

Hipótesis general nula ( $H_0$ ):

La utilización de acelerómetros vehiculares no se relaciona significativamente con la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

#### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

##### **Hipótesis específica 1 (HE1).**

Hipótesis alterna ( $H_{11}$ ):

Existe una relación significativa entre la aceleración vertical registrada por los acelerómetros vehiculares y el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

Hipótesis nula ( $H_{01}$ ):

No existe una relación significativa entre la aceleración vertical registrada por los acelerómetros vehiculares y el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

##### **Hipótesis específica 2 (HE2).**

Hipótesis alterna ( $H_{12}$ ):

El procesamiento de señales captadas por acelerómetros vehiculares permite obtener valores estimados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

Hipótesis nula ( $H_{02}$ ):

El procesamiento de señales captadas por acelerómetros vehiculares no permite obtener valores estimados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

### **Hipótesis específica 3 (HE3).**

Hipótesis alterna ( $H_{13}$ ):

Existe una relación significativa entre la velocidad de circulación de los vehículos equipados con acelerómetros y el valor del IRI obtenido en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

Hipótesis nula ( $H_{03}$ ):

No existe una relación significativa entre la velocidad de circulación de los vehículos equipados con acelerómetros y el valor del IRI obtenido en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Utilización de acelerómetros vehiculares

### **2.5.2. VARIABLE DE DEPENDIENTE**

Determinación del IRI

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 2

Operacionalización de las variables

Relación entre el Uso de Acelerómetros Vehiculares y la Medición del IRI en Caminos Vecinales de Amarilis, Huánuco							
Variable	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Valores	Tipo de Variable	Escala de Medición	Instrumento de Medición
<u>Variable Independiente</u>	La utilización de acelerómetros vehiculares se entiende como la implementación de sensores inerciales, instalados en vehículos o dispositivos móviles, que capturan aceleraciones verticales durante la circulación sobre una vía. Estos datos se procesan mediante algoritmos específicos para estimar indirectamente la rugosidad longitudinal de la superficie, expresada en términos del IRI. Según Zhang et al. (2022), los acelerómetros vehiculares permiten registrar las respuestas dinámicas del vehículo ante las irregularidades del pavimento, y su procesamiento mediante modelos de cuarto de carro permite estimar el IRI con buena correlación respecto a métodos tradicionales.	Captura de aceleraciones	Aceleración vertical registrada (eje Z)	m/s <sup>2</sup>	Cuantitativo	De razón, continua	Sensor acelerómetro
Utilización de acelerómetros vehiculares		Procesamiento de señal	Valor procesado de IRI estimado	mm/m	Cuantitativo	De razón, continua	Software de procesamiento (Roadroid, MATLAB, Excel)
		Configuración vehicular	Velocidad de circulación	km/h	Cuantitativo	De razón, continua	GPS del vehículo o APP de

---

							monitoreo
<u>Variable de Dependiente</u>	El Índice de Regularidad Internacional (IRI) es un indicador cuantitativo que mide la rugosidad longitudinal de una superficie de rodadura, generalmente expresada en mm/m. Se obtiene	Rugosidad longitudinal	Valor de IRI (estimado o real)	mm/m	Cuantitativo	De razón, continua	Perfilómetro o algoritmo modelo de cuarto de carro
Determinación del IRI	registrando el perfil longitudinal de una vía y procesándolo mediante modelos dinámicos, como el modelo del cuarto de carro, para evaluar la respuesta del vehículo ante las irregularidades. Según Sayers et al. (1986), el IRI se calcula aplicando un modelo matemático estandarizado al perfil longitudinal y el confort.	Nivel de confort de viaje	Clasificación del IRI según umbral.	Categoría	Cualitativo	Ordinal	Escala del Banco Mundial

---

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con la clasificación propuesta por Supo (2020), toda investigación debe describirse según el grado de intervención del investigador, el control de la medición de la variable, el número de mediciones realizadas y la cantidad de variables analíticas que se abordan. Bajo estos criterios, el presente estudio se caracterizó de la siguiente manera:

##### **Según la intervención del investigador: Observacional**

El estudio se desarrolló sin manipulación de variables, ya que únicamente se observaron y registraron las aceleraciones captadas por los sensores vehiculares y los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales de Amarilis. En este sentido, el rol del investigador se limitó a la recolección y análisis de datos en condiciones naturales, propias del tránsito vehicular.

##### **Según el control de la medición de la variable: Prospectivo**

La investigación se tipifica como prospectiva porque los datos fueron recolectados directamente por el investigador en el campo, mediante dispositivos móviles con acelerómetros, constituyendo datos primarios al 100%. Esta característica asegurará la validez y confiabilidad de la información.

##### **Según el número de mediciones sobre la variable de estudio: Transversal**

El diseño del estudio fue transversal, dado que la recolección de datos se realizó en un solo momento en el tiempo, sin seguimiento longitudinal. Esto permitió medir y analizar la relación entre el uso de acelerómetros vehiculares y la determinación del IRI en un periodo específico.

##### **Según el número de variables analíticas: Analítico**

El estudio se tipifica como analítico porque contempla más de una variable explícita en el título y en los objetivos: la utilización de acelerómetros vehiculares y la determinación del IRI. La investigación no se limitó a describir las variables, sino que establece la relación entre ellas mediante técnicas estadísticas correlacionales.

### **3.1.1. ENFOQUE**

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, sustentado en el paradigma positivista, el cual se orienta a la obtención de conocimientos objetivos, medibles y verificables a partir de la observación empírica y el análisis estadístico (Supo, 2020). Este enfoque se caracteriza por la recolección y análisis de datos numéricos para establecer patrones, relaciones y generalizaciones objetivas (Creswell, 2014). En el caso del presente estudio, se utilizaron sensores acelerométricos para registrar aceleraciones vehiculares, las cuales fueron procesadas matemáticamente para estimar valores del IRI. Esta medición objetiva y estandarizada, sustentada en procedimientos estadísticos, confirma la naturaleza cuantitativa del enfoque adoptado. Además, se emplearon instrumentos validados y técnicas de análisis correlacional para responder a las hipótesis planteadas.

### **3.1.2. NIVEL**

Según Hurtado de Barrera (2010), el nivel relacional de investigación se orienta al estudio de la interacción existente entre dos o más variables, permitiendo identificar no solo si están asociadas, sino también cómo se relacionan entre sí y en qué condiciones ocurre dicha relación. A diferencia del nivel descriptivo, que se limita a caracterizar fenómenos, el nivel relacional busca establecer vínculos o asociaciones significativas entre variables previamente definidas y operacionalizadas.

En este contexto, el presente estudio adopta un nivel relacional, ya que analiza la relación entre la utilización de acelerómetros vehiculares (variable independiente) y la determinación del Índice de Regularidad Internacional – IRI (variable dependiente) en caminos vecinales del

distrito de Amarilis, Huánuco. A través de procedimientos estadísticos adecuados, se evalúa si existe una correlación significativa entre las medidas de aceleración vehicular y los valores estimados de rugosidad superficial, expresados en términos del IRI. Este nivel de investigación es consistente con los objetivos específicos y las hipótesis planteadas, orientadas a establecer relaciones verificables entre indicadores cuantitativos.

### **3.1.3. DISEÑO**

El diseño de investigación constituye la estructura metodológica que orienta la recolección y análisis de datos con base en los objetivos planteados. Según Dankhe (1986), citado por Arias (2006), el diseño no experimental se aplica cuando el investigador no manipula intencionalmente las variables independientes, sino que observa los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para analizar sus relaciones.

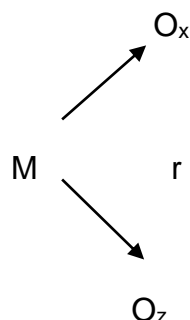
En concordancia con esta definición, el presente estudio adopta un diseño no experimental, ya que no se manipulan deliberadamente las variables, sino que se observa la relación existente entre la utilización de acelerómetros vehiculares y la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en caminos vecinales, en condiciones reales y naturales de uso vehicular.

Asimismo, el estudio es de tipo transversal, dado que los datos se recogieron en un solo momento del tiempo, sin realizar un seguimiento longitudinal. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), el diseño transversal se emplea “cuando la recolección de los datos se efectúa en un solo momento y en un tiempo único” (p. 153), lo que permite describir y analizar las relaciones entre variables en una situación específica.

Este diseño es congruente con los recursos disponibles y con la necesidad de obtener resultados concretos y representativos en un periodo determinado, lo cual es apropiado para estudios que buscan evidenciar correlaciones o asociaciones en contextos técnicos como la

evaluación vial.

A continuación, se presenta el esquema del diseño de la investigación;



Donde;

M: Muestra

Ox: Utilización de acelerómetros vehiculares

Oz: Determinación del IRI

r: Correlación

## 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

### 3.2.1. POBLACIÓN

En investigación cuantitativa, la población se define como el conjunto total de unidades de análisis que comparten características comunes y sobre las cuales se desea hacer inferencias. De acuerdo con Sabino (2014), la población “es el conjunto completo de elementos que poseen una característica común observable y que constituyen el interés de estudio del investigador” (p. 104).

En el presente estudio, la población está conformada por los caminos vecinales del distrito de Amarilis, provincia de Huánuco, región Huánuco, los cuales presentarán condiciones variables de transitabilidad, características geométricas diversas y niveles de rugosidad superficial que no han sido sistemáticamente evaluados. Esta delimitación territorial responde al objetivo de analizar el comportamiento del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en vías rurales de acceso,

utilizando tecnologías accesibles como los acelerómetros vehiculares.

**Criterios de inclusión.** Se consideró parte de la población de estudio aquellos caminos vecinales que:

1. Están ubicados dentro de los límites jurisdiccionales del distrito de Amarilis.
2. Presentan superficie no pavimentada o con capa de afirmado.
3. Son transitados de manera regular por vehículos ligeros y mototaxis, lo que permitirá aplicar el protocolo de medición.
4. Registran un nivel de deterioro superficial visible (baches, deformaciones, pérdida de rodadura) que justifique su evaluación.

**Criterios de exclusión.** Se excluirán de la población de estudio los caminos vecinales que:

1. Se encuentran en proceso de intervención vial (mantenimiento o rehabilitación) durante el periodo de recolección de datos.
2. Presentan restricciones de accesibilidad logística que impidan la instalación de los equipos o la circulación segura del vehículo de medición.

### **3.2.2. MUESTRA**

La muestra se compone por la parte seleccionada de la población de caminos vecinales del distrito de Amarilis, provincia de Huánuco, sobre la cual se aplicaron los instrumentos de medición. Esta porción de la población reúne las características representativas de los caminos vecinales de la zona, lo que permitió analizar el Índice de Regularidad Internacional (IRI) en condiciones reales de transitabilidad.

**Tamaño de la muestra.** Dado que la población de caminos vecinales del distrito de Amarilis no cuenta con un marco muestral formal ni con un número finito de unidades catalogadas para aplicar una fórmula estadística convencional, el cálculo exacto del tamaño de muestra no fue posible. En este sentido, se recurrió a un muestreo no probabilístico de criterio intencional, seleccionando un tramo vial que cumpla con

condiciones técnicas y contextuales representativas de la red vial vecinal. El tramo seleccionado corresponde a la carretera vecinal que conecta el Centro Poblado San José de Paucar con el Centro Poblado Malconga, por reunir condiciones típicas de la infraestructura local.

**Caracterización y justificación de la muestra.** El tramo seleccionado presenta características geométricas, funcionales y operativas representativas de gran parte de los caminos vecinales rurales del distrito de Amarilis, debido a que posee superficie no pavimentada con afirmado granular, presencia recurrente de irregularidades superficiales, tránsito mixto de vehículos ligeros y mototaxis, pendientes variables y limitada intervención periódica de mantenimiento. Asimismo, el tramo evidencia problemas típicos de deterioro asociados a erosión superficial, deformaciones y pérdida de material de rodadura, condiciones que permiten evaluar adecuadamente la respuesta de los acelerómetros vehiculares frente a diferentes niveles de rugosidad. Desde el punto de vista metodológico, la selección intencional de un tramo con variabilidad superficial y operacional permitió garantizar suficiente heterogeneidad de observaciones para efectuar el análisis correlacional entre las variables del estudio, fortaleciendo así la validez técnica de los resultados obtenidos dentro del contexto vial rural de Amarilis.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), en investigaciones aplicadas de diseño no experimental y nivel relacional, el muestreo no probabilístico por criterio intencional resulta pertinente cuando las unidades seleccionadas reúnen características técnicas específicas necesarias para el análisis del fenómeno estudiado. En este caso, la muestra fue seleccionada debido a que concentra condiciones funcionales y superficiales representativas de los caminos vecinales rurales del ámbito de estudio.

**Técnica de muestreo.** Se empleó un muestreo no probabilístico por criterio intencional, en concordancia con Hernández, Fernández y Baptista (2014), quienes señalan que este tipo de muestreo es válido

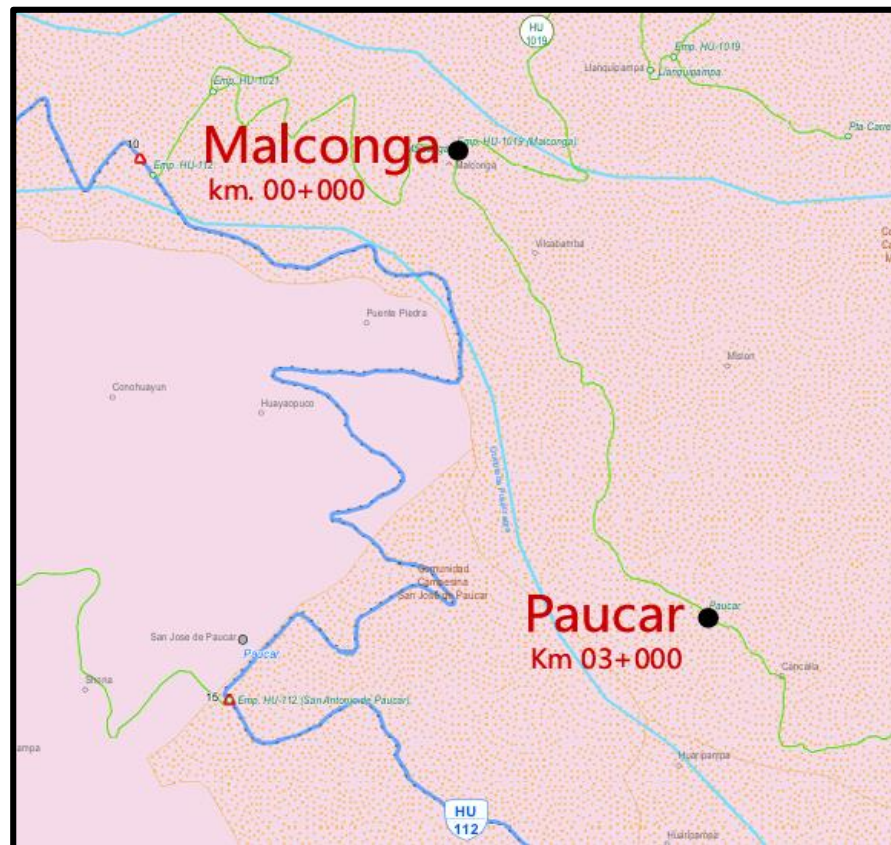
cuando no se busca la inferencia estadística, sino la obtención de evidencia técnica a partir de unidades que reúnen características específicas. La elección del tramo se basará en los siguientes criterios:

- Representatividad tipológica: camino vecinal no pavimentado con geometría y condiciones constructivas similares a la mayoría de las vías de Amarilis.
- Nivel de deterioro superficial: presencia de baches, ondulaciones y pérdida de rodadura.

La siguiente imagen muestra el tramo en estudio desde la localidad de Malconga hasta el poblado de Paucar, como se muestra en el siguiente plano;

**Figura 1**

*Ubicación del tramo en estudio, desde la localidad de Malconga hasta el poblado de Paucar*



Nota. Adaptado de *Mapa vial del distrito de Amarilis*, por Dirección General de Caminos y Ferrocarriles [DGCF], 2017, Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). URL (Ver Anexo 6)

### 3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 3.3.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos constituye una fase clave del proceso investigativo, pues permite obtener la información necesaria para responder a los objetivos planteados y validar empíricamente las hipótesis. Según Bavaresco (2016), “la técnica de recolección de datos es el procedimiento mediante el cual se extrae información específica desde la realidad empírica, utilizando instrumentos previamente definidos y validados, adecuados al enfoque y al diseño de la investigación” (p. 91).

En concordancia con el enfoque cuantitativo y el diseño no experimental de esta investigación, se utilizaron técnicas de Observación de datos no participante, estructurada y no contralada (de campo), basadas en herramientas tecnológicas y protocolos estandarizados. Previamente se hizo el levantamiento topográfico de todo el tramo que corresponde la muestra del estudio. A continuación, se detalla la técnica de recolección de datos para cada una de las variables incluidas en el estudio.

**Variable 1. Utilización de acelerómetros vehiculares.** La recolección de datos para esta variable se basa en el registro de aceleraciones verticales mediante sensores inerciales (acelerómetros) instalados en un vehículo en movimiento, sobre el tramo de estudio.

**Técnica empleada.** Observación estructurada asistida por tecnología.

**Instrumento.** Sensor acelerómetro MEMS (Microelectromecánica Systems) integrado en un dispositivo móvil o módulo externo calibrado, instalado en el tablero del vehículo.

**Procedimiento.** Se configuró el acelerómetro para registrar aceleraciones en el eje Z (vertical), con una frecuencia mínima de muestreo de 50 Hz, durante recorridos repetidos a velocidades

constantes (entre 30 y 50 km/h), como se recomienda en estudios similares (Skara & Levenberg, 2022). Cada registro fue asociado a una georreferenciación por GPS para identificar su ubicación espacial a lo largo del tramo.

**Objetivo.** Captar las vibraciones inducidas por las irregularidades de la vía, las cuales se utilizarán como insumo para el cálculo indirecto del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

**Precauciones.** Se establecieron condiciones controladas de tráfico y clima, y se realizaron al menos tres pasadas para cada sentido del recorrido, asegurando replicabilidad y confiabilidad en los registros.

**Variable 2. Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI).** La medición del IRI se realiza como resultado del procesamiento matemático de los datos obtenidos por los acelerómetros, pero también puede contrastarse con valores estándar de referencia.

**Técnica empleada.** Procesamiento y análisis de señales acelerométricas.

Instrumento: Software de procesamiento como Roadroid, que aplican modelos matemáticos del tipo “cuarto de carro” para estimar el IRI en mm/m.

**Procedimiento.** Los datos brutos de aceleración registrados por los sensores son filtrados y convertidos en perfiles longitudinales sintéticos. Luego, estos son introducidos en algoritmos que simulan la respuesta dinámica del vehículo a irregularidades del terreno. La salida es una estimación del valor del IRI para cada tramo georreferenciado.

**Validación.** Para contrastar y validar los resultados obtenidos, se selecciona un subtramo patrón donde se utiliza un método tradicional complementario (como mira y nivel o perfilómetro tipo MERLIN) si es factible, o se compara con valores reportados en estudios previos del mismo tramo.

**Objetivo.** Obtener un indicador técnico y cuantitativo del estado superficial de la vía, permitiendo clasificarla según los umbrales establecidos por el Banco Mundial (World Bank, 2013).

### **3.3.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Los instrumentos de recolección de datos son herramientas técnicas diseñadas para registrar empíricamente los indicadores de cada variable. Su adecuada selección garantiza la validez y fiabilidad de los datos obtenidos. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), “el instrumento es el medio concreto que el investigador utiliza para recoger la información sobre las variables que desea estudiar” (p. 207). En esta investigación, se utilizaron instrumentos digitales y tecnológicos adecuados al enfoque cuantitativo y al diseño no experimental, como se detalla a continuación:

#### **Variable 1: Utilización de acelerómetros vehiculares**

##### ***Dimensión 1: Captura de aceleraciones***

Indicador: Aceleración vertical registrada (eje Z)

Instrumento: Sensor acelerómetro (tipo MEMS), integrado en un dispositivo móvil o módulo externo. Este dispositivo se instaló en el tablero del vehículo y registró las aceleraciones verticales durante la circulación. La configuración permite obtener datos en tiempo real, exportables en formato digital para su procesamiento posterior.

Justificación: Este instrumento ha demostrado eficacia en múltiples investigaciones similares (Zhang et al., 2022) y permite obtener información continua sobre las irregularidades del pavimento.

##### ***Dimensión 2: Procesamiento de señal***

Indicador: Valor procesado de IRI estimado

Instrumento: Software de procesamiento como *Roadroid*, *MATLAB* o *Excel*, los cuales aplican algoritmos matemáticos (como el modelo del

cuarto de carro) que transforman los datos de aceleración en valores estimados del IRI (mm/m).

Justificación: Estas plataformas permiten aplicar filtros de señal, ajustar constantes vehiculares y simular respuestas dinámicas con base en estándares internacionales.

### ***Dimensión 3: Configuración vehicular***

Indicador: Velocidad de circulación

Instrumento: Sistema GPS del vehículo o aplicación en un celular dentro del vehículo. Estos dispositivos permiten registrar la velocidad instantánea con precisión.

Justificación: La velocidad influye directamente en la respuesta dinámica del vehículo y, por tanto, en la precisión del cálculo del IRI (Skara & Levenberg, 2022).

## **Variable 2: Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI).**

### ***Dimensión 1: Rugosidad longitudinal.***

Indicador: Valor del IRI (estimado o real)

Instrumento: Algoritmo matemático del modelo del cuarto de carro, aplicado mediante software de simulación (Roadroid), o, en caso de validación, perfilómetro tipo MERLIN en tramos específicos.

Justificación: Estos instrumentos son aceptados internacionalmente para la estimación técnica del IRI, y permiten establecer valores de rugosidad comparables con los estándares del Banco Mundial (Sayers et al., 1986).

### ***Dimensión 2: Nivel de confort de viaje.***

Indicador: Clasificación del IRI según umbral

Instrumento: Escala del Banco Mundial, que clasifica el estado de una vía según los rangos de IRI (por ejemplo: <1.5 m/km = excelente; >6.0 m/km = intransitable).

Justificación: Esta escala es un referente internacional para la categorización del confort de conducción y permite interpretar técnicamente los resultados desde una perspectiva de servicio al usuario (World Bank, 2013).

### **3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

#### **3.4.1. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

El procesamiento de la información constituye una etapa fundamental dentro del proceso metodológico, pues permite organizar, depurar y transformar los datos brutos recogidos en información útil para el análisis. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), “el procesamiento de datos consiste en la codificación, tabulación y organización de la información obtenida, con el propósito de convertirla en insumos válidos para el análisis estadístico o interpretativo” (p. 227).

En esta investigación, las técnicas de procesamiento están orientadas a estructurar los datos recogidos mediante sensores acelerométricos y aplicaciones de geolocalización en un formato adecuado para su posterior análisis estadístico y correlacional. Dado el enfoque cuantitativo del estudio, este procesamiento se realizó siguiendo criterios de organización numérica, consistencia interna, y validación inicial de registros.

**Procesamiento de datos para la variable: Utilización de acelerómetros vehiculares.**

- Los datos recogidos por los sensores se exportaron en formato .xls.
- Se aplicaron técnicas de filtrado de señales (como suavizado o filtro de media móvil) para reducir el ruido de los registros de

aceleración.

- Posteriormente, se normalizaron las unidades y se organizaron por segmentos georreferenciados.
- El conjunto de datos se estructuró en tablas que contengan los siguientes campos: fecha/hora, coordenada GPS, aceleración en eje Z, velocidad del vehículo, y valor estimado del IRI.

#### **Procesamiento de datos para la variable: Determinación del IRI.**

- Se transformaron los registros de aceleración en valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) utilizando el modelo dinámico del cuarto de carro.

**Organización para el análisis de los objetivos específicos.** Con el fin de orientar el análisis hacia los objetivos específicos del estudio, el procesamiento de la información se sistematizó por tramos, dimensiones e indicadores. Para ello, se elaboraron:

- Matrices de datos por dimensión e indicador, alineadas con el cuadro de operacionalización de variables.
- Tablas estadísticas resumidas (media, desviación estándar, valores máximos y mínimos del IRI).
- Gráficos comparativos que permitan visualizar la relación entre la aceleración captada y los valores estimados de IRI por tramo.

Estas estructuras facilitarán el análisis posterior de tipo correlacional, asegurando que cada objetivo específico cuente con una base de datos debidamente organizada y procesada.

#### **3.4.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

El análisis de datos constituye una etapa crítica del proceso investigativo, pues permite transformar la información procesada en evidencias concretas que validen o refuten las hipótesis planteadas. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), el análisis de

datos comprende "los procedimientos utilizados para examinar, interpretar y darle significado a la información recolectada en una investigación" (p. 226). En investigaciones cuantitativas, este análisis se realiza a través de métodos estadísticos, los cuales pueden clasificarse en dos grandes categorías: descriptivos e inferenciales.

**Análisis estadístico descriptivo.** El análisis estadístico descriptivo tiene como propósito organizar, resumir y representar gráficamente los datos recolectados, permitiendo observar patrones, tendencias y variabilidad de las variables. Según Martínez González (2012), "la estadística descriptiva se encarga de presentar los datos de forma comprensible mediante medidas de tendencia central, de dispersión y de forma, así como por medio de representaciones gráficas" (p. 88).

En el presente estudio, el análisis descriptivo incluye:

- Medidas de tendencia central: media aritmética de los valores de IRI, aceleración, velocidad y niveles de confort.
- Medidas de dispersión: desviación estándar, varianza y rango.
- Tablas de distribución de frecuencias para las categorías de confort vial.

**Análisis estadístico inferencial.** La estadística inferencial permite establecer relaciones significativas entre variables y generalizar los hallazgos de la muestra a la población. Según Triola (2014), "el análisis inferencial utiliza métodos que permiten tomar decisiones o predicciones acerca de una población, a partir de los resultados obtenidos en una muestra" (p. 6).

Dado que todas las hipótesis del presente estudio buscan establecer relaciones entre variables cuantitativas, se aplicó la prueba de correlación de Pearson, siempre que se cumplan sus supuestos básicos:

- Linealidad de la relación entre las variables

- Normalidad de la distribución de los datos (verificada mediante prueba de Kolmogórov-Smirnov o Shapiro-Wilk)
- Escala de medición de intervalo o razón

En caso de que algún conjunto de datos no cumpla con el supuesto de normalidad, se optó por la correlación de Spearman, que es no paramétrica.

### **3.4.3. PRESENTACIÓN DE DATOS**

**Control de datos.** El control de datos se realizó desde el momento de la recolección, verificando la consistencia y calidad de los registros obtenidos con los sensores acelerométricos. Para ello, se aplicaron protocolos de revisión diaria de los archivos recolectados, identificando registros incompletos, duplicados o atípicos, los cuales fueron depurados antes de su procesamiento. Este control garantiza que los datos utilizados para el análisis estadístico provengan de mediciones válidas y confiables.

**Codificación de datos.** Posteriormente, los registros fueron codificados de acuerdo con las variables e indicadores definidos en el cuadro de operacionalización. Se asignaron códigos numéricos a las observaciones de campo, incorporando variables como fecha/hora, tramo evaluado, aceleración, velocidad y valor estimado del IRI. Esta codificación permite organizar los datos en un formato compatible con el software de análisis estadístico y facilitará la interpretación de resultados.

**Procesamiento de datos.** El procesamiento de la información consistió en la transformación de los registros brutos en insumos válidos para el análisis estadístico. Para ello, los datos exportados en formato .xls fueron depurados, normalizados y organizados por segmentos georreferenciados. Se aplicaron filtros de señal (como suavizado o media móvil) y se calcularán los valores de IRI mediante el modelo dinámico del cuarto de carro, los resultados se consolidarán en tablas correspondientes.

**Presentación de datos.** Finalmente, la presentación de datos se realiza en tablas y gráficos elaborados en el software SPSS y Excel, mostrando medidas descriptivas (media, desviación estándar, varianza, máximos y mínimos) y la clasificación del nivel de confort vial según los estándares del Banco Mundial.

### **3.5. ASPECTOS ÉTICOS**

La investigación se desarrolló respetando los principios éticos que garantizan la integridad científica, la transparencia del proceso investigativo y la protección de los entornos involucrados. Tal como se estableció desde su formulación, el estudio no trabajó con seres humanos ni recopiló información personal o sensible. Las unidades de análisis se limitaron exclusivamente a caminos vecinales, y los datos obtenidos correspondieron únicamente a registros técnicos como aceleraciones vehiculares, coordenadas geográficas y valores del IRI. En concordancia con la Asociación Médica Mundial (2013), la investigación se condujo bajo los principios de respeto, beneficencia y justicia, adaptados a la naturaleza del estudio. Los aspectos éticos aplicados fueron los siguientes:

La ejecución del estudio se realizó dentro del marco normativo de la Universidad de Huánuco y en estricto cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos, asegurando la observancia de las directivas académicas y metodológicas vigentes. Asimismo, se respetaron las disposiciones legales nacionales sobre uso de espacios públicos y circulación en vías vecinales, garantizando que todo el trabajo de campo se desarrollara dentro de los límites permitidos por la normativa local.

Durante todo el proceso investigativo se garantizó la originalidad del trabajo, evitando cualquier forma de plagio, falsificación o manipulación de datos. Todas las fuentes empleadas fueron citadas y referenciadas conforme a las normas APA, séptima edición, asegurando la trazabilidad y confiabilidad del sustento teórico y metodológico.

El trabajo de campo se planificó y ejecutó garantizando condiciones seguras tanto para los investigadores como para los usuarios de las vías. Se

evitó interferir con la transitabilidad normal y se implementaron medidas preventivas durante el desplazamiento vehicular y la instalación de los dispositivos de medición. Esto permitió minimizar cualquier riesgo operacional y asegurar el desarrollo responsable de las actividades en terreno.

Los datos recolectados se circunscribieron estrictamente a información técnica —aceleraciones, velocidades, coordenadas y valores de IRI— sin registrar en ningún momento datos personales de los usuarios de las vías. La presentación de los resultados se realizó de manera agregada y con fines exclusivamente académicos y científicos, preservando la confidencialidad y el uso ético de la información obtenida.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

El presente capítulo presenta los resultados obtenidos en la investigación titulada *“Relación entre el uso de acelerómetros vehiculares y la medición del IRI en caminos vecinales de Amarilis, Huánuco”*, los cuales se organizan de manera sistemática conforme a los objetivos y al diseño metodológico del estudio.

El capítulo se estructura en tres componentes principales. En primer lugar, se desarrolla la descripción del procedimiento realizado en campo para la recolección de los datos, la cual se compone de siete etapas operativas, que abarcan desde la preparación y reconocimiento del tramo vial, la instalación y configuración de los equipos, la ejecución de los recorridos de medición, hasta la validación técnica y el control de calidad de los registros. En esta sección se incluyen, además, los valores obtenidos en cada una de las fases del proceso, asegurando la trazabilidad de la información utilizada en el análisis.

En segundo término, se presenta el análisis estadístico descriptivo, cuyo propósito es caracterizar el comportamiento de las variables de estudio mediante el uso de medidas de tendencia central, dispersión y distribución de los valores de aceleración y del Índice de Regularidad Internacional (IRI), permitiendo una primera aproximación cuantitativa al estado de los caminos vecinales evaluados.

Finalmente, se desarrolla el análisis estadístico inferencial, orientado a evaluar la relación existente entre la utilización de acelerómetros vehiculares y los valores del IRI obtenidos, mediante la aplicación de las pruebas estadísticas correspondientes para la contrastación de las hipótesis planteadas, determinando así el nivel de significancia y la fuerza de asociación entre las variables.

#### 4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos en campo se realizó de manera sistemática y controlada sobre el tramo de la carretera vecinal San José de Paucar – Malconga, ubicado en el distrito de Amarilis, provincia de Huánuco, seleccionado como muestra representativa del estudio. El procedimiento se ejecutó en tres fases operativas: preparación, levantamiento de datos y verificación en gabinete desarrollados en los siguientes pasos:

##### 1. Fase de preparación y reconocimiento del tramo

Del camino vecinal San José de Paucar – Malconga, se tomó un tramo de 3 km de longitud, seleccionado de manera intencional. Este tramo se caracteriza por presentar condiciones superficiales relativamente homogéneas, sin intervenciones recientes ni secciones en reconstrucción que pudieran distorsionar los valores del IRI.

En el tramo de 3 km se define entre las progresivas Inicio 0+000 y Final 3+000 del camino San José de Paucar – Malconga, donde se verifica la presencia de una superficie representativa de la condición típica de los caminos vecinales de Amarilis, evitando zonas con baches profundos, hundimientos severos o pérdida total del afirmado que generen valores atípicos de rugosidad.

Previo a la medición instrumental, se efectuó un reconocimiento integral del tramo vial, registrando los datos que se presentan en la Tabla 3

**Tabla 3**

*Caracterización del tramo en estudio*

Progresiva	Longitud (m)	Tipo de Superficie	Estado de la Superficie	Pendiente Promedio (%)
00+000 – 00+100	100	Afirmado	Regular	7
00+100 – 00+200	100	Afirmado	Regular	8
00+200 – 00+300	100	Afirmado	Regular	9
00+300 – 00+400	100	Afirmado	Regular	10
00+400 – 00+500	100	Afirmado	Bueno	11
00+500 – 00+600	100	Afirmado	Regular	12

00+600 – 00+700	100	Afirmado	Regular	13
00+700 – 00+800	100	Afirmado	Regular	6
00+800 – 00+900	100	Afirmado	Malo	7
00+900 – 01+000	100	Afirmado	Bueno	8
01+000 – 01+100	100	Afirmado	Regular	9
01+100 – 01+200	100	Afirmado	Regular	10
01+200 – 01+300	100	Afirmado	Regular	11
01+300 – 01+400	100	Afirmado	Regular	12
01+400 – 01+500	100	Afirmado	Bueno	13
01+500 – 01+600	100	Afirmado	Regular	6
01+600 – 01+700	100	Afirmado	Regular	7
01+700 – 01+800	100	Afirmado	Malo	8
01+800 – 01+900	100	Afirmado	Regular	9
01+900 – 02+000	100	Afirmado	Bueno	10
02+000 – 02+100	100	Afirmado	Regular	11
02+100 – 02+200	100	Afirmado	Regular	12
02+200 – 02+300	100	Afirmado	Regular	13
02+300 – 02+400	100	Afirmado	Regular	6
02+400 – 02+500	100	Afirmado	Bueno	7
02+500 – 02+600	100	Afirmado	Regular	8
02+600 – 02+700	100	Afirmado	Malo	9
02+700 – 02+800	100	Afirmado	Regular	10
02+800 – 02+900	100	Afirmado	Regular	11
02+900 – 03+000	100	Afirmado	Bueno	12

## 2. Instalación y configuración de los equipos

Se utilizó un vehículo liviano estándar, sobre el cual se instaló un dispositivo móvil equipado con sensor acelerómetro métrico tipo MEMS, fijado rígidamente al tablero del vehículo con soporte antivibración. La instalación se realizó garantizando:

- Orientación correcta del sensor en el eje Z (vertical).
- Fijación estable, evitando desplazamientos laterales durante el recorrido.
- Sin interferencia de otros dispositivos electrónicos.

El acelerómetro fue configurado con una frecuencia mínima de muestreo de 50 Hz, adecuada para capturar vibraciones asociadas a la rugosidad

superficial. Paralelamente, se activó el sistema GPS del dispositivo para registrar velocidad y posición geográfica en tiempo real.

La aplicación empleadas para el registro fue Roadroid, configurada para exportar los datos en formato compatible.

### **3. Ejecución de los recorridos de medición**

Los recorridos de medición se realizaron bajo las siguientes condiciones operativas estandarizadas:

- Velocidad controlada alrededor de 50 km/h, conforme a recomendaciones técnicas.
- Tránsito vehicular moderado, sin interrupciones.
- Condiciones climáticas estables (sin lluvia durante la medición).

En cada pasada se capturaron de manera continua la:

- Aceleración vertical ( $m/s^2$ ).
- Velocidad instantánea del vehículo (km/h).
- Distancia recorrida

Todos los datos en registraron en el sistema del software utilizado y se exportaron en tablas cuyos valores se presentan en el Anexo 4.

### **4. Descarga, depuración y procesamiento de datos**

Finalizado el trabajo de campo, los registros se exportaron y se procedió a:

- Eliminación de registros atípicos por detenciones o interferencias externas.
- Aplicación de filtros de suavizado y media móvil para reducir ruido.
- Normalización de las señales acelerométricas.
- Organización de datos por subtramos georreferenciados.

Los valores de aceleración procesados fueron ingresados al modelo dinámico del cuarto de carro, mediante software Roadroid, obteniéndose los

valores estimados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en m/km para cada subtramo del camino, valores que se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Valores del IRI por cada uno de los subtramos de la carretera analizada*

<b>Sub-Tramo</b>	<b>Progresiva</b>	<b>IRI (m/km)</b>
1	00+000 – 00+100	7.00
2	00+100 – 00+200	6.45
3	00+200 – 00+300	5.10
4	00+300 – 00+400	8.45
5	00+400 – 00+500	7.35
6	00+500 – 00+600	8.90
7	00+600 – 00+700	6.80
8	00+700 – 00+800	4.95
9	00+800 – 00+900	9.20
10	00+900 – 01+000	7.60
11	01+000 – 01+100	6.25
12	01+100 – 01+200	8.35
13	01+200 – 01+300	7.10
14	01+300 – 01+400	5.45
15	01+400 – 01+500	9.10
16	01+500 – 01+600	6.70
17	01+600 – 01+700	8.75
18	01+700 – 01+800	7.25
19	01+800 – 01+900	4.80
20	01+900 – 02+000	9.50
21	02+000 – 02+100	6.40
22	02+100 – 02+200	8.60
23	02+200 – 02+300	7.90
24	02+300 – 02+400	5.60
25	02+400 – 02+500	9.30
26	02+500 – 02+600	6.95
27	02+600 – 02+700	8.20
28	02+700 – 02+800	7.45

<b>Sub-Tramo</b>	<b>Progresiva</b>	<b>IRI (m/km)</b>
29	02+800 – 02+900	5.75
30	02+900 – 03+000	9.00

## 5. Determinación del nivel de confort de viaje

Los valores de IRI obtenidos fueron clasificados de acuerdo con la escala del Banco Mundial, asignando a cada segmento su correspondiente categoría de confort (excelente, buena, regular, mala o muy mala). Esta clasificación permitió interpretar funcionalmente el estado de la vía desde el punto de vista del usuario, clasificación que se presenta en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Nivel de confort de la superficie por cada uno de los subtramos de la carretera analizada*

<b>Subtramo</b>	<b>Progresiva</b>	<b>IRI (m/km)</b>	<b>Nivel de Confort</b>
1	00+000 – 00+100	<b>7.00</b>	Regular
2	00+100 – 00+200	6.45	Regular
3	00+200 – 00+300	5.10	Buena
4	00+300 – 00+400	8.45	Mala
5	00+400 – 00+500	7.35	Regular
6	00+500 – 00+600	8.90	Mala
7	00+600 – 00+700	6.80	Regular
8	00+700 – 00+800	4.95	Buena
9	00+800 – 00+900	9.20	Mala
10	00+900 – 01+000	7.60	Regular
11	01+000 – 01+100	6.25	Regular
12	01+100 – 01+200	8.35	Mala
13	01+200 – 01+300	7.10	Regular
14	01+300 – 01+400	5.45	Buena
15	01+400 – 01+500	9.10	Mala
16	01+500 – 01+600	6.70	Regular
17	01+600 – 01+700	8.75	Mala
18	01+700 – 01+800	7.25	Regular
19	01+800 – 01+900	4.80	Buena

<b>Subtramo</b>	<b>Progresiva</b>	<b>IRI (m/km)</b>	<b>Nivel de Confort</b>
20	01+900 – 02+000	9.50	Mala
21	02+000 – 02+100	6.40	Regular
22	02+100 – 02+200	8.60	Mala
23	02+200 – 02+300	7.90	Regular
24	02+300 – 02+400	5.60	Buena
25	02+400 – 02+500	9.30	Mala
26	02+500 – 02+600	6.95	Regular
27	02+600 – 02+700	8.20	Mala
28	02+700 – 02+800	7.45	Regular
29	02+800 – 02+900	5.75	Buena
30	02+900 – 03+000	9.00	Mala

## **6. Validación técnica de los resultados**

Como procedimiento de control, se seleccionaron subtramos patrón donde se realizó una verificación cruzada mediante métodos convencionales complementarios, en nuestro caso fue con la Rueda de Merlín (Ver imágenes en el Anexo 3) esto permitió comprobar la consistencia de los valores obtenidos por el acelerómetro

### **4.2. ANÁLISIS DESCRIPTIVO**

El análisis estadístico descriptivo se realizó sobre los valores representativos por subtramo, considerando los valores promedio de velocidad y aceleración vertical, así como los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) y su correspondiente nivel de confort, que se presentan en la Tabla 6. Los registros crudos obtenidos a 50 Hz (ver Anexo 4) no fueron analizados individualmente debido a su alta densidad temporal, sino que fueron resumidos mediante estadísticos representativos por cada subtramo de 100 m, procedimiento que permite una interpretación técnica adecuada del comportamiento funcional del camino.

**Tabla 6***Tabla resumen de resultados de los indicadores por subtramo*

<b>Subtramo (Progresiva)</b>	<b>Velocidad Promedio (km/h)</b>	<b>Aceleración Vertical Promedio (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>IRI (m/km)</b>	<b>Nivel de Confort</b>
00+000 – 00+100	51.63	0.687	7.00	Regular
00+100 – 00+200	47.12	0.687	6.45	Regular
00+200 – 00+300	50.8	0.404	5.10	Buena
00+300 – 00+400	51.49	1.023	8.45	Mala
00+400 – 00+500	49.99	0.710	7.35	Regular
00+500 – 00+600	48.35	0.989	8.90	Mala
00+600 – 00+700	48.19	0.715	6.80	Regular
00+700 – 00+800	51.56	0.404	4.95	Buena
00+800 – 00+900	48.01	0.983	9.20	Mala
00+900 – 01+000	47.53	0.699	7.60	Regular
01+000 – 01+100	51.11	0.649	6.25	Regular
01+100 – 01+200	52.72	0.993	8.35	Mala
01+200 – 01+300	47.02	0.723	7.10	Regular
01+300 – 01+400	50.07	0.392	5.45	Buena
01+400 – 01+500	51.88	0.986	9.10	Mala
01+500 – 01+600	50.68	0.703	6.7	Regular
01+600 – 01+700	51.33	0.999	8.75	Mala
01+700 – 01+800	48.75	0.688	7.25	Regular
01+800 – 01+900	52.51	0.394	4.80	Buena
01+900 – 02+000	51.29	0.973	9.50	Mala
02+000 – 02+100	50.26	0.723	6.40	Regular
02+100 – 02+200	47.85	1.009	8.60	Mala
02+200 – 02+300	49.24	0.671	7.90	Regular
02+300 – 02+400	51.04	0.408	5.60	Buena
02+400 – 02+500	49.65	1.019	9.30	Mala
02+500 – 02+600	49.6	0.682	6.95	Regular
02+600 – 02+700	50.71	1.007	8.20	Mala
02+700 – 02+800	50.08	0.692	7.45	Regular
02+800 – 02+900	50.9	0.399	5.75	Buena
02+900 – 03+000	50.61	0.827	9.00	Mala

A partir de los valores de esta tabla, el análisis estadístico descriptivo permite sintetizar y organizar la información obtenida durante el trabajo de campo, facilitando la interpretación del comportamiento de las variables en estudio. En la presente investigación, este análisis se aplica a las variables

cuantitativas velocidad promedio de circulación, aceleración vertical promedio e Índice de Regularidad Internacional (IRI), cuyos estadísticos descriptivos se presentan en la Tabla 7; y a la variable cualitativa nivel de confort, determinada en función de los rangos del IRI para caminos no pavimentados, cuyos estadísticos de frecuencia y porcentaje se muestran en la Tabla 8. Estos resultados permiten caracterizar el estado funcional del tramo evaluado y constituyen la base para el análisis inferencial posterior.

**Tabla 7**

*Estadísticos descriptivos de los indicadores cuantitativos*

<b>Variable</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. estándar</b>
Velocidad promedio (km/h)	47.020	52.720	50.066	1.590
Aceleración vertical promedio (m/s <sup>2</sup> )	0.392	1.023	0.741	0.185
IRI (m/km)	4.800	9.500	7.340	1.373

Con la finalidad de fortalecer la caracterización estadística de las variables analizadas, se desarrolló una descriptiva complementaria de la variable “Utilización de acelerómetros vehiculares” y de sus dimensiones operativas. En este sentido, los registros de aceleración vertical, velocidad de circulación y valores procesados de IRI fueron analizados mediante medidas de tendencia central y dispersión, permitiendo identificar el comportamiento general de los datos recolectados en los 30 subtramos evaluados.

Los resultados evidenciaron variabilidad moderada en las aceleraciones verticales registradas, asociada a las diferencias de rugosidad superficial presentes a lo largo del tramo vial. Asimismo, la velocidad de circulación presentó fluctuaciones controladas dentro del rango operativo establecido para la investigación, garantizando condiciones homogéneas durante el proceso de medición. Por su parte, los valores de IRI mostraron una distribución heterogénea, con predominancia de niveles de rugosidad clasificados entre “Regular” y “Mala”, lo cual confirma la presencia de deficiencias funcionales importantes en la superficie de rodadura, como se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 8**

*Análisis descriptiva de la variable utilización de acelerómetros vehiculares y sus dimensiones*

<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Nivel predominante</b>
Captura de aceleraciones	Aceleración vertical	Variabilidad moderada
Procesamiento de señal	IRI estimado	Rugosidad regular–mala
Configuración vehicular	Velocidad de circulación	Rango controlado

### ***Análisis e interpretación***

La velocidad promedio de circulación en los subtramos analizados presenta un valor medio de 50.066 km/h, con un mínimo de 47.02 km/h y un máximo de 52.72 km/h, evidenciando un comportamiento relativamente estable del tránsito durante las mediciones. La desviación estándar de 1.59 km/h indica una baja dispersión, lo que confirma que las mediciones fueron realizadas bajo condiciones controladas de operación vehicular, reduciendo el error por variabilidad de velocidad en la estimación del IRI.

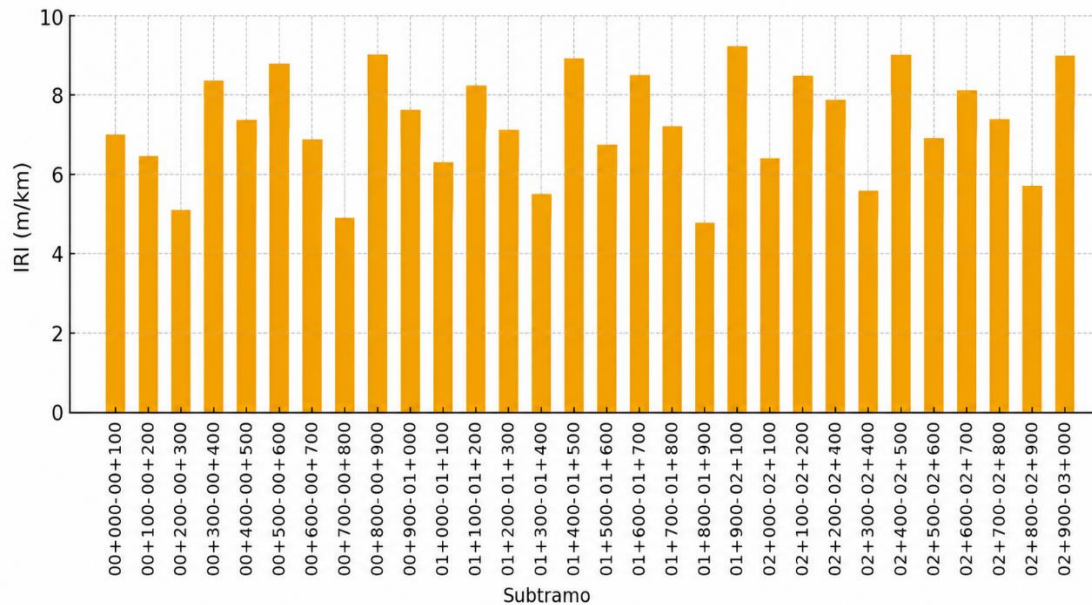
Respecto a la aceleración vertical promedio, se obtuvo un valor medio de 0.741 m/s<sup>2</sup>, con valores extremos comprendidos entre 0.392 m/s<sup>2</sup> y 1.023 m/s<sup>2</sup>. Esta dispersión responde a las variaciones en la condición superficial del afirmado a lo largo del tramo, donde los sectores con mayores irregularidades generan respuestas dinámicas más intensas en el vehículo. La desviación estándar de 0.185 m/s<sup>2</sup> refleja una variabilidad moderada, consistente con un camino no pavimentado con tramos en condición regular y mala.

En cuanto al Índice de Regularidad Internacional (IRI), se registró un valor promedio de 7.34 m/km, con un mínimo de 4.80 m/km y un máximo de 9.50 m/km. Estos resultados ubican al tramo, en términos generales, dentro de una condición funcional Regular, según la escala de clasificación adoptada para caminos no pavimentados. La desviación estándar de 1.46 m/km evidencia una heterogeneidad significativa en la rugosidad superficial,

asociada a la coexistencia de subtramos en condiciones buena, regular y mala. En la Figura 2 se presentan los valores del IRI promedio por cada subtramo.

**Figura 2**

*Valores del IRI promedio por cada subtramo*



### ***Análisis e interpretación***

El gráfico de barras del Índice de Regularidad Internacional (IRI) por subtramo evidencia una variación significativa de la rugosidad superficial a lo largo del tramo de 3 km evaluado. Los valores de IRI fluctúan entre 4.80 m/km y 9.50 m/km, lo que confirma la heterogeneidad funcional del camino vecinal. Se observan picos de rugosidad en los subtramos 01+900–02+000, 01+400 – 01+500, 02+400–02+500 y 00+800–00+900, con valores superiores a 9.0 m/km, los cuales corresponden a sectores en condición mala, caracterizados por una superficie dispareja y afectación directa más bajos de IRI, próximos a 5.0 m/km, se concentran en los subtramos 00+200–00+300, 00+700–00+800 y 01+800–01+900, clasificados como de condición buena, donde se registra un comportamiento superficial más estable y un mayor confort de circulación. La mayoría de los subtramos presenta valores entre 6.1 y 8.0 m/km, ubicándose en la categoría regular, lo que revela que el tramo, en términos generales, presenta irregularidades perceptibles que reducen el confort de

viaje, aunque sin llegar a niveles críticos generalizados. En conjunto, el gráfico confirma que el camino presenta un desempeño funcional predominantemente regular, con sectores localizados en condición deficiente que requieren intervención prioritaria.

**Tabla 9**

*Valores de distribución de la variable Nivel de confort*

<b>Nivel de confort</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Regular	13	46.67
Mala	11	33.33
Buena	6	20.00

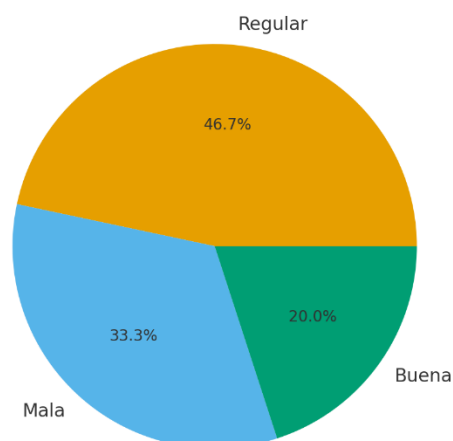
### ***Análisis e interpretación***

La distribución del nivel de confort muestra que el 46.67 % de los subtramos (13 subtramos) se encuentran en condición Regular, seguido del 33.33 % (11 subtramos) en condición Mala, mientras que solo el 20.00 % (6 subtramos) presentan una condición Buena. No se registraron tramos en las categorías Excelente ni Muy mala.

Esta distribución evidencia que más del 80 % del tramo total se encuentra entre condiciones Regular y Mala, lo que implica que la mayoría del camino vecinal ofrece un nivel de servicio funcional limitado, con irregularidades perceptibles, reducción del confort de viaje e incremento de los costos de operación vehicular. La baja proporción de tramos en condición Buena confirma el déficit de conservación superficial de la vía y la necesidad de intervenciones periódicas de mantenimiento. La Figura 2 muestra la distribución del nivel de confort.

**Figura 3**

*Distribución de la variable Nivel de Confort*



### ***Análisis e interpretación***

El gráfico de pastel del nivel de confort muestra que el 46.67 % del total de subtramos se encuentra en condición regular, seguido del 33.33 % en condición mala y solo el 20.00 % en condición buena. Esta distribución indica que más del 80 % del tramo evaluado ofrece un nivel de servicio entre regular y malo, evidenciando una limitada calidad funcional del camino vecinal y la presencia de irregularidades que afectan de manera directa el confort y la seguridad de los usuarios.

La reducida proporción de subtramos en condición buena confirma que los sectores con superficie relativamente estable son escasos y discontinuos, lo que impide que el usuario mantenga un nivel de confort uniforme a lo largo del recorrido. Asimismo, la presencia de un porcentaje considerable de subtramos en condición mala advierte sobre zonas críticas de rugosidad elevada, donde aumentan los riesgos de deterioro vehicular y se incrementan los costos de operación. En conjunto, el gráfico de pastel refuerza el diagnóstico de que el tramo evaluado requiere intervenciones de mantenimiento periódico y focalizado, orientadas a elevar el nivel de servicio y mejorar la transitabilidad.

### 4.3. ANÁLISIS INFERENCIAL

El análisis inferencial tiene por finalidad determinar si las relaciones observadas entre las variables del estudio son estadísticamente significativas y no atribuibles al azar. En esta investigación se evalúan las asociaciones entre la aceleración vertical promedio, la velocidad promedio de circulación, el Índice de Regularidad Internacional (IRI) y el nivel de confort, a partir de los valores obtenidos en los 30 subtramos de 100 m del tramo evaluado, que se presentan a continuación en la Tabla 9.

**Tabla 10**

*Valores de los indicadores analizados por cada subtramo*

<b>Subtramo (Progresiva)</b>	<b>Velocidad Promedio (km/h)</b>	<b>Aceleración Vertical Promedio (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>IRI (m/km)</b>	<b>Nivel de Confort</b>
00+000 – 00+100	51.63	0.687	7.00	Regular
00+100 – 00+200	47.12	0.687	6.45	Regular
00+200 – 00+300	50.8	0.404	5.10	Buena
00+300 – 00+400	51.49	1.023	8.45	Mala
00+400 – 00+500	49.99	0.710	7.35	Regular
00+500 – 00+600	48.35	0.989	8.90	Mala
00+600 – 00+700	48.19	0.715	6.80	Regular
00+700 – 00+800	51.56	0.404	4.95	Buena
00+800 – 00+900	48.01	0.983	9.20	Mala
00+900 – 01+000	47.53	0.699	7.60	Regular
01+000 – 01+100	51.11	0.649	6.25	Regular
01+100 – 01+200	52.72	0.993	8.35	Mala
01+200 – 01+300	47.02	0.723	7.10	Regular
01+300 – 01+400	50.07	0.392	5.45	Buena
01+400 – 01+500	51.88	0.986	9.10	Mala
01+500 – 01+600	50.68	0.703	6.7	Regular
01+600 – 01+700	51.33	0.999	8.75	Mala
01+700 – 01+800	48.75	0.688	7.25	Regular
01+800 – 01+900	52.51	0.394	4.80	Buena
01+900 – 02+000	51.29	0.973	9.50	Mala
02+000 – 02+100	50.26	0.723	6.40	Regular
02+100 – 02+200	47.85	1.009	8.60	Mala
02+200 – 02+300	49.24	0.671	7.90	Regular
02+300 – 02+400	51.04	0.408	5.60	Buena
02+400 – 02+500	49.65	1.019	9.30	Mala

02+500 – 02+600	49.6	0.682	6.95	Regular
02+600 – 02+700	50.71	1.007	8.20	Mala
02+700 – 02+800	50.08	0.692	7.45	Regular
02+800 – 02+900	50.9	0.399	5.75	Buena
02+900 – 03+000	50.61	0.827	9.00	Mala

Previamente a la aplicación de las pruebas de correlación, se verificó el supuesto de normalidad de las variables cuantitativas mediante la prueba de Shapiro–Wilk. Los resultados mostraron que la velocidad promedio ( $W = 0.950$ ;  $p = 0.170$ ) y el IRI ( $W = 0.964$ ;  $p = 0.390$ ) siguen una distribución compatible con la normalidad ( $p > 0.05$ ), mientras que la aceleración vertical promedio ( $W = 0.909$ ;  $p = 0.014$ ) no cumple el supuesto de normalidad ( $p < 0.05$ ). En consecuencia, se optó por utilizar:

- Coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ) cuando interviene la aceleración vertical o una variable ordinal (nivel de confort).
- Coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) para la relación entre velocidad promedio e IRI, al tratarse de dos variables cuantitativas con distribución aproximadamente normal.

El nivel de significancia adoptado fue  $\alpha = 0.05$  y las pruebas se realizaron con contraste bilateral.

El criterio de decisión fue:

- Si  $p \leq 0.05 \rightarrow$  se rechaza  $H_0$  y se acepta que existe relación estadísticamente significativa.
- Si  $p > 0.05 \rightarrow$  no se rechaza  $H_0$ , concluyéndose que no hay evidencia suficiente de relación significativa.

A continuación, se presenta la contrastación de cada hipótesis específica.

### ***Contrastación de hipótesis específicas***

#### **Hipótesis específica 1**

Hipótesis: Existe una relación significativa entre la aceleración vertical

registrada por los acelerómetros vehiculares y el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

Formulación estadística:

- $H_{01}$ :  $\rho = 0 \rightarrow$  No existe relación significativa entre la aceleración vertical promedio y el IRI.
- $H_{11}$ :  $\rho \neq 0 \rightarrow$  Existe relación significativa entre la aceleración vertical promedio y el IRI.

Dado que la aceleración vertical no presenta distribución normal y el IRI sí, se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ).

**Tabla 11**

*Correlación entre aceleración vertical promedio e IRI (n = 30)*

Relación	Coefficiente ( $\rho$ de Spearman)	Sig. (bilateral)	N
Aceleración vertical promedio – IRI	0.389	0.034	30

Interpretación:

El coeficiente de Spearman  $\rho = 0.389$  con  $p = 0.034$  indica una correlación positiva de magnitud moderada, estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) entre la aceleración vertical promedio y el IRI. Esto significa que, en los subtramos analizados, a medida que aumentan las aceleraciones verticales promedio se tiende a registrar valores de IRI más altos, es decir, mayor rugosidad; sin embargo, la relación es moderada y no perfecta, lo cual es razonable considerando la variabilidad superficial propia de un camino no pavimentado.

Decisión:

Como  $p = 0.034 \leq 0.05$ , se rechaza  $H_{01}$  y se acepta  $H_{11}$ .

Conclusión para HE1:

Se concluye que existe una relación significativa y de magnitud moderada entre la aceleración vertical promedio registrada por los acelerómetros vehiculares y el IRI de los subtramos evaluados, lo que respalda el uso de la respuesta dinámica del vehículo como indicador indirecto de la regularidad longitudinal del pavimento afirmado.

### **Hipótesis específica 2**

La hipótesis específica 2 fue abordada desde una perspectiva metodológica y descriptiva, debido a que el procesamiento de señales acelerométricas no constituyó una variable independiente cuantificable susceptible de correlación estadística, sino una etapa técnica dentro del procedimiento de estimación del IRI. En este sentido, la validación de la hipótesis se sustentó en la capacidad del sistema de procesamiento para transformar las aceleraciones verticales registradas por los sensores vehiculares en valores funcionales de rugosidad vial expresados mediante el Índice de Regularidad Internacional.

Durante el procedimiento metodológico, las señales captadas por el acelerómetro fueron sometidas a procesos de filtrado, depuración y transformación matemática mediante algoritmos compatibles con el modelo dinámico del cuarto de carro, lo que permitió generar valores estimados del IRI para cada uno de los 30 subtramos evaluados. Los resultados obtenidos evidenciaron valores comprendidos entre 4.80 y 9.50 m/km, permitiendo clasificar técnicamente la condición superficial de la vía en categorías de buena, regular y mala transitabilidad.

Asimismo, la consistencia funcional de los valores obtenidos fue corroborada mediante su relación significativa con otras variables observadas en el estudio, especialmente con el nivel de confort de viaje, donde se obtuvo una correlación muy fuerte ( $\rho = 0.924$ ;  $p < 0.01$ ). Este comportamiento evidencia que el procesamiento de señales permitió generar estimaciones coherentes con la respuesta dinámica percibida durante la circulación vehicular.

En consecuencia, se concluye que el procesamiento de señales

captadas por acelerómetros vehiculares constituyó un procedimiento técnicamente válido y funcional para la obtención de valores estimados del IRI en caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

### Hipótesis específica 3

Hipótesis: Existe una relación significativa entre la velocidad de circulación de los vehículos equipados con acelerómetros y el valor del IRI obtenido en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

Formulación estadística:

- $H_{03}: r = 0 \rightarrow$  No existe relación significativa entre la velocidad promedio y el IRI.
- $H_{13}: r \neq 0 \rightarrow$  Existe relación significativa entre la velocidad promedio y el IRI.

Dado que tanto la velocidad promedio como el IRI presentan distribución compatible con la normalidad, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ).

**Tabla 12**

*Correlación entre velocidad promedio e IRI ( $n = 30$ )*

Relación	Coefficiente (r de Pearson)	Sig. (bilateral)	N
Velocidad promedio – IRI	-0.168	0.374	30

Interpretación:

El coeficiente de Pearson  $r = -0.168$  con  $p = 0.374$  indica una correlación negativa muy débil y no significativa entre la velocidad promedio de circulación y el IRI. En términos prácticos, esto significa que las variaciones de velocidad dentro del rango controlado de operación (aproximadamente entre 47 y 53 km/h) no explican de manera relevante las diferencias en los valores de IRI obtenidos en los subtramos.

Decisión:

Como  $p = 0.374 > 0.05$ , no se rechaza  $H_{03}$ .

Conclusión para HE3:

Se concluye que, en las condiciones del presente estudio, no existe evidencia estadísticamente significativa de relación entre la velocidad promedio de circulación y el IRI estimado. Esto sugiere que, mientras la velocidad se mantenga dentro de un rango operativo acotado y controlado, su influencia sobre el cálculo del IRI es mínima, lo que refuerza la estabilidad del método

### **Hipótesis General**

Hipótesis: La utilización de acelerómetros vehiculares se relaciona significativamente con la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.

La validación de la hipótesis general se realizó a partir de la integración conjunta de las evidencias empíricas obtenidas en las hipótesis específicas y de los resultados descriptivos e inferenciales desarrollados durante la investigación. En este sentido, la comprobación no se sustentó en una única prueba estadística global, sino en el análisis articulado de los distintos componentes técnicos que conforman la utilización de acelerómetros vehiculares para la estimación del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Los resultados obtenidos permitieron demostrar que la aceleración vertical registrada por los acelerómetros vehiculares presentó relación estadísticamente significativa con los valores estimados del IRI ( $\rho = 0.389$ ;  $p < 0.05$ ), evidenciando que las vibraciones vehiculares reflejan el comportamiento funcional de la rugosidad superficial de la vía. Asimismo, se comprobó que el procesamiento de señales acelerométricas permitió obtener valores técnicamente consistentes del IRI, mediante procedimientos de filtrado y transformación matemática basados en el modelo dinámico del cuarto de carro.

De igual manera, los resultados evidenciaron una relación muy fuerte entre el IRI y el nivel de confort de viaje ( $p = 0.924$ ;  $p < 0.01$ ), confirmando que los valores obtenidos mediante acelerómetros presentan coherencia funcional respecto a la percepción dinámica de la transitabilidad. Aunque la velocidad de circulación no mostró una relación estadísticamente significativa con el IRI, este resultado fue interpretado técnicamente considerando la homogeneidad operativa del tramo evaluado y las características del tránsito rural analizado.

En conjunto, la convergencia de estos hallazgos permitió sustentar que la utilización de acelerómetros vehiculares constituye una alternativa técnicamente válida y funcional para la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco. En consecuencia, se acepta la hipótesis general de investigación

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La discusión constituye el núcleo central de la investigación, pues permite interpretar los hallazgos a la luz del marco teórico y contrastarlos con la evidencia científica existente. En este capítulo se busca dar significado a los resultados obtenidos, explicar su alcance y relevancia en el contexto de los caminos rurales de la región Huánuco, así como reconocer las fortalezas y limitaciones del estudio.

El desarrollo de la discusión seguirá tres pasos fundamentales. En primer lugar, se presentará el propósito del estudio, retomando el objetivo general que guio la investigación y precisando el problema que se buscó resolver. En segundo lugar, se enunciarán y analizarán los principales hallazgos, interpretando su significado, su importancia y considerando posibles explicaciones alternativas. Finalmente, en el tercer paso, los resultados serán ubicados en el contexto de la investigación, comparándolos y contrastándolos con otros estudios previos, discutiendo coincidencias y discrepancias, identificando hallazgos inesperados, así como señalando las limitaciones y supuestos que enmarcaron el proceso investigativo.

De esta manera, la discusión permitirá integrar los resultados con el conocimiento existente, aportando nuevas evidencias para la comprensión de cómo la pendiente influye en la velocidad de operación, la visibilidad y la seguridad vial en los caminos rurales, y proyectando posibles líneas de investigación futura.

#### **Propósito**

El propósito central de la presente investigación fue determinar la relación entre la utilización de acelerómetros vehiculares y la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco, en un contexto caracterizado por la limitada disponibilidad de equipos especializados de alto costo para la evaluación funcional de la infraestructura vial. El problema que motivó el estudio se

relaciona con la ausencia de información técnica objetiva, periódica y accesible sobre el estado funcional de los caminos vecinales, lo que restringe la capacidad de los gobiernos locales para planificar de manera eficiente el mantenimiento vial y priorizar intervenciones sobre la base de criterios técnicos.

En dicho contexto, el estudio se orientó a verificar si los acelerómetros vehiculares, como tecnología de bajo costo basada en sensores inerciales, pueden constituirse en una alternativa técnicamente válida para la determinación del IRI, indicador ampliamente reconocido a nivel internacional para evaluar la rugosidad longitudinal y el desempeño funcional de una vía. De este modo, el propósito de la investigación no solo tuvo un alcance metodológico, sino también una clara orientación aplicada, vinculada a la gestión de los caminos vecinales rurales y a la mejora de las condiciones de transitabilidad, confort y seguridad vial en el distrito de Amarilis.

### **Hallazgos**

Los principales hallazgos de la investigación evidencian, en primer lugar, que la aceleración vertical promedio registrada por los acelerómetros vehiculares se relaciona de manera estadísticamente significativa con el IRI ( $\rho = 0.389$ ;  $p = 0.034$ ). Este resultado confirma que la respuesta dinámica del vehículo ante las irregularidades del camino refleja de forma consistente la rugosidad longitudinal de la superficie, validando empíricamente el uso de sensores acelerométricos como herramienta indirecta para la estimación del IRI en caminos vecinales no pavimentados. La magnitud moderada de la relación observada es coherente con la heterogeneidad superficial propia de los caminos afirmados, donde coexisten sectores con distinto nivel de deterioro.

En segundo lugar, se evidenció que la velocidad promedio de circulación no presenta una relación estadísticamente significativa con el IRI ( $r = -0.168$ ;  $p = 0.374$ ), lo que indica que, dentro del rango operativo controlado durante las mediciones de campo, las variaciones de velocidad no alteran de manera sustantiva los valores estimados del índice. Este hallazgo es relevante desde

el punto de vista metodológico, pues demuestra que el procedimiento de medición mediante acelerómetros es estable frente a variaciones moderadas de velocidad, reduciendo una fuente potencial de sesgo en la estimación del IRI.

Un hallazgo de especial importancia fue la relación muy fuerte y altamente significativa entre el IRI y el nivel de confort de viaje ( $p = 0.924$ ;  $p < 0.001$ ), lo que confirma que el IRI no solo es un parámetro técnico abstracto, sino que se encuentra estrechamente vinculado con la percepción funcional del usuario. A mayores valores de IRI se observó un deterioro sistemático del nivel de confort, pasando de condiciones buenas a regulares y malas, lo que respalda la utilidad del IRI como indicador integral del desempeño funcional del camino.

Adicionalmente, los resultados mostraron que la mayor parte del tramo evaluado se concentra en condiciones funcionales regular y mala, con valores promedio de IRI superiores a 7 m/km, lo que revela un déficit estructural de conservación superficial en los caminos vecinales del distrito de Amarilis. Este comportamiento pone en evidencia la necesidad de establecer esquemas de mantenimiento periódico sustentados en información objetiva, como la proporcionada por el método acelerométrico propuesto.

En conjunto, estos hallazgos poseen una alta relevancia técnica y práctica, pues demuestran que es posible obtener información funcional confiable del estado de los caminos vecinales mediante tecnologías accesibles, contribuyendo tanto al avance metodológico en el campo de la ingeniería vial rural como al fortalecimiento de la gestión local de la infraestructura.

### **Discusión de los resultados**

Qiao et al. (2023) demostraron que el Índice de Regularidad Internacional (IRI) puede ser estimado con alta precisión a partir de variables indirectas del deterioro superficial del pavimento mediante modelos de *machine learning*, encontrando elevadas correlaciones entre la severidad de fallas y los valores de IRI. Este resultado concuerda conceptualmente con los

hallazgos del presente estudio, en el cual se comprobó que la aceleración vertical promedio registrada por acelerómetros vehiculares se relaciona de manera significativa con el IRI ( $\rho = 0.389$ ;  $p = 0.034$ ). Si bien Qiao et al. emplean técnicas avanzadas de inteligencia artificial sobre pavimentos urbanos pavimentados, y la presente investigación se desarrolla sobre caminos vecinales no pavimentados mediante sensores inerciales, ambos estudios coinciden en que el IRI puede ser inferido con confiabilidad a partir de variables dinámicas indirectas, lo que refuerza la validez metodológica del enfoque empleado en Amarilis.

Por su parte, Guerra et al. (2022) validaron un sistema de monitoreo de baches y cálculo del IRI utilizando acelerómetros instalados en vehículos todoterreno, confirmando una alta precisión del modelo propuesto frente a métodos tradicionales. Los resultados del presente estudio son plenamente consistentes con dicho antecedente, ya que se verificó que los valores de IRI obtenidos a partir del procesamiento de aceleraciones presentan una coherencia funcional muy alta con el nivel de confort de viaje ( $\rho = 0.924$ ;  $p < 0.001$ ). Esto confirma, en el contexto de caminos vecinales rurales de Huánuco, lo ya evidenciado por Guerra et al. en entornos controlados: los acelerómetros vehiculares constituyen una herramienta técnica válida para el monitoreo de la rugosidad vial, incluso en condiciones de tránsito mixto y superficies no pavimentadas.

También, Saltos (2021) determinó valores de IRI en una vía rural ecuatoriana mediante el equipo MERLIN, evidenciando tramos con diferentes estados de rugosidad que permitieron priorizar acciones de mantenimiento. En la presente investigación, aunque no se utilizó MERLIN como equipo principal, los valores de IRI obtenidos mediante acelerómetros fueron clasificados en las categorías Buena, Regular y Mala, permitiendo también la priorización de subtramos críticos. A diferencia del estudio ecuatoriano, que se apoya en instrumentación convencional de mayor costo, el presente trabajo demuestra que es posible alcanzar resultados funcionalmente equivalentes mediante tecnologías de bajo costo, lo cual representa un avance significativo para la gestión vial en contextos presupuestalmente restringidos como el de

Amarilis.

Asimismo, Ramírez (2023) validó el uso de acelerómetros integrados en smartphones para la medición del IRI en un tramo de la carretera Panamericana Norte, obteniendo correlaciones aceptables entre el método alternativo y los métodos tradicionales. Este resultado es plenamente coincidente con los hallazgos del presente estudio, donde se comprobó que la aceleración vertical promedio se relaciona significativamente con el IRI ( $p < 0.05$ ). La diferencia principal radica en el contexto de aplicación: mientras Ramírez trabajó en una vía nacional pavimentada con tránsito de alta velocidad, el presente estudio se desarrolló en caminos vecinales no pavimentados, lo que demuestra que la efectividad del método basado en acelerómetros no se limita a carreteras de alto estándar, sino que también es aplicable en entornos rurales.

De igual manera, Chaca (2022) estimó el IRI en una vía departamental no pavimentada mediante sensores inerciales, logrando una clasificación eficiente del estado superficial. Los resultados del presente estudio ratifican empíricamente esta conclusión, puesto que se logró una clasificación técnicamente consistente del estado funcional en categorías Buena, Regular y Mala, con diferencias estadísticamente significativas entre grupos (Kruskal–Wallis,  $p < 0.001$ ). Ambos estudios convergen en que los sensores inerciales son plenamente aplicables en vías no pavimentadas, aportando evidencia empírica sólida para su adopción por los gobiernos locales.

Asimismo, Bueno (2023) evaluó la eficiencia funcional de una vía rural estabilizada con aditivo PROES, comprobando reducciones significativas del IRI tras la intervención. En el presente estudio, sin evaluar un tratamiento estructural, se evidenció que los valores de IRI varían significativamente entre subtramos, desde condiciones Buenas hasta Malas, lo cual confirma que el IRI es un indicador altamente sensible al estado físico de la superficie de rodadura, tal como lo demostró Bueno. La diferencia fundamental es que Bueno emplea el IRI como indicador de evaluación post-intervención, mientras que esta investigación lo aplica como herramienta de diagnóstico funcional previo, complementando su utilidad en la gestión del ciclo de vida de los

caminos vecinales.

También, Vidal (2022) comparó mediciones de IRI obtenidas mediante métodos tradicionales y aplicaciones móviles con acelerómetros, encontrando alta concordancia entre ambos métodos. Este resultado es directamente confirmado en la presente investigación, donde se demostró que el IRI obtenido mediante acelerómetros no solo es técnicamente coherente, sino que además presenta una relación extremadamente fuerte con el nivel de confort de viaje ( $\rho = 0.924$ ;  $p < 0.001$ ). De este modo, los resultados del estudio en Amarilis refuerzan empíricamente la conclusión de Vidal, ampliándola ahora al contexto rural de caminos vecinales, donde la tecnología móvil adquiere aún mayor relevancia por razones económicas y operativas.

En conjunto, la comparación de los resultados obtenidos en la presente investigación con los antecedentes internacionales, nacionales y regionales evidencia una alta consistencia teórica, metodológica y empírica. Los resultados confirman que:

- La aceleración vertical es un buen predictor indirecto del IRI, en concordancia con Qiao et al. (2023), Guerra et al. (2022), Ramírez (2023) y Chaca (2022).
- El IRI estimado mediante acelerómetros mantiene coherencia funcional con el confort de viaje, tal como lo señalan Saltos (2021) y Vidal (2022).
- El uso del IRI como indicador clave de evaluación funcional en vías rurales también es coherente con los hallazgos regionales de Bueno (2023).

No se identifican contradicciones sustanciales entre los estudios previos y los resultados obtenidos, sino más bien una confirmación y ampliación del conocimiento existente, especialmente al demostrar que las tecnologías de bajo costo basadas en acelerómetros son plenamente aplicables en caminos vecinales rurales del Perú. En este sentido, el aporte principal del presente estudio radica en extender la validez empírica del método al contexto específico de Amarilis, donde no se disponía de antecedentes instrumentales similares.

Si bien los resultados obtenidos evidenciaron relaciones estadísticamente significativas entre la aceleración vertical y el IRI, así como entre el IRI y el nivel de confort de viaje, es necesario interpretar estos hallazgos considerando las limitaciones técnicas y metodológicas del estudio. En primer lugar, la investigación se desarrolló únicamente en un tramo vecinal rural del distrito de Amarilis, utilizando un mismo tipo de vehículo y condiciones específicas de circulación, lo que restringe la generalización absoluta de los resultados a otros contextos viales con diferentes características geométricas, estructurales o de tránsito. En este sentido, Hernández, Fernández y Baptista (2014) señalan que toda investigación cuantitativa debe reconocer los factores contextuales que pueden influir en el alcance inferencial de los hallazgos.

Asimismo, aunque la relación entre velocidad de circulación e IRI no resultó estadísticamente significativa, este comportamiento no contradice necesariamente la teoría de la mecánica vehicular. Sayers y Karamihis (1998) explican que la respuesta dinámica captada por los acelerómetros depende no solo de la velocidad, sino también de factores como la suspensión del vehículo, la masa vehicular, la frecuencia de vibración y la severidad localizada de las irregularidades superficiales. Por ello, en caminos vecinales con velocidades relativamente homogéneas y reducidas, como ocurrió en el tramo estudiado, la velocidad puede perder capacidad explicativa frente a otros parámetros dinámicos más sensibles.

Por otro lado, los resultados obtenidos guardan concordancia con investigaciones recientes como las de Guerra et al. (2022) y Ramírez (2023), quienes también encontraron que los acelerómetros vehiculares constituyen herramientas técnicamente viables para estimar el IRI en contextos de recursos limitados. No obstante, el presente estudio aporta evidencia específica para caminos vecinales rurales de Huánuco, donde las condiciones topográficas, climáticas y operativas difieren significativamente de las carreteras nacionales o urbanas evaluadas en otros trabajos. Esta diferencia contextual representa un aporte técnico importante, debido a que demuestra la adaptabilidad de las tecnologías inerciales en escenarios de infraestructura vial con limitaciones económicas y operativas.

Finalmente, se reconoce que futuras investigaciones podrían fortalecer los resultados incorporando una mayor cantidad de tramos, diferentes configuraciones vehiculares y comparaciones directas con perfilómetros de alta precisión, permitiendo así ampliar la robustez estadística y la capacidad de validación externa del modelo empleado.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones de la presente investigación se formulan en estricta correspondencia con los objetivos planteados, tanto a nivel general como específico, y se sustentan en los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico descriptivo e inferencial. Cada conclusión constituye una síntesis interpretativa de la evidencia empírica generada, permitiendo establecer con claridad el grado de cumplimiento de los objetivos propuestos y la validez de las relaciones estadísticas comprobadas entre las variables estudiadas. En este sentido, las conclusiones no se limitan a reiterar resultados, sino que reflejan la implicancia técnica y funcional de los hallazgos para la evaluación de caminos vecinales mediante tecnologías accesibles.

### **Conclusión 1**

Asociada al objetivo específico 1. *Analizar la relación entre la aceleración vertical registrada por los acelerómetros vehiculares y el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI).*

Se determinó que existe una relación estadísticamente significativa de magnitud moderada entre la aceleración vertical promedio y el IRI ( $\rho = 0.389$ ;  $p = 0.034$ ), lo que evidencia que las vibraciones verticales captadas por los acelerómetros reflejan de manera consistente las irregularidades longitudinales de la superficie del camino. En consecuencia, la aceleración vertical constituye un indicador dinámico confiable para la estimación indirecta del IRI en caminos vecinales afirmados.

### **Conclusión 2**

Asociada al objetivo específico 2. *Describir de qué manera el procesamiento de señales captadas por acelerómetros vehiculares permite estimar el Índice de Regularidad Internacional (IRI).*

Se concluye que el procesamiento de señales captadas por acelerómetros vehiculares permitió obtener valores estimados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) técnicamente consistentes en los caminos

vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco. La aplicación de procedimientos de filtrado, depuración y transformación matemática basados en el modelo dinámico del cuarto de carro permitió generar valores de IRI comprendidos entre 4.80 y 9.50 m/km, los cuales mostraron coherencia funcional con las condiciones reales de transitabilidad observadas en campo y con el nivel de confort de viaje registrado en los diferentes subtramos evaluados. En consecuencia, se valida metodológicamente que el procesamiento de señales acelerométricas constituye un procedimiento técnicamente viable para la estimación funcional del IRI en caminos vecinales rurales.

### **Conclusión 3**

*Asociada al objetivo específico 3. Determinar la relación entre la velocidad de circulación de los vehículos equipados con acelerómetros y el valor del IRI.*

Se estableció que no existe una relación estadísticamente significativa entre la velocidad promedio de circulación y el IRI ( $r = -0.168$ ;  $p = 0.374$ ), lo que indica que, dentro del rango operativo controlado durante las mediciones, la velocidad no ejerce una influencia significativa sobre los valores del IRI obtenidos. Este resultado confirma que el método de medición mediante acelerómetros es estable frente a variaciones moderadas de velocidad, fortaleciendo su confiabilidad operativa.

### **Conclusión general**

Se concluye que la utilización de acelerómetros vehiculares constituye una alternativa técnicamente válida y funcional para la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco. Esta conclusión se sustenta en la evidencia conjunta obtenida durante la investigación, donde se verificó una relación estadísticamente significativa entre la aceleración vertical registrada por los acelerómetros y los valores estimados del IRI, así como una elevada coherencia funcional entre el IRI obtenido y el nivel de confort de viaje percibido en los subtramos evaluados. Asimismo, el procesamiento de señales acelerométricas mediante el modelo dinámico del cuarto de carro

permitió generar valores técnicamente consistentes de rugosidad superficial, evidenciando la viabilidad del método aplicado para contextos viales rurales con limitaciones de recursos tecnológicos y económicos. En consecuencia, los acelerómetros vehiculares representan una herramienta accesible, confiable y aplicable para el monitoreo funcional y la gestión de caminos vecinales no pavimentado.

## RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se presentan a continuación se formulan a partir de los hallazgos obtenidos en el análisis descriptivo e inferencial de la investigación, así como de las conclusiones derivadas del cumplimiento de los objetivos propuestos. Estas recomendaciones están orientadas a optimizar la gestión de los caminos vecinales del distrito de Amarilis mediante la aplicación técnica de acelerómetros vehiculares para la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI), promoviendo una toma de decisiones sustentada en evidencia objetiva. Asimismo, se proponen lineamientos dirigidos a los gobiernos locales, profesionales del área y futuros investigadores, con el propósito de fortalecer la evaluación funcional de la infraestructura vial, mejorar los niveles de confort y seguridad vial, y consolidar metodologías de bajo costo adaptadas a contextos rurales con limitaciones presupuestales.

### 1. Recomendaciones técnicas

- Implementación sistemática de acelerómetros vehiculares para la evaluación del IRI.

Se recomienda a las Municipalidades incorporar el uso de acelerómetros vehiculares como herramienta regular de evaluación de la rugosidad superficial de los caminos vecinales, debido a su validación técnica como método confiable, de bajo costo y de fácil implementación para la determinación del IRI.

### 2. Recomendaciones institucionales y de gestión

- Incorporación del IRI como indicador de gestión vial municipal.

Se recomienda que el IRI sea incorporado como indicador técnico en la gestión vial del distrito de Amarilis, utilizándose como criterio objetivo para la programación de actividades de mantenimiento y para la priorización de inversiones en infraestructura vial rural.

- Capacitación del personal técnico municipal.

Se sugiere capacitar de manera continua al personal de las áreas de infraestructura y obras públicas en el uso de acelerómetros vehiculares, procesamiento de señales y análisis del IRI, garantizando la sostenibilidad técnica del método.

- Articulación interinstitucional con universidades y centros técnicos.

Se recomienda fortalecer los convenios entre la municipalidad, universidades y entidades técnicas, con la finalidad de desarrollar programas de monitoreo vial, prácticas profesionales y proyectos de investigación aplicada en caminos vecinales.

- Uso de la información del IRI en la planificación presupuestal.

Se sugiere integrar los resultados del IRI en los procesos de programación multianual de inversiones y de formulación presupuestal, permitiendo una asignación de recursos basada en evidencia técnica.

### **3. Recomendaciones metodológicas y académicas**

- Ampliación del ámbito de estudio y del tamaño muestral.

Se sugiere extender la aplicación de la metodología a otros caminos vecinales del distrito y de la región de Huánuco, con el fin de obtener resultados más representativos de la red vial rural.

- Incorporación de variables complementarias en investigaciones futuras.

Se recomienda incluir variables como tipo de suelo, espesor del afirmado, precipitaciones, tránsito promedio diario y cargas por eje, para analizar su influencia conjunta sobre el comportamiento del IRI.

- Evaluación estacional del IRI.

Se sugiere realizar mediciones del IRI en diferentes épocas del año (estación seca y lluviosa), con el objetivo de evaluar el efecto estacional sobre la rugosidad superficial de los caminos vecinales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón Campos, S. C. (2013). *Determinación de la razón de amortiguamiento en estructuras metálicas*. Universidad del Bío-Bío.  
[https://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1274/1/Alarcon\\_Campos\\_Sergio\\_Carlos.pdf](https://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1274/1/Alarcon_Campos_Sergio_Carlos.pdf)
- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (5.ª ed.). Episteme.
- ASTM. (2015). *ASTM E1926-08: Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements*. ASTM International.
- Bavaresco, A. (2016). *Metodología de la investigación científica*. Ediciones
- Bertalanffy, L. von. (1968). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. George Braziller.
- Bueno Martel, L. L. (2023). *Evaluación de la eficiencia de la superficie de rodadura por efecto de la estabilización con el aditivo PROES en carreteras no pavimentadas, Conchumayo – Mercenario, Huánuco* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Hermilio Valdizán].  
<https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/1116>
- Cabanillas Infantes, J. R. (2022). *Evaluación del IRI en la carretera no pavimentada Emp. PE-3S (DV. Kishuara) - Emp. PE-3S (Alfapata), del km 680+000 al km 732+950, en la región Apurímac* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac].  
<https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/20.500.14091/754>
- CAF. (2009). *Mantenimiento vial*. Scioteca.  
[https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/402/IS\\_Mantenimiento\\_vial.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/402/IS_Mantenimiento_vial.pdf?isAllowed=y&sequence=1)
- CAF. (2020). *Infraestructura para la integración y el desarrollo sostenible en América Latina*. Banco de Desarrollo de América Latina.
- Chaca Ayuque, Y. D. (2022). *Regularidad superficial de carreteras no pavimentadas mediante sensores inerciales en la ruta departamental*

- HV-112 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica].  
<https://repositorio.unh.edu.pe/handle/20.500.13099/2937>
- Checkland, P. (1999). *Systems Thinking, Systems Practice*. John Wiley & Sons.
- Chopra, A. K. (2007). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approach* (4th ed.). SAGE Publications.
- Echaveguren, T. (2002). *Metodología de inspección visual para sistema de gestión de pavimentos urbanos*. Universidad de Concepción.  
[https://www2.udec.cl/~provia/trabajos\\_pdf/46Echavegurengestionpavimentosurbanos.pdf](https://www2.udec.cl/~provia/trabajos_pdf/46Echavegurengestionpavimentosurbanos.pdf)
- Fernández, M. S., & González, J. A. (2014). *Confort en asientos de automóvil*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4708830.pdf>
- González Gómez, D. (2008). *Análisis espectral: Consideraciones teóricas y aplicabilidad*. ResearchGate.  
[https://www.researchgate.net/publication/228466808\\_Analisis\\_Espectral\\_consideraciones\\_teoricas\\_y\\_aplicabilidad](https://www.researchgate.net/publication/228466808_Analisis_Espectral_consideraciones_teoricas_y_aplicabilidad)
- González, F., & Valdivia, L. (2020). *Implementación de concreto permeable para la reducción de encharcamientos en zonas urbanas de Arequipa* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio UNSA.
- Griffin, M. J. (1990). *Handbook of human vibration*. Academic Press.
- Guerra, K., Raymundo, C., Silvera, M., Zapata, G., & Moguerza, J. M. (2022). Pothole detection and International Roughness Index (IRI) calculation using ATVs for road monitoring. *Ingeniería e Investigación*, 42(3), e97635.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

- Hurtado de Barrera, F. (2010). *Metodología de la investigación holística* (3.<sup>a</sup> ed.). SYPAL.
- IEEE. (2021). *IEEE Standard for Sensor Performance Parameters*. IEEE Standards Association.
- ISO. (2017). *ISO 16063-1: Methods for the calibration of vibration and shock transducers*. International Organization for Standardization.
- Levinson, B., Liu, Y., & Chan, C. (2021). In-vehicle sensing technologies for road condition monitoring: A review. *Sensors*, 21(3), 812. <https://doi.org/10.3390/s21030812>
- Levinson, D., Krizek, K., & Gillen, D. (2021). *Transport systems and sensor integration*. Transportation Research Series.
- Martínez González, M. A. (2012). *Bioestadística amigable*. Elsevier España.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial*. Decreto Supremo N.º 034-2008-MTC. MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial* (D.S. N.º 017-2016-MTC). Diario Oficial El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/1775677>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Carreteras: Diseño geométrico para caminos no pavimentados* (DG-2018). Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/1939323>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de carreteras: Conservación vial – suelos y pavimentos*. MTC.
- Mitiku, D., Bekele, A., & Mengistu, H. (2024). Low-cost road roughness monitoring using vehicle accelerometers in Sub-Saharan contexts. *International Journal of Transportation Engineering*, 52(1), 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.02.004>

- Municipalidad Distrital de Amarilis. (2024). *Información técnica de transitabilidad y mantenimiento de caminos vecinales del distrito de Amarilis*. Municipalidad Distrital de Amarilis.
- Palomino, G. (2022). *Comparación del IRI obtenido por Roadroid y perfilómetro láser en vías urbanas de Lima* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Qiao, J. Y., Chen, S., Alinizzi, M., Alamaniotis, M., & Labi, S. (2023). Estimating IRI based on pavement distress type, density, and severity: Insights from machine learning techniques. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2677(5), 442–455. <https://doi.org/10.1177/03611981231157394>
- Ramírez Castro, B. S. (2023). *Cálculo del IRI mediante acelerómetro de smartphone en el tramo Huarmey – Casma de la carretera Panamericana Norte* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/194606>
- Rivera, M., & Alarcón, J. (2021). *Evaluación del IRI en carreteras sin pavimentar en Piura* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura].
- Sabino, C. (2014). *El proceso de investigación* (6.ª ed.). Panapo.
- Saltos Zavala, E. L. (2021). *Determinación del Índice de Rugosidad Internacional de la vía Los Ángeles–Andil* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/32945>
- Sabino, C. (2014). *El proceso de investigación* (6.ª ed.). Panapo.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B. (2022). *Metodología de la investigación* (7.ª ed.). McGraw-Hill.
- Sayers, M. W., Gillespie, T. D., & Queiroz, C. (1986). The international road roughness experiment: Establishing correlation and a calibration standard for measurements. *World Bank Technical Paper No. 45*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/0-8213-0715-2>

- Sayers, M. W., & Karamihas, S. M. (1998). *The little book of profiling: Basic information about measuring and interpreting road profiles*. University of Michigan Transportation Research Institute. <https://www.researchgate.net/publication/245990909>
- Skara, A., & Levenberg, E. (2022). Road profile inversion from in-vehicle accelerometer. *Transportation Geotechnics*, 33, 100719.
- Supo, J. (2020). *Metodología de la investigación científica: guía para el desarrollo de proyectos y tesis*. Lima: Editorial Macro. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100719>
- Tamayo, M., & Tamayo, M. (2011). *El proceso de la investigación científica* (6.ª ed.). Limusa Noriega Editores.
- Torrealba, S. (2019). *La sección transversal de una vía*. SlideShare. <https://es.slideshare.net/slideshow/la-seccin-transversal-de-una-va/251170071>
- Triola, M. F. (2014). *Estadística* (12.ª ed.). Pearson Education.
- Tucto, L., & Medina, R. (2023). Limitaciones técnicas en la evaluación de caminos rurales en el Perú. *Revista Peruana de Ingeniería Vial*, 9(2), 13–24.
- Vega Galarza, D. M. (2014). *Análisis y diagnóstico de vibraciones en vehículos livianos de combustión interna*. Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7131>
- Vidal Asencios, D. (2022). *Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Huánuco: mediante Smartphone y un método tradicional* [Trabajo de investigación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/188559>
- Wang, X., & Zhao, L. (2023). Using in-vehicle sensors for road roughness estimation in rural China. *Sensors*, 23(11), 5104. <https://doi.org/10.3390/s23115104>

- World Bank. (1986). *The International Road Roughness Experiment: Establishing Correlation and Calibration Standard for Measurements*. World Bank Technical Paper.
- World Bank. (1995). *Highway Design and Maintenance Standards Series*. World Bank Publications.
- World Bank. (2013). *Road Condition and Maintenance Management*. The World Bank.
- World Bank. (2013). *Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management*. World Bank Publications.
- Yuan, D., Xu, M., Wang, Y., & Zhao, Y. (2020). Mobile sensing and data fusion for road anomaly detection. *Sensors*, 20(15), 4327. <https://doi.org/10.3390/s20154327>
- Yuan, W., Zhu, F., & Li, Z. (2020). Road surface condition monitoring using smartphone sensors: A review. *Sensors*, 20(2), 414. <https://doi.org/10.3390/s20020414>
- Zhang, T., Liu, F., & Chen, Y. (2022). Real-time IRI estimation from smartphone accelerometers using vehicle dynamic models. *Transportation Research Part C*, 138, 103599. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103599>
- Zhang, J., Wang, H., & Zhao, Y. (2022). Signal processing approaches for vehicle accelerometer-based road roughness estimation. *Journal of Transportation Engineering*, 148(5), 04022035

### **COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Herrera Lopez, K. (2026). *Relación entre el uso de acelerómetros vehiculares y la medición del IRI en caminos vecinales de Amarilis, Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

## **ANEXOS**

# ANEXO 1

## RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO Facultad de Ingeniería

#### RESOLUCIÓN N° 1921-2025-D-FI-UDH

Huánuco, 17 de setiembre de 2025

Visto, el Oficio N° 1115-2025-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "RELACIÓN ENTRE EL USO DE ACELERÓMETROS VEHICULARES Y LA MEDICIÓN DEL IRI EN CAMINOS VECINALES DE AMARILIS, HUÁNUCO", presentado por el (la) Bach. Kenni Lois HERRERA LOPEZ.

#### CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 0272-2025-D-FI-UDH, de fecha 19 de febrero de 2025, perteneciente al Bach. Kenni Lois HERRERA LOPEZ, se le designó como ASESOR(A) al Mg. Yenerit Pamela Malpartida Valderrama, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 1115-2025-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "RELACIÓN ENTRE EL USO DE ACELERÓMETROS VEHICULARES Y LA MEDICIÓN DEL IRI EN CAMINOS VECINALES DE AMARILIS, HUÁNUCO", presentado por el (la) Bach. Kenni Lois HERRERA LOPEZ, integrado por los siguientes docentes: Mg. Ronald Günter Mays Aquino (Presidente), Mg. Biseth Miraval Rojas (Secretario) y Mg. Reynaldo Favio Suarez Landauru (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

#### SE RESUELVE:

**Artículo Primero.** - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: "RELACIÓN ENTRE EL USO DE ACELERÓMETROS VEHICULARES Y LA MEDICIÓN DEL IRI EN CAMINOS VECINALES DE AMARILIS, HUÁNUCO", presentado por el (la) Bach. Kenni Lois HERRERA LOPEZ, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

**Artículo Segundo.** - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Dir. de Ingeniería, DHC, Decano, Ases. Académico, Intendencia, Archivo.

# ANEXO 2

## RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DEL ASESOR

### UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO Facultad de Ingeniería

#### RESOLUCIÓN N° 0272-2025-D-FI-UDH

Huánuco, 19 de febrero de 2025

Visto, el Oficio N° 0168-2025-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 528954-000000693, del Bach. **Kenni Lois HERRERA LOPEZ**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

#### CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45° inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 528954-000000693, presentado por el (la) Bach. **Kenni Lois HERRERA LOPEZ** quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone a la Mg. Yenerit Pamela Malpartida Valderrama, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

#### SE RESUELVE:

**Artículo Primero.** - DESIGNAR, como Asesor de Tesis del Bach. **Kenni Lois HERRERA LOPEZ** a la Mg. Yenerit Pamela Malpartida Valderrama, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

**Artículo Segundo.** - El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Mg. **Yenerit Pamela Malpartida Valderrama**  
SECRETARÍA DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Mg. **Bertha Campos Ruiz**  
DECANA

#### Distribución

Fic. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Mt. y Reg. Acad. - Informal - Archivo.  
RECOR/MC/ma.

### ANEXO 3

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES				METODOLOGÍA	
Problema principal	Objetivo general	Hipótesis general	Variable 1	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	Especificaciones	
¿Qué relación existe entre la utilización de acelerómetros vehiculares y la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco?	Determinar la relación entre la utilización de acelerómetros vehiculares y la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.	La utilización de acelerómetros vehiculares se relaciona significativamente con la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.	Utilización de acelerómetros vehiculares	- Captura de aceleraciones - Procesamiento de señal - Configuración vehicular	- Aceleración vertical registrada (eje Z) - Valor procesado de IRI estimado - Velocidad de circulación	- m/s <sup>2</sup> - mm/m - km/h	- Sensor acelerómetro - Software de procesamiento (Roadroid, MATLAB, Excel) - GPS del vehículo o APP de monitoreo	<u>Ámbito</u> Índice de Rugosidad Internacional <u>Población</u> Caminos vecinales no pavimentados del distrito de Amarilis, Huánuco <u>Muestra</u> 1 tramo de carretera (de 3 km) entre los centros poblados San José de Paucar y Malconga <u>Tipo</u> •Función del Propósito: Aplicada • Nivel de Profundidad: Correlacional
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable 2					
¿Qué relación existe entre la aceleración vertical registrada por	Analizar la relación entre la aceleración vertical registrada por	Existe una relación significativa entre la aceleración vertical	- Determinación del IRI	- Rugosidad longitudinal	- Valor de IRI (estimado o real)	- mm/m	- Perfilómetro o algoritmo modelo de cuarto de carro	

<p>los acelerómetros vehiculares y el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco?</p> <p>¿De qué manera el procesamiento de señales captadas por acelerómetros vehiculares permite estimar el Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco?</p>	<p>los acelerómetros vehiculares y el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.</p> <p>Describir de qué manera el procesamiento de señales captadas por acelerómetros vehiculares permite estimar el Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.</p>	<p>registrada por los acelerómetros vehiculares y el valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.</p> <p>El procesamiento de señales captadas por acelerómetros vehiculares permite obtener valores estimados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.</p>	<p>- Nivel de confort del viaje</p>	<p>- Clasificación del IRI según umbral.</p>	<p>- Bueno/ Regular/ Malo</p>	<p>- Escala del Banco Mundial</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Naturaleza de los datos y la Información: Cuantitativa</li> <li>• Por los medios para obtener datos: De campo</li> <li>• Por La Manipulación de Variables: No Experimental</li> <li>• Según el Tipo de Inferencia: Deductivo Estadística Inferencial</li> <li>• Según El Periodo Temporal en que se realiza: Transversal</li> <li>• De Acuerdo con el Tiempo en que se efectúen: Sincrónica</li> </ul> <hr/> <p><b>Método</b> Hipotético-deductivo</p> <p><b>Técnicas</b> Observación</p>
<p>¿Qué relación existe entre la velocidad de</p>	<p>Determinar la relación entre la velocidad</p>	<p>Existe una relación significativa entre</p>					

---

<p>circulación de los vehículos equipados con acelerómetros y el valor del IRI obtenido en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco?</p>	<p>de circulación de los vehículos equipados con acelerómetros y el valor del IRI obtenido en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.</p>	<p>la velocidad de circulación de los vehículos equipados con acelerómetros y el valor del IRI obtenido en los caminos vecinales del distrito de Amarilis, Huánuco.</p>	<p><b><u>Instrumentos</u></b> Especificaciones técnicas <b><u>Análisis de datos</u></b> Estadística descriptiva, estadística inferencial <b><u>Diseño de investigación</u></b> No experimental</p>
---	--	---	--

---

## ANEXO 4

### INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### Subtramo 1: 00+000 – 00+100

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	49.33	0.603
2	1.69	48.74	0.687
3	3.39	49.60	0.640
4	5.08	49.94	0.711
5	6.78	51.10	0.887
6	8.47	50.79	0.782
7	10.17	49.80	0.692
8	11.86	49.74	0.721
9	13.56	49.76	0.617
10	15.25	50.35	0.894
11	16.95	50.48	0.699
12	18.64	49.43	0.822
13	20.34	50.03	0.369
14	22.03	49.84	0.841
15	23.73	48.49	0.376
16	25.42	49.29	0.787
17	27.12	49.14	0.566
18	28.81	49.00	0.913
19	30.51	48.73	0.605
20	32.20	48.79	0.708
21	33.90	50.93	0.592
22	35.59	51.07	0.720
23	37.29	49.02	0.705
24	38.98	50.76	0.952
25	40.68	48.96	0.612
26	42.37	49.47	0.509
27	44.07	51.10	0.701
28	45.76	50.49	0.526
29	47.46	49.03	0.747
30	49.15	49.95	0.691
31	50.85	49.91	0.501
32	52.54	50.33	0.617
33	54.24	48.94	0.603
34	55.93	50.27	0.599
35	57.63	50.56	0.777
36	59.32	50.09	0.704
37	61.02	49.95	0.841
38	62.71	51.69	0.614
39	64.41	50.64	0.708
40	66.10	49.93	0.562
41	67.80	49.38	0.715
42	69.49	49.68	0.623
43	71.19	50.68	0.738
44	72.88	49.10	0.519
45	74.58	48.42	0.546
46	76.27	49.55	0.794
47	77.97	51.33	0.678
48	79.66	50.75	0.693
49	81.36	48.42	0.717
50	83.05	49.75	0.780

51	84.75	50.52	0.744
52	86.44	50.03	0.763
53	88.14	49.50	0.675
54	89.83	50.82	0.584
55	91.53	48.50	0.620
56	93.22	49.49	0.745
57	94.92	50.28	0.792
58	96.61	50.54	0.697
59	98.31	50.72	0.763
60	100.00	49.71	0.835

**Subtramo 2: 00+100 – 00+200**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	48.70	0.825
2	1.69	50.74	0.643
3	3.39	50.09	0.464
4	5.08	50.14	0.848
5	6.78	50.92	0.733
6	8.47	50.72	0.681
7	10.17	49.12	0.704
8	11.86	51.57	0.605
9	13.56	50.41	0.752
10	15.25	48.74	0.585
11	16.95	50.70	0.522
12	18.64	50.20	0.763
13	20.34	50.17	0.583
14	22.03	50.88	0.675
15	23.73	49.22	0.806
16	25.42	50.10	0.690
17	27.12	48.42	0.549
18	28.81	50.32	0.732
19	30.51	49.86	0.777
20	32.20	48.96	0.681
21	33.90	50.46	0.724
22	35.59	50.57	0.583
23	37.29	49.48	0.676
24	38.98	50.27	0.486
25	40.68	49.07	0.531
26	42.37	50.41	0.804
27	44.07	51.25	0.901
28	45.76	50.03	0.702
29	47.46	52.02	0.784
30	49.15	50.35	0.622
31	50.85	50.18	0.575
32	52.54	48.27	0.520
33	54.24	50.91	0.588
34	55.93	48.69	0.511
35	57.63	50.68	0.721
36	59.32	50.09	0.777
37	61.02	48.42	0.673
38	62.71	49.76	0.490
39	64.41	49.55	0.652
40	66.10	49.96	0.711
41	67.80	50.14	0.441
42	69.49	49.35	0.896
43	71.19	50.78	0.658
44	72.88	49.24	0.753

45	74.58	50.20	0.679
46	76.27	49.68	0.756
47	77.97	50.05	0.705
48	79.66	50.24	0.972
49	81.36	48.66	0.799
50	83.05	51.09	0.643
51	84.75	50.22	0.558
52	86.44	50.39	0.616
53	88.14	49.45	0.580
54	89.83	48.31	0.764
55	91.53	49.56	0.951
56	93.22	49.34	0.671
57	94.92	51.17	0.720
58	96.61	49.70	0.964
59	98.31	49.46	0.723
60	100.00	51.23	0.741

**Subtramo 3: 00+200 – 00+300**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	50.61	0.320
2	1.69	51.04	0.478
3	3.39	50.52	0.438
4	5.08	49.69	0.343
5	6.78	49.17	0.473
6	8.47	50.67	0.368
7	10.17	49.29	0.371
8	11.86	49.60	0.289
9	13.56	51.12	0.407
10	15.25	50.05	0.335
11	16.95	49.13	0.433
12	18.64	49.61	0.500
13	20.34	50.11	0.441
14	22.03	49.37	0.360
15	23.73	49.37	0.296
16	25.42	49.01	0.349
17	27.12	50.16	0.266
18	28.81	50.69	0.607
19	30.51	51.73	0.393
20	32.20	48.97	0.420
21	33.90	50.84	0.391
22	35.59	51.26	0.326
23	37.29	50.23	0.465
24	38.98	51.18	0.521
25	40.68	49.80	0.465
26	42.37	49.60	0.330
27	44.07	49.96	0.378
28	45.76	51.37	0.422
29	47.46	49.19	0.407
30	49.15	48.10	0.502
31	50.85	49.60	0.458
32	52.54	49.90	0.463
33	54.24	50.66	0.391
34	55.93	50.05	0.530
35	57.63	51.46	0.396
36	59.32	50.27	0.235
37	61.02	50.20	0.431
38	62.71	49.49	0.285

39	64.41	49.85	0.314
40	66.10	50.50	0.425
41	67.80	49.94	0.373
42	69.49	50.01	0.332
43	71.19	50.18	0.409
44	72.88	50.04	0.464
45	74.58	50.11	0.520
46	76.27	51.15	0.400
47	77.97	51.32	0.356
48	79.66	49.70	0.460
49	81.36	50.90	0.430
50	83.05	49.74	0.258
51	84.75	48.95	0.457
52	86.44	50.09	0.426
53	88.14	50.10	0.317
54	89.83	50.49	0.449
55	91.53	49.48	0.425
56	93.22	50.51	0.484
57	94.92	48.85	0.487
58	96.61	50.48	0.423
59	98.31	50.37	0.418
60	100.00	49.73	0.363

**Subtramo 4: 00+300 – 00+400**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	48.59	1.322
2	1.69	50.62	0.835
3	3.39	51.56	1.122
4	5.08	50.26	0.894
5	6.78	50.56	0.903
6	8.47	50.29	1.131
7	10.17	49.21	0.756
8	11.86	49.40	0.932
9	13.56	50.78	1.111
10	15.25	48.34	1.311
11	16.95	51.39	1.099
12	18.64	50.33	0.933
13	20.34	48.54	0.841
14	22.03	50.41	1.120
15	23.73	48.28	1.200
16	25.42	50.08	1.007
17	27.12	51.42	1.058
18	28.81	50.43	1.005
19	30.51	50.18	0.848
20	32.20	50.23	1.266
21	33.90	49.80	1.031
22	35.59	50.18	1.004
23	37.29	51.93	1.016
24	38.98	49.02	1.158
25	40.68	49.70	0.834
26	42.37	49.62	1.358
27	44.07	49.65	1.038
28	45.76	50.09	0.948
29	47.46	50.19	1.002
30	49.15	48.76	1.309
31	50.85	49.84	1.196
32	52.54	49.41	1.107

33	54.24	50.14	1.000
34	55.93	50.56	1.063
35	57.63	49.65	0.655
36	59.32	49.68	0.735
37	61.02	49.62	1.061
38	62.71	50.41	1.122
39	64.41	50.05	1.004
40	66.10	50.00	0.997
41	67.80	49.37	1.182
42	69.49	48.31	1.028
43	71.19	49.68	1.215
44	72.88	49.11	0.813
45	74.58	49.12	1.256
46	76.27	50.74	1.039
47	77.97	50.08	0.926
48	79.66	50.83	1.139
49	81.36	49.16	0.742
50	83.05	50.25	0.624
51	84.75	49.35	1.195
52	86.44	49.56	0.760
53	88.14	49.96	1.131
54	89.83	49.05	0.935
55	91.53	49.96	1.076
56	93.22	49.57	1.080
57	94.92	48.94	0.948
58	96.61	49.83	1.087
59	98.31	50.59	1.056
60	100.00	50.75	0.824

**Subtramo 5: 00+400 – 00+500**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	49.50	0.781
2	1.69	48.36	0.577
3	3.39	49.33	0.763
4	5.08	49.77	0.664
5	6.78	50.32	0.867
6	8.47	49.71	0.745
7	10.17	50.11	0.451
8	11.86	49.84	0.798
9	13.56	50.25	0.673
10	15.25	48.96	0.772
11	16.95	49.58	0.762
12	18.64	49.34	0.740
13	20.34	49.31	0.790
14	22.03	50.08	0.597
15	23.73	51.36	0.697
16	25.42	51.16	0.765
17	27.12	49.64	0.405
18	28.81	49.62	0.929
19	30.51	50.90	0.885
20	32.20	49.78	0.573
21	33.90	50.35	0.719
22	35.59	50.07	0.584
23	37.29	49.55	0.578
24	38.98	50.53	0.857
25	40.68	48.79	0.824
26	42.37	49.43	0.853

27	44.07	49.41	0.774
28	45.76	50.56	0.802
29	47.46	49.63	0.737
30	49.15	50.85	0.611
31	50.85	50.52	0.635
32	52.54	51.12	0.596
33	54.24	50.67	0.496
34	55.93	49.31	0.715
35	57.63	51.02	0.823
36	59.32	51.00	0.720
37	61.02	49.76	0.570
38	62.71	50.59	0.651
39	64.41	50.87	0.849
40	66.10	50.32	0.784
41	67.80	50.56	0.681
42	69.49	50.93	0.601
43	71.19	51.25	0.760
44	72.88	49.60	0.702
45	74.58	50.41	0.577
46	76.27	51.65	0.604
47	77.97	50.40	0.927
48	79.66	49.47	0.907
49	81.36	48.65	0.946
50	83.05	49.83	0.623
51	84.75	49.67	0.456
52	86.44	49.06	0.594
53	88.14	50.17	0.694
54	89.83	49.61	0.631
55	91.53	49.75	0.548
56	93.22	49.05	0.749
57	94.92	50.80	0.713
58	96.61	50.95	0.914
59	98.31	52.32	0.721
60	100.00	50.06	0.847

**Subtramo 6: 00+500 – 00+600**

<b>Muestra</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>Aceleración vertical (m/s<sup>2</sup>)</b>
1	0.00	50.38	0.974
2	1.69	49.47	0.951
3	3.39	49.05	1.014
4	5.08	49.85	0.864
5	6.78	50.66	0.880
6	8.47	50.31	1.141
7	10.17	50.65	0.899
8	11.86	48.86	1.090
9	13.56	49.83	1.075
10	15.25	49.44	1.236
11	16.95	50.36	1.034
12	18.64	49.04	1.072
13	20.34	51.31	0.827
14	22.03	49.94	0.942
15	23.73	50.10	0.941
16	25.42	49.72	0.966
17	27.12	51.25	1.178
18	28.81	47.91	1.063
19	30.51	48.26	0.795
20	32.20	50.45	1.161

21	33.90	50.06	1.219
22	35.59	48.78	1.001
23	37.29	51.15	1.184
24	38.98	49.85	1.198
25	40.68	48.50	0.974
26	42.37	50.27	1.113
27	44.07	49.05	0.740
28	45.76	49.67	1.119
29	47.46	49.89	0.991
30	49.15	49.66	0.624
31	50.85	48.96	0.650
32	52.54	49.71	1.046
33	54.24	49.06	1.321
34	55.93	50.44	1.143
35	57.63	50.22	1.193
36	59.32	51.43	0.908
37	61.02	49.83	1.006
38	62.71	49.05	1.166
39	64.41	49.56	0.723
40	66.10	51.32	0.941
41	67.80	50.21	1.250
42	69.49	50.08	0.644
43	71.19	49.13	0.955
44	72.88	49.00	0.841
45	74.58	51.70	0.797
46	76.27	50.07	0.849
47	77.97	50.22	0.910
48	79.66	50.96	1.112
49	81.36	49.98	0.601
50	83.05	49.43	0.806
51	84.75	51.46	0.629
52	86.44	51.44	1.429
53	88.14	49.95	1.244
54	89.83	49.76	1.140
55	91.53	50.29	0.679
56	93.22	49.59	1.027
57	94.92	48.46	1.151
58	96.61	50.58	1.020
59	98.31	51.20	0.949
60	100.00	50.02	0.964

**Subtramo 7: 00+600 – 00+700**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	49.62	0.566
2	1.69	49.39	0.681
3	3.39	50.94	0.900
4	5.08	49.23	0.784
5	6.78	50.76	0.885
6	8.47	50.36	0.794
7	10.17	50.53	0.688
8	11.86	50.42	0.555
9	13.56	49.32	0.522
10	15.25	50.35	0.615
11	16.95	49.22	0.741
12	18.64	50.39	0.826
13	20.34	49.57	0.644
14	22.03	49.11	0.860

15	23.73	49.26	0.439
16	25.42	50.41	0.653
17	27.12	49.92	0.815
18	28.81	50.41	0.922
19	30.51	49.50	0.895
20	32.20	50.75	0.720
21	33.90	49.94	0.740
22	35.59	48.35	0.891
23	37.29	49.63	0.707
24	38.98	49.94	0.833
25	40.68	49.25	0.770
26	42.37	49.77	0.853
27	44.07	49.17	0.613
28	45.76	50.32	0.735
29	47.46	50.01	0.657
30	49.15	50.26	0.846
31	50.85	50.19	0.765
32	52.54	51.03	0.648
33	54.24	50.19	0.854
34	55.93	51.05	0.644
35	57.63	49.80	0.573
36	59.32	49.85	0.677
37	61.02	50.78	0.649
38	62.71	50.04	0.825
39	64.41	50.69	0.789
40	66.10	49.15	0.577
41	67.80	49.99	0.520
42	69.49	50.54	0.873
43	71.19	50.57	0.816
44	72.88	49.20	0.701
45	74.58	50.59	0.721
46	76.27	51.35	0.537
47	77.97	48.29	0.638
48	79.66	49.97	0.489
49	81.36	49.99	0.575
50	83.05	49.67	0.887
51	84.75	50.44	0.620
52	86.44	49.35	0.855
53	88.14	50.51	0.766
54	89.83	49.61	0.744
55	91.53	50.34	0.644
56	93.22	49.24	0.727
57	94.92	50.79	0.661
58	96.61	50.27	0.750
59	98.31	49.69	0.501
60	100.00	50.01	0.746

**Subtramo 8: 00+700 – 00+800**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	50.37	0.370
2	1.69	50.54	0.444
3	3.39	50.08	0.320
4	5.08	50.58	0.473
5	6.78	50.45	0.455
6	8.47	50.74	0.378
7	10.17	50.08	0.486
8	11.86	49.54	0.440

9	13.56	50.29	0.260
10	15.25	51.03	0.290
11	16.95	49.83	0.470
12	18.64	50.86	0.404
13	20.34	50.00	0.472
14	22.03	52.18	0.466
15	23.73	49.18	0.361
16	25.42	50.79	0.338
17	27.12	51.22	0.440
18	28.81	49.57	0.527
19	30.51	51.45	0.305
20	32.20	50.17	0.321
21	33.90	49.99	0.480
22	35.59	49.79	0.284
23	37.29	51.69	0.397
24	38.98	49.12	0.398
25	40.68	49.75	0.484
26	42.37	49.71	0.390
27	44.07	49.48	0.437
28	45.76	49.84	0.622
29	47.46	49.93	0.446
30	49.15	49.46	0.494
31	50.85	51.76	0.342
32	52.54	50.90	0.371
33	54.24	50.92	0.399
34	55.93	50.08	0.445
35	57.63	48.92	0.489
36	59.32	50.12	0.497
37	61.02	50.82	0.490
38	62.71	49.52	0.320
39	64.41	50.06	0.378
40	66.10	49.21	0.411
41	67.80	50.31	0.406
42	69.49	50.66	0.384
43	71.19	49.46	0.399
44	72.88	48.98	0.425
45	74.58	49.62	0.370
46	76.27	50.83	0.460
47	77.97	50.68	0.440
48	79.66	49.12	0.476
49	81.36	47.82	0.410
50	83.05	49.54	0.334
51	84.75	49.67	0.276
52	86.44	49.15	0.415
53	88.14	51.02	0.483
54	89.83	49.50	0.241
55	91.53	51.53	0.463
56	93.22	49.60	0.425
57	94.92	48.39	0.382
58	96.61	50.78	0.250
59	98.31	49.33	0.297
60	100.00	51.16	0.342

**Subtramo 9: 00+800 – 00+900**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	50.77	1.037
2	1.69	49.72	0.912

3	3.39	50.56	0.934
4	5.08	49.69	1.334
5	6.78	51.39	1.161
6	8.47	51.70	0.948
7	10.17	49.49	0.949
8	11.86	51.35	0.976
9	13.56	51.72	1.173
10	15.25	49.89	0.850
11	16.95	50.77	1.005
12	18.64	48.22	0.816
13	20.34	50.04	0.660
14	22.03	50.55	0.660
15	23.73	50.30	1.013
16	25.42	49.71	0.798
17	27.12	49.22	0.888
18	28.81	50.51	1.225
19	30.51	49.93	1.026
20	32.20	49.97	1.024
21	33.90	48.63	1.018
22	35.59	50.82	1.318
23	37.29	50.15	0.691
24	38.98	51.06	0.887
25	40.68	50.61	0.886
26	42.37	49.66	0.824
27	44.07	49.24	0.968
28	45.76	50.01	1.076
29	47.46	50.02	0.869
30	49.15	50.18	1.019
31	50.85	50.71	1.015
32	52.54	50.49	0.737
33	54.24	48.79	0.834
34	55.93	50.33	0.723
35	57.63	49.50	1.182
36	59.32	50.43	0.882
37	61.02	51.04	1.251
38	62.71	48.64	1.237
39	64.41	50.67	0.940
40	66.10	50.42	1.284
41	67.80	49.40	0.841
42	69.49	50.34	0.728
43	71.19	50.32	1.232
44	72.88	49.71	0.924
45	74.58	50.13	0.890
46	76.27	50.59	1.107
47	77.97	49.39	1.156
48	79.66	50.02	1.025
49	81.36	49.86	1.026
50	83.05	49.73	0.907
51	84.75	50.37	1.178
52	86.44	49.36	1.191
53	88.14	48.77	0.952
54	89.83	50.55	0.778
55	91.53	48.97	1.093
56	93.22	49.45	1.128
57	94.92	49.55	0.834
58	96.61	49.88	0.941
59	98.31	50.53	0.947
60	100.00	49.42	1.096

**Subtramo 10: 00+900 – 01+000**

<b>Muestra</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>Aceleración vertical (m/s<sup>2</sup>)</b>
1	0.00	50.97	0.797
2	1.69	49.62	0.754
3	3.39	50.32	0.779
4	5.08	50.60	0.850
5	6.78	49.06	0.775
6	8.47	49.22	0.598
7	10.17	50.44	0.670
8	11.86	48.22	0.867
9	13.56	49.10	0.862
10	15.25	46.83	0.801
11	16.95	49.59	0.758
12	18.64	49.53	0.559
13	20.34	49.64	0.880
14	22.03	49.47	0.853
15	23.73	50.62	0.758
16	25.42	48.81	0.680
17	27.12	49.95	0.688
18	28.81	49.91	0.746
19	30.51	49.47	0.971
20	32.20	47.59	0.460
21	33.90	51.00	0.539
22	35.59	49.76	0.541
23	37.29	50.61	0.708
24	38.98	49.30	0.592
25	40.68	49.65	0.570
26	42.37	48.89	0.575
27	44.07	49.41	0.559
28	45.76	48.80	0.733
29	47.46	49.61	0.687
30	49.15	50.13	0.470
31	50.85	49.76	0.545
32	52.54	49.54	0.680
33	54.24	51.87	0.762
34	55.93	49.74	0.803
35	57.63	49.63	0.683
36	59.32	49.36	0.724
37	61.02	50.35	0.577
38	62.71	50.47	0.873
39	64.41	50.76	0.614
40	66.10	50.29	0.654
41	67.80	48.43	0.525
42	69.49	50.58	0.732
43	71.19	50.63	0.606
44	72.88	49.31	0.439
45	74.58	50.58	0.530
46	76.27	50.40	0.710
47	77.97	51.01	0.721
48	79.66	48.29	0.876
49	81.36	49.16	0.643
50	83.05	49.54	0.830
51	84.75	49.56	0.953
52	86.44	49.35	0.726
53	88.14	50.92	0.763
54	89.83	49.77	0.591

55	91.53	51.30	0.958
56	93.22	49.58	0.587
57	94.92	51.05	0.629
58	96.61	50.19	0.690
59	98.31	50.58	0.769
60	100.00	50.20	0.696

**Subtramo 11: 01+000 – 01+100**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	49.00	0.683
2	1.69	50.16	0.765
3	3.39	50.59	0.666
4	5.08	51.33	0.706
5	6.78	50.09	0.756
6	8.47	48.33	0.603
7	10.17	49.43	0.681
8	11.86	51.04	0.925
9	13.56	50.05	0.485
10	15.25	51.24	0.652
11	16.95	50.98	0.972
12	18.64	49.39	0.442
13	20.34	50.18	0.617
14	22.03	52.28	1.054
15	23.73	50.31	0.578
16	25.42	50.14	0.635
17	27.12	48.93	0.624
18	28.81	51.18	0.643
19	30.51	50.33	0.447
20	32.20	51.06	0.561
21	33.90	50.76	0.673
22	35.59	49.38	0.720
23	37.29	49.53	0.561
24	38.98	50.15	0.599
25	40.68	49.78	0.591
26	42.37	49.22	0.609
27	44.07	48.01	0.582
28	45.76	49.40	0.692
29	47.46	51.44	0.744
30	49.15	49.47	0.639
31	50.85	50.64	0.575
32	52.54	48.86	0.516
33	54.24	49.52	0.628
34	55.93	51.01	0.522
35	57.63	49.93	0.699
36	59.32	50.11	0.687
37	61.02	49.89	0.644
38	62.71	50.10	0.657
39	64.41	50.69	0.729
40	66.10	50.32	0.704
41	67.80	49.86	0.711
42	69.49	50.65	0.730
43	71.19	49.87	0.776
44	72.88	50.01	0.706
45	74.58	50.29	0.546
46	76.27	50.41	0.515
47	77.97	50.23	0.562
48	79.66	49.62	0.644

49	81.36	49.63	0.710
50	83.05	49.19	0.577
51	84.75	51.21	0.506
52	86.44	49.36	0.509
53	88.14	48.59	0.462
54	89.83	49.82	0.582
55	91.53	49.59	0.748
56	93.22	50.67	0.655
57	94.92	50.41	0.766
58	96.61	50.79	0.640
59	98.31	48.96	0.676
60	100.00	49.82	0.692

**Subtramo 12: 01+100 – 01+200**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	51.35	1.164
2	1.69	49.99	1.143
3	3.39	50.07	1.096
4	5.08	49.19	0.890
5	6.78	50.45	0.799
6	8.47	49.53	1.101
7	10.17	51.11	1.021
8	11.86	51.40	0.787
9	13.56	49.01	1.266
10	15.25	48.89	0.706
11	16.95	50.54	1.515
12	18.64	50.74	1.118
13	20.34	50.40	1.020
14	22.03	49.50	0.926
15	23.73	50.33	1.134
16	25.42	49.33	0.982
17	27.12	49.69	0.989
18	28.81	50.43	1.016
19	30.51	49.70	1.251
20	32.20	50.59	0.795
21	33.90	49.49	0.961
22	35.59	48.42	0.819
23	37.29	50.09	1.077
24	38.98	50.36	0.943
25	40.68	49.94	0.781
26	42.37	49.36	0.665
27	44.07	50.65	0.931
28	45.76	51.15	1.065
29	47.46	50.02	1.120
30	49.15	49.76	1.067
31	50.85	50.35	1.048
32	52.54	50.33	0.990
33	54.24	50.91	1.050
34	55.93	50.31	0.876
35	57.63	50.06	1.259
36	59.32	50.50	1.256
37	61.02	49.40	0.977
38	62.71	48.77	1.123
39	64.41	50.91	0.915
40	66.10	50.21	0.827
41	67.80	51.20	1.315
42	69.49	49.71	1.057

43	71.19	49.75	0.732
44	72.88	50.61	1.015
45	74.58	48.82	0.938
46	76.27	49.62	0.850
47	77.97	50.80	0.827
48	79.66	50.68	0.820
49	81.36	51.36	0.960
50	83.05	50.59	0.598
51	84.75	50.97	0.903
52	86.44	50.49	0.968
53	88.14	49.80	1.190
54	89.83	51.55	0.890
55	91.53	50.37	0.788
56	93.22	51.36	1.203
57	94.92	49.78	1.173
58	96.61	48.51	0.928
59	98.31	50.86	0.961
60	100.00	49.63	1.047

**Subtramo 13: 01+200 – 01+300**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	50.81	1.001
2	1.69	51.30	0.693
3	3.39	51.82	0.624
4	5.08	50.34	0.559
5	6.78	49.99	0.817
6	8.47	49.61	0.799
7	10.17	49.17	0.718
8	11.86	50.83	0.627
9	13.56	50.20	0.701
10	15.25	49.80	0.609
11	16.95	49.40	0.763
12	18.64	50.91	0.926
13	20.34	49.53	0.664
14	22.03	49.83	0.785
15	23.73	48.43	0.772
16	25.42	50.44	0.768
17	27.12	50.10	0.644
18	28.81	51.28	0.805
19	30.51	47.78	0.755
20	32.20	51.10	0.652
21	33.90	50.60	0.916
22	35.59	49.60	0.650
23	37.29	50.46	0.798
24	38.98	49.75	0.775
25	40.68	50.63	0.550
26	42.37	49.53	0.518
27	44.07	50.23	0.893
28	45.76	50.17	0.823
29	47.46	51.26	0.621
30	49.15	50.27	0.700
31	50.85	48.59	0.564
32	52.54	49.17	0.730
33	54.24	51.06	0.700
34	55.93	49.35	0.690
35	57.63	49.50	0.588
36	59.32	48.83	0.659

37	61.02	51.41	0.707
38	62.71	49.60	0.755
39	64.41	51.06	0.820
40	66.10	49.89	0.898
41	67.80	50.86	0.697
42	69.49	49.53	0.681
43	71.19	50.14	0.959
44	72.88	49.89	0.734
45	74.58	51.09	0.567
46	76.27	49.05	0.886
47	77.97	50.76	0.686
48	79.66	49.67	1.011
49	81.36	49.90	0.510
50	83.05	48.46	0.809
51	84.75	49.03	0.579
52	86.44	49.47	0.587
53	88.14	48.83	0.657
54	89.83	48.90	0.847
55	91.53	49.89	0.479
56	93.22	51.29	0.799
57	94.92	49.98	0.752
58	96.61	51.30	0.665
59	98.31	50.90	0.416
60	100.00	49.14	1.039

**Subtramo 14: 01+300 – 01+400**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	48.90	0.399
2	1.69	51.00	0.436
3	3.39	50.36	0.492
4	5.08	49.17	0.401
5	6.78	49.43	0.351
6	8.47	51.48	0.311
7	10.17	51.38	0.348
8	11.86	50.03	0.404
9	13.56	49.45	0.404
10	15.25	49.86	0.266
11	16.95	48.49	0.393
12	18.64	50.54	0.398
13	20.34	49.41	0.347
14	22.03	49.89	0.512
15	23.73	48.46	0.569
16	25.42	49.73	0.227
17	27.12	50.38	0.465
18	28.81	50.19	0.378
19	30.51	50.74	0.252
20	32.20	49.35	0.266
21	33.90	49.28	0.489
22	35.59	50.41	0.308
23	37.29	50.01	0.486
24	38.98	51.02	0.368
25	40.68	50.25	0.315
26	42.37	50.88	0.514
27	44.07	50.47	0.412
28	45.76	51.49	0.392
29	47.46	49.87	0.345
30	49.15	49.91	0.388

31	50.85	49.94	0.224
32	52.54	50.18	0.382
33	54.24	50.71	0.461
34	55.93	48.02	0.396
35	57.63	51.04	0.412
36	59.32	49.46	0.504
37	61.02	49.68	0.379
38	62.71	50.06	0.498
39	64.41	50.11	0.396
40	66.10	49.24	0.368
41	67.80	49.96	0.563
42	69.49	50.52	0.267
43	71.19	49.29	0.445
44	72.88	48.67	0.303
45	74.58	48.86	0.386
46	76.27	51.17	0.419
47	77.97	48.29	0.523
48	79.66	50.50	0.427
49	81.36	48.45	0.385
50	83.05	51.13	0.305
51	84.75	51.01	0.360
52	86.44	50.64	0.394
53	88.14	49.41	0.307
54	89.83	50.67	0.402
55	91.53	49.04	0.246
56	93.22	50.85	0.407
57	94.92	49.07	0.471
58	96.61	50.20	0.359
59	98.31	49.92	0.449
60	100.00	50.44	0.501

**Subtramo 15: 01+400 – 01+500**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	50.95	0.892
2	1.69	50.15	1.283
3	3.39	49.87	0.820
4	5.08	48.50	0.956
5	6.78	49.62	0.925
6	8.47	49.46	1.002
7	10.17	50.33	0.913
8	11.86	52.06	0.929
9	13.56	49.65	1.125
10	15.25	48.28	1.152
11	16.95	50.83	1.162
12	18.64	49.83	0.904
13	20.34	50.08	0.920
14	22.03	50.42	0.814
15	23.73	50.46	0.951
16	25.42	50.77	1.007
17	27.12	50.71	0.934
18	28.81	50.62	0.915
19	30.51	49.70	0.974
20	32.20	49.99	0.864
21	33.90	50.43	1.010
22	35.59	49.58	1.446
23	37.29	48.38	0.833
24	38.98	48.92	1.267

25	40.68	49.33	1.016
26	42.37	48.50	0.716
27	44.07	51.19	1.000
28	45.76	50.27	1.170
29	47.46	49.43	1.026
30	49.15	50.39	0.587
31	50.85	49.69	1.071
32	52.54	49.12	0.584
33	54.24	50.08	1.032
34	55.93	50.13	0.789
35	57.63	50.25	1.072
36	59.32	50.49	1.116
37	61.02	51.94	1.080
38	62.71	51.90	1.143
39	64.41	48.97	1.012
40	66.10	51.31	0.729
41	67.80	51.11	0.928
42	69.49	50.75	1.201
43	71.19	51.92	1.042
44	72.88	50.21	1.371
45	74.58	48.67	1.001
46	76.27	51.71	0.688
47	77.97	50.71	1.088
48	79.66	49.43	1.110
49	81.36	50.07	0.832
50	83.05	48.44	0.721
51	84.75	48.52	0.847
52	86.44	51.31	0.926
53	88.14	50.11	1.354
54	89.83	48.34	1.235
55	91.53	49.02	0.744
56	93.22	51.24	1.045
57	94.92	51.36	0.917
58	96.61	49.59	1.229
59	98.31	49.48	1.056
60	100.00	49.40	0.682

**Subtramo 16: 01+500 – 01+600**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	48.66	0.764
2	1.69	48.76	0.710
3	3.39	49.48	0.968
4	5.08	50.01	0.698
5	6.78	49.84	0.966
6	8.47	49.24	0.654
7	10.17	51.30	0.662
8	11.86	49.89	0.653
9	13.56	50.52	0.529
10	15.25	50.24	0.701
11	16.95	51.52	0.736
12	18.64	49.74	0.875
13	20.34	51.29	0.778
14	22.03	50.75	0.616
15	23.73	50.29	0.728
16	25.42	50.61	0.860
17	27.12	50.02	0.566
18	28.81	49.68	1.011

19	30.51	49.54	0.722
20	32.20	50.40	0.546
21	33.90	49.38	0.721
22	35.59	49.48	0.757
23	37.29	50.47	0.884
24	38.98	50.72	0.719
25	40.68	51.45	0.722
26	42.37	49.40	0.812
27	44.07	51.03	0.854
28	45.76	49.21	0.778
29	47.46	48.82	0.473
30	49.15	49.42	0.624
31	50.85	49.26	0.670
32	52.54	48.98	0.590
33	54.24	49.30	0.708
34	55.93	48.78	0.423
35	57.63	50.40	0.645
36	59.32	50.88	0.615
37	61.02	50.92	0.623
38	62.71	50.32	0.619
39	64.41	50.99	0.888
40	66.10	49.66	0.552
41	67.80	50.21	0.683
42	69.49	50.32	0.449
43	71.19	50.43	0.783
44	72.88	50.35	0.657
45	74.58	49.40	0.800
46	76.27	50.91	0.835
47	77.97	49.90	0.828
48	79.66	51.66	0.811
49	81.36	49.95	0.505
50	83.05	49.26	0.768
51	84.75	50.20	0.888
52	86.44	48.97	0.472
53	88.14	48.98	0.716
54	89.83	49.22	0.631
55	91.53	49.93	0.732
56	93.22	49.77	0.759
57	94.92	50.85	0.664
58	96.61	50.78	0.561
59	98.31	50.49	0.581
60	100.00	48.99	0.670

**Subtramo 17: 01+600 – 01+700**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	50.84	1.264
2	1.69	50.27	0.820
3	3.39	50.04	1.578
4	5.08	50.52	1.047
5	6.78	50.92	0.796
6	8.47	50.64	1.242
7	10.17	51.06	0.896
8	11.86	49.63	0.868
9	13.56	50.05	0.877
10	15.25	49.38	1.190
11	16.95	50.40	0.814
12	18.64	49.82	0.884

13	20.34	51.23	1.082
14	22.03	51.52	0.900
15	23.73	50.14	0.901
16	25.42	50.46	0.966
17	27.12	51.05	1.232
18	28.81	51.22	0.551
19	30.51	49.13	1.099
20	32.20	51.12	0.976
21	33.90	50.71	1.342
22	35.59	50.17	1.237
23	37.29	49.95	1.178
24	38.98	50.64	0.755
25	40.68	50.89	1.280
26	42.37	49.99	1.267
27	44.07	49.11	0.933
28	45.76	50.86	0.920
29	47.46	51.14	0.775
30	49.15	50.64	0.862
31	50.85	49.90	0.995
32	52.54	50.75	0.697
33	54.24	49.81	0.753
34	55.93	49.65	0.850
35	57.63	51.42	1.058
36	59.32	50.45	1.024
37	61.02	49.90	0.990
38	62.71	50.64	0.887
39	64.41	49.84	1.170
40	66.10	50.66	1.110
41	67.80	49.53	0.984
42	69.49	50.23	1.194
43	71.19	50.04	0.895
44	72.88	49.25	0.725
45	74.58	50.25	1.105
46	76.27	49.71	0.927
47	77.97	49.52	0.889
48	79.66	48.86	1.027
49	81.36	49.49	0.753
50	83.05	49.93	0.879
51	84.75	50.19	1.094
52	86.44	50.39	0.971
53	88.14	49.60	0.971
54	89.83	49.79	1.271
55	91.53	51.00	1.453
56	93.22	49.52	1.085
57	94.92	50.65	0.906
58	96.61	49.57	0.792
59	98.31	49.75	1.039
60	100.00	48.02	0.973

**Subtramo 18: 01+700 – 01+800**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	50.29	0.739
2	1.69	49.18	0.440
3	3.39	50.05	0.801
4	5.08	50.61	0.750
5	6.78	50.20	0.675
6	8.47	50.84	0.814

7	10.17	50.57	0.704
8	11.86	49.66	0.668
9	13.56	50.52	0.693
10	15.25	51.50	0.598
11	16.95	49.52	0.602
12	18.64	50.68	0.613
13	20.34	49.89	0.616
14	22.03	48.94	0.740
15	23.73	50.47	0.678
16	25.42	50.04	0.762
17	27.12	49.80	0.669
18	28.81	51.13	0.700
19	30.51	50.90	0.759
20	32.20	50.90	0.344
21	33.90	50.55	0.603
22	35.59	50.48	0.813
23	37.29	48.59	0.853
24	38.98	50.28	0.737
25	40.68	49.79	0.558
26	42.37	49.35	0.698
27	44.07	49.54	0.712
28	45.76	50.92	0.657
29	47.46	49.87	0.725
30	49.15	50.07	0.396
31	50.85	50.43	0.616
32	52.54	49.48	0.785
33	54.24	50.32	0.576
34	55.93	49.14	0.783
35	57.63	49.78	0.823
36	59.32	50.39	0.689
37	61.02	49.94	0.724
38	62.71	48.67	0.751
39	64.41	49.61	0.626
40	66.10	49.66	0.583
41	67.80	51.45	0.908
42	69.49	49.30	0.590
43	71.19	49.72	0.645
44	72.88	50.96	0.800
45	74.58	50.42	0.763
46	76.27	49.92	0.524
47	77.97	50.23	0.650
48	79.66	49.97	0.477
49	81.36	50.33	0.825
50	83.05	49.64	0.595
51	84.75	49.99	0.862
52	86.44	50.25	0.860
53	88.14	50.12	0.540
54	89.83	49.44	0.507
55	91.53	49.91	0.938
56	93.22	50.02	0.782
57	94.92	49.92	0.650
58	96.61	49.50	0.949
59	98.31	51.16	0.720
60	100.00	50.72	0.636

**Subtramo 19: 01+800 – 01+900**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
---------	---------------	------------------	--

1	0.00	49.94	0.387
2	1.69	50.73	0.461
3	3.39	49.08	0.422
4	5.08	50.06	0.269
5	6.78	49.59	0.499
6	8.47	49.93	0.332
7	10.17	51.12	0.391
8	11.86	50.15	0.474
9	13.56	49.40	0.370
10	15.25	49.39	0.436
11	16.95	49.95	0.294
12	18.64	50.56	0.416
13	20.34	49.40	0.407
14	22.03	49.31	0.333
15	23.73	49.38	0.518
16	25.42	49.87	0.256
17	27.12	50.54	0.318
18	28.81	48.91	0.385
19	30.51	50.85	0.399
20	32.20	49.62	0.388
21	33.90	49.43	0.405
22	35.59	49.47	0.358
23	37.29	49.55	0.362
24	38.98	50.04	0.410
25	40.68	49.82	0.421
26	42.37	49.40	0.330
27	44.07	50.26	0.198
28	45.76	50.75	0.207
29	47.46	49.69	0.459
30	49.15	49.55	0.551
31	50.85	49.10	0.443
32	52.54	48.88	0.419
33	54.24	49.79	0.470
34	55.93	49.49	0.281
35	57.63	50.07	0.382
36	59.32	49.71	0.476
37	61.02	49.04	0.435
38	62.71	49.94	0.318
39	64.41	49.80	0.389
40	66.10	50.99	0.409
41	67.80	49.15	0.466
42	69.49	50.44	0.385
43	71.19	47.73	0.177
44	72.88	49.68	0.450
45	74.58	49.00	0.372
46	76.27	50.14	0.434
47	77.97	49.78	0.445
48	79.66	50.32	0.441
49	81.36	49.98	0.463
50	83.05	49.61	0.455
51	84.75	50.33	0.376
52	86.44	50.41	0.392
53	88.14	50.66	0.465
54	89.83	49.81	0.476
55	91.53	49.36	0.407
56	93.22	51.47	0.379
57	94.92	49.78	0.459
58	96.61	50.91	0.437

59	98.31	50.51	0.420
60	100.00	50.55	0.318

**Subtramo 20: 01+900 – 02+000**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	49.04	0.870
2	1.69	49.23	1.048
3	3.39	48.42	0.822
4	5.08	49.44	1.123
5	6.78	48.99	1.306
6	8.47	50.40	0.883
7	10.17	50.30	1.037
8	11.86	50.28	0.949
9	13.56	50.19	1.021
10	15.25	48.44	1.005
11	16.95	49.61	1.005
12	18.64	50.52	1.160
13	20.34	49.82	1.088
14	22.03	50.38	0.961
15	23.73	49.82	0.871
16	25.42	50.60	1.249
17	27.12	48.72	1.044
18	28.81	49.21	0.791
19	30.51	50.13	0.694
20	32.20	48.80	0.835
21	33.90	49.56	0.797
22	35.59	50.52	1.039
23	37.29	50.17	0.481
24	38.98	49.75	1.018
25	40.68	49.57	0.941
26	42.37	49.30	0.934
27	44.07	51.47	1.009
28	45.76	50.94	1.084
29	47.46	50.79	1.061
30	49.15	51.13	1.543
31	50.85	49.76	0.723
32	52.54	48.52	1.046
33	54.24	48.76	1.075
34	55.93	49.57	0.729
35	57.63	50.63	1.114
36	59.32	48.01	1.338
37	61.02	51.73	1.018
38	62.71	49.12	0.818
39	64.41	49.41	0.754
40	66.10	50.82	0.925
41	67.80	50.04	0.820
42	69.49	50.27	1.061
43	71.19	50.88	1.075
44	72.88	49.61	0.754
45	74.58	48.67	0.625
46	76.27	49.69	1.157
47	77.97	50.05	1.117
48	79.66	49.77	1.144
49	81.36	50.00	1.072
50	83.05	49.05	1.173
51	84.75	49.89	1.077
52	86.44	48.25	0.623

53	88.14	49.98	0.948
54	89.83	50.58	0.993
55	91.53	49.34	0.952
56	93.22	49.09	1.011
57	94.92	48.57	1.109
58	96.61	50.07	0.658
59	98.31	50.63	0.979
60	100.00	50.14	0.816

**Subtramo 21: 02+000 – 02+100**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	51.07	0.615
2	1.69	50.46	0.634
3	3.39	49.88	0.848
4	5.08	49.44	0.624
5	6.78	50.33	0.700
6	8.47	50.18	0.663
7	10.17	49.28	0.541
8	11.86	48.24	0.668
9	13.56	49.19	0.610
10	15.25	51.97	0.582
11	16.95	48.78	0.752
12	18.64	51.10	0.614
13	20.34	49.08	0.796
14	22.03	50.62	0.648
15	23.73	51.01	0.794
16	25.42	50.87	0.679
17	27.12	50.39	0.784
18	28.81	49.10	0.636
19	30.51	50.06	0.901
20	32.20	48.81	0.821
21	33.90	49.60	0.778
22	35.59	50.21	0.611
23	37.29	50.58	0.697
24	38.98	50.28	0.601
25	40.68	50.32	0.672
26	42.37	50.30	0.895
27	44.07	51.17	0.869
28	45.76	50.62	0.859
29	47.46	49.07	0.993
30	49.15	50.05	0.574
31	50.85	50.50	0.639
32	52.54	50.07	0.854
33	54.24	51.28	0.675
34	55.93	49.67	0.715
35	57.63	50.41	0.856
36	59.32	50.37	0.761
37	61.02	50.74	0.785
38	62.71	51.72	0.566
39	64.41	49.66	0.772
40	66.10	50.44	0.533
41	67.80	48.72	0.830
42	69.49	48.88	0.779
43	71.19	49.46	0.719
44	72.88	49.18	0.964
45	74.58	51.44	0.558
46	76.27	50.76	0.840

47	77.97	50.15	0.724
48	79.66	50.96	0.614
49	81.36	49.57	0.768
50	83.05	51.18	1.048
51	84.75	49.84	0.705
52	86.44	49.14	0.513
53	88.14	49.10	0.536
54	89.83	50.54	0.689
55	91.53	51.58	0.685
56	93.22	49.34	0.753
57	94.92	50.89	0.785
58	96.61	50.35	0.764
59	98.31	49.60	0.789
60	100.00	49.75	0.704

**Subtramo 22: 02+100 – 02+200**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	49.96	0.925
2	1.69	50.69	0.873
3	3.39	50.13	1.046
4	5.08	50.35	0.917
5	6.78	50.44	0.972
6	8.47	49.70	0.942
7	10.17	49.18	0.896
8	11.86	49.77	1.151
9	13.56	50.05	1.152
10	15.25	51.06	0.706
11	16.95	49.75	0.945
12	18.64	49.95	0.664
13	20.34	49.19	1.245
14	22.03	51.49	1.247
15	23.73	49.93	1.187
16	25.42	49.56	0.745
17	27.12	50.28	0.884
18	28.81	47.51	1.082
19	30.51	51.33	0.635
20	32.20	50.64	1.099
21	33.90	50.66	1.017
22	35.59	49.93	0.804
23	37.29	50.12	0.923
24	38.98	50.59	1.174
25	40.68	50.75	1.195
26	42.37	47.80	0.865
27	44.07	49.87	0.984
28	45.76	50.64	1.201
29	47.46	50.08	0.770
30	49.15	50.18	1.111
31	50.85	50.46	0.876
32	52.54	50.56	1.022
33	54.24	51.66	0.889
34	55.93	50.42	1.491
35	57.63	50.98	1.133
36	59.32	50.16	1.001
37	61.02	50.17	0.788
38	62.71	49.41	0.835
39	64.41	48.91	0.872
40	66.10	51.25	1.239

41	67.80	50.13	1.096
42	69.49	50.01	1.011
43	71.19	49.90	0.737
44	72.88	51.09	0.805
45	74.58	49.44	1.075
46	76.27	48.77	1.220
47	77.97	49.81	1.050
48	79.66	50.72	0.931
49	81.36	49.88	1.052
50	83.05	49.91	0.978
51	84.75	48.60	1.331
52	86.44	50.24	1.158
53	88.14	51.16	1.012
54	89.83	48.62	1.057
55	91.53	49.25	1.279
56	93.22	51.26	0.918
57	94.92	49.81	0.828
58	96.61	50.40	1.073
59	98.31	49.79	1.367
60	100.00	49.88	1.100

**Subtramo 23: 02+200 – 02+300**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	50.96	0.746
2	1.69	49.26	0.580
3	3.39	50.50	0.814
4	5.08	50.33	0.573
5	6.78	49.64	0.796
6	8.47	49.58	0.828
7	10.17	50.06	0.678
8	11.86	51.35	0.759
9	13.56	51.24	0.494
10	15.25	48.72	0.543
11	16.95	50.52	0.430
12	18.64	51.74	0.878
13	20.34	48.48	0.586
14	22.03	49.61	0.622
15	23.73	48.86	0.651
16	25.42	49.44	0.621
17	27.12	49.83	0.545
18	28.81	49.88	0.558
19	30.51	50.04	0.753
20	32.20	49.44	0.689
21	33.90	50.31	0.697
22	35.59	49.51	0.707
23	37.29	50.24	0.665
24	38.98	49.26	0.770
25	40.68	50.91	0.918
26	42.37	49.92	0.459
27	44.07	49.86	0.656
28	45.76	50.19	0.828
29	47.46	49.80	0.569
30	49.15	50.80	0.582
31	50.85	49.13	0.506
32	52.54	50.67	0.487
33	54.24	50.29	0.664
34	55.93	49.62	0.682

35	57.63	51.29	0.956
36	59.32	48.59	0.594
37	61.02	49.24	0.769
38	62.71	48.51	0.661
39	64.41	50.16	0.669
40	66.10	49.55	0.350
41	67.80	48.84	0.841
42	69.49	50.66	0.579
43	71.19	50.91	0.592
44	72.88	50.90	0.781
45	74.58	50.35	0.944
46	76.27	50.43	0.700
47	77.97	51.32	0.592
48	79.66	49.90	0.493
49	81.36	50.31	0.879
50	83.05	49.40	0.718
51	84.75	50.10	0.767
52	86.44	51.18	0.652
53	88.14	50.22	0.647
54	89.83	48.97	0.534
55	91.53	51.92	0.820
56	93.22	50.31	0.831
57	94.92	50.34	0.581
58	96.61	51.81	0.653
59	98.31	50.23	0.704
60	100.00	50.04	0.660

**Subtramo 24: 02+300 – 02+400**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	49.92	0.335
2	1.69	50.11	0.419
3	3.39	50.39	0.424
4	5.08	50.12	0.521
5	6.78	49.46	0.475
6	8.47	50.07	0.496
7	10.17	50.37	0.327
8	11.86	49.09	0.416
9	13.56	49.69	0.272
10	15.25	49.93	0.429
11	16.95	49.19	0.525
12	18.64	51.10	0.493
13	20.34	51.29	0.282
14	22.03	50.46	0.515
15	23.73	49.76	0.616
16	25.42	49.03	0.306
17	27.12	49.22	0.353
18	28.81	50.17	0.476
19	30.51	50.56	0.372
20	32.20	50.78	0.399
21	33.90	49.11	0.404
22	35.59	49.91	0.489
23	37.29	50.78	0.300
24	38.98	48.34	0.334
25	40.68	48.92	0.525
26	42.37	48.32	0.393
27	44.07	49.57	0.388
28	45.76	49.03	0.403

29	47.46	50.59	0.457
30	49.15	49.97	0.338
31	50.85	52.28	0.411
32	52.54	50.29	0.323
33	54.24	51.32	0.407
34	55.93	51.14	0.480
35	57.63	49.57	0.480
36	59.32	49.82	0.340
37	61.02	50.02	0.357
38	62.71	50.01	0.419
39	64.41	49.27	0.462
40	66.10	50.76	0.452
41	67.80	50.07	0.280
42	69.49	49.88	0.485
43	71.19	49.88	0.451
44	72.88	49.32	0.516
45	74.58	48.42	0.400
46	76.27	49.37	0.431
47	77.97	50.99	0.417
48	79.66	48.67	0.330
49	81.36	50.72	0.587
50	83.05	49.59	0.271
51	84.75	49.05	0.418
52	86.44	51.77	0.252
53	88.14	51.80	0.219
54	89.83	50.95	0.295
55	91.53	51.00	0.583
56	93.22	49.79	0.381
57	94.92	50.04	0.351
58	96.61	49.84	0.588
59	98.31	48.83	0.284
60	100.00	50.50	0.328

**Subtramo 25: 02+400 – 02+500**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	50.48	0.927
2	1.69	49.13	1.358
3	3.39	50.24	1.067
4	5.08	50.30	0.999
5	6.78	48.72	1.019
6	8.47	49.85	1.007
7	10.17	50.04	1.310
8	11.86	50.66	1.031
9	13.56	48.74	1.031
10	15.25	49.73	1.021
11	16.95	48.85	1.069
12	18.64	49.51	0.996
13	20.34	49.98	0.794
14	22.03	49.96	0.985
15	23.73	48.93	1.238
16	25.42	50.64	0.633
17	27.12	51.85	0.814
18	28.81	49.26	1.569
19	30.51	48.84	0.698
20	32.20	50.29	0.974
21	33.90	49.23	1.017
22	35.59	50.31	1.032

23	37.29	50.75	1.066
24	38.98	49.41	1.142
25	40.68	50.08	1.186
26	42.37	49.27	0.768
27	44.07	51.10	1.348
28	45.76	50.99	1.095
29	47.46	50.01	0.760
30	49.15	49.87	0.680
31	50.85	50.56	0.979
32	52.54	49.60	0.738
33	54.24	49.89	1.312
34	55.93	49.62	0.971
35	57.63	49.20	1.049
36	59.32	49.94	1.051
37	61.02	50.19	1.355
38	62.71	49.47	0.956
39	64.41	49.70	0.869
40	66.10	49.16	0.818
41	67.80	50.22	1.107
42	69.49	49.72	1.213
43	71.19	50.74	0.761
44	72.88	48.96	1.115
45	74.58	49.13	1.251
46	76.27	48.57	1.017
47	77.97	50.32	1.081
48	79.66	49.69	1.041
49	81.36	49.41	1.142
50	83.05	50.32	1.084
51	84.75	49.92	1.029
52	86.44	51.60	1.000
53	88.14	48.82	0.854
54	89.83	50.13	0.965
55	91.53	50.15	0.877
56	93.22	49.97	0.751
57	94.92	50.56	0.750
58	96.61	50.13	1.219
59	98.31	48.87	0.994
60	100.00	51.06	1.140

**Subtramo 26: 02+500 – 02+600**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	50.14	0.870
2	1.69	50.00	0.556
3	3.39	48.26	0.630
4	5.08	50.32	0.646
5	6.78	50.32	0.728
6	8.47	49.31	0.628
7	10.17	49.53	0.578
8	11.86	49.12	0.646
9	13.56	50.23	0.695
10	15.25	50.40	0.837
11	16.95	49.85	0.854
12	18.64	50.38	0.593
13	20.34	50.01	0.717
14	22.03	49.49	0.792
15	23.73	50.44	0.704
16	25.42	50.02	0.581

17	27.12	48.56	0.644
18	28.81	50.17	0.501
19	30.51	50.51	0.714
20	32.20	49.12	0.798
21	33.90	49.82	0.586
22	35.59	49.68	0.865
23	37.29	49.31	0.739
24	38.98	50.59	0.518
25	40.68	50.73	0.452
26	42.37	51.31	0.699
27	44.07	50.44	0.691
28	45.76	50.83	0.874
29	47.46	50.81	0.817
30	49.15	50.40	0.856
31	50.85	50.98	0.496
32	52.54	48.93	0.751
33	54.24	50.13	0.563
34	55.93	50.16	0.560
35	57.63	51.27	0.565
36	59.32	50.20	0.587
37	61.02	51.47	0.791
38	62.71	50.83	0.633
39	64.41	50.37	0.498
40	66.10	49.21	0.843
41	67.80	48.41	0.597
42	69.49	49.69	0.620
43	71.19	49.40	0.514
44	72.88	50.15	0.997
45	74.58	49.67	0.734
46	76.27	50.78	0.805
47	77.97	49.69	0.788
48	79.66	50.60	0.786
49	81.36	49.18	0.670
50	83.05	51.17	0.638
51	84.75	49.96	0.767
52	86.44	48.98	0.406
53	88.14	49.34	0.614
54	89.83	49.58	0.810
55	91.53	50.27	0.738
56	93.22	50.42	0.848
57	94.92	49.71	0.575
58	96.61	50.39	0.586
59	98.31	50.11	0.684
60	100.00	49.20	0.673

**Subtramo 27: 02+600 – 02+700**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	50.08	0.946
2	1.69	50.28	0.881
3	3.39	49.80	1.292
4	5.08	50.68	1.087
5	6.78	50.83	1.233
6	8.47	50.72	1.134
7	10.17	50.81	0.981
8	11.86	50.46	1.009
9	13.56	50.74	1.018
10	15.25	49.21	1.047

11	16.95	50.46	0.861
12	18.64	50.58	1.055
13	20.34	48.96	0.949
14	22.03	48.95	0.834
15	23.73	50.09	1.211
16	25.42	49.77	1.131
17	27.12	51.56	1.114
18	28.81	51.03	0.908
19	30.51	49.81	1.216
20	32.20	50.27	0.950
21	33.90	49.23	0.857
22	35.59	48.72	1.169
23	37.29	49.26	0.833
24	38.98	49.85	1.143
25	40.68	50.23	1.327
26	42.37	49.58	0.932
27	44.07	49.69	0.788
28	45.76	49.73	0.765
29	47.46	50.56	1.033
30	49.15	50.52	1.022
31	50.85	49.17	1.108
32	52.54	50.89	0.939
33	54.24	50.49	1.032
34	55.93	50.21	1.114
35	57.63	49.63	0.755
36	59.32	49.11	0.892
37	61.02	49.39	0.835
38	62.71	50.62	0.829
39	64.41	49.22	0.960
40	66.10	49.81	0.972
41	67.80	50.27	1.058
42	69.49	49.44	0.541
43	71.19	48.40	1.008
44	72.88	50.16	1.196
45	74.58	50.38	1.067
46	76.27	49.63	0.993
47	77.97	51.00	0.985
48	79.66	50.02	1.219
49	81.36	51.06	1.045
50	83.05	51.25	1.219
51	84.75	50.13	0.833
52	86.44	49.55	1.064
53	88.14	49.24	0.776
54	89.83	51.33	1.051
55	91.53	48.72	0.928
56	93.22	51.37	1.130
57	94.92	50.14	0.837
58	96.61	48.86	1.239
59	98.31	51.10	1.355
60	100.00	50.22	0.743

**Subtramo 28: 02+700 – 02+800 (Condición Regular)**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	51.19	0.621
2	1.69	49.71	0.730
3	3.39	49.34	0.693
4	5.08	51.36	0.563

5	6.78	49.58	0.804
6	8.47	50.36	0.622
7	10.17	49.73	0.698
8	11.86	50.61	0.773
9	13.56	48.56	0.597
10	15.25	49.95	0.768
11	16.95	50.02	0.637
12	18.64	50.56	0.621
13	20.34	50.32	0.792
14	22.03	50.41	0.713
15	23.73	50.95	0.670
16	25.42	49.47	0.849
17	27.12	49.45	0.376
18	28.81	50.90	0.859
19	30.51	50.73	0.671
20	32.20	49.01	0.502
21	33.90	50.26	0.792
22	35.59	49.86	0.764
23	37.29	49.45	0.743
24	38.98	48.61	0.861
25	40.68	49.51	0.795
26	42.37	50.67	0.810
27	44.07	50.33	0.725
28	45.76	49.50	0.822
29	47.46	49.53	0.675
30	49.15	50.10	0.866
31	50.85	51.24	0.606
32	52.54	49.36	0.746
33	54.24	50.41	0.272
34	55.93	50.34	0.734
35	57.63	49.17	0.869
36	59.32	50.43	0.690
37	61.02	49.51	0.659
38	62.71	50.06	0.669
39	64.41	50.46	0.615
40	66.10	50.61	0.559
41	67.80	48.30	0.577
42	69.49	48.64	0.725
43	71.19	50.25	0.665
44	72.88	50.34	0.601
45	74.58	50.48	0.712
46	76.27	50.61	0.593
47	77.97	51.03	0.852
48	79.66	49.75	0.991
49	81.36	49.64	0.679
50	83.05	48.84	0.651
51	84.75	48.90	0.920
52	86.44	48.96	0.718
53	88.14	50.51	0.684
54	89.83	50.93	0.702
55	91.53	50.12	0.588
56	93.22	49.97	0.770
57	94.92	50.16	0.513
58	96.61	50.90	0.683
59	98.31	49.77	0.576
60	100.00	48.50	0.521

**Subtramo 29: 02+800 – 02+900**

<b>Muestra</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>Aceleración vertical (m/s<sup>2</sup>)</b>
1	0.00	50.60	0.379
2	1.69	49.92	0.449
3	3.39	49.36	0.375
4	5.08	50.51	0.411
5	6.78	51.45	0.459
6	8.47	50.10	0.337
7	10.17	48.94	0.377
8	11.86	50.87	0.369
9	13.56	49.87	0.448
10	15.25	50.56	0.407
11	16.95	48.84	0.300
12	18.64	50.06	0.374
13	20.34	50.14	0.551
14	22.03	49.00	0.339
15	23.73	50.53	0.310
16	25.42	49.60	0.408
17	27.12	49.80	0.524
18	28.81	50.02	0.412
19	30.51	50.26	0.340
20	32.20	49.81	0.395
21	33.90	49.67	0.339
22	35.59	49.00	0.276
23	37.29	50.49	0.497
24	38.98	49.39	0.515
25	40.68	48.79	0.279
26	42.37	48.61	0.259
27	44.07	51.06	0.499
28	45.76	50.03	0.427
29	47.46	50.02	0.356
30	49.15	50.40	0.329
31	50.85	49.55	0.404
32	52.54	49.46	0.530
33	54.24	50.02	0.330
34	55.93	50.50	0.572
35	57.63	50.04	0.351
36	59.32	49.20	0.296
37	61.02	49.61	0.323
38	62.71	49.46	0.420
39	64.41	50.81	0.431
40	66.10	49.99	0.363
41	67.80	50.25	0.394
42	69.49	49.96	0.330
43	71.19	51.12	0.460
44	72.88	49.89	0.442
45	74.58	50.42	0.497
46	76.27	49.84	0.353
47	77.97	50.60	0.439
48	79.66	50.79	0.464
49	81.36	49.75	0.526
50	83.05	50.22	0.486
51	84.75	50.14	0.322
52	86.44	50.32	0.354
53	88.14	50.47	0.313
54	89.83	50.16	0.415
55	91.53	51.48	0.372
56	93.22	50.21	0.378

57	94.92	50.17	0.448
58	96.61	51.18	0.422
59	98.31	49.89	0.431
60	100.00	50.75	0.374

**Subtramo 30: 02+900 – 03+000**

Muestra	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Aceleración vertical (m/s <sup>2</sup> )
1	0.00	49.54	0.617
2	1.69	49.53	0.697
3	3.39	51.04	0.697
4	5.08	50.27	0.935
5	6.78	48.84	0.695
6	8.47	49.79	0.717
7	10.17	50.57	0.905
8	11.86	50.94	0.642
9	13.56	48.58	0.884
10	15.25	51.60	0.641
11	16.95	49.94	0.512
12	18.64	49.64	0.465
13	20.34	50.46	0.816
14	22.03	49.59	0.593
15	23.73	50.38	0.638
16	25.42	48.55	0.605
17	27.12	49.82	0.786
18	28.81	51.82	0.481
19	30.51	51.07	0.784
20	32.20	50.69	0.808
21	33.90	51.77	0.500
22	35.59	50.12	0.687
23	37.29	50.30	0.577
24	38.98	50.98	0.834
25	40.68	50.58	0.784
26	42.37	50.18	0.684
27	44.07	50.57	0.675
28	45.76	46.47	0.425
29	47.46	50.54	0.844
30	49.15	49.93	0.728
31	50.85	49.05	0.572
32	52.54	50.89	0.762
33	54.24	49.15	0.863
34	55.93	49.33	0.790
35	57.63	50.28	0.726
36	59.32	49.44	0.798
37	61.02	49.52	0.845
38	62.71	51.14	0.699
39	64.41	50.22	0.674
40	66.10	50.05	0.908
41	67.80	49.53	0.781
42	69.49	49.50	0.818
43	71.19	49.79	0.826
44	72.88	50.67	0.627
45	74.58	47.98	0.654
46	76.27	50.37	0.803
47	77.97	50.08	0.612
48	79.66	50.59	0.983
49	81.36	51.24	0.598
50	83.05	49.66	0.887

51	84.75	50.93	0.873
52	86.44	49.79	0.580
53	88.14	49.68	0.640
54	89.83	49.77	0.699
55	91.53	50.91	0.564
56	93.22	49.87	0.580
57	94.92	49.83	0.672
58	96.61	50.61	0.803
59	98.31	50.07	0.692
60	100.00	49.10	0.806

## ANEXO 5

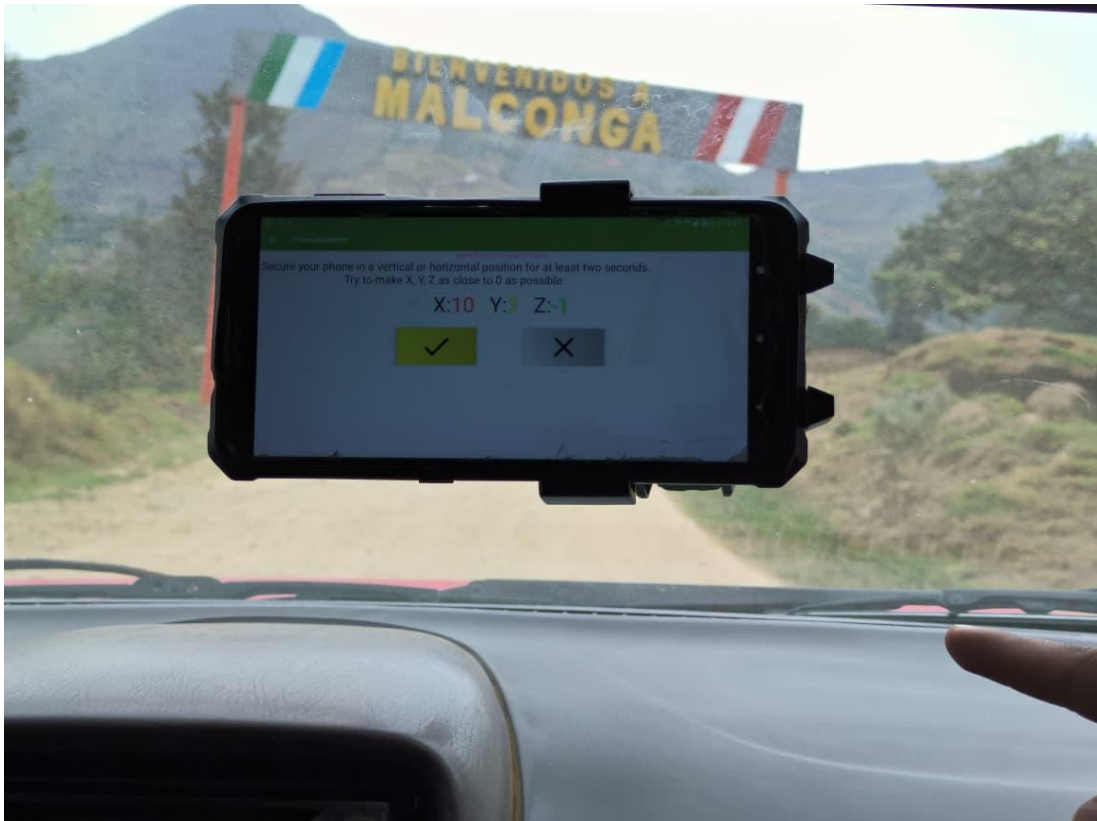
### PANEL FOTOGRÁFICO



Tesista en el inicio del tramo en estudio poblado de Malconga



Tesista preparando el equipo y el aplicativo para el registro de datos de la aceleración vertical (en el eje Z), la velocidad instantánea y el desplazamiento



Inicio del registro de los datos en el punto inicial del tramo en estudio, Subtramo 1. Progresiva 00+000 al 00+100



Lectura de los datos en le subtramo 2 progresiva 00+100 al 00+200



Registro de los datos en el subtramo 3 progresiva 00+200 al 00+300



Registro de los datos en el subtramo 4 progresiva 00+300 al 00+400



Tesista en el registro de los datos en el subtramo 5 progresiva 00+400 al 00+500



Tesista midiendo el IRI con el rugosímetro de la Rueda de Merlín, si bien es cierto no es un objetivo del estudio, se hizo solo con el propósito de la verificación de valores



Ídem la descripción de la imagen 8



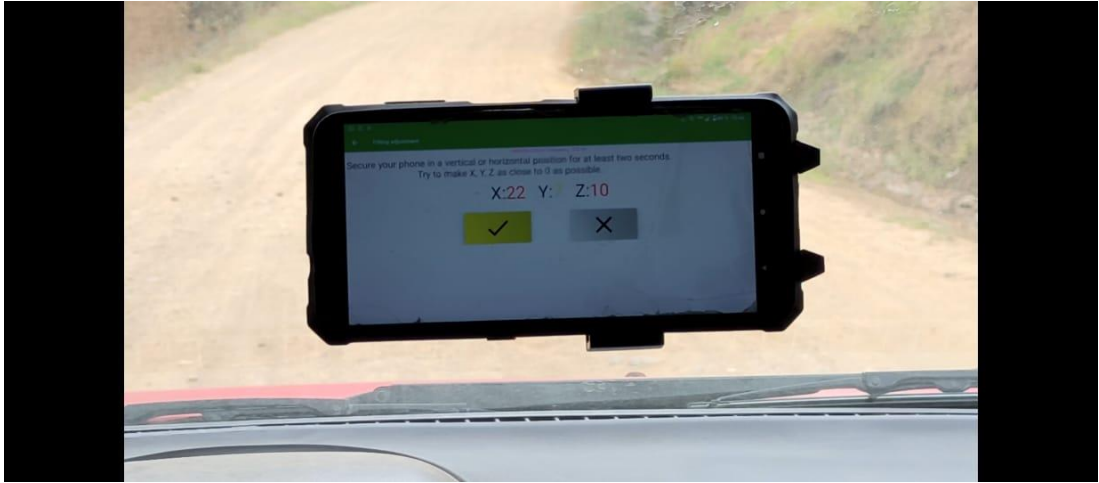
Registro de los datos en el subtramo 6 progresiva 00+500 al 00+600



Registro de los datos en el subtramo 7 progresiva 00+600 al 00+700



Tesista con el rugosímetro de la Rueda de Merlín registrando valores para la verificación de los valores del IRI



Registro de los datos en el subtramo 8 progresiva 00+700 al 00+800



Registro de los datos en el subtramo 9 progresiva 00+800 al 00+900



Tesista y su ayudante en trabajos de registro de la caracterización del ancho de la carretera en estudio



Registro de los datos en el subtramo 10 progresiva 00+900 al 01+000



Registro de los datos en el subtramo 11 progresiva 01+000 al 01+100



Registro de los datos en el subtramo 12 progresiva 01+100 al 01+200



Registro de los datos en el subtramo 13 progresiva 01+200 al 01+300



Registro de los datos en el subtramo 14 progresiva 01+300 al 01+400



Registro de los datos en el subtramo 15 progresiva 01+400 al 01+500



Registro de los datos en el subtramo 16 progresiva 01+500 al 01+600



Registro de los datos en el subtramo 17 progresiva 01+600 al 01+700



Registro de los datos en el subtramo 18 progresiva 01+700 al 01+800



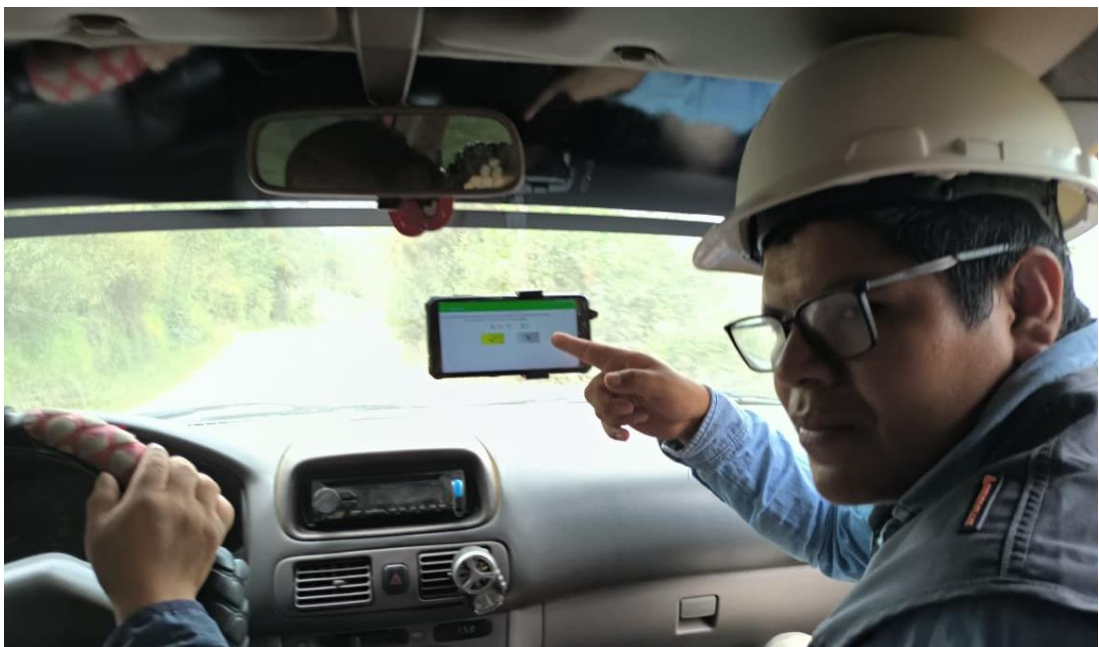
Registro de los datos en el subtramo 19 progresiva 01+800 al 01+900



Tesista haciendo las verificaciones en el subtramo 19 progresiva 01+800 al 01+900



Registro de los datos en el subtramo 20 progresiva 01+900 al 02+000



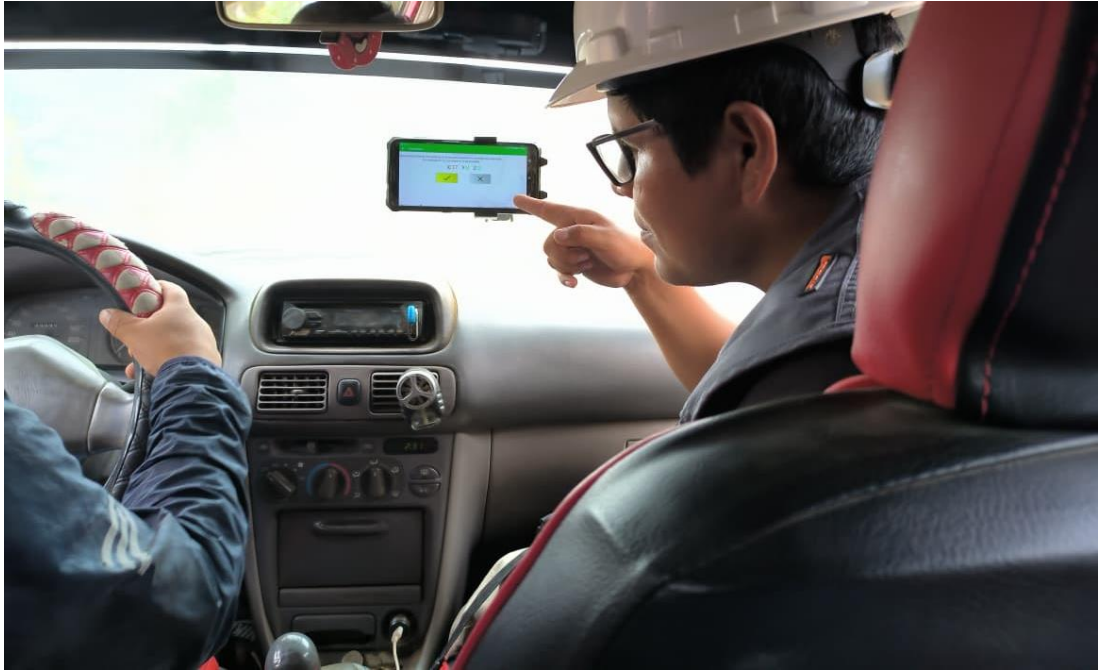
Registro de los datos en el subtramo 21 progresiva 02+000 al 02+100



Registro de los datos en el subtramo 22 progresiva 02+100 al 02+200



Registro de los datos en el subtramo 23 progresiva 02+200 al 02+300



Registro de los datos en el subtramo 24 progresiva 02+300 al 02+400



Registro de los datos en el subtramo 25 progresiva 02+400 al 02+500



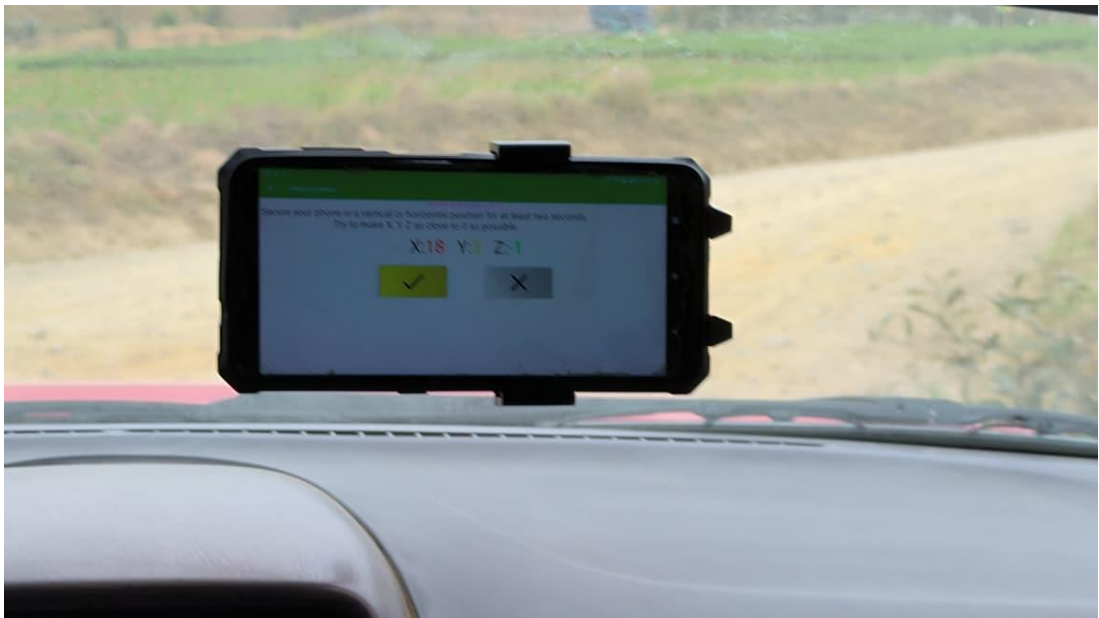
Registro de los datos en el subtramo 26 progresiva 02+500 al 02+600



Registro de los datos en el subtramo 27 progresiva 02+600 al 02+700



Registro de los datos en el subtramo 28 progresiva 02+700 al 02+800



Registro de los datos en el subtramo 29 progresiva 02+800 al 02+900



Tesista verificando los datos registrados en el subtramo 30 progresiva 02+900 al 03+000



**Imagen 38.** Tesista en el registro de datos en el centro poblado de San José de Paucar.

## ANEXO 6

### MAPA VIAL DEL DISTRITO DE AMARILIS

