

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LA GEOMETRÍA REFERIDA
A LOS CAMBIOS DE PENDIENTES SOBRE EL ÍNDICE DE
RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE LA RUTA NACIONAL
PE – 3S F, 2018**

TESIS

PRESENTADA POR:

WALTER DANIEL SANGA CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LA GEOMETRÍA REFERIDA A LOS
CAMBIOS DE PENDIENTES SOBRE EL ÍNDICE DE RUGOSIDAD
INTERNACIONAL DE LA RUTA NACIONAL PE – 3SF, 2018.

TESIS PRESENTADA POR:
WALTER DANIEL SANGA CONDORI
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL



APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE :
M.Sc. MARIANO ROBERTO GARCIA LOAYZA

PRIMER MIEMBRO :
Ing. RAÚL FERNANDO ECHEGARAY CHAMBI

SEGUNDO MIEMBRO :
M.C. GINO FRANK LAQUE CORDOVA

DIRECTOR DE TESIS :
Dr. SAMUEL HUAQUISTO CACERES

TEMA: Conservación y Mantenimiento Vial.

ÁREA : Transportes.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Transportes y Gestión Vial.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 14 DE AGOSTO DEL 2019

DEDICATORIA

Este Trabajo de Investigación está dedicado:

*A mis Padres Walther Isaac y Norma Leonor,
por ser los mejores padres que pude tener. Los Amo.*

*A mis Hermanos Paola Rafaela, Paulo Cesar y Joan Andre por ser un ejemplo en
muchas virtudes que ellos tienen y enseñarme a ser mejor persona solo con su
forma de ser cada uno de ellos. Les quiero harto hermanos.*

A todos mis Amigos y personas que siempre estuvieron ahí para darme la mano.

Atte. Daniel Sanga

AGRADECIMIENTO

Agradezco:

A DIOS por todo lo que tengo en esta vida, A mi Padre Walther Isaac y a mi Madre

Norma Leonor por la formación correcta que me dieron y por todo el apoyo

incondicional que siempre me brindaron para lograr todas mis metas,

jamás será suficiente agradecerles.

A todos los Ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad

Nacional del Altiplano que me enseñaron con sus conocimientos

lo duro y hermoso de esta profesión.

A mi tío Alfredo Condori Montesinos por apoyarme siempre que lo necesito. Gracias

Atte. Daniel Sanga

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
CAPITULO I.....	14
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1. Problema General:.....	14
1.2.2. Problemas Específicos:	14
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.3.1. Hipótesis General:.....	15
1.3.2. Hipótesis Específicas:	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	15
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.5.1. Objetivo General:	16
1.5.2. Objetivos Específicos:.....	16
CAPITULO II	17
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.1. ANTECEDENTES.....	17
2.2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA DEL PROYECTO SOBRE EL IRI	22
2.2.1. Definición de Términos:	22
2.2.2. Precisiones sobre la Medición del IRI:	23
2.2.3. Consideraciones Importantes que Influyen en el IRI:	24
2.3. CONCEPTOS BÁSICOS DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL	25
2.3.1. Definición de Rugosidad:.....	25
2.3.2. Antecedentes:	26

2.3.3 Definición de IRI:	27
2.3.4. Valores del IRI Admisibles según el EG-2013 y los TdR.:	27
2.3.5. Modelo de Cuarto de Carro:.....	28
2.3.6. Formulación Matemática:	30
2.3.7. Clasificación de Equipos según el Banco Mundial:.....	30
2.3.8. Equipos para la Medición del IRI:	31
2.4. INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA DE LA VÍA EN EL VALOR DEL IRI	33
CAPITULO III.....	35
3. MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1. ENSAYO DE MEDICIÓN DEL IRI EN LA RUTA NACIONAL PE – 3S F.....	35
3.1.1. Descripción General:.....	35
3.1.2. Clasificación del Corredor Vial:	39
3.1.3. Evaluación Visual del Pavimento:	41
3.1.4. Tramos Analizados para la Medición del IRI:	44
3.1.5. Consideraciones Generales del Ensayo:.....	45
3.1.6. Singularidades y Eventos.	48
3.2. MEDICIÓN DEL IRI CON EL EQUIPO ROUGHOMETER III (ARRB).....	52
3.2.1. Introducción:	52
3.2.2. Sistema de Medición:.....	52
3.2.3. Resultado de la Medición de Rugosidad:.....	53
3.3. MEDICIÓN DE IRI CON EL EQUIPO RUGOSÍMETRO MERLÍN.	54
3.3.1. Introducción:	54
3.3.2. Esquema y Componentes del Equipo Merlín:.....	56
3.3.3. Diagrama de Flujo y Determinación del IRI con el Equipo Merlín:.....	57
3.3.4. Cálculo de IRI con el Equipo Merlín:	57
3.4. PERFIL LONGITUDINAL.	61
3.4.1. Variación de Pendiente:	61
3.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	62
3.5.1. Metodología de Investigación:.....	62

3.5.2. Tipo de Investigación:.....	62
3.5.3. Nivel de Investigación:	62
3.5.4. Diseño de la Investigación:	63
3.5.5. Población y Muestra:.....	63
3.5.6. Variables de la Investigación:	64
CAPITULO IV	65
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
4.1. VALORES DEL IRI CARACTERÍSTICO EN LA RUTA NACIONAL PE-3SF.	65
4.1.1. Contraste de la Medición del IRI con el “Roughometer III” y el “Rugosímetro Merlín”: 66	
4.2. VARIACIÓN DE PENDIENTES EN LA RUTA NACIONAL PE-3SF	68
4.3. CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIACIONES DE PENDIENTE Y LOS VALORES DE IRI.	69
4.3.1. Análisis de Regresión Lineal:	73
4.3.2. Factor de Corrección para IRI Característico:.....	74
4.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	75
4.4.1. Coeficiente de Correlación:.....	75
4.4.2. Planteamiento de la Hipótesis:	75
4.4.2.1. Método 1: El Estadístico de prueba es “t” de Student.	76
4.4.2.2. Método 2: El Estadístico de prueba es “r” de Pearson.....	77
4.5. GRÁFICAS DE PERFIL, VARIACIÓN DE PENDIENTE, VALORES DE IRI.....	77
4.6. RESUMEN DE LOS VALORES DEL IRI DE LA RUTA NACIONAL PE-3S F.....	78
CAPITULO V	80
5. CONCLUSIONES	80
CAPITULO VI.....	82
6. RECOMENDACIONES	82
CAPITULO VII	83
7. REFERENCIAS.....	83
ANEXOS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Rugosidad en la Superficie de Rodadura.....	26
Figura 2: Modelo de cuarto de carro	29
Figura 3: Valores del modelo para la obtención del IRI.	29
Figura 4: Vista general del Tramo II Chinchaypujio Km 35+260 – Cotabambas Km 103+720	36
Figura 5: Curvas de Volteo en una sola Ladera en vista de Perfil.	38
Figura 6: Curvas de Volteo en una sola Ladera en vista en Planta.	38
Figura 7: Clasificación por Orografía.	40
Figura 8: Tramo I - EMP 3S (Mollepuquio) – Chinchaypujio.....	41
Figura 9: Tramo I - EMP 3S (Mollepuquio) – Chinchaypujio.....	41
Figura 10: Tramo II - Chinchaypujio - Cotabambas.....	42
Figura 11: Tramo II - Chinchaypujio - Cotabambas.....	42
Figura 12: Tramo III - Cotabambas – Pte. Ichuray.	43
Figura 13: Tramo III - Cotabambas – Pte. Ichuray.	43
Figura 14: Tramos analizados I, II Y III.	44
Figura 15: Modelo de montaje.....	46
Figura 16: Componentes del Equipo.....	47
Figura 17: Montaje del equipo	48
Figura 18: Clases de puntos críticos.....	51
Figura 19: Sistema de Medición de IRI,	53
Figura 20: Equipo “Rugosímetro Merlín”.....	55
Figura 21: Esquema y componentes del equipo Merlín.....	56
Figura 22: Diagrama de flujo del cálculo con el Equipo Merlín.....	57
Figura 23: Recolección de Datos en Campo	58
Figura 24: Datos tomados en campo.....	59
Figura 25: Histograma de frecuencias.....	59
Figura 26: Análisis de variación de pendiente	61
Figura 27: Diagrama de Caja de los Valores	66

Figura 28: Comparación de Resultados “Roughometer III” & “Rugosímetro Merlin”	67
Figura 29: Diagrama de Caja de los Valores de la.....	69
Figura 30: Interpretación del perfil.	70
Figura 31: Correlación entre las variaciones de pendiente (%) y la rugosidad (IRI).	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores del IRI Admisibles.....	28
Tabla 2: Equipos para la medición del IRI	32
Tabla 3: Tramos del Proyecto.	35
Tabla 4: Radios de Curvas del sector de las 24 curvas.	37
Tabla 5: Clasificación por Orografía.	40
Tabla 6: Tramos Analizados	44
Tabla 7: Sectores analizados del tramo III.....	45
Tabla 8: Resumen estadístico de IRI.....	53
Tabla 9: Resumen estadístico de IRI.....	54
Tabla 10: Resumen estadístico de IRI.....	54
Tabla 11: Sectores a evaluar con el Equipo Merlín.	57
Tabla 12: Valores promedio cada 200 m del IRI	65
Tabla 13: Resultados de la medición con “Roughometer III”	67
Tabla 14: Valores promedio cada 200 m de la Variación de	68
Tabla 15: Datos para la correlación entre el promedio de cambios de Pendiente.....	71
Tabla 16: IRI de campo.....	74
Tabla 17: Resumen de valores del IRI Tramo I: Dv. Inquilpata – Chinchaypujio.	78
Tabla 18: Resumen de valores del IRI tramo II: Chinchaypujio – Cotabambas.....	78
Tabla 19: Resumen de valores del IRI tramo II: Cotabambas – Pte. Ichuray.	79

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AF: Afirmado

B: Badén

BMP: Borde de Micropavimento

BO: Botadero

C: Curva

CA: Cruce de Agua

CAN: Cruce de Animales

CP-G: Cambio de Pendiente – Geometría

CPO: Centro Poblado

CV: Cruce de Vehículos

FC: Fuera de Calzada

FMP: Fin de Micropavimento

GI: Giba

IT: Inicio de Tramo

MDC: Material de Derrumbe en Calzada

MSC: Material Suelto en Calzada

P: Puente

PN: Pontón

PV: Piedras en la Vía

SMP: Sin Micropavimento

TFB: Terreno de Fundación con Baja Capacidad Portante

TL: Transito Lento

TS: Tramo Sinuoso

ZDP: Zona de Derrumbe Permanente

ZT: Zona de Trabajo

ZU: Zona Urbana

RESUMEN

Actualmente la “Rugosidad” es el principal parámetro que cuantifica la irregularidad de la superficie de un pavimento, se expresa mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Es así que en el presente proyecto de tesis obtuvimos datos de la medición del IRI de la ruta nacional PE-3SF: Carretera EMP. PE-3S–Mollepuquio-Chinchaypujio–Cotabambas–Tambobamba–Challhuahuacho por su geometría sinuosa y accidentada, en donde se analizó los cambios de pendientes existentes en sectores consecutivos de 10 m y la incidencia de los valores obtenidos de la medición del IRI cada 20 m de un Muestreo por Cuotas que representa a la carretera para un análisis total de toda la vía . Los resultados fueron: el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) presentó un valor mínimo de 2.07 m/km que va desde la progresiva 54+400 @ 54+600 (D3-Tangente) y máximo de 5.42 m/km que corresponde al sector de la progresiva 69+720 @ 69+920 (D16-Curva), la media fue de 3.51 m/km y una amplitud de 3.35 m/km para esta ruta. La variación de pendiente promedio (%) presentó un valor mínimo de 0.37% que va desde la progresiva 53+140 @ 53+340 (D1 –Tangente) y máximo de 1.64% que corresponde al sector que va desde la progresiva 69+720 @ 69+920 (D16-Curva), la media fue de 1.04% y una amplitud de 1.27% para esta ruta. Se concluye que la correlación lineal fue de $R^2=0.772$, que indica que los valores del índice de rugosidad (IRI) son explicados por la variación de la pendiente en un 77.2%, el cambio de pendiente de 0.83% corresponde un IRI de 3.00m/km, el modelo lineal que explica la relación es $IRI (m/km) = 1.43 + 1.99 * \text{Variación de Pendiente } (\%)$, verificando que los cambios abruptos del perfil cuantificados en términos de pendiente inciden notablemente en los valores del IRI. Estos cambios se identifican en curvas verticales de longitudes cortas, curvas de volteo con radios menores a 15m (curvas en “U”) en laderas.

Palabras Clave: IRI, pendiente, incidencia, correlación.

ABSTRACT

Currently "Roughness" is the main parameter that quantifies the irregularity of the surface of a pavement, it is expressed through the International Roughness Index (IRI). Thus, in this thesis project we obtained data on the IRI measurement of the national route PE-3SF: EMP Road. PE - 3S – Mollepuquio – Chinchaypujio – Cotabambas – Tambobamba - Challhuahuacho for its sinuous and rugged geometry, where the changes of existing slopes in consecutive sectors of 10 m and the incidence of the values obtained from the IRI measurement every 20 m of A Quota Sampling that represents the road for a total analysis of the entire road. The results were: the International Roughness Index (IRI) presented a minimum value of 2.07 m / km that goes from the progressive 54 + 400 @ 54 + 600 (D3-Tangent) and maximum of 5.42 m / km that corresponds to the sector of the progressive 69 + 720 @ 69 + 920 (D16-Curva), the average was 3.51 m / km and an amplitude of 3.35 m / km for this route. The variation of average slope (%) presented a minimum value of 0.37% ranging from the progressive 53 + 140 @ 53 + 340 (D1 - Tangent) and maximum of 1.64% corresponding to the sector that goes from the progressive 69 + 720 @ 69 + 920 (D16-Curve), the average was 1.04% and an amplitude of 1.27% for this route. It is concluded that the linear correlation was $R^2 = 0.772$, which indicates that the values of the roughness index (IRI) are explained by the variation of the slope in 77.2%, the change in slope of 0.83% corresponds to an IRI of 3.00m / km, the linear model that explains the relationship is $IRI (m / km) = 1.43 + 1.99 * \text{Variation of Slope } (\%)$, verifying that the abrupt changes of the profile quantified in terms of slope have a marked effect on the IRI values. These changes are identified in vertical curves of short lengths, turning curves with radii less than 15m (curves in "U") on slopes.

Keywords: IRI, slope, incidence, correlation.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La topografía existente en zonas de pendientes pronunciadas y geometría restringida proyecta un diseño geométrico con cambios significativos de la cota vertical en una distancia horizontal restringida de una vía. Estas condiciones geométricas presentan cambios abruptos de perfil y se manifiestan en valores de IRI típicamente altos, independientemente de la condición del pavimento o técnica constructiva de la plataforma, estos valores altos no cumplen con los Niveles de Servicio exigidos para el caso de esta carretera y generan penalidades y sanciones a la entidad encargada del cumplimiento de los mismos, es de ahí que nace la inquietud de buscar explicar el porqué de estos valores si la superficie de la carretera se encuentra en buen estado.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General:

¿Cuál es la incidencia de los fuertes cambios de pendiente que presenta la Ruta Nacional PE-3SF en los Valores altos del Índice de Rugosidad Internacional?

1.2.2. Problemas Específicos:

1. ¿Cómo obtener el Índice de Rugosidad Internacional en la Ruta Nacional PE – 3S F?
2. ¿Cómo Analizamos y seleccionamos tramos con fuertes cambios de pendientes de la Ruta Nacional PE – 3SF?

3. ¿Cómo plantear la explicación a los valores altos de la medición del IRI respecto a la incidencia que tiene los fuertes cambios de pendientes sobre este?

1.3.HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis General:

Si se Analiza la Incidencia que tienen los cambios bruscos de pendientes en la medición del Índice de Rugosidad Internacional, podremos establecer una correlación entre ambas variables, y determinar que los cambios bruscos de pendientes incrementan los valores del IRI, y así se podrá justificar estos valores altos.

1.3.2. Hipótesis Específicas:

1. Si se realiza el ensayo de medición del Índice de Rugosidad Internacional en la Ruta Nacional PE – 3S F, podremos conocer estos valores y podrán ser analizados.
2. Si se establece y determina sectores con fuertes cambios de pendientes se podrá analizar dichos sectores para valores de medición del IRI.
3. Si se establece una correlación entre valores del IRI y los Cambios de Pendiente de la Ruta Nacional PE-3SF, se conocerá el comportamiento de una variable respecto a la otra.

1.4.JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La topografía existente en zonas de pendientes pronunciadas y geometría restringida se representa en un perfil geométrico longitudinal irregular y de alineamiento horizontal sinuoso, con presencia de curvas horizontales de volteo con un desarrollo geométrico que permite un cambio significativo de la cota vertical en una distancia horizontal corta, estas condiciones geométricas presentan cambios abruptos de perfil y se manifiestan en valores de IRI altos, como vemos la problemática de la determinación del IRI en caminos de geometría accidentada es un problema ya que estos

nos dan valores altos que no satisfacen las exigencias de los Niveles de Servicio establecidos en los Términos de Referencia del proyecto de esta carretera, planteando así la justificación de dichos valores.

1.5.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo General:

Analizar la incidencia de la geometría de la vía en lo referido a los cambios de pendientes sobre el Índice de Rugosidad Internacional.

1.5.2. Objetivos Específicos:

1. Determinar los valores del IRI característico cada 20 metros de la Ruta Nacional PE-3S F.
2. Establecer y determinar sectores con fuertes cambios de pendiente en la Ruta Nacional PE-3SF.
3. Establecer una Correlación entre los valores del IRI y los Cambios de Pendiente en la Ruta Nacional PE-3SF.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

- ✓ Almanza Mendoza, D. (2014). En su tesis “Evaluación de modelo “QUARTER CAR” PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD (IRI) DEL TRAMO HUANCAVELICA - SANTA INÉS”. UNAP. Plantea el Problema:

En la actualidad la evaluación de la rugosidad de los pavimentos es de suma importancia para la toma de decisiones en lo referente a la conservación, mantenimiento y/o rehabilitación de las redes viales del Perú, en este sentido los equipos de medición con sistemas de tipo respuesta (Clase 3) proporcionan un buen coeficiente de medida de la regularidad superficial, la diversidad de modelos y modos de aplicación que existen en la actualidad y sus características mecánicas variables con el tiempo, complican su aplicación como sistemas de referencia de la regularidad superficial y a su vez esto nos lleva a la Pregunta: ¿los resultados obtenidos en la medición del IRI con equipos de tipo respuesta son confiables?.

Y también siendo su Objetivo General: “Analizar, Evaluar y Correlacionar los resultados del Equipo ROUGHOMETER III en la estimación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la carretera Huancavelica – Santa Inés., con respecto al resultado obtenido con el equipo” y uno de sus Objetivos Específicos: “Determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la carretera Huancavelica – Santa Inés usando un equipo de Tipo Respuesta (ROUGHOMETER III)”

Concluye lo siguiente:

- El Roughometer III, es un equipo de la clase 3, de tipo respuesta lo cual indica que los resultados obtenidos son de forma indirecta, mediante sensores que miden

los desplazamientos verticales de la masa suspendida y no suspendida del vehículo.

- El Roughometer III como todos los equipos de tipo respuesta poseen su gran ventaja en el rendimiento del equipo y son ideales para la evaluación de grandes distancias de carretera.

Comentario: Este trabajo de investigación resalta la medición del Índice de Rugosidad Internacional con el Equipo “Roughometer III”, el cual es el Equipo con el que se realizó la medición de IRI en el presente trabajo de investigación, siendo nuestro primer objetivo determinar el IRI en la Ruta Nacional PE – 3S F y también contrastar resultados con el Equipo Merlín.

En el Congreso Ibero - Latinoamericano del Asfalto, Medellín Colombia 2017, se abordaron diversos temas asociados a la geometría de las vías y su relación con el IRI, en el presente ITEM resumimos el resultado de cada investigación así como mencionamos el tema y las conclusiones más resaltantes que sustentan el presente proyecto de tesis para el caso particular de la ruta nacional PE – 3S F.

- ✓ Chang, Marcobal, Tapia, Escamilla & Valdez (2017), en su ponencia de investigación “NIVELES DE SERVICIO BASADOS EN EL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)”

Presentado en el congreso Ibero – Latinoamericano, Medellín Colombia 2017, plantea que: “Entre los diferentes factores que influyen en el IRI, el trazo vial ha sido el menos estudiado a pesar de su influencia en los resultados de las mediciones. Este trabajo presenta una reseña de los principales parámetros que afectan el IRI con énfasis en las condiciones del trazo geométrico en perfil y planta”

Consideran que las ondas que tienen mayor influencia en el IRI son las que se encuentran en el rango de 1.20 a 30m y pueden corresponder a depresiones, fallas, hundimientos, ondulaciones, curvas verticales u otros.

Asimismo indican que Las características geométricas de la carretera pueden influir en el IRI dependiendo del trazo geométrico en perfil y planta. Este IRI inicial es influenciado por el número de curvas consecutivas con radio reducido y distancias cortas de transición en el desarrollo de los peraltes.

Adicionalmente, mencionan que en el caso específico de las carreteras transversales, donde el trazado está típicamente compuesto por una sucesión de curvas, es necesario que el análisis del IRI considere el cambio de cotas que se presenta en los segmentos con curvas. Las curvas horizontales pueden tener una influencia significativa en el valor del IRI, especialmente en carreteras de montaña, debido a que el trazado de éstas normalmente presenta curvas horizontales sucesivas de radios reducidos y distancias cortas para el desarrollo de los peraltes.

Concluyen textualmente lo siguiente:

- El IRI es una característica propia del Perfil Longitudinal y las características del diseño del trazo vial en alzado y en planta pueden influir en los valores reportados en las mediciones realizadas en campo. En carreteras de trazo vial sinuoso, como por ejemplo las carreteras de montaña, con curvas horizontales consecutivas de radio reducido y distancias cortas en el desarrollo de los peraltes, se observa una mayor influencia en los valores de IRI.
- Sectores con presencia de curvas que tienen intervalos con longitudes menores al estándar (100 o 200m) afectan también al cálculo del IRI.
- El IRI usualmente tiende a incrementarse en secciones con curvas horizontales debido al cambio de peralte, mientras que en los tramos con peralte uniforme el

IRI es menor. Esta situación se explica por la existencia de cuatro cambios de pendiente claramente identificables (Al inicio de la transición, punto donde se alcanza el peralte máximo, en el punto donde comienza la transición del peralte máximo, el punto donde alcanza nuevamente el bombeo natural de la Pista).

Asimismo los autores recomiendan incluir como singularidades, “aquellos sectores en que la influencia de las características geométricas del trazo vial en el IRI es relevante, los cuales requieren de un análisis más detallado. En las normas internacionales, como es el caso en los Estados Unidos, las singularidades son excluidas del análisis estadístico para verificar si los niveles de servicio son satisfactorios. En estas circunstancias, otros parámetros de control de calidad del servicio son más relevantes; como las fallas observadas en el pavimento y las mediciones de fricción.

- ✓ Marcobal, Díaz, Márquez & Saldaña (2017), en su trabajo de investigación “EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD (IRI) EN CAMINOS PAVIMENTADOS DE GEOMETRÍA RESTRINGIDA: CÁLCULO DEL IRI GEOMÉTRICO – CASO DE APLICACIÓN”

Presentado en el Congreso Ibero – Latinoamericano del Asfalto por los autores antes descritos resumen que realizan un estudio de un caso práctico para una vía en Colombia que se desarrolla atravesando zonas de cordillera, caracterizadas por una fuerte topografía que se traduce en un perfil longitudinal irregular con curvas sucesivas de radios reducidos, pendientes pronunciadas y cortas distancias para el desarrollo de peraltes. También mencionan que las condiciones geométricas se manifiestan en los valores de IRI típicamente altos, independientemente de la condición del pavimento o técnica constructiva de la plataforma, definiendo sectores singulares que tendrán valores elevados de IRI debido solamente al diseño geométrico.

Los autores concluyen:

- Que la problemática existente para la evaluación del IRI en caminos de geometría restringida, la obtención de valores más altos de los esperados, se debe a que en el cálculo del IRI, el modelo de “Cuarto de Carro” se ve enfrentado a un perfil longitudinal con cambios bruscos de pendiente, debido principalmente al desarrollo de peraltes del alineamiento horizontal y en menor medida a la curva vertical de la vía, originando cambios en la cota de la huella de circulación, y por lo tanto, provocando vibraciones en el modelo del IRI.

Mencionan también que en Colombia el indicador principal de la rugosidad es el IRI y que aún no se ha establecido una diferenciación que permita tomar en consideración aquellos tramos singulares, que debido a su geometría, presentan valores intrínsecos altos.

- ✓ Puentes, Gabrielli & López (2017), en su trabajo de investigación “GEOMETRÍA DEL CAMINO Y SU INFLUENCIA EN EL IRI” desarrollado por los autores presentados en el Congreso Ibero – Latinoamericano del Asfalto.

Su objetivo fue demostrar que: Dadas las características geométricas de un camino de montaña en Colombia, no es posible cumplir con las exigencias de IRI requeridos durante la puesta a punto y durante la puesta en servicio. En el mismo demuestran que para tener un IRI teórico razonable es necesario modificar el trazado tanto en planta como en perfil en curvas verticales y horizontales.

También mencionan lo siguiente:

La situación que se produce al pasar de una curva a una contra curva sin transición en recta produce el efecto más adverso desde el punto de vista del IRI teórico, ya que en pocos metros (zona de transición) el valor del peralte cambia drásticamente.

La rasante del proyecto influye en el IRI teórico a través del bombeo, peralte, pendiente longitudinal, longitud en que se desarrolla el peralte máximo y la longitud de transiciones de bombeo y/o peralte, mencionan además que para tener un IRI teórico razonable es imperiosamente necesario modificar el trazado geométrico tanto en planta como en perfil.

El estudio en mención fue realizado para un proyecto vial con un perfil definido (perfil teórico) que no necesariamente es el perfil real, debido a que el primero es influenciado por el proceso constructivo.

- ✓ Montoya G. (2013), en sus tesis de Maestría “ANÁLISIS DEL IRI PARA UN PROYECTO DE CARRETERA SINUOSA CONCESIONADA EN EL PERÚ”

Afirma que para las zonas de trazo sinuoso los valores de rugosidad obtenidos no van a ser similares a los obtenidos en zonas llanas y no sinuosas. Asimismo menciona que el conocer la verdadera relación entre los valores de IRI de diseño y la geometría de la vía, nos ayudará a mejorar la lógica en el establecimiento de las exigencias técnicas en los términos de referencia de futuras concesiones viales y expedientes técnicos para caminos nuevos pavimentados.

2.2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA DEL PROYECTO SOBRE EL IRI

2.2.1. Definición de Términos:

- **Denominación del Proyecto:** Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial: “EMP. PE-3S (Mollepuquio) – Chinchaypujio – Cotabambas – Tambobamba – Challhuahuacho”.
- **Términos de Referencia (TdR):** Es el documento que contiene los lineamientos generales, las especificaciones técnicas, los objetivos, alcances, enfoque, metodología, actividades a realizar, estructura entre otros aspectos del contrato a

realizarse por el CONTRATANTE y el CONTRATISTA CONSERVADOR para la elaboración y presentación de una actividad, obra o proyecto. El TdR para este proyecto fue emitido y elaborado por el Área Técnica del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y será aprobado por la Oficina de Programación e Inversión – OPI del mismo.

El objetivo específico de los Términos de Referencia de este proyecto es describir el objeto y alcances del Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio cuya contratación ha sido programada por el CONTRATANTE y será ejecutado por el CONTRATISTA CONSERVADOR.

2.2.2. Precisiones sobre la Medición del IRI:

Capítulo VII (7.11.2), de los términos de referencia del proyecto indica:

“- Precisiones sobre la medición de IRIc en las evaluaciones programadas.- La medición de IRI se realizará de acuerdo a las consideraciones del Manual de Carreteras - Mantenimiento o Conservación Vial, obteniendo el IRI característico, de acuerdo al grado de confiabilidad determinado por el IMD del tramo evaluado.

Las mediciones se deben realizar sin tener en consideración las alteraciones que produzcan las gibas, pontones, puentes, badenes y puntos críticos u otro elemento ajeno a la superficie de rodadura.”

“Esta medición se realizará con un equipo Clase III, como el Rugosímetro electrónico (equipo que incluya un sensor de rugosidad [acelerómetro], GPS y DMI) u otro equipo de mayor performance (Perfilómetro láser) que debe ser provisto por el CONTRATISTA CONSERVADOR en todo momento”

“Este Rugosímetro electrónico debe estar acoplado en un vehículo en buenas condiciones de funcionamiento y suspensión, con no más de 15,000 Km. de recorrido, ni una antigüedad mayor de 2 años.”

Comentario: Las especificaciones del Manual de Conservación Vial para calcular el IRI característico con un factor de 0.524 para una confiabilidad del 70%, están referidas a las Carreteras de tercera clase con anchos mínimos de 3.0m excepcionalmente de 2.5m por carril, sin embargo las características actuales de la vía se asemejan a una vía de clase inferior (Trocha carrozable IMDA < 200veh/día) con anchos menores a 4.00m (menores al mínimo) con mejoramiento superficial sin las características geométricas de una carretera.

2.2.3. Consideraciones Importantes que Influyen en el IRI:

En los siguientes párrafos extraídos de los Términos de Referencia y documentos técnicos mencionan lo siguiente:

a. Capítulo II(2.3)(2)(a), de los términos de referencia del proyecto indica:

“Para el caso de mejoramiento puntuales, los parámetros de diseño geométrico (alineamiento horizontal y vertical, radios mínimos de curvas horizontales, ancho de calzada y de bermas, sobre anchos, bombeo, peraltes, pendiente longitudinal máxima y mínima, longitudes de curvas verticales, obras de arte y drenaje, señalización, etc.) tendrán en cuenta los criterios básicos de ingeniería y estándares de diseño requeridos según el manual de diseño de carreteras de bajo volumen de tráfico y criterios básicos de ingeniería”

b. Capítulo II(2.3)(2)(e), de los términos de referencia del proyecto indica:

“En general se tratará de utilizar la geometría y plataforma existentes; sin embargo, se intervendrá las mejoras geométricas puntuales según la evaluación realizada,

con la finalidad de incluir zonas de ensanche para la circulación vial, y otras que sean requeridas por seguridad vial. Para las mejoras geométricas puntuales se indicarán los puntos del eje, y las secciones transversales distanciadas cada 20 metros en tangente y 10 metros en curvas, identificándolos mediante la progresiva correspondiente”

2.3. CONCEPTOS BÁSICOS DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL

¿Cómo caracterizamos una superficie y como la cuantificamos? Es una pregunta interesante que se formuló para cumplir con las exigencias de los usuarios de las vías respecto a la evaluación funcional de los pavimentos, partiendo de esa idea podemos preguntarnos ¿Cómo influye la geometría referida a los cambios de pendientes en carreteras con geometría accidentada y con fuertes cambios de pendiente en la medición del IRIc que es un indicador en la evaluación funcional de un pavimentos?

Bien entonces, esa será la pregunta que trataremos de resolver y explicar en esta Tesis de Investigación.

2.3.1. Definición de Rugosidad:

En mecánica la rugosidad es el conjunto de irregularidades que posee una superficie o se presentan en la superficie de rodadura.

La norma E 867 de la ASTM (American Society of Testing and Materials), define la rugosidad como las desviaciones entre una superficie de pavimento y una superficie plana con dimensiones características que afecten la dinámica del vehículo, calidad en el desplazamiento, cargas dinámicas y drenaje, tal como, perfil longitudinal y perfil transversal.

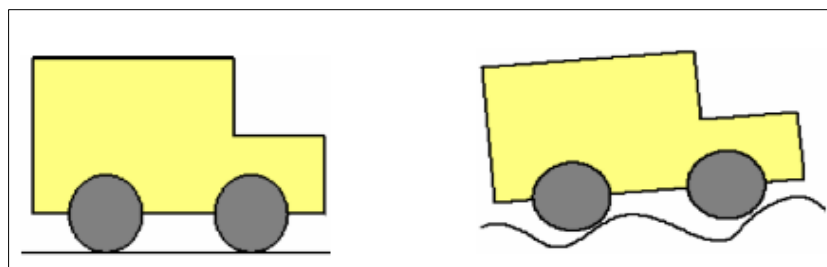


Figura 1: Rugosidad en la Superficie de Rodadura

2.3.2. Antecedentes:

Los antecedentes se remontan a la década de los 70's cuando El Banco Mundial patrocinó algunos programas de investigación para analizar algunas decisiones que debían adoptar los países desarrollados: ¿deberían los gobiernos prestar dinero para construir carreteras de calidad con altos costos o deberían ahorrar dinero con vías de menor calidad y más baratas? La rugosidad de las vías fue identificada con el factor más importante en cuanto a la calidad y el costo. El estudio encontró que los datos de rugosidad medidos en diferentes partes del mundo eran diferentes y no comparables debido a que los métodos utilizados no eran estables en el tiempo (Sayers et al. 1986a).

El IRRE (International Road Roughness Experiment) se celebró en Brasil en 1982, con la participación de distintos equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica.

- ✓ En dicho congreso se propuso un programa computacional para obtener un parámetro llamado IRI que se creó con el fin de estandarizar el valor de la Regularidad Superficial.
- ✓ El Banco Mundial propuso el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) que se basa en un modelo matemático denominado “cuarto de carro normalizado” (Golden Quarter Car) circulando a 80 Km/h.
- ✓ Importancia en términos:
 - Económicos (caminos más duraderos).

- Sociales (mayor confort, reducción tiempo viaje).
- Técnicos (Menor desgaste de vehículos).

2.3.3 Definición de IRI:

El IRI es una escala de la regularidad superficial de una vía, propuesta por el Banco Mundial como estadística estándar de la rugosidad que determina la influencia del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura, se expresa en metros por kilómetros (Sayers y Karamihas, 1996).

El índice de regularidad internacional (IRI) (en inglés International Roughness Index) es un parámetro que se utiliza en superficies de rodadura, para determinar su regularidad y la comodidad en la conducción.

Inicialmente, el IRI se calculaba para ambas huellas, pero en 1986 se hizo el cambio para que se midiera independientemente en cada huella. En la norma ASTM E 1926-98 “Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements”, se considera que promediar los IRI de cada huella, es una mejor medida de la regularidad superficial de la carretera. (Gutiérrez, 2004).

2.3.4. Valores del IRI Admisibles según el EG-2013 y los TdR.:

En la siguiente Tabla se muestra el IRI aceptable por la “EG – 2013” y el pactado establecidos por tipo de Pavimento, como el tipo pavimento es MICROPAVIMENTO vemos los valores admisibles en la Tabla

Tabla 1: Valores del IRI Admisibles
Según el EG-2013 y los TdR

Pavimento Flexibles	IRI Aceptable	
	EG - 2013	TdR
Tratamientos Superficiales	≤ 2.5 m/km	
Morteros Asfálticos	≤ 2.5 m/km	
Micropavimentos	≤ 2.5 m/km	≤ 3.0 m/km

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

La EG-2013, también indica que se entenderá que la superficie del pavimento tiene una rugosidad aceptable, si el promedio por km o fracción tienen un valor de IRI igual o inferior a 2,5 m/km, salvo que la especificación particular establezca un límite diferente. (EG – 2013).

Es por lo anterior que en el caso de este contrato se pactó como IRI = 3.0 m/km aceptable en los Niveles de Servicio y está escrito en los TdR del contrato del Servicio.

2.3.5. Modelo de Cuarto de Carro:

El cálculo del índice de rugosidad internacional IRI está basado en el comportamiento del modelo matemático “Quarter Car”, que simula la función y las masas de la cuarta parte de un vehículo que circula por la vía a una velocidad promedio de 80 Km/h, la acumulación de los desplazamientos de vertical de la masas dividido entre la distancia recorrida, da como resultado el IRI en dimensiones de pendiente. (m/Km). (Almanza Mendoza, 2014)

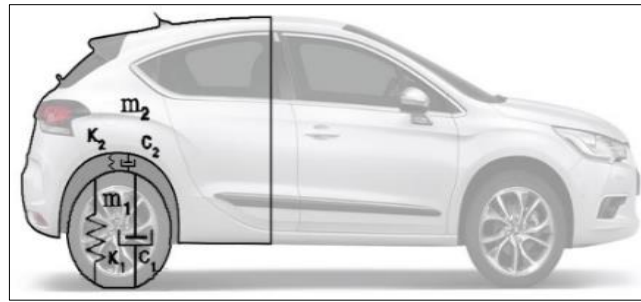


Figura 2: Modelo de cuarto de carro

M_2 = Masa del vehículo

K_2 = Resorte de la masa del vehículo

C_2 = Amortiguador

M_1 = Masa Asociada a la suspensión

K_1 = Resorte asociado a la llanta

C_1 = amortiguación rueda

Dicho Índice se obtiene a partir de la acumulación del desplazamiento relativo entre las masas de la carrocería y la suspensión del modelo, cuando el vehículo circula por el perfil del camino en estudio.

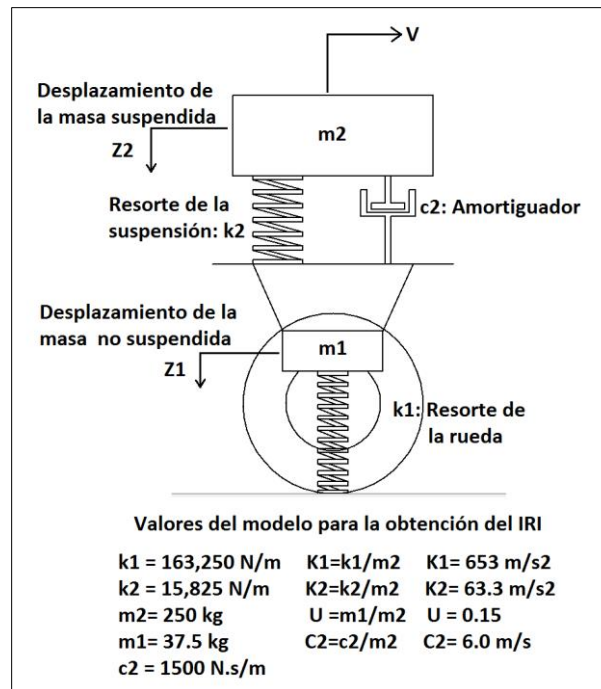


Figura 3: Valores del modelo para la obtención del IRI.

FUENTE: Benjamín Soto Núñez, Control de Calidad en Pavimentos, Tesis.

2.3.6. Formulación Matemática:

Expresión del IRI en forma discreta.

$$IRI = \frac{\sum_1^n |Z'_2 - Z'_1|}{n}$$

Donde:

n: Número de puntos.

L: Longitud de análisis.

$|Z'_2 - Z'_1|$: Valor absoluto de la pendiente rectificada.

Expresión del IRI en forma continua.

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^L |Z'_2 - Z'_1| . dx$$

2.3.7. Clasificación de Equipos según el Banco Mundial:

➤ Clase 1: Perfiles de precisión.

Son los más exactos para medir el IRI. Para métodos estáticos, el perfil longitudinal se debe medir en intervalos no mayores a 250 mm y la precisión en la elevación debe ser de 0.5 mm en pavimentos muy lisos, pudiéndose aumentar en pavimentos rugosos.

Los Perfilómetros de alta velocidad deben ser validados contra un método como el de “mira y nivel”, para probar su exactitud. En 1986, sólo el método de la “mira y nivel” y el de la viga TRRL se habían aceptado para validar otros métodos. Estos trabajos de validación se realizaron utilizando un rango de niveles de rugosidad amplio y en un tramo de 320 m.

➤ Clase 2: Otros métodos Perfilométricos.

Son todos los otros equipos que no cumplen con los requerimientos de precisión y exactitud requeridos en la clase 1. Estos métodos de medición y hardware son calibrados por métodos independientes.

➤ **Clase 3: IRI estimado a partir de ecuaciones de correlación.**

El IRI se estima a partir de ecuaciones de correlación. Este sistema de obtención del IRI fue muy practicado en los años 80 y 90, por medio de los equipos de respuesta dinámica. Las propiedades dinámicas son únicas para cada equipo y varía con el tiempo.

➤ **Clase 4: Evaluación subjetiva y equipos no calibrados.**

El IRI se obtiene a partir de una evaluación subjetiva (experiencia y evaluación visual) o mediciones no calibradas. Aplica para casos en donde no se exija mucha exactitud en el resultado del IRI.

2.3.8. Equipos para la Medición del IRI:

A la actualidad se han desarrollado una variedad de equipos para la medición del IRI, en el Perú estos equipos son utilizados para la evaluación de pavimentos de la red vial nacional a través de las entidades públicas y privadas Nacional, Regional y Local. Los equipos para la medición de la Regularidad superficial del Pavimento, difieren uno del otro por la precisión de los resultados obtenidos, la rapidez en la obtención de los datos y la complejidad del sistema que gobierna su funcionamiento. (Almanza Mendoza, 2014).

Tabla 2: Equipos para la medición del IRI

EQUIPO	CLASE	GRADO DE PRESICION	IMPLEMENTACION	COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	OBSERVACIONES
Perfilografos (Profilographs)	III	Media	Control de calidad y recepción de obras	Simple	Estos equipos no son prácticos para las evaluación de las redes viales
ROUGHOMETER III - Tipo Respuesta para medir la regularidad de las carreteras (Response - Type Road Roughness measuring Sytems, RTRRMS)	III	Media	Monitoreo de red vial	Compleja	los resultados obtenidos entre estos equipos no son comparables, ya que dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo y no son estables en el tiempo
Rugosímetro Merlín	I	Alta	Mediciones de perfil de pavimento	Simple	Estos equipos no son prácticos para las evaluaciones de grandes distancias.
Nivel y Mira	I	Muy alta	Mediciones de perfil de pavimento y calibraciones	Simple	El uso de estos equipos para proyectos largos no es práctico y los costos son elevados
Dipstick	I	Muy alta	Mediciones de perfil de pavimento y calibraciones	Muy Simple	Se utiliza para mediciones del perfil de pavimento en longitudes cortas.
Perfilómetro Inercial (inertial profilometer)	I	Muy alta	Monitoreo y recepción de proyectos viales	Muy compleja	Equipos con alta precisión, permiten la comparación de resultados y son estables en el tiempo. Pueden ser utilizados para la calibración de los equipos tipo respuesta.

FUENTE: Adaptación Almanza Mendoza, 2014. Tesis.

2.4. INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA DE LA VÍA EN EL VALOR DEL IRI

El diseño geométrico contempla la definición tanto de la sección transversal, diseño horizontal y diseño vertical. El elemento básico para tal definición es el eje de la vía, cuyas proyecciones en planta y elevación constituyen el alineamiento horizontal y perfil longitudinal, respectivamente.

Cualquier perfil medible en la superficie del camino tendrá asociado un valor único de IRI, por lo tanto, el perfil longitudinal teórico tendrá también un valor de IRI asociado exclusivamente al diseño geométrico del camino

Al definir el IRI como una propiedad del perfil longitudinal del camino, su cálculo debería ser independiente de la curvatura horizontal. Sin embargo, esto no es así, más aún, en vías de geometría restringida, en donde principalmente se presentan curvas de volteo o de desarrollo a media ladera, en donde se encuentra una diferencia de pendiente en tramos cortos (longitud horizontal). Adicionalmente, se genera en una curva horizontal una transición entre el bombeo natural de las pistas y el peralte máximo requerido por la curva, originando cambios en la cota del perfil longitudinal de la huella de circulación, y por lo tanto, provocado vibraciones en el vehículo. Esto último también se genera en zonas de curva y contra curva, en la cual las distancias para realizar esta transición son restringidas, lo que origina cambios de pendientes en corta longitud horizontal.

Producto de lo anterior, en una curva horizontal, el modelo de “cuarto de carro” se ve enfrentado a un perfil trapezoidal con cuatro cambios bruscos de pendiente:

- En el inicio de la transición del bombeo de la pista, al peralte máximo de diseño de la curva.
- En el punto donde se alcanza el peralte máximo de diseño de la curva.

- En el punto donde comienza la transición desde el peralte máximo de diseño de la curva al bombeo.
- En el punto donde se alcanza nuevamente el bombeo natural de la pista.

La existencia de curvas de volteo o de “desarrollo” y una serie de curvas y contra curvas en una distancia horizontal restringida puede llegar a incrementar el IRI hasta valores cercanos al límite individual permitido por las especificaciones. En el caso específico de caminos en terrenos accidentados o escarpados (clasificación por orografía 3 y 4), en donde el trazo geométrico normalmente se encuentra caracterizado por curvas sucesivas de radios reducidos y cortas distancias para el desarrollo de los peraltes, el análisis teórico del IRI se podrá incrementar sustancialmente debido al cambio de cotas que representa en los segmentos con curva. Esta problemática se ha observado empíricamente en mediciones de IRI realizadas en el presente Corredor Vial, obteniéndose en los tramos 2 y 3 valores de IRI significativamente más altos a los esperados. Aun cuando en la literatura existen pocos estudios acerca de la influencia de las condiciones geométricas del camino en el valor del IRI, ésta problemática de determinación del IRI en caminos de geometría accidentada ha sido planteada en recientes Congresos Nacionales e Internacionales.

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ENSAYO DE MEDICIÓN DEL IRI EN LA RUTA NACIONAL PE – 3S F.

3.1.1. Descripción General:

La clasificación de la Ruta Nacional PE – 3S F, según el Plan de Gestión Vial del proyecto corresponde a una carretera de Tercera Clase, con un pavimento básico, con anchos variables de 3.00 m a 5.10 m y con un volumen de tráfico menor a 200 veh/día.

Además se observa con regularidad puntos y segmentos críticos desde el punto de vista geométrico y de seguridad vial. También, desde el punto de vista geométrico se presentan sectores con calzadas angostas, curvas de vuelta o de desarrollo con radios reducidos y carentes de una distancia mínima de visibilidad de parada, además de trazos sinuosos.

La Ruta Nacional PE – 3S F de acuerdo a los Términos de Referencia del proyecto se ha dividido en 04 tramos:

Tabla 3: Tramos del Proyecto.

N°	Tramo	Ruta	Tramo				Long.
			Inicio	Km	Fin	Km	Km
1	Tramo 1	PE-3SF	Emp. PE-3S	00+000	Chinchaypujio	35+260	35.26
2	Tramo 2	PE-3SF	Chinchaypujio	35+260	Cotabambas	103+720	68.46
3	Tramo 3	PE-3SF	Cotabambas	103+720	Pte. Ichuray	204+220	100.5
4	Tramo 4	PE-3SF	Dv. Pamputa	208+920	Chalhuahuacho	215+944.8	7.02

Fuente: PGV del proyecto (2016).

➤ **Tramo 1: EMP. PE-3S (Mollepuquio) – Chinchaypujio.**

Este tramo se inicia en el empalme con la vía asfaltada Ruta Nacional 3S, la vía se emplaza en una orografía ondulada y accidentada, con un ancho promedio de calzada de 3.90m. Con respecto al perfil longitudinal, éste asciende hasta cruzar el Abra y luego

desciende para llegar al pueblo de Chinchaypujio. Se identifican sectores con presencia de deslizamientos del talud superior e inferior, centros poblados pequeños

➤ **Tramo 2: Chinchaypujio – Cotabambas.**

Este tramo es el más complejo en cuanto a diseño geométrico, principalmente el descenso y posterior ascenso al río Huallpachaca (río Apurímac). La vía se desarrolla en una topografía accidentada y muy accidentada. Saliendo del pueblo Chinchaypujio, el trazado del perfil longitudinal de la vía continúa en descenso hasta llegar al río Apurímac.

En este tramo se encuentra el sector que comprende 24 curvas de volteo, en el cual se desarrollan 22 de ellas en una sola ladera, el ancho de la calzada es reducido, menos de 3.5m en algunos sectores, con plazoletas de paso, problemas de inestabilidad de taludes.

Se encuentran curvas de volteo que están por debajo del valor mínimo de radio de giro declarado en el Manual de Diseño Geométrico para el vehículo tipo B2/C2.

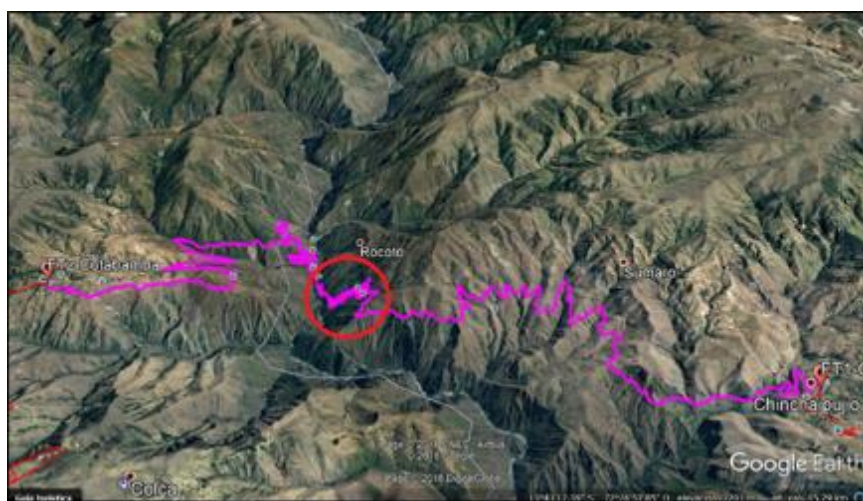


Figura 4: Vista general del Tramo II *Chinchaypujio Km 35+260 – Cotabambas Km 103+720*

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 4: Radios de Curvas del sector de las 24 curvas.

PC	PT	RADIO (m)	CURVA DE VOLTEO TIPO "U"
064+029	064+060	10.00	C1
064+828	064+842	8.50	C2
065+515	065+541	8.50	C3
066+264	066+277	8.50	C4
066+988	067+007	7.00	C5
067+328	067+355	8.50	C6
067+545	067+565	7.00	C7
067+843	067+856	8.50	C8
068+139	068+160	7.00	C9
068+599	068+625	8.50	C10
068+919	068+933	8.50	C11
069+342	069+356	8.50	C12
069+729	069+755	8.50	C13
070+279	070+292	8.00	C14
070+636	070+657	7.00	C15
070+991	071+014	8.00	C16
071+120	071+143	10.00	C17
071+295	071+339	14.50	C18
071+671	071+685	8.50	C19
071+958	071+970	7.00	C20
072+248	072+269	8.00	C21
072+573	072+603	10.00	C22

FUENTE: Levantamiento topográfico del Proyecto (2016).

A continuación se muestran dos Fotografías que muestra el sector de las 24 curvas volteo, 22 de ellas en una sola ladera, sector accidentado con fuertes cambios de pendiente.



Figura 5: Curvas de Volteo en una sola Ladera en vista de Perfil.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.



Figura 6: Curvas de Volteo en una sola Ladera en vista en Planta.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

➤ **Tramo 3: Cotabambas – Tambobamba.**

Saliendo del pueblo de Cotabambas (3438 msnm) el trazado se desarrolla en media ladera en una topografía ondulada/accidentada y tramos puntuales de escarpada, el ascenso es continuo (aprox.41.5km) hasta llegar a la planicie que se inicia en el centro poblado de Yanacocha (4270 msnm).

Se tienen sectores con ancho reducido menor a 3.3m, en una orografía escarpada (roca fija y taludes altos).

- **Tambobamba – Pte. Ichuray**

La zona urbana de Tambobamba (3230 msnm) se encuentra con pavimento rígido, este tramo de la vía presenta mayor volumen de tráfico, esto es debido a la cercanía con el pueblo de Challhuahuacho (3700 msnm) donde está el Proyecto Minero Las Bambas.

La topografía en la cual se emplaza la vía es ondulada/accidentada y sectores puntuales de escarpada; de acuerdo al perfil longitudinal saliendo del pueblo de Tambobamba se tiene ascenso continuo hasta llegar al Abra Arcosaychina 3910 msnm. En este sector desde el pueblo de Tambobamba hasta el Abra, se han identificado sub-sectores que presentan problemas de deslizamiento del talud superior y socavación del talud inferior. A partir del Abra siguiendo el sentido de las progresivas, se inicia un descenso continuo hasta llegar al puente Ichuray; los últimos 3km del trazo se desarrollan paralelos al río, en una orografía ondulada.

- **Tramo 4: Pte. Ichuray – Challhuahuacho.**

La orografía en la cual se desarrolla la vía es ondulada/accidentada, se tiene un ancho de calzada que va de 6 a 6.6m en buen estado, con radios apropiados para desarrollar velocidades aproximadas a 40km/h.

3.1.2. Clasificación del Corredor Vial:

De acuerdo al DG-2018, la clasificación por orografía se define por las características que el terreno que presenta y se clasifican en cuatro tipos como se muestra en la Figura 05.

Clasificación por Orografía
<p>Las carreteras del Perú, en función a la orografía predominante del terreno por dónde discurre su trazo, se clasifican en:</p> <p>102.01 Terreno plano (tipo 1)</p> <p>Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menores de tres por ciento (3%), demandando un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazo.</p> <p>102.02 Terreno ondulado (tipo 2)</p> <p>Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6%, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos rectos, alternados con curvas de radios amplios, sin mayores dificultades en el trazo.</p> <p>102.03 Terreno accidentado (tipo 3)</p> <p>Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%, por lo que requiere importantes movimiento de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazo.</p> <p>102.04 Terreno escarpado (tipo 4)</p> <p>Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo el máximo movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en el trazo.</p>

Figura 7: Clasificación por Orografía.
FUENTE: Manual de Carreteras (DG – 2018).

Para la Ruta Nacional PE-3S F, para cada tramo se tiene la clasificación en la siguiente tabla.

Tabla 5: Clasificación por Orografía.

Tramo	Orografía
Tramo 1	Tipo 1, 2 y 3
Tramo 2	Tipo 2, 3 y 4
Tramo 3	Tipo 1, 2, 3 y 4
Tramo 4	Tipo 2 y 3

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

De acuerdo a la clasificación por orografía del Manual de Diseño Geométrico 2018, los Tramos 2 y 3 son los tramos en los cuales se identificarán pendientes verticales excepcionales, y sobre todo la existencia de curvas de volteo a media ladera en las cuales se identifican los cambios de cota vertical en una corta longitud horizontal.

3.1.3. Evaluación Visual del Pavimento:

➤ **Tramo I:** Dv. Inquilpata – Chinchaypujio.

Observamos en las Figura 8y 9 sectores representativos que corresponden al Tramo I, la superficie de rodadura de la carretera se encuentra en buen estado, también observamos que el Micropavimento fue recientemente colocado aproximadamente 3 meses antes del ensayo, es decir casi no hubo desgaste de finos y mucho menos ahuellamiento.



Figura 8: Tramo I - EMP 3S (Mollepuquio) – Chinchaypujio.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.



Figura 9: Tramo I - EMP 3S (Mollepuquio) – Chinchaypujio.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

➤ **Tramo II:** Chinchaypujio – Cotabambas

Observamos en las Figura 10 y 11 sectores representativos que corresponden al tramo II, la superficie de rodadura de la carretera se encuentra en buen estado, también observamos que el Micropavimento fue recientemente colocado aproximadamente 3 meses antes del ensayo, porque en la Fotografía 06, la calzada no cuenta con las señales horizontales (marcas en el pavimento), es decir casi no hubo desgaste de finos y mucho menos ahuellamiento.



Figura 10: Tramo II - Chinchaypujio - Cotabambas.
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.



Figura 11: Tramo II - Chinchaypujio - Cotabambas.
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

➤ **Tramo III:** Cotabambas – Pte. Ichuray.

Observamos en las Figura 12 y 13 sectores representativos que corresponden al tramo III, la superficie de rodadura de la carretera se encuentra en buen estado.



Figura 12: Tramo III - Cotabambas – Pte. Ichuray.
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.



Figura 13: Tramo III - Cotabambas – Pte. Ichuray.
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Luego de la inspección visual del pavimento se puede concluir que el pavimento se encuentra en un estado superficial bueno.

3.1.4. Tramos Analizados para la Medición del IRI:

El estado superficial de la vía en general se encuentra en buen estado, lo que garantiza un nivel de servicio adecuado a los usuarios.

Para el presente proyecto de investigación se analizara los tramos que se muestran en la siguiente Figura.



Figura 14: Tramos analizados I, II Y III.
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 6: Tramos Analizados

N°	Tramo	Ruta	Tramo			Long.		Observación
			Inicio	Km	Fin	Km	Km	
1	Tramo 1	PE-3SF	Emp. PE-3S	0+000	Chinchaypujio	35+260	35.26	Micropavimento
2	Tramo 2	PE-3SF	Chinchaypujio	35+260	Cotabambas	103+720	68.46	Micropavimento
3	Tramo 3	PE-3SF	Cotabambas	103+720	Pte. Ichuray	204+220	100.5	Micropavimento parcial

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Los sectores analizados del Tramo III son los siguientes:

Tabla 7: Sectores analizados del tramo III.

TRAMO	DEL	AL	OBSERVACIÓN
3	103+720	117+000	Micropavimento
3	134+000	186+500	Micropavimento

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

En resumen, teniendo en cuenta que el tramo III cuenta con la colocación parcial de Micropavimento se analizara en total 169.5 km de la carretera.

Luego de la ejecución del mejoramiento según el TdR, la vía mantiene las características geométricas iniciales, con un pavimento básico y con un nivel de servicio adecuado.

Esto en cumplimiento a lo descrito en el TDR *ítem 3.3.1 Plan de Conservación Vial, que a la letra dice “El plan de conservación Vial debe considerar que todas las actividades se ejecutarán sobre la vía existente, no se realizarán cambios geométricos en la vía”*

3.1.5. Consideraciones Generales del Ensayo:

➤ **Equipo de medición “ROUGHOMETER III” de la Firma ARRB.**

El ROUGHOMETER III es un equipo de origen australiano, muy práctico en la evaluación de superficies una de las mayores ventajas a parte de la velocidad de ensayo es que no necesita de pistas de calibración a diferencia de los equipos tipo respuesta.

- ARRB es un instituto del gobierno Australiano que se especializa en investigación vial de interés público
- El rugosímetro III es un equipo probado con los sistemas de perfilometría de Clase I según ASTM 950 en diversas condiciones de la carretera.
- Según las especificaciones del fabricante el equipo no requiere ser calibrado por un laboratorio certificado o por el grupo ARRB, las calibraciones se realizan in situ por el usuario, asimismo el valor de

calibración del sensor de rugosidad variará de una unidad a otra, pero debería ser de alrededor de 2.3 V. Si el nuevo el valor difiere mucho del valor anterior o es mayor que 3.5 o menor que 2.0, se debe repetir el procedimiento.

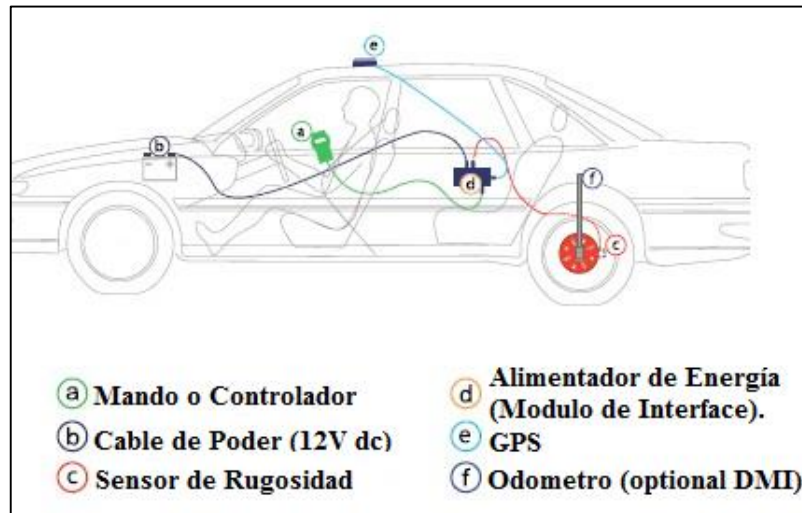


Figura 15: Modelo de montaje.
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

➤ Componentes del equipo:

El equipo Roughometer III, cuenta con diferentes componentes que serán ensamblados al momento de realizar el ensayo de medición del IRI, los cuales son los siguientes:

- ALIMENTADOR DE ENERGIA (Módulo de Interface).
- GPS.
- MANDO O CONTROLADOR.
- SENSOR DE RUGOSIDAD.
- ODOMETRO (optional DMI).
- CABLE DE PODER (12V dc).

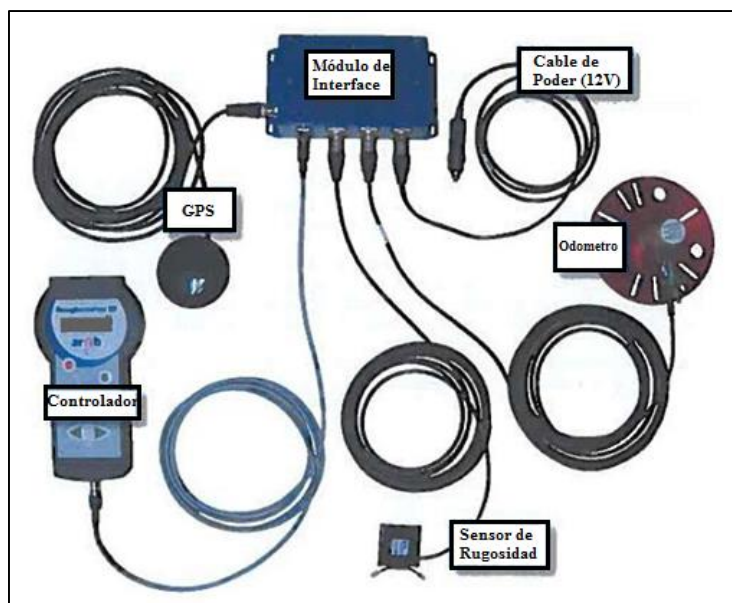


Figura 16: Componentes del Equipo.
FUENTE: Manual de Usuario

➤ Montaje del equipo:

El equipo ROUGHOMETER III será ensamblado antes de iniciar el ensayo de la siguiente manera:

1. Presentando el vehículo que cumplan con las especificaciones necesarias para realizar el ensayo en este caso un pick up 4x4.
2. Instalación del Odómetro en el eje posterior de la rueda del vehículo.
3. Instalación del estabilizador del odómetro que va pegado al vehículo.
4. Instalación del Sensor de Rugosidad en el eje posterior del vehículo.
5. Instalación del GPS que va colocado en la parte superior del vehículo para una localización satelital sin interferencia.
6. Conectar los componentes del equipo al alimentador de energía con sus respectivos indicadores de funcionamiento.
7. Se procede a la configuración del Controlador del equipo o Mando, para luego proceder al inicio del ensayo y a la toma de datos procediendo con el movimiento

del vehículo y las anotaciones de observaciones (eventos y singularidades) en campo.



Figura 17: Montaje del equipo
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

- Especificaciones del equipo utilizado:
 - ✓ Escala mínima IRI: 0.1 IRI.
 - ✓ Velocidad óptima de medición de 40 a 60 km/h
 - ✓ Distancia Precisión Mejor que 0.1 %
 - ✓ Posición GPS Precisión +/- 3 a 15 metros (sujeto a disponibilidad de WAAS)
 - ✓ Velocidad de actualización GPS 1 segundo

3.1.6. Singularidades y Eventos.

La EG-2013 (Pag. 723) indica lo siguiente: “Singularidades, entendiéndose por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementan el IRI y no provengan de deficiencias constructivas, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, etc. Los cuáles serán definidos por el Supervisor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder con la determinación del IRI”

En mención a lo indicado definimos las siguientes singularidades y eventos para la ruta nacional PE-3S F.

a. Singularidades:

- Puentes
- Badenes
- Reductores de velocidad
- Zona urbana
- Cruces importantes
- Pesajes
- Juntas (diferentes tipos de pavimentos)

b. Eventos adicionales:

- Acceso a canteras
- Zonas de acopio
- Pases de agua
- Instalación de servicios
- Deterioro en calzada por terceros

c. Eventos de operación:

- Paradas de emergencia
- Adelantamientos
- Cruces
- Velocidad de operación fuera de las ET

d. Eventos estacionales:

- Caída de rocas
- Deslizamiento de lodo y tierra
- Colocación de obstáculos

- Daños y deposición de material por problemas hidrológicos
- Trabajos en la vía

e. Eventos por Puntos críticos según TdR.

En el ítem 7.11.2 de los términos de referencia del proyecto indica:

“Definición y alcances para el tratamiento de los Puntos Críticos del Corredor Vial.- Por definición, son Puntos Críticos, aquellos sectores de la carretera en donde se haya establecido por razones de fallas constructivas (de un Contratista anterior), geológicas, geotécnicas, problemas hidrológicos o que por la geografía de la zona, no se pueda cumplir con el nivel de servicio requerido por el CONTRATANTE. Así también, aquellas zonas localizadas de alto deterioro (debidas a la acción de terceros y no debidas a la inacción o falta de previsión del CONTRATISTA CONSERVADOR), que representa una amenaza a la existencia de la propia infraestructura e implícitamente a la seguridad de las personas, y que por tanto, requieren una evaluación y solución particular.”

“Los Puntos Críticos, serán evaluados en forma conjunta por el CONTRATISTA CONSERVADOR y el Supervisor, quienes presentarán la información que sustente su clasificación como “punto crítico” que será evaluada y de ser el caso aprobado por el CONTRATANTE. De ser el caso, el CONTRATANTE determinará los niveles de servicio que serán exigidos en dichos sectores.”

Por otro lado el Manual de Inventarios Viales del MTC-2014 indica que son aquellos sectores que por razones geológicas, geotécnicas, problemas hidrológicos o que por geografía de la zona alteran la transitabilidad de la carretera, incluido aquellas zonas con alto deterioro, de riesgo inminente o probable, que representan una amenaza a la existencia de la propia infraestructura e implícitamente a la seguridad de las personas.

Clases	Descripción
Fallas Constructivas	Comentario libre.
Fallas Geológicas	Problemas de geodinámica externa, sectores construidos sobre piroclastos.
Fallas Geotécnicas	Erosión de plataforma o taludes, huaycos, inestabilidad de talud, derrumbes, caída de rocas, suelos blandos (arcillas, turbas, etc.).
Problemas Hidrológicos	Inundaciones, nevadas, zonas con nivel freático muy superficial, zonas de gran penetración de las heladas, crecida y desborde de cauces de agua.
Geografía de la Zona	Zonas inundables, carreteras próximas a cauces de agua, pérdida de la plataforma.
Zonas con alto Deterioro	Comentario libre.
Zonas de Riesgo Elevado	Puentes, pontones u otras estructuras por colapsar.

Figura 18: Clases de puntos críticos.
FUENTE: Manual de inventarios viales, MTC 2014.

Los puntos críticos inciden notablemente en la concepción del Perfil longitudinal sobre la cual se miden los parámetros de irregularidad, en ese sentido resulta fundamental identificar cada uno de ellos para su exclusión dentro del cálculo del valor promedio

f. Eventos por Geometría.

En el ítem 3.3.1 Plan de Conservación Vial, del TDR, que a la letra *dice “El plan de conservación Vial debe considerar que todas las actividades se ejecutarán sobre la vía existente, no se realizarán cambios geométricos en la vía”* sustenta.

Se declara explícitamente en esta definición las singularidades por geometría, asociadas a cambios abruptos del perfil de la huella del carril (evidenciado en los cambios de pendientes), a su vez estos cambios son identificados en tramos con geometría sobre relieves con orografía tipo III (Terrenos Montañoso inclinación de 26.6° a 45°) y Orografía Tipo IV (Terrenos escarpados con inclinaciones superiores a 45°). Para estos casos mejorar el perfil geométrico involucraría importantes movimientos de tierra según lo indicado en el Manual de Diseño Geométrico

3.2. MEDICIÓN DEL IRI CON EL EQUIPO ROUGHOMETER III (ARRB).

3.2.1. Introducción:

El presente Ítem presenta el sistema en el procedimiento de la medición del IRI con el equipo Rugosímetro III (ARRB) del corredor vial: “Emp. PE – 3S (Mollepuquio) - Chinchaypujio – Cotabambas – Tambobamba – Chalhuanhuacho”.

También se muestra los resúmenes de los resultados estadísticos de la medición por cada tramo.

3.2.2. Sistema de Medición:

La evaluación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) fue realizada mediante el dispositivo de alto rendimiento denominado “Roughometer III”, de la marca ARRB.

Este dispositivo mide la regularidad mediante un sistema “tipo respuesta”, que elimina las incertidumbres asociadas con el vehículo, tales como la suspensión o el peso del pasajero, midiendo directamente el movimiento del eje con un acelerómetro de precisión. Esto significa que no es necesario correlacionar los resultados de la medición de este equipo con un equipo de clase 1. El sistema es adecuado para su uso en carreteras y es capaz de recolectar varios kilómetros de datos a una velocidad oscilante entre 40 Km/h a 60 Km/h.

El sistema de medición se compone de un “sensor de inercia” que se instala en el eje trasero del vehículo, el cual capta el perfil longitudinal del camino a través de las oscilaciones que experimenta el vehículo al circular por él. Mediante un odómetro instalado en el vehículo se asocia el valor de la regularidad a la progresiva existente en la carretera, ver la siguiente Figura.

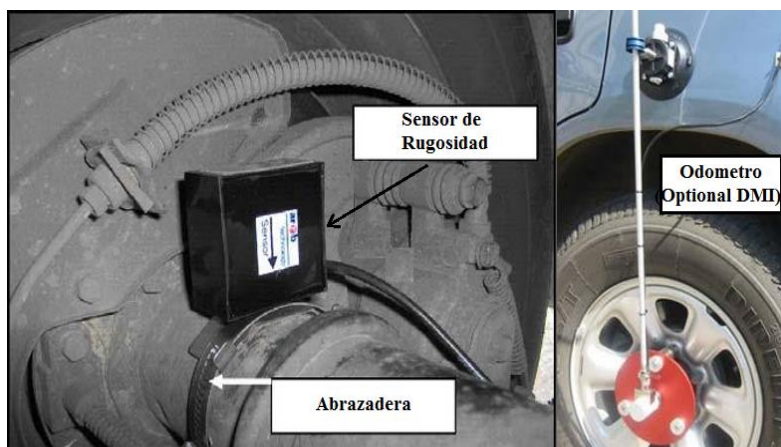


Figura 19: Sistema de Medición de IRI, Roughometer III – Instalación en vehículo
 FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.3. Resultado de la Medición de Rugosidad:

Los resultados a detalle de esta medición se muestran en el **ANEXO – C**. En estos resultados no se han considerado los valores singulares de IRI cada 20 metros que se presentan a lo largo de todos los tramos correspondientes a sectores críticos, sectores sin transitabilidad por construcción de puentes, cruce de puentes, badenes, alcantarillas, cruce de peatones, gibas; zonas urbanas, cruce de ríos, cambio de transición, geometría de la carretera zonas de derrumbes, huaycos en el eje vial, obstáculos, piedras, zonas de conformación de base y reconfirmación. Para el cálculo del valor del IRI característico no se han considerado estos valores.

Tabla 8: Resumen estadístico de IRI
 TRAMO I: 00+000 al 35+040.

IRI Característico (confiabilidad 70%):	2.85 m/km
Promedio:	2.32 m/km
Desv. Estándar:	1.01

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 9: Resumen estadístico de IRI
TRAMO II: 35+380 al 103+580.

IRI Característico (confiabilidad 70%):	2.74 m/km
Promedio:	2.28 m/km
Desv. Estándar:	0.88

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 10: Resumen estadístico de IRI
TRAMO III: 104+110 al 186+440.

IRI Característico (confiabilidad 70%):	2.92 m/km
Promedio:	2.33 m/km
Desv. Estándar:	1.12

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3. MEDICIÓN DE IRI CON EL EQUIPO RUGOSÍMETRO MERLÍN.

3.3.1. Introducción:

El Merlín o MERLÍN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation) es un equipo desarrollado por el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL), cuyo diseño se basa en el principio del Perfilómetro estático.

En simples palabras, utiliza el concepto de usar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, como una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento lo cual no es nuevo ni original del TRRL. Varios parámetros de rugosidad precedentes, tal como el conocido Quarter-Car Index (QI), han sido propuestos por otros investigadores basándose en el mismo concepto.

El Merlín es un equipo que consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Uno de los elementos verticales es una rueda donde una vuelta de la rueda es 2.15 m. En la parte central del elemento horizontal se proyecta una barra

vertical cuyo extremo inferior pivota un brazo móvil; en el extremo inferior, se ubica un patín empernado ajustable mientras que en el extremo superior se ubica el puntero, siendo la relación de brazo entre los segmentos pivote-extremo, de 1:10. En cada vuelta de la rueda se realiza una observación de acuerdo a la posición del puntero hasta completar las 200 observaciones.

Durante la recolección de datos, se va llenando un histograma de distribución de frecuencias con los resultados de 200 mediciones, posteriormente se eliminan los datos que corresponden a errores (10 datos de cada cola del histograma).

Para relacionar la rugosidad determinada con el Merlín con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que es el parámetro utilizado para uniformizar los resultados provenientes de la gran diversidad de equipos que existen en la actualidad, se utilizan las siguientes expresiones: (Montoya, 2013)

a. Cuando $2.4 < \text{IRI} < 15.9$, entonces $\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 * \mathbf{D}$

b. Cuando el $\text{IRI} < 2.4$, entonces $\text{IRI} = 0.0485 * \mathbf{D}$

Dónde: **D**: es un parámetro estadístico que representa la rugosidad en escala Merlín.

El Equipo “Rugosímetro Merlín” es un equipo de clase I, es decir tiene mayor precisión que el Equipo “Roughometer III” siendo este último de clase III y también siendo solo superado en precisión por el método de medición de la Mira y Nivel.



Figura 20: Equipo “Rugosímetro Merlín”.
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.2. Esquema y Componentes del Equipo Merlín:

A continuación mostramos los componentes y el esquema del equipo de medición de Rugosidad RUGOSÍMETRO MERLÍN:

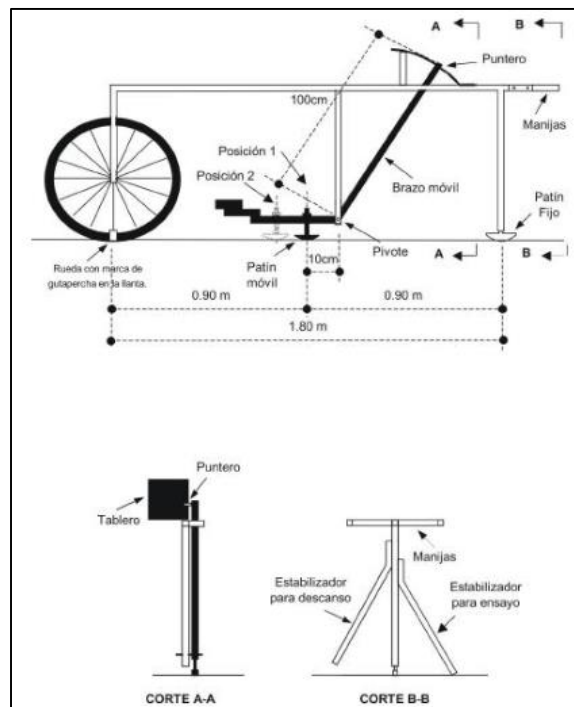


Figura 21: Esquema y componentes del equipo Merlín.
FUENTE: Manual de Usuario Merliner, Del Águila.

➤ COMPONENTES:

- ✓ Rueda con marca de gutapercha.
- ✓ Patín móvil.
- ✓ Pivote.
- ✓ Brazo móvil.
- ✓ Puntero.
- ✓ Manijas.
- ✓ Patín fijo.
- ✓ Tablero.
- ✓ Estabilizador para descanso.
- ✓ Estabilizador para ensayo.

3.3.3. Diagrama de Flujo y Determinación del IRI con el Equipo Merlín:

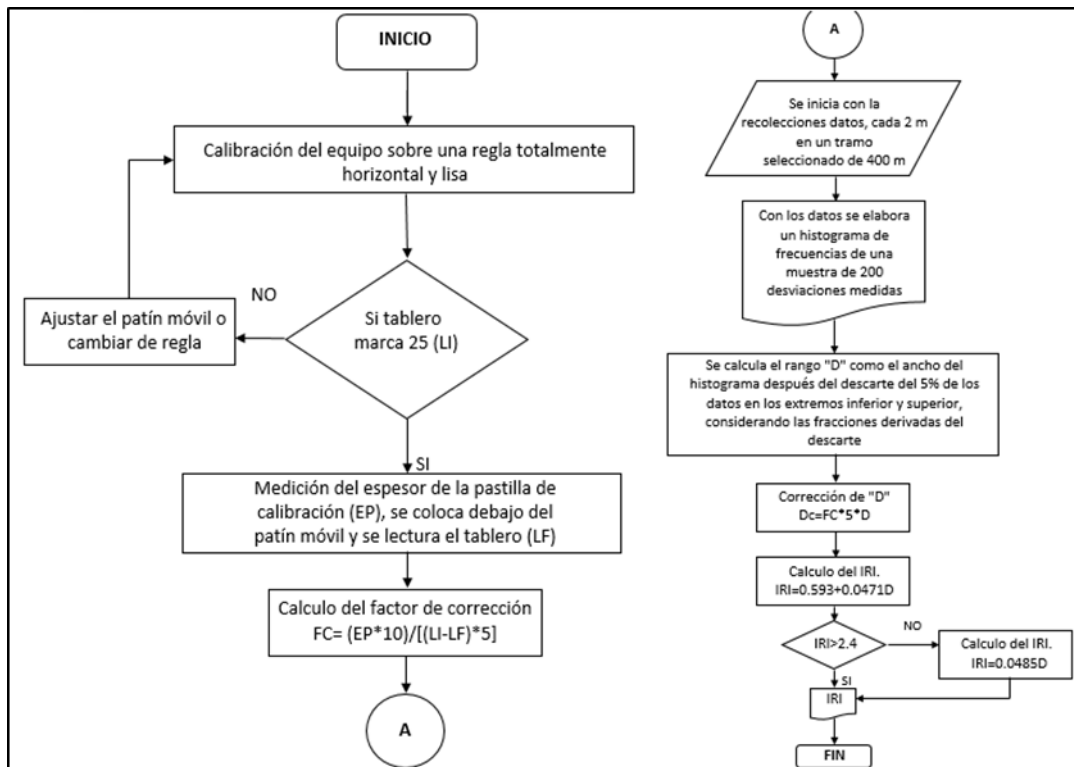


Figura 22: Diagrama de flujo del cálculo con el Equipo Merlín.

FUENTE: Almanza, 2014.

3.3.4. Cálculo de IRI con el Equipo Merlín:

La medición en campo con el Equipo Merlín se realizó en los sectores más críticos, los cuales seleccionamos de la tabla 11, por presentar valores altos del IRI_c en la medición con el equipo Roughometer III, los cuales los mostramos en la siguiente tabla.

Tabla 11: Sectores a evaluar con el Equipo Merlín.

Dato / Geometría	Inicio	Fin	Distancia (m)	IRI _c (m/km) Roughometer III
D6-Curva	64+700	65+100	400	3.47
D7-Curva	65+400	65+800	400	4.23
D8-Curva	66+140	66+540	400	3.95
D13-Curva	68+040	68+440	400	4.47
D16-Curva	69+620	70+020	400	5.42
D17-Curva	70+140	70+540	400	4.47
D19-Curva	71+840	72+240	400	4.18
Distancia Total Evaluada:			2800	2.8 km

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

1. Cálculo del Factor de Corrección:

$$F.C. = (EP \times 10) / [(LI - LF) \times 5]$$

EP: Espesor de la pastilla = 5

LI: Lectura Inicial del Puntero = 25

LF: Lectura Final del Puntero = 12

Entonces reemplazando los datos en la fórmula tenemos:

$$F.C. = 0.76923077$$

2. medición con el equipo merlín en campo:



Figura 23: Recolección de Datos en Campo
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Como se observa en la figura solo se necesita de dos personas para la operación del Equipo Merlín, un operario del equipo y un asistente para anotar las lecturas en el formato de campo que se muestra en la siguiente Figura y que el operario lectura en la medición.

ENSAYO PARA MEDICIÓN DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN (HOJA DE CAMPO)

PROYECTO: TESIS OPERADOR: DANIEL SANGA
 TRAMO: II FECHA: 12/07/19
 PROGRESIVA: 64+700 @ 65+100 TIPO DE PAV.: MICROPAVIMENTO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	24	25	29	29	22	33	32	22	23	34
2	29	29	24	27	25	27	32	30	27	26
3	31	27	28	26	24	26	24	38	32	35
4	28	26	27	37	35	32	24	27	28	25
5	29	25	26	19	26	32	27	33	27	30
6	29	25	26	27	30	28	34	33	30	28
7	26	25	30	26	32	24	30	30	32	24
8	25	26	28	25	24	22	32	26	30	31
9	27	26	29	28	27	24	33	35	34	36
10	26	24	32	16	34	25	30	34	33	37
11	30	24	34	14	40	25	33	26	25	25
12	30	29	33	10	27	26	25	23	33	32
13	32	25	32	12	22	31	37	30	25	32
14	24	25	31	20	24	36	30	34	37	25
15	26	26	27	19	50.4	26	31	30	32	30
16	29	29	23	19	26	26	25	31	30	30
17	29	26	29	19	32	26	25	25	33	34
18	29	27	28	23	23	32	30	26	33	37
19	26	26	29	30	16	28	32	22	32	28
20	28	27	24	23	32	34	26	25	30	30

OBSERVACIONES: Hueco en la lectura (5:15)

Figura 24: Datos tomados en campo
 Progresiva 64+700 @ 65+100.
 FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Gráfico de histograma de frecuencias.

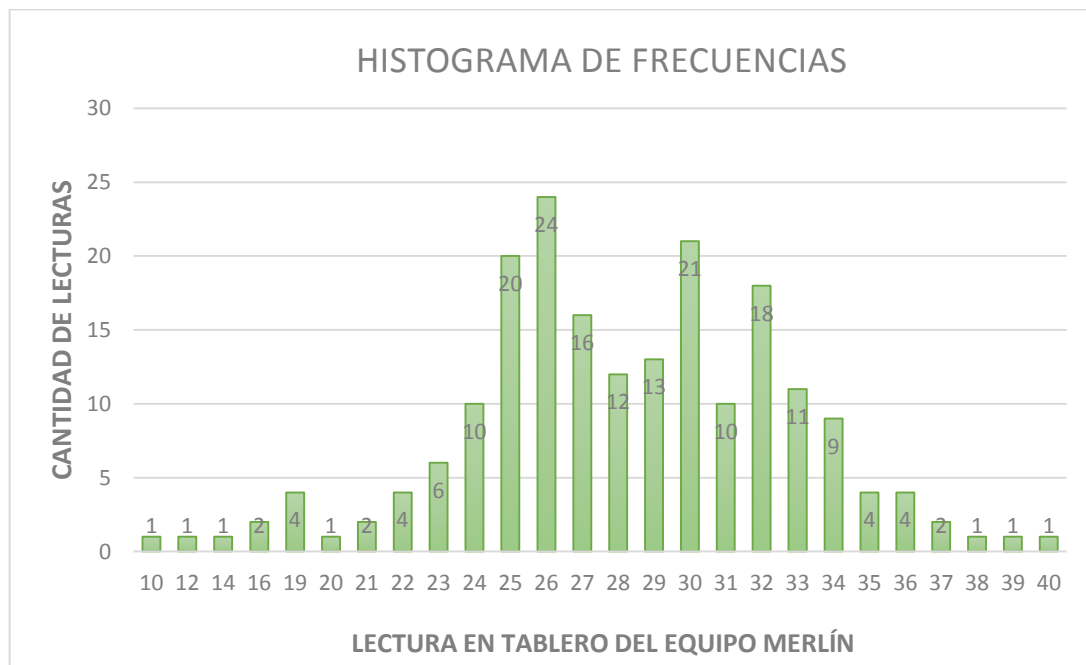


Figura 25: Histograma de frecuencias.
 FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Cálculo del Rango “D”.

Como explica la teoría se eliminan el 10% de datos tomados en campo, es decir eliminamos 10 datos de cada lado del Histograma de Frecuencias que corresponden a errores o singularidades en la medición, y lo que queda es el rango “D”.

- Lado Izquierdo: se eliminan los datos de las lecturas 10, 12, 14, 16, 19 y 20.

Entonces: Lado Izq. = 0

- Lado Derecho: se eliminan los datos de las lecturas 36, 37, 38, 39, 40 y un dato de la lectura 35.

Entonces: Lado Der. = $(4-1)/4 = 0.75$

Luego el Rango “D” quedaría:

$$D = 0 + 14 + 0.75 = 14.75$$

Corrección del rango “D corr”

Siendo: $D \text{ corr.} = D * F.C. * 5$

Reemplazando tenemos: $D \text{ corr.} = 14.75 * 0.76923077 * 5$

$D \text{ corr.} = 56.731$

Cálculo de IRI.

En la fórmula: $IRI = 0.593 + 0.0471 * D$

Reemplazando: $IRI = 0.593 + 0.0471 * 56.731 = 3.26 > 2.4$

Entonces para el Sector 64+700 @ 65+100 tenemos: IRI = 3.26 m/km

Y con el mismo procedimiento calculamos el Índice de Rugosidad Internacional para los tramos críticos que se planteó evaluar en la Tabla 10 con el Equipo Rugosímetro Merlín.

3.4. PERFIL LONGITUDINAL.

En Capítulo II (2.3) (2) (e), de los términos de referencia del proyecto indica: “En general se tratará de **utilizar la geometría y plataforma existentes**; sin embargo, se intervendrá las mejoras geométricas puntuales según la evaluación realizada, con la finalidad de incluir zonas de ensanche para la circulación vial, y otras que sean requeridas por seguridad vial. Para las mejoras geométricas puntuales se indicarán los puntos del eje, y las secciones transversales distancias cada 20 metros en tangente y 10 metros en curvas, identificándolos mediante la progresiva correspondiente”

Por otro lado, de los planos del Programa de Gestión Vial del proyecto, se ha obtenido el perfil topográfico del eje de la vía el cual obedece a un perfil mejorado considerando que en los términos de referencia indica que se tratará de utilizar la geometría y plataforma existente.

3.4.1. Variación de Pendiente:

Para comparar los perfiles calculamos la variación de pendientes con el cual analizamos los tramos I, II y III cada 10 metros, observando a mayor irregularidad del perfil mayor diferencia de pendiente, para lo cual analizaremos de la siguiente manera.

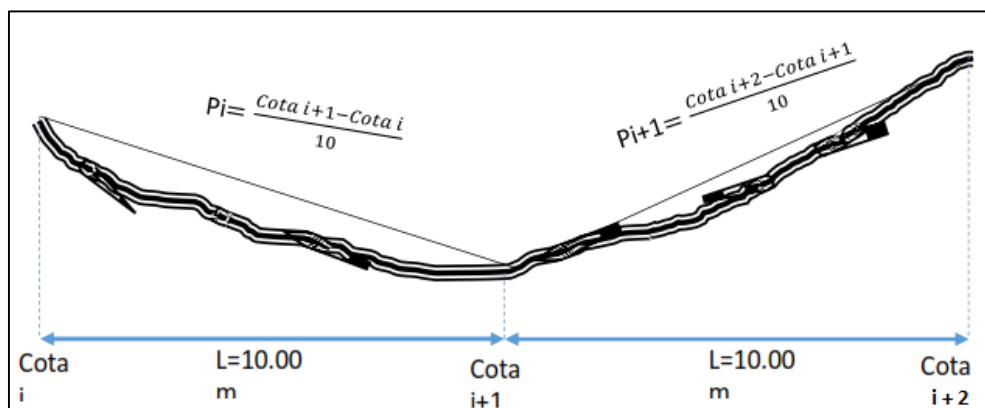


Figura 26: Análisis de variación de pendiente
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- ✓ Pendiente inicial (P_i).
- ✓ Pendiente (P_{i+1}).
- ✓ Variación de Pendiente (Δ).

Los perfiles topográficos analizados corresponden a los obtenidos después de la ejecución del mejoramiento (Micropavimento) del proyecto, véase en el ANEXO – D, los datos para los perfiles.

3.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.5.1. Metodología de Investigación:

La metodología con el cual desarrollaremos el presente proyecto de tesis será el método cuantitativo, ya que utilizaremos los números para analizar, investigar y comprobar tanto información como datos. La investigación o metodología cuantitativa se produce por la causa y efecto de las cosas, en este caso se analizará la causa efecto que produce una variable respecto a la otra.

3.5.2. Tipo de Investigación:

Esta investigación es de Tipo Aplicativo ya que se utilizará conocimientos de investigaciones obtenidos en la práctica.

3.5.3. Nivel de Investigación:

El nivel de esta investigación es explicativa ya que se pretende determinar relaciones causales que permitirán explicar por qué se dan fenómenos o relación entre dos variables, aplicaremos este método con la finalidad de lograr los objetivos, conclusiones y obtener los resultados de la presente investigación.

Para lograr obtener los objetivos se tomaran datos directamente de la medición del IRI de la ruta nacional PE-3S F, todo esto debidamente sustentado y cumpliendo con los parámetros establecidos para dicha medición.

3.5.4. Diseño de la Investigación:

El diseño con el cual se desarrollara la presente investigación será experimental, ya que es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. En la presente investigación consideraremos dos variables siendo una dependiente y la otra independiente.

Para poder lograr el análisis, procesamiento y correlación de datos, utilizaremos la ciencia estadística, la descriptiva e inferencial, siendo estas utilizadas por la ciencia con el objetivo de lograr el conocimiento que permita obtener un procedimiento del tema a desarrollar en el presente proyecto de tesis.

3.5.5. Población y Muestra:

En la presente investigación consideramos como población de estudio al IRI y al perfil topográfico del eje de la vía a nivel de Micropavimento de la Ruta Nacional PE-3S F.

Para la elección de la muestra se tomara el **Muestreo por Cuotas** del método de Muestreo No probabilístico, ya que seleccionaremos los datos más representativos o adecuados para los fines de esta investigación, en este caso los sectores más críticos de la vía, es decir donde se aprecien fuertes cambios de pendientes y valores altos en la medición del Índice de Rugosidad Internacional.

Este muestreo mantiene semejanzas con el Muestreo Aleatorio Estratificado, pero no tiene el carácter de aleatoriedad de aquel.

3.5.6. Variables de la Investigación:

VARIABLES	DEFINICIÓN	INDICADORES
Variación de Pendiente (%)	Cambios de pendientes cada 10 metros del eje de la vía a nivel de Micropavimento en porcentaje.	X= porcentaje en valor absoluto de la variación de pendiente.
Índice de Rugosidad Internacional - IRI	Indicador de la Regularidad Superficial.	Y= Valor de la medición del IRI.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. VALORES DEL IRI CARACTERÍSTICO EN LA RUTA NACIONAL PE-3SF.

Para realizar el análisis se trabajó con una muestra por cuotas, de donde se han elegido sectores de 200 m de diferentes rangos de rugosidad promedio, siendo esta muestra variable dependiente como se indica en la tabla siguiente.

Tabla 12: Valores promedio cada 200 m del IRI en la Ruta Nacional PE-3SF.

Dato / Geometría	Inicio	Fin	IRI (m/km)
D1 -Tangente	53+140	53+340	2.30
D2- Tangente	53+340	53+540	2.48
D3-Tangente	54+600	54+800	2.07
D4-Tangente	54+800	55+000	2.16
D5-Tangente	55+200	55+400	2.09
D6-Curva	64+800	65+000	3.47
D7-Curva	65+500	65+700	4.23
D8-Curva	66+240	66+440	3.95
D9-Curva	66+980	67+180	3.68
D10-Curva	67+300	67+500	3.06
D11-Curva	67+740	67+940	3.56
D12-Curva	67+940	68+140	3.78
D13-Curva	68+140	68+340	4.47
D14-Curva	68+500	68+700	3.67
D15-Curva	68+900	69+100	3.71
D16-Curva	69+720	69+920	5.42
D17-Curva	70+240	70+440	4.47
D18-Curva	70+940	71+140	3.86
D19-Curva	71+940	72+140	4.18
D20-Curva	72+280	72+480	3.07
D22-Curva	73+880	74+080	3.62
D-23Curva	74+420	74+620	3.88

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

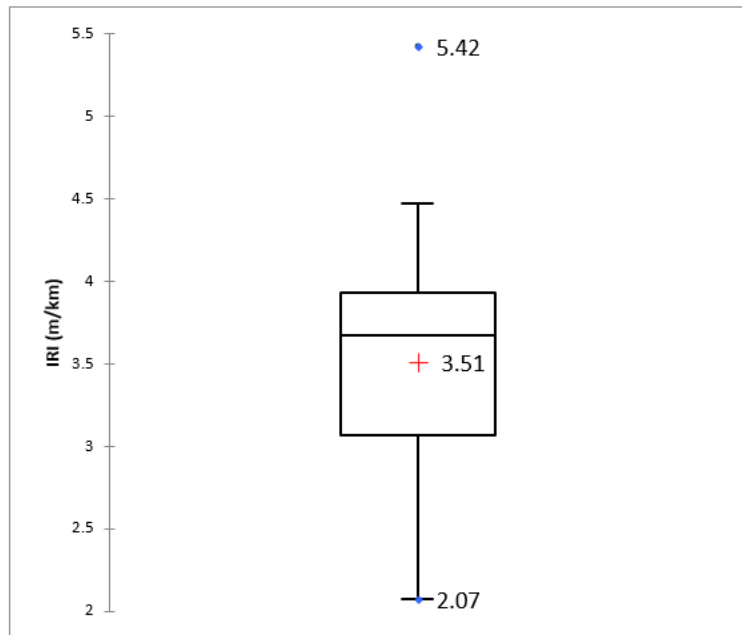


Figura 27: Diagrama de Caja de los Valores del IRI en la Ruta Nacional PE-3SF.
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

En la Tabla 12 y Figura 27, se tiene los estadísticos descriptivos del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la Ruta Nacional PE-3SF; de donde se obtuvo un valor mínimo de 2.07 m/km en el sector que va desde la progresiva 54+400 @ 54+600 (D3-Tangente) y uno máximo de hasta 5.42 m/km que corresponde al sector de la progresiva 69+720 @ 69+920 (D16-Curva), mientras que la media de este índice fue de 3.51 m/km, lo que indica una amplitud de 3.35 m/km para esta muestra.

4.1.1. Contraste de la Medición del IRI con el “Roughometer III” y el

“Rugosímetro Merlín”:

Luego de la medición de la Rugosidad y el cálculo del IRI con el equipo “Roughometer III” se evaluó los sectores más críticos (valores de IRI altos), con el equipo de clase I “Rugosímetro Merlín” para realizar un contraste de resultados de ambos Equipos. Los cuales los mostramos en la siguiente Tabla.

Tabla 13: Resultados de la medición con “Roughometer III” y el “Rugosímetro Merlín”.

Dato / Geometría	Inicio	Fin	IRI _c (m/km)		VARIACIÓN (%)
			Roughometer III	Equipo Merlín	
D6-Curva	64+700	65+100	3.47	3.26	6.4%
D7-Curva	65+400	65+800	4.23	4.09	3.4%
D8-Curva	66+140	66+540	3.95	3.75	5.3%
D13-Curva	68+040	68+440	4.47	4.07	9.8%
D16-Curva	69+620	70+020	5.42	4.52	19.9%
D17-Curva	70+140	70+540	4.47	4.26	4.9%
D19-Curva	71+840	72+240	4.18	3.83	9.1%

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

En el siguiente Grafico de Líneas observamos la comparación de los resultados obtenidos por ambos equipos de medición de Rugosidad.

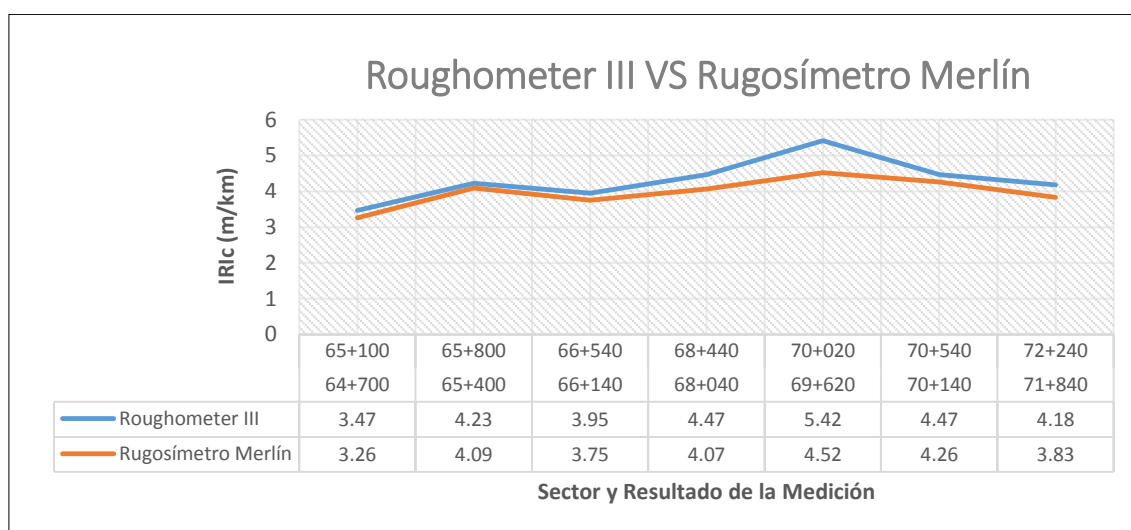


Figura 28: Comparación de Resultados “Roughometer III” & “Rugosímetro Merlín”
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Como se observa en la Tabla 13 la variación de resultados de ambos equipos no supera el 10% a excepción del sector que corresponde a la progresiva 69+620 @ 70+020 (D16-Curva) que nos da una variación de 19.9%. Estas variaciones de ambos Equipos se debe a que el “Rugosímetro Merlín” es de Clase I por lo que tiene mayor precisión que el “Roughometer III” que es de Clase III y que presenta una menor precisión.

4.2. VARIACIÓN DE PENDIENTES EN LA RUTA NACIONAL PE-3SF

Para realizar el análisis se trabajó con una muestra por cuotas, de donde se han elegido sectores de 200 m con variaciones de pendiente promedio, siendo esta muestra variable independiente como se indica en la tabla siguiente.

Tabla 14: Valores promedio cada 200 m de la Variación de Pendientes (%) en la Ruta Nacional PE-3SF

Dato / Geometría	Inicio	Fin	*Prom. Variación de Pendiente (%)
D1 -Tangente	53+140	53+340	0.37%
D2- Tangente	53+340	53+540	0.43%
D3-Tangente	54+600	54+800	0.54%
D4-Tangente	54+800	55+000	0.40%
D5-Tangente	55+200	55+400	0.88%
D6-Curva	64+800	65+000	1.06%
D7-Curva	65+500	65+700	1.19%
D9-Curva	66+980	67+180	1.44%
D10-Curva	67+300	67+500	0.96%
D11-Curva	67+740	67+940	0.92%
D12-Curva	67+940	68+140	1.17%
D13-Curva	68+140	68+340	1.55%
D14-Curva	68+500	68+700	1.24%
D15-Curva	68+900	69+100	1.14%
D16-Curva	69+720	69+920	1.64%
D17-Curva	70+240	70+440	1.47%
D18-Curva	70+940	71+140	1.23%
D19-Curva	71+940	72+140	1.40%
D20-Curva	72+280	72+480	0.69%
D22-Curva	73+880	74+080	0.76%
D-23Curva	74+420	74+620	1.00%

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

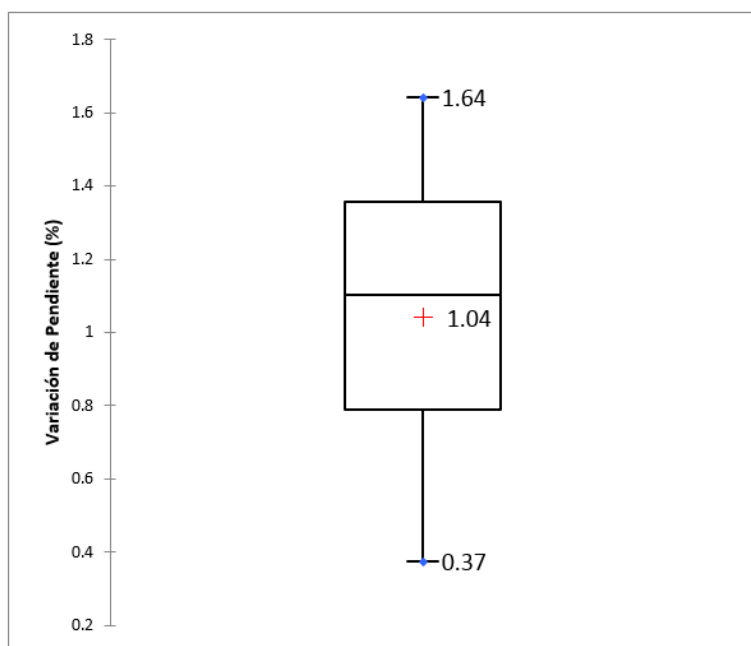


Figura 29: Diagrama de Caja de los Valores de la Variación de Pendientes (%) en la Ruta Nacional PE-3SF.
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

En la Tabla 14 y Figura 29, se tiene los estadísticos descriptivos de variación de pendiente (%), en la Ruta Nacional PE-3SF, de donde se obtuvo un valor mínimo de 0.37% en el sector que va desde la progresiva 53+140 @ 53+340 (D1 –Tangente) y uno máximo de hasta 1.64% que corresponde al sector que va desde la progresiva 69+720 @ 69+920 (D16-Curva), mientras que la media fue de 1.04%, lo que indica una amplitud de 1.27% para esta muestra.

4.3. CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIACIONES DE PENDIENTE Y LOS VALORES DE IRI.

El Comité Técnico de Asociación Española de Fabricantes de Mezclas asfálticas (ASEFMA) indica lo siguiente: “El análisis de las características superficiales de un pavimento se realiza principalmente mediante la medida e interpretación del perfil longitudinal, además indica que existen criterios aceptados internacionalmente para esta valoración, siendo el más conocido el del Comité de Características Superficiales de la

Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR) que establece, en función de la amplitud y de la longitud de onda de la irregularidad, la clasificación siguiente:”

Tipo de textura y de regularidad.		Rango de medida.	
		LONGITUD DE ONDA	AMPLITUD
MICROTEXTURA		0 – 0,5 mm.	0 – 0,2 mm.
MACROTEXTURA		0,5 – 50 mm.	0,2 – 10 mm.
MEGATEXTURA		50 – 500 mm.	1 – 50 mm.
REGULARIDAD SUPERFICIAL	Ondas cortas.	0,5 - 5 m.	1 – 20 mm.
	Ondas medias.	5 - 15 m.	5 – 50 mm.
	Ondas largas.	15 - 50 m.	10 – 200 mm.

Figura 30: Interpretación del perfil.

FUENTE: Asociación mundial de carreteras (AIPCR)

Asimismo ASEFMA literalmente asegura que según la Asociación Internacional de la Carretera (AIPCR), “las deformaciones con longitudes de onda comprendidas entre 0.50 y 50 metros son las que más afectan a la regularidad superficial del firme de una carretera”.

Entonces considerando los términos de referencia *ítem 3.3.1 donde indica que “las actividades se ejecutarán sobre la vía existente y no se realizarán cambios geométricos en la vía”* y lo indicado por el comité técnico ASEFMA, se analiza el perfil topográfico del eje de la vía a nivel de Micropavimento en intervalos de 10m con el fin de analizar los cambios de pendiente en la incidencia del IRI.

Para establecer una correlación, se han elegido sectores de 200 m de diferentes rangos de rugosidad con sus respectivos valores promedio de cambios de pendiente en términos de valor absoluto los cuales indicamos en los Ítems 4.1 y 4.2 y lo resumimos como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 15: Datos para la correlación entre el promedio de cambios de Pendiente en valor absoluto y la rugosidad IRI promedio en tramos de 200m.

Dato / Geometría	Inicio	Fin	IRI (m/km)	*Prom. Variación de Pendiente (%)
D1 -Tangente	53+140	53+340	2.30	0.37%
D2- Tangente	53+340	53+540	2.48	0.43%
D3-Tangente	54+600	54+800	2.07	0.54%
D4-Tangente	54+800	55+000	2.16	0.40%
D5-Tangente	55+200	55+400	2.09	0.88%
D6-Curva	64+800	65+000	3.47	1.06%
D7-Curva	65+500	65+700	4.23	1.19%
D9-Curva	66+980	67+180	3.68	1.44%
D10-Curva	67+300	67+500	3.06	0.96%
D11-Curva	67+740	67+940	3.56	0.92%
D12-Curva	67+940	68+140	3.78	1.17%
D13-Curva	68+140	68+340	4.47	1.55%
D14-Curva	68+500	68+700	3.67	1.24%
D15-Curva	68+900	69+100	3.71	1.14%
D16-Curva	69+720	69+920	5.42	1.64%
D17-Curva	70+240	70+440	4.47	1.47%
D18-Curva	70+940	71+140	3.86	1.23%
D19-Curva	71+940	72+140	4.18	1.40%
D20-Curva	72+280	72+480	3.07	0.69%
D22-Curva	73+880	74+080	3.62	0.76%
D-23Curva	74+420	74+620	3.88	1.00%

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

* **Promedio Cambios de Pendiente (%)** = Promedio del valor absoluto de los cambios de pendiente cada 10m

En la siguiente Figura se muestra la correlación existente entre los valores de rugosidad IRI y los cambios de pendiente en términos de valor absoluto.

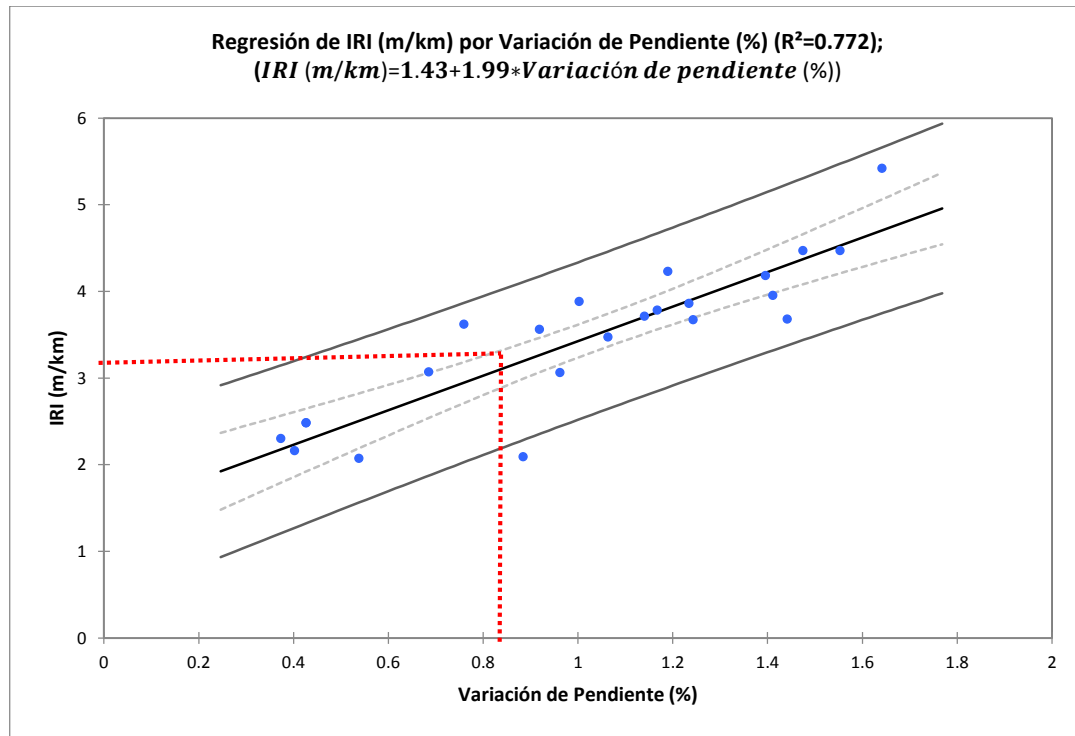


Figura 31: Correlación entre las variaciones de pendiente (%) y la rugosidad (IRI).
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Del diagrama de dispersión se observa un grado de correlación $R^2=0.772$ superior a 0.70, con intervalos de confianza de 95% y 99% como se ve en la Figura 20, que indica que los valores del índice de rugosidad (IRI) son explicados por la variación de la pendiente en un 77%, el porcentaje restante es atribuible a otros factores no considerados en la investigación. Para el cambio de pendiente de 0.83% corresponde un IRI de 3.00m/km.

Se ha verificado los sectores del tramo en análisis con cambios bruscos de pendientes y que están fuera del rango entre -0.83% y +0.83% donde los valores de IRI superan el umbral de 3.00m/km, estos a su vez por lo general se localizan en tramos con geometría sinuosa, terreno montañoso y escarpado y en tramos en tangente con curvas verticales u ondas que se encuentran entre 0.5m y 50m.

4.3.1. Análisis de Regresión Lineal:

Para determinar la Ecuación de la Recta que se generó de la correlación lineal entre las muestras de las variables en estudio, necesitamos conocer las medias, la desviación estándar y el coeficiente de correlación de las muestras de las variables, entonces tenemos:

$$\begin{aligned} \bar{x} = 1.04\% & \quad ; \quad S_x = 0.38\% & \quad ; \quad \rho_{xy}(\text{coef. correlación}) = 0.88 \\ \bar{y} = 3.51\text{m/km} & \quad ; \quad S_y = 0.87\text{m/km} \end{aligned}$$

Ecuación de la Recta: $Y = a + b * X$

Dónde:

Y: Variable Dependiente (IRI)

X: Variable Independiente (Variación de pendiente en %)

$$b = \rho_{xy} * \frac{S_y}{S_x} ; a = \bar{y} - b * \bar{x}$$

Reemplazando los datos en las ecuaciones tenemos la Ecuación Matemática de la Recta que relaciona ambas variables:

$$IRI \left(\frac{m}{km} \right) = 1.43 + 1.99 * \text{Variación de pendiente } (\%)$$

Dónde:

La variación de pendiente (%): Esta en porcentaje y debe pertenecer al rango de valores de la muestra de esta variable.

De esta Ecuación lineal se interpreta que cuando la variación de la pendiente se incrementa en una unidad (1%) se espera que el Índice de Rugosidad (IRI) se incremente en 1.99 m/km, así mismo el intercepto (1.43) indica que cuando la variación de la pendiente es cero, se espera que el IRI sea de 1.43 m/km.

El análisis estadístico confirma la relación entre las variables de estudio con un nivel de confianza del 95%, tanto para la correlación lineal como para la ecuación de regresión lineal.

4.3.2. Factor de Corrección para IRI Característico:

➤ Por Comparación de Equipos

De la **Tabla 13** tenemos las mediciones de IRI con los equipos el Rugosímetro Merlín y el ROUGHOMETER III, de los cuales tenemos sus medias de la medición que son $\bar{x} = 3.97$, $\bar{y} = 4.31$ respectivamente, entonces calculamos el factor de corrección por ser el equipo Rugosímetro Merlín de Clase 1 es decir de mayor precisión que el ROUGHOMETER III ya que este es de clase 3, entonces calculamos el factor de

corrección:

$$f.c. = \frac{\bar{x}}{\bar{y}} = \frac{3.97}{4.31} = 0.92$$

Entonces concluiremos que:

$$IRI_{\text{corregido}} = 0.92 * IRI_{\text{campo}} \dots (1)$$

➤ Por Regresión lineal de IRI campo e IRI de la ecuación de regresión lineal

Tabla 16: IRI de campo y de Regresión lineal

IRI (m/km) campo	IRI (m/km) regresión l.
2.30	2.18
2.48	2.28
2.07	2.51
2.16	2.23
2.09	3.20
3.47	3.55
4.23	3.80
3.95	4.24
3.68	4.31
3.06	3.35
3.56	3.26
3.78	3.76
4.47	4.53
3.67	3.91
3.71	3.71
5.42	4.70
4.47	4.37
3.86	3.89
4.18	4.21
3.07	2.80
3.62	2.95
3.88	3.43

FUENTE: Elaboración propia.

De la Tabla 16 realizada la regresión lineal de ambos IRI uno tomado en campo y el otro de la ecuación de regresión lineal obtenemos un:

$$IRI_{\text{corregido}} = 0.772 * IRI_{\text{campo}} \dots (2); \text{Siendo: f.c.}=0.772$$

Por lo tanto de (1) y (2) tenemos:

$$IRI_{\text{corregido}} = 0.92 * 0.772 * IRI_{\text{campo}}$$

$$IRI_{\text{corregido}} = 0.7 * IRI_{\text{campo}}$$

Dónde: f.c.=0.7

4.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

- ❖ Respecto a la Correlación entre las Variaciones de Pendientes y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

4.4.1. Coeficiente de Correlación:

El coeficiente de correlación lineal mide “r” mide la fuerza de la relación lineal entre los valores cuantitativos apareados x y y en una muestra.

El valor de “r” siempre debe estar entre -1 y +1.

$$r = \frac{N(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N(\sum X^2) - (\sum X)^2][N(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}}$$

Donde:

X: Variable 1: Variación de Pendiente (%)

Y: Variable 2: Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Tenemos $r = 0.879$.

4.4.2. Planteamiento de la Hipótesis:

Hipótesis nula; $H_0: \rho = 0$: No Existe correlación entre la variación de Pendiente (%) y el índice de rugosidad internacional (IRI).

Hipótesis Alterna; $H_a: \rho \neq 0$: Existe correlación entre la variación de Pendiente (%) y el índice de rugosidad internacional (IRI).

4.4.2.1. Método 1: El Estadístico de prueba es “t” de Student.

a) Nivel de Significancia

Trabajamos con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, teniendo un grado de libertad de $n - 2$, entonces tendríamos un valor de $22 - 2 = 20$.

Entonces según la tabla de “distribución *t – student*”, con los datos anteriores obtenemos de la tabla un $t_{tabla} = 2.086$ (Tabla para grafico de dos colas). Luego concluiremos con Si, $t > t_{tabla}$ “Se acepta H_a ” y Si, $t < t_{tabla}$ “Se aceptar H_o ”.

b) Estadístico de prueba “t”:

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}}}$$

Reemplazando tenemos:

$$t = \frac{0.879}{\sqrt{\frac{1 - 0.879^2}{22 - 2}}} = 8.244$$

c) Conclusión:

De la Prueba “t” de Student tenemos $t = 8.244 > t_{tabla} = 2.086$ y como planteamos en a), $t > t_{tabla}$ “Se acepta H_a ”, entonces se acepta la hipótesis alterna, esto quiere decir que: “Existe correlación entre la variación de Pendiente (%) y el índice de rugosidad internacional (IRI)”.

4.4.2.2. Método 2: El Estadístico de prueba es “r” de Pearson.

Correlación rectilínea de Pearson

La relación de las variables, toma valores comprendidos entre -1 y $+1$ pasando por 0 .

El $r = -1$ Comprende a una correlación negativa perfecta.

El $r = +1$ Comprende a una correlación positiva perfecta.

El $r = 0$, No existe ninguna correlación entre variable.

a) Nivel de Significancia:

Trabajamos con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, teniendo un grado de libertad de $n - 2$, entonces tendríamos un valor de $22 - 2 = 20$.

Entonces según la tabla de “distribución *t* – student”, con los datos anteriores obtenemos de la tabla un $r_{tabla} = 0.423$ (Tabla bilateral *r* de Pearson). Luego concluiremos con Si, $r > r_{tabla}$ “Se acepta H_a ” y Si, $r < r_{tabla}$ “Se aceptar H_o ”.

b) Estadístico de prueba “r”:

Del Ítem 4.4.1. Tenemos que: $r = 0.879$

c) Conclusión:

De la Prueba “*r*” de Pearson tenemos $r = 0.879 > r_{tabla} = 0.423$ y como planteamos en a), $r > r_{tabla}$ “Se acepta H_a ”, entonces se acepta la hipótesis alterna, esto quiere decir que: “Existe correlación entre la variación de Pendiente (%) y el índice de rugosidad internacional (IRI)”.

4.5. GRÁFICAS DE PERFIL, VARIACIÓN DE PENDIENTE, VALORES DE IRI

En el ANEXO - B se ha realizado una sectorización gráfica de los datos de la medición de IRI a excluir, los mismos que se han delimitado por los recuadros de color

rojo los cuales son todos los valores que presentan cambios de pendiente fuera de los rangos que van desde - 0.83% @ + 0.83%, también se muestra la relación que existe entre los cambios de pendiente y el IRI, sin embargo para la exclusión total de valores de IRI afectos por estas condiciones se ha realizado un resumen en el ítem: 4.6. a mayor detalle.

4.6. RESUMEN DE LOS VALORES DEL IRI DE LA RUTA NACIONAL PE-3S F

En las siguientes tablas se muestra el resumen de valores excluyendo sectores que presentan las Singularidades Propias (Puentes, Badenes, Gibas, cruces importantes) y sectores con cambios de pendientes fuera del rango -0.83% y +0.83% Ubicadas en cualquier parte del tramo independiente de la ubicación.

El detalle de cada una de ellas se observa en el ANEXO-C de valores de IRI cada 20m y el análisis de la pendiente cada 10m.

- En la siguiente tabla se muestra la exclusión del 45.10% de datos excluidos por cambios abruptos de la pendiente asociado a la geometría y plataforma existente.

Tabla 17: Resumen de valores del IRI Tramo I: Dv. Inquilpata – Chinchaypujio.

Tramo I	N° de Datos Totales	1754	100.00%	Promedio	2.32 (m/km)
	N° Datos Excluidos	963	54.90%	Desv Estándar	1.01
	N° Datos Válidos	791	45.10%	IRI Característico	2.85 (m/km)

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

IRI característico = $IRI_{prom} + 0.524 * Desv. Estándar$, para una confiabilidad del 70%

- En la siguiente tabla se muestra la exclusión del 34.32% de datos excluidos por cambios abruptos de la pendiente asociado a la geometría y plataforma existente.

Tabla 18: Resumen de valores del IRI tramo II: Chinchaypujio – Cotabambas.

Tramo II	N° de Datos Totales	3371	100.00%	Promedio (m/km)	2.28(m/km)
	N° Datos Excluidos	2214	65.68%	Desv. Estándar	0.88
	N° Datos Válidos	1157	34.32%	IRI Característico	2.74(m/km)

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

IRI característico = $IRI_{prom} + 0.524 * Desv. Estándar$, para una confiabilidad del 70%

- En la siguiente tabla se muestra la exclusión del 59.16% de datos excluidos por cambios abruptos de la pendiente asociado a la geometría y plataforma existente.

Tabla 19: Resumen de valores del IRI tramo II: Cotabambas – Pte. Ichuray.

	N° de Datos Totales	3061	100.00%	Promedio	2.33 (m/km)
Tramo III	N° Datos Excluidos	1250	40.84%	Desv. Estándar	1.12
	N° Datos Válidos	1811	59.16%	IRI Característico	2.92 (m/km)

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

IRI característico=IRIprom+0.524*Desv. Estándar, para una confiabilidad del 70%.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

GENERAL:

Con el Análisis de la Incidencia de la Geometría referido a los cambios de pendientes sobre el Índice de Rugosidad Internacional, se logró evidenciar que efectivamente los fuertes cambios de pendientes inciden notablemente en la medición del IRI y también influyen otros factores que no se estudió en esta tesis.

ESPECÍFICAS:

1. Determinamos el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la Ruta Nacional PE-3SF, Mediante dos métodos uno con el Equipo de Clase III “ROUGHOMETER III” e hicimos un contraste con el Equipo de Clase I “Rugosímetro Merlín” de los cuales se procedió con un muestreo por cuotas para un análisis total de la vía, y este presentó un valor mínimo de 2.07 m/km en D3-Tangente (Tabla 13) y máximo de 5.42 m/km en D16-Curva (Tabla 13), la media fue de 3.51 m/km y una amplitud de 3.35 m/km para esta ruta.
2. Establecimos y seleccionamos sectores con fuertes cambios de pendientes mediante el muestreo por cuotas del levantamiento topográfico a nivel de Micropavimento en el eje de la rasante de la Ruta Nacional PE-3SF, El cual presentó un valor mínimo de 0.37% en D1 –Tangente (Tabla 13) y uno máximo de 1.64% en D16-Curva (Tabla 13), la media fue de 1.04% y una amplitud de 1.27% para esta ruta.
3. La correlación lineal del muestreo por cuotas que representa la carretera para un análisis total de la vía en análisis fue de $R^2=0.772$, que indica que los valores del

índice de rugosidad (IRI) son explicados por la variación de la pendiente en un 77.2%, el cambio de pendiente de 0.83% corresponde un IRI de 3.00m/km que es el límite establecido por los Niveles de Servicio, el modelo lineal que explica la relación es $IRI (m/km) = 1.43 + 1.99 * \text{Variación de Pendiente } (\%)$ para factor de variación de pendientes en el perfil de la vía.

4. Los sectores con cambios de pendiente fuera del rango -0.83% a +0.83%, presentan valores de IRI superior a 3.0 m/km, los mismos que se encuentran ubicados con frecuencia en curvas verticales de longitudes cortas menores a 50 m, curvas de volteo o de “desarrollo” en laderas, en zonas sinuosas con curvas compuestas tipo S (curvas y contra curvas), en sectores de la vía que fueron construidas por corte en matrices rocosas y que no cuentan con parámetros de diseño.

5. Después de realizar el análisis y haber excluido los valores de IRI por singularidades y las singularidades por condiciones geométricas asociadas a los cambios de pendientes, los valores de IRI Característico obtenidos son de 2.85 m/km, 2.74 m/km y 2,92 m/km para los tramos I, II y III respectivamente, los cuales cumplen con los indicados en los términos de referencia para una confiabilidad del 70%, sin embargo es importante precisar la cantidad de sectores excluidos asociados son los siguientes porcentajes Tramo I (54.90 %), Tramo II (65.68 %) y Tramo III (40.84 %), a su vez este porcentaje incluyen sectores de forma total o parcial declarados en el Programa de Gestión Vial como puntos críticos y coinciden con la geografía de la zona.

CAPITULO VI

6. RECOMENDACIONES

- Los porcentajes excluidos por singularidades y por geometría del perfil asociados a los cambios de pendiente fuera del rango entre $- 0.83 \%$ y $+ 0.83 \%$ constituyen el 54.90% , 65.68% y 40.84% para los tramos I, II y II respectivamente, esto debido a las condiciones del proyecto cuyo objetivo es el mejoramiento superficial de la vía manteniendo la geometría y plataforma existente, en virtud de ello bajo este concepto es recomendable comunicar al MTC la modificación de los niveles de exigencia considerando que los porcentajes excluidos superan el 10% .
- Posterior a las actividades de transitabilidad y puesta a punto, se recomienda la Identificación de sectores con deformación ocasionados fallas geológicas, fallas geotécnicas, problemas hidrológicos, geografía de la zona, zonas de riesgo elevado (según la definición de Puntos Críticos) y por consideraciones de geometría (sectores con cambios de pendientes en tramos cortos, ubicados en curvas verticales y horizontales a lo largo de la vía excluidos en el presente informe).
- Se recomienda considerar zonas de geometría restringida como singularidades por cambios abruptos de pendiente ubicados a lo largo de la vía (Curvas de volteo, curvas verticales, curvas compuestas etc.). En estos casos se pueden utilizar otros indicadores o parámetros para controlar el nivel de servicio relacionado al confort de la vía, tal como los daños superficiales.

CAPITULO VII

7. REFERENCIAS

- Chang, C. M., Marcobal, J. R., Tapia, O., Escamilla, P. M., & Valdez, L. (2017). NIVELES DE SERVICIO BASADOS EN EL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI). Congreso Ibero - Latinoamericano del Asfalto, (pág. 12). Medellín Colombia.
- DG. (2018). Manual de Carreteras - Diseño Geométrico. Lima, Perú.
- DG2014, M. (2014). Manual de Carreteras - Diseño Geométrico. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, Perú.
- EG. (2013). Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción. Lima, Perú.
- EM. (Mayo de 2016). Manual de Ensayo de Materiales. Lima, Perú.
- Marcobal, J. R., Díaz, R., Márquez, W., & Saldaña, D. (2017). Evaluación de la Rugosidad (IRI) en Caminos Pavimentados de Geometría Restringida: Cálculo del IRI Geométrico- Caso de Aplicación. Congreso Ibero - Latinoamericano del Asfalto. Medellín Colombia.
- Sayers, Michael. Gillespie Thomas y Queiroz Cesar: World Bank Technical paper number 46. The international road roughness experiment, Washington. D.C. USA, 1986.
- Sayers Michael & Karamihas Steven: The Little book of profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles. September 1998.
- Almanza Mendoza, D. (2014). “Evaluación de modelo “Quarter Car” para la Estimación del Índice de Rugosidad (IRI) del tramo Huancavelica - Santa Inés”. UNAP.
- MC-GLOSARIO. (2018). Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial. Lima, Perú.

- MCV. (2014). Manual de Carreteras - Mantenimiento o Conservación Vial. Lima, Perú.
- MIV. (Abril de 2014). Manual de Inventarios Viales. Lima, Perú.
- Montoya G, J. (Septiembre de 2013). Análisis del IRI Para un Proyecto de Carretera Sinuosa Concesionada en el Perú. Lima, Perú.
- MTC. (2014). Manual de Carreteras - Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Lima, Perú.
- Puentes, C. S., Gabrielli, R. C., & López, C. F. (2017). Geometría del Camino y su Influencia en el IRI. Congreso Ibero - Latinoamericano del Asfalto, (pág. 12). Medellín Colombia.
- Sayers, M. (1986). Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements".
- Gutiérrez, T. Arce, M. (2004) Índice de Regularidad Internacional.
- TDR-PVN. (2015). Términos de Referencia Integrados Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial: Carretera Emp. PE-3S (Mollepuquio) - Chinchaypujio - Cotabambas - Tambobamba – Chalhahuacho. PROVIAS NACIONAL. Lima, Perú.

ANEXOS

ANEXO 1: PROCEDIMIENTO DE ENSAYO CON EL EQUIPO RUGOSÍMETRO MERLÍN.

ANEXO 2: GRÁFICAS DE PERFIL, VARIACIÓN DE PENDIENTE Y VALORES DE IRI.

ANEXO 3: DATA NATIVA IRI CON Y SIN EVENTOS CADA 20 m Y COTA RASANTE DEL EJE DE LA VÍA CON MICROPAVIMENTO CADA 10 m.

ANEXO 4: CERTIFICADO DE GARANTÍA RUGOSÍMETRO III GV Y ROUGHOMETER III CALIBRATION & ACCURACY STATEMENT.

ANEXO 5: PLANO CLAVE DE LA RUTA NACIONAL PE – 3S F.