

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)
DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA
CAJAMARCA – BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL
RUGOSIMETRO DE MERLIN”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Autor:

Tingal Limay Homero

Asesor:

Ing. Alejandro Cubas Becerra

CAJAMARCA - PERÚ

2021

COPYRIGHT © 2021 by
HOMERO TINGAL LIMAY
Todos los derechos

DEDICATORIA

Dedico primeramente a Dios Todo Poderoso por haberme permitido alcanzar este objetivo y poder dar un paso tan decisivo en mi superación profesional y personal, por haberme dado fuerza y perseverancia durante toda mi vida como estudiante. A todas las personas que me rodean y que de alguna forma me han impulsado a culminar mi carrera:

A mis amados padres

Segundo V. Tingal Vargas y María Andrea Limay Cueva quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más.

A mis hijos

Bruno Stefano, Evanns Jerome y Liam Andre, quizá por el momento no entiendan mis palabras, pero cuando sean capaces quiero que se den cuenta lo que significan para mí; por ser mi principal fuente de inspiración y motivación, mi fortaleza y la razón de que me levante cada día, esforzarme por el presente y el mañana.

A mis hermanos

Raúl y Guillermo, quienes me brindaron todo su apoyo en todo momento, y fueron parte de esto; y así seguir logrando mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Con especial agradecimiento a:

A Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

A mis Padres por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional de obtener uno de mis anhelos más deseados

A mi asesor, por la orientación durante todo este proceso y por su apoyo incondicional en el desarrollo de esta tesis.

A la Universidad Nacional de Cajamarca la cual fue la sede para obtener conocimientos durante el desarrollo de mis estudios hasta lograr este objetivo.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	15
1.4.1. Variable Independiente	15
1.4.2. Variable dependiente	16
1.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	16
1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.7. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.8. OBJETIVOS.....	17
1.8.1. Objetivo General:	17
1.8.2. Objetivos Específicos:	17
1.9. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	18
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	19
2.2. BASES TEÓRICAS.....	21
2.2.1. CARRETERA.....	21
2.2.2. PAVIMENTO.....	24
2.2.3. RUGOSIDAD SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO.....	28
2.2.4. ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)	32
2.2.5. MÉTODOS Y EQUIPOS PARA EVALUAR LA RUGOSIDAD.....	40
2.2.6. SERVICIABILIDAD DE LOS PAVIMENTOS	47
2.2.7. EL RUGOSIMETRO DE MERLIN.....	48
2.2.8. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN	53

2.2.9. CORRELACIÓN PSI - IRI	55
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	57
2.3.1. VÍAS PRINCIPALES URBANAS	57
2.3.2. RUGOSIDAD SUPERFICIAL	57
2.3.3. DESEMPEÑO DE UNA VÍA	58
2.3.4. NIVEL DE SERVICIO	58
2.3.5. ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE (PSI).....	58
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	59
3.1. UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN	59
3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA	59
3.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	59
3.2. TIEMPO DE REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	61
3.3. METODOLOGÍA	61
3.3.1. TIPO, NIVEL DE DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	61
3.3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	61
3.3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS	61
3.3.4. RECURSOS.....	61
3.3.5. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	62
3.3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..	62
3.4. PROCEDIMIENTO	63
3.4.1. INSPECCION VISUAL Y LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	63
3.4.2. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA.....	63
3.4.3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO Y EJEMPLO DE CÁLCULO DEL IRI.....	66
3.5. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	72
3.5.1. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	72
3.5.2. REGISTRO, ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LAS UNIDADES DE MUESTRA PARA DETERMINAR LOS RESULTADOS	78
3.5.3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	115
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	119
4.1. ANÁLISIS.....	119
4.1.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE AMBAS CALZADAS	119
4.1.2. RELACIÓN ENTRE LA RUGOSIDAD (IRI) Y LA SERVICIABILIDAD (PSI)	120
4.2. DISCUSIÓN.....	122

4.2.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON LA HIPÓTESIS.....	122
4.2.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON LOS ANTECEDENTES TEÓRICOS	123
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
5.1. CONCLUSIONES	125
5.2. RECOMENDACIONES	127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
ANEXOS:.....	131
ANEXO N° 01: TABLERO RUGOSÍMETRO MERLIN.....	132
ANEXO N° 02: FORMATO CONTEO TRÁFICO.....	133
ANEXO N° 03: FORMATO RUGOSÍMETRO MERLIN.....	134
ANEXO N° 04: CÁLCULO DE LOS HISTOGRAMAS Y EL IRI.....	135
ANEXO N° 05: FORMATO DATOS DE CAMPO – CONTEO DE TRÁFICO.	137
ANEXO N° 06: PANEL FOTOGRÁFICO.....	142
ANEXO N° 07: CALIBRACIÓN MERLIN	153
ANEXO N° 08: PLANOS	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01 Evaluación y Valoración del IRI, según tipo de vía.	35
Tabla N° 02 Rugosidad inicial IRI (m/km). Según tipo de carretera con carpeta asfáltica en caliente.....	37
Tabla N° 03 Consolidado de exigencias de rugosidad en concesiones viales en el Perú.	39
Tabla N° 04 Clasificación de equipos para la medición del IRI en carreteras. ..	40
Tabla N° 05 Índice de Serviciabilidad.	47
Tabla N° 06 Escala de Clasificación de la Serviciabilidad de los pavimentos según NORMA AASHTO 1962.	48
Tabla N° 07 Rangos y Valores característicos de IRI en función del PSI.	57
Tabla N° 08 Ubicación Geográfica de la investigación	59
Tabla N° 09 Índice Medio Diario.....	64
Tabla N° 10 Volumen de Tráfico	64
Tabla N° 11 Conteo vehicular.	65
Tabla N° 12 Formato de registro de campo para Medición del IRI	69
Tabla N° 13 Resultados de la evaluación del tramo: Km 00+000m al Km 00+400m. Calzada 1 (ida).....	79
Tabla N° 14 Resultados de la evaluación del tramo: Km 00+400m al Km 00+800m. Calzada 1 (ida).....	81
Tabla N° 15 Resultados de la evaluación del tramo: Km 00+800m al Km 1+200m. Calzada 1 (ida).....	83
Tabla N° 16 Resultados de la evaluación del tramo: Km 1+200m al Km 1+600m. Calzada 1 (ida).....	85
Tabla N° 17 Resultados de la evaluación del tramo: Km 1+600m al Km 2+000m. Calzada 1 (ida).....	87
Tabla N° 18. Resultados de la evaluación del tramo: Km 2+000m al Km 2+400m. Calzada 1 (ida).....	89
Tabla N° 19. Resultados de la evaluación del tramo: Km 2+400m al Km 2+800m. Calzada 1 (ida).....	91
Tabla N° 20. Resultados de la evaluación del tramo: Km 2+800m al Km 3+200m. Calzada 1 (ida).....	93

Tabla N° 21. Resultados de la evaluación del tramo: Km 3+200m al Km 3+700m. Calzada 1 (ida).....	95
Tabla N° 22. Resultados de la evaluación del tramo: Km 0+000m al Km 0+400m. Calzada 2 (vuelta)	97
Tabla N° 23. Resultados de la evaluación del tramo: Km 0+400m al Km 0+800m. Calzada 2 (vuelta)	99
Tabla N° 24. Resultados de la evaluación del tramo: Km 00+800m al Km 1+200 m. Calzada 2 (vuelta)	101
Tabla N° 25. Resultados de la evaluación del tramo Km 1+200m al Km 1+600m. Calzada 2 (vuelta)	103
Tabla N° 26. Resultados de la evaluación del tramo: Km 1+600m al Km 2+000m. Calzada 2 (vuelta).	105
Tabla N° 27. Resultados de la evaluación del tramo: Km 2+000m al Km 2+400m. Calzada 2 (vuelta)	107
Tabla N° 28. Resultados de la evaluación del tramo: Km 2+400m al Km 2+800m. Calzada 2 (vuelta)	109
Tabla N° 29. Resultados de la evaluación del tramo: Km 2+800m al Km 3+200m. Calzada 2 (vuelta)	111
Tabla N° 30 Resultados de la evaluación del tramo: Km 3+200m. al Km 3+700m. Calzada 2 (vuelta)	113
Tabla N° 31 Resumen del cálculo de la rugosidad en unidades IRI, UM - Calzada 1 (ida).....	115
Tabla N° 32 Resumen del cálculo de la rugosidad en unidades IRI, UM - Calzada 2 (vuelta)	116
Tabla N° 33. Cuadro resumen del IRI característico, UM Calzada 1 (ida)	117
Tabla N° 34. Cuadro resumen del IRI característico, UM Calzada 2 (vuelta) .	118
Tabla N° 35. Comparación del IRI de las dos Calzadas	120
Tabla N° 36. Relación IRI - PSI Para Calzada 1 (ida)	121
Tabla N° 37. Relación IRI – PSI Para Calzada 2 (vuelta)	122
Tabla N° 38 Resultado final de la evaluación del estado del pavimento.....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01. Esquema típico del paquete estructural de un pavimento.....	25
Figura N° 02. Esquema de paquete estructural de los pavimentos flexibles, rígidos e híbridos.	26
Figura N° 03. Perfil longitudinal real de una carretera	29
Figura N° 04. Respuesta dinámica de un cuarto de carro y el Índice Internacional de Rugosidad.....	33
Figura N° 05. Escala según estándar para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías (Sayers y Karamihas,1998)	36
Figura N° 06. Levantamientos con miras a nivel.	41
Figura N° 07. Equipo de clase I: Perfilometro Laser	42
Figura N° 08. Equipo de clase I: Walking Profiler de la marca SSI	43
Figura N° 09. Equipo de clase II: Perfilografo California	44
Figura N° 10. Equipo de clase III: Bump Integrator.....	45
Figura N° 11. Equipo de clase III: Roughometer II.....	46
Figura N° 12. Rugosímetro MERLIN.....	50
Figura N° 13. Esquema del Rugosímetro MERLIN.....	51
Figura N° 14. Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio. .	52
Figura N° 15. Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio utilizando MERLIN.....	53
Figura N° 16. Histograma de la distribución de frecuencias de una Muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva.	54
Figura N° 17. Correlación PSI – IRI.....	56
Figura N° 18. Ubicación geográfica de la zona.....	60
Figura N° 19. Ubicación de la zona en estudio.....	60
Figura N° 20. Sección típica de la vía en estudio	65
Figura N° 21. Estructura del pavimento.....	66
Figura N° 22. Formato de registro de campo para Medición del IRI	70
Figura N° 23. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 01; Calzada 1 (ida)	80
Figura N° 24. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 02; Calzada 1 (ida)	82

Figura N° 25. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 03 Calzada 1 (ida).	84
Figura N° 26. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 04 Calzada 1 (ida)	86
Figura N° 27. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 05 Calzada 1 (ida)	88
Figura N° 28. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 06 Calzada 1 (ida)	90
Figura N° 29. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 07 Calzada 1 (ida)	92
Figura N° 30. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 08 Calzada 1 (ida)	94
Figura N° 31. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 09 Calzada 1 (ida)	96
Figura N° 32. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 01 Calzada 2 (vuelta).....	98
Figura N° 33. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 02 Calzada 2 (vuelta).....	100
Figura N° 34. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 03 Calzada 2 (vuelta).....	102
Figura N° 35. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 04 Calzada 2 (vuelta).....	104
Figura N° 36. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 05 Calzada 2 (vuelta).....	106
Figura N° 37. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 06 Calzada 2 (vuelta).....	108
Figura N° 38. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 07 Calzada 2 (vuelta).....	110
Figura N° 39. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 08 Calzada 2 (vuelta).....	112
Figura N° 40. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 09 Calzada 2 (vuelta).....	114

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 01. Detalle de Giba de dos metros de ancho	73
Fotografía N° 02. Inicio de tramo embloquetado, frente a la Universidad Nacional de Cajamarca.....	74
Fotografía N° 03. Fisuras ligeramente visibles	74
Fotografía N° 04. Detalle de Giba muy pronunciada.	75
Fotografía N° 05: Ondulación a un costado de la berma	76
Fotografía N° 06. Presencia de bloquetas en ambas calzadas de la vía.	77
Fotografía N° 07. Levantamiento topográfico de la sección de la vía Cajamarca – Baños del Inca, y algunos otros detalles.	142
Fotografía N° 08. Conteo de tráfico, estación puente Qhapac Ñan - Calzada 1 (ida)	142
Fotografía N° 09. Conteo de tráfico, estación puente Qhapac Ñan - Calzada 2 (vuelta).....	143
Fotografía N° 10. Inicio de medición con odómetro cada 400 m. (UM-01, Km 00+000)	143
Fotografía N° 11. medida y marcación de muestra (UM-02).....	144
Fotografía N° 12. Medida y marcación de UM-03.....	144
Fotografía N° 13. Apoyo en medición y señalización de UM-04.	145
Fotografía N° 14. Medida y señalización utilizando pintura y Odómetro, UM-06.	145
Fotografía N° 15. Verificación del Rugosímetro de Merlin para dar inicio al registro de mediciones.	146
Fotografía N° 16. Técnico dando el visto bueno y verificando la calibración del Rugosímetro de Merlin; previo a la toma de datos.	146
Fotografía N° 17. Inicio de toma de datos con el Rugosímetro de Merlin, UM 01 - Calzada 1 (ida), (Rotonda Musical - Cajamarca), Km 00+000m.....	147
Fotografía N° 18. Lectura y toma de datos con Merlin, Calzada 1 (ida), km 00+160.....	147
Fotografía N° 19. Lectura y toma de datos, km 00+200m.	148
Fotografía N° 20. Lectura y toma de datos con Merlin, Calzada 1 (ida), km 00+600 – Altura UNC	148
Fotografía N° 21. Lectura y toma de datos con Merlin, Calzada 1 (ida), km 00+730 – Altura UNC	149
Fotografía N° 22. Lectura y toma de datos con Merlin, Calzada 1 (ida), km 00+880 – Altura Puente Qhapac Ñan.....	149
Fotografía N° 23. Lectura y toma de datos con Merlin, Calzada 1 (ida), km 02+560 – Altura de Bella Unión.....	150
Fotografía N° 24: Lectura y toma de datos con Merlin, Calzada 1 (ida), km 03+600 (Fongal).....	150
Fotografía N° 25. Fin de toma de datos en la Calzada 1 (ida), km 03+700 (Rotonda Baños del Inca).....	151
Fotografía N° 26. Fin de medición y toma de lecturas – Calzada 2 (vuelta). (Rotonda Musical – Cajamarca)	151
Fotografía N° 27. Pastilla o disco circular de bronce. Colocado debajo del apoyo móvil del Rugosímetro de Merlin para su nivelación.	152
Fotografía N° 28. Equipo y Herramienta de trabajo: conos de seguridad, paletas para dirigir el tránsito y Odómetro para medir las distancias de muestreo.....	152

RESUMEN

La presente tesis de investigación resume el análisis del IRI del pavimento flexible de la vía Cajamarca – Baños del Inca utilizado el Rugosímetro de Merlin, a partir del cual se verifica las condiciones de transitabilidad, serviciabilidad y confort, con el objetivo de obtener resultados que luego de relacionarlos y compararlos, obtener valores y así dar una calificación real de cómo se encuentra la superficie de la vía.

El desarrollo de esta investigación se inició con la inspección visual en campo, medición del tráfico, levantamiento topográfico en ambas calzadas y posterior a esto realizar mediciones de las irregularidades con el Equipo Merlin tomando medidas cada dos metros (equivalente a una vuelta de rueda) en tramos de 400 metros; y así estos datos procesarlos y obtener resultados que nos sirvieron como base o ejemplo de investigación y así brindar apoyo en futuros estudios, diseños y construcción de pavimentos asfálticos con el fin de brindar una solución a las diferentes deficiencias constructivas.

Así mismo de los resultados obtenidos se determinó valores de la rugosidad en unidades del IRI siendo los siguientes: para la calzada de ida (Cajamarca – Baños del Inca) el valor del IRI fue 1.07 m/km; y para la calzada de vuelta (Baños del Inca – Cajamarca) se obtuvo un valor de 1.10 m/km.

Por lo tanto, podemos afirmar que a partir de las mediciones con el Rugosímetro MERLIN, estos datos y resultados que nos brinda este equipo, son datos eficientes además de ser una herramienta de fácil uso y de bajo costo.

Palabras Claves: Pavimento flexible, Índice de Rugosidad Internacional, serviciabilidad de pavimentos, rugosidad superficial.

ABSTRACT

This research thesis summarizes the IRI analysis of the flexible pavement of the Cajamarca - Baños del Inca road, using the Merlin Roughometer, from which the conditions of walkability, serviceability and comfort are verified, with the aim of obtaining results that later to relate and compare them, obtain values and thus give a real rating of how the road surface is.

The development of this research began with the visual inspection in the field, traffic measurement, topographic survey on both roads and after this, measuring the irregularities with the Merlin Equipment taking measurements every two meters (equivalent to one wheel turn) in sections of 400 meters; and thus process these data and obtain results that served us as a basis or example of research and thus provide support in future studies, designs and construction of asphalt pavements in order to provide a solution to the different construction deficiencies.

Likewise, from the results obtained, roughness values were determined in IRI units, being the following: for the outward road (Cajamarca - Baños del Inca) the IRI value was 1.07 m / km; and for the return road (Baños del Inca - Cajamarca) a value of 1.10 m / km was obtained.

Therefore, we can affirm that from the measurements with the MERLIN Roughometer, these data and results provided by this equipment are efficient data as well as being an easy-to-use and low-cost tool.

Keywords: Flexible pavement, International Roughness Index, pavement serviceability, surface roughness.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una infraestructura vial es de vital importancia para un país y las ciudades que la conforman, por ser punto de donde parte el desarrollo y progreso de sus pueblos, más aún si la calidad de vía es adecuada, funcional y construida de manera estratégica garantizando una buena transitabilidad y serviciabilidad.

El Índice de Rugosidad Internacional IRI constituye en la actualidad uno de los controles de serviciabilidad más importantes, debido a que puede relacionarse con el nivel de comodidad, seguridad y costos de operación y, por lo tanto, facilita la cuantificación de los beneficios que obtiene el usuario. Existen diversas metodologías de control; todas ellas implementadas por diversas agencias de acuerdo a su necesidad y sus exigencias de control (Montoya, J. 2013).

En el estado peruano las inversiones para realizar proyectos de carreteras son cada vez mayores, por lo que los estudios a fin de garantizar la calidad y servicio de una vía deberán siempre estar establecidas bajo los parámetros y normas que la rigen.

Actualmente el Perú cuenta con una extensión poco más de 149,659.97 kilómetros de carreteras de los cuales 18,698.56 kilómetros pertenecen a vías asfaltadas, las mismas que necesitan con marcada frecuencia mantenimiento en ciertos periodos de tiempo (RENAC, 2012). Esto es consecuencia del hecho que la vida útil de los mismos es corta; y además presentan a corto plazo envejecimientos prematuros que hacen de las carreteras tengan problemas funcionales, tanto en comodidad para el tránsito vehicular como a la estructura misma. Así mismo para conocer sobre los motivos que originan este fenómeno, se debe realizar un recuento de la calidad de las actividades en ejecución de un proyecto de carretera a fin de conocer si éstas fueron llevadas a cabo bajo todas

las consideraciones iniciales de diseño y si existieron fallas en una o varias de sus partes.

En la actualidad es importante hacer análisis y estudios de rugosidad a lo largo de los tramos de las carreteras pavimentadas, para así ofrecer una red vial con excelentes condiciones, es así que Cajamarca por ser una de las ciudades con variedad de climas, exige realizar diseños constructivos acorde al clima, tipo de terreno, y más aún por ser integrante de la red vial departamental que por reglamento necesita mayor interés en los estudios y brindar adecuada construcción debido al impulso económico que estas ofrecen y la disminución en tiempos de viaje y costos de operación de los vehículos, llevando consigo un beneficio considerable al usuario.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la Rugosidad superficial en unidades IRI del pavimento flexible de la vía Cajamarca – Baños del Inca, utilizando el Rugosímetro de Merlin?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El resultado del análisis de rugosidad superficial según el IRI de la vía Cajamarca – Baños del Inca; utilizando el Rugosímetro de Merlin es bueno.

1.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.4.1. Variable Independiente

✓ **X1 = Rugosidad superficial**

Es la desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo y la calidad de manejo.

1.4.2. Variable dependiente

✓ **Y1 = Índice de Rugosidad Internacional (IRI)**

Es un estándar de medida de rugosidad superficial de las carreteras, el cual permite evaluar con cualquier equipo de medición de la rugosidad de un pavimento; e indicar en valores propios del IRI.

1.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	INDICADORES	NIVEL	FUENTE	UNIDAD	INSTRUMENTO
INDEPENDIENTE	X1= Rugosidad superficial	Serviciabilidad	Deterioro	Análisis	Encuesta	Observación
DEPENDIENTE	Y1= Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	Unidades IRI	0 - 2.8: bueno 2.8-4.0: Regular 4 - 5: Malo > 5: Muy mala	Evaluación de la superficie de rodadura	m/km	Rugosímetro de MERLIN

1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó con el propósito de hacer un análisis bien detallado acerca del estado actual de la superficie del pavimento flexible utilizando el Rugosímetro de MERLIN; y de ahí en adelante tomar en cuenta las acciones a considerarse y realizarse en la infraestructura del pavimento y así tener que prever y mantener sus condiciones óptimas de funcionamiento.

Además, se justifica ya que se pretende contribuir y así obtener un documento detallado y complementado en base a los estudios que se realice, “pues la determinación del IRI es un requisito obligatorio de la calidad del pavimento así como lo señala la normativa peruana, además indica cuándo y dónde debe ser

intervenido una vía para su mantenimiento o rehabilitación como se estipula en los contratos de concesión vial; asimismo es un parámetro que debe ser estudiado y manejado por todos los ingenieros de carreteras, porque su desconocimiento genera que más carreteras sean construidas sin cuidar la rugosidad superficial trayendo como consecuencia el deterioro acelerado del pavimento que puede desencadenar en una serie de problemas que afectarían al pavimento” (...) (Hirpahuanca Laura, D. 2016:17); por tal motivo se considera de relevancia dicha investigación.

1.7. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación de análisis tiene como alcance determinar la rugosidad superficial en unidades del IRI del pavimento flexible de la vía Cajamarca – Baños de Inca, el cual comprende en inspeccionar, medir y calcular las unidades de muestras en las dos calzadas; para tal efecto se usó el equipo denominado Rugosímetro de MERLIN, el cual por ser un equipo basado en el Perfilómetro Estático y por brindar valores precisos se considera de mucha importancia y relevancia para así dar un alcance referencial hacia los profesionales y técnicos que se dedican a la construcción de pavimentos y en especial para los que desarrollan estudios sobre el análisis de la rugosidad, métodos de cálculo, escalas de medición y sus normas pertinentes.

1.8. OBJETIVOS

1.8.1. Objetivo General:

- Analizar la Rugosidad superficial mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del pavimento flexible de la vía Cajamarca – Baños del Inca, utilizando el Rugosímetro de MERLIN.

1.8.2. Objetivos Específicos:

- Cuantificar Unidades de Muestra mediante mediciones topográficas y con odómetro a lo largo de las dos calzadas de la vía.

- Analizar el procedimiento de medición de las deformaciones longitudinales y demostrar la serviciabilidad del pavimento de la vía.
- Calcular el IRI máximo, el IRI mínimo y el IRI Promedio, de la vía Cajamarca – Baños del Inca con el Rugosímetro de Merlin.
- Correlacionar los resultados de la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).
- Comparar la Rugosidad superficial de ambas calzadas de la vía Cajamarca – Baños del Inca.

1.9. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

Esta investigación está constituida por 5 capítulos:

Capítulo I: Hace mención al Planteamiento del Problema, el cual abarca la identificación del problema, justificación e importancia de la investigación, los alcances de la investigación, objetivos y la descripción de los contenidos.

Capítulo II: Está referido al Marco Teórico, en el cual se indican los antecedentes de la tesis y las bases teóricas pertinentes que consiste en toda la teoría en la que se fundamenta la investigación.

Capítulo III: Se refiere a Materiales y Métodos empleados en el desarrollo de la investigación, el cual contiene la metodología de la investigación, diseño de la investigación, población y muestra; los instrumentos, procedimientos de recolección de datos y procedimiento de análisis de datos.

Capítulo IV: Se refiere al análisis y discusión de los resultados.

Capítulo V: Referido a las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

“Índice Internacional de Rugosidad, aplicación a la red carretera de México”, Este trabajo pretende describir el concepto de Índice Internacional de Rugosidad (IRI), los procedimientos para el cálculo del mismo y su correlación con los equipos de medición de rugosidad. Describe la utilidad y ventajas de evaluar el estado superficial de la red nacional de carreteras en valores del Índice Internacional de Rugosidad.

“Determinación del coeficiente internacional de rugosidad (IRIS) a través de la bicicleta de Merlin y el equipo de respuesta “Rouhness Tester para medición directa de IRI”. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia 2018, este trabajo de investigación tiene la finalidad conocer los parámetros de rugosidad de la carpeta de rodadura aplicando 2 métodos diferentes, LA BICICLETA DE MERLIN Y ROUHNESS TESTER para la medición directa del IRI el cual permite comparar y verificar el valor de IRI y así tratar de buscar la mejor solución.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

“Estudio de Rehabilitación de la Panamericana Norte”, GMI Ingenieros Consultores S.A., 2013. El 03 de diciembre del 2013 la empresa COVISOL, realizó un estudio definitivo para la Rehabilitación de la Carretera Panamericana Norte, tramo vía de evitamiento Trujillo desde el km 557+000 al 586+600 (desde el Rotonda Salaverry hasta el Rotonda el Milagro), contando con una longitud total de 29.60 Km.

“Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú”, ejecutado por el Ingeniero José Montoya Goicochea, de la Universidad de Piura, en la ciudad de Lima en el 2013.

La presente tesis de Maestría resume el análisis del IRI en un proyecto, a partir del cual se propone un mecanismo para la determinación de tolerancias en el control de la rugosidad establecida en los contratos de las concesiones viales.

Para tal objetivo, se planteó como estrategia, relacionar el IRI de diseño de la vía con los datos geométricos de la misma.

Llegando a la conclusión de 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.

“Estudio del índice de rugosidad internacional de la panamericana norte - zona Trujillo, para su mantenimiento”, tesis para obtener el **grado de maestro en transportes y conservación vial, Trujillo - Perú 2016**; El objetivo de esta tesis es realizar el estudio del Índice de Rugosidad Internacional de la Panamericana Norte – Zona Trujillo, para su mantenimiento adecuado incidiendo en el aspecto socio-económico de gestión, para la obtención de la rugosidad del pavimento utilizamos una metodología basada en la distribución de las desviaciones de nuestro pavimento real con respecto a una superficie plana perfecta imaginaria, utilizando el rugosímetro Merlín para dicho fin y con el cual se realizó la recolección de datos de campo, cumpliendo así las normas dadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones; los resultados obtenidos fueron comparados con datos Históricos realizados en el año 1995 y 2013, con los cuales se pudo constatar la variación del Índice de Rugosidad Internacional a través del tiempo, y concluyendo de acuerdo al presente estudio, que el pavimento de la panamericana Norte, Zona Trujillo se encuentra en muy buenas condiciones de transitabilidad.

“Implementación de las especificaciones técnicas generales para la construcción de las carreteras EG-2000”, en esta norma se estableció para el país controles de recepción del IRI en función al tipo de superficie construido:

- 2.0 m/Km para mezcla asfáltica en caliente y lechadas asfálticas.
- 2.5 m/Km para tratamientos superficiales y
- 3.0 m/Km para pavimentos de concreto hidráulico.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CARRETERA

2.2.1.1. Reseña

La ingeniería de carreteras se ha dedicado durante décadas a garantizar que la estructura del pavimento quedara capacitada para asumir las cargas del tránsito solicitante. Así, se dio preferencia a las metodologías para determinar la capacidad de la sub-rasante y los materiales usados. Este modelo ha permitido formar generaciones de ingenieros con el concepto de que prevalece el aspecto de resistencia sobre los criterios de rugosidad superficial de los pavimentos. Durante mucho tiempo, se dejó a un lado cualquier intento de mejorar los aspectos de la rugosidad superficial, con lo que pasaron desapercibidos grandes problemas que pudieron haber sido minimizados en los procesos constructivos iniciales de los proyectos.

Debido a lo anterior; ahora se cuenta con un gran número de carreteras, que aun recién construidas o recién rehabilitadas, están muy lejos de cumplir los criterios que regulan la calidad de la superficie de las estructuras de pavimento asfáltico y de concreto.

La concientización sobre la necesidad de mejorar la geometría de las superficies del pavimento y hacer que esta situación se mantenga en el

tiempo de uso de la carretera, es tan reciente, que aún no se exige en todos los proyectos.

Pero el poco conocimiento del tema, tampoco permite que los ingenieros se preparen en el asunto y no se logra aún que las empresas adopten los equipos tradicionales y los procedimientos de construcción a esta exigencia, que, dicho de una vez, no es de fácil cumplimiento. Por lo tanto, ni la formación de los técnicos, ni los equipos de producción de mezclas y de colocación de las mismas, ni las especificaciones vigentes, están actualmente adecuadas para la mejora de esta característica fundamental en el desarrollo vial (Martínez Naranjo & Tobón García, 2012).

2.2.1.2. Definición

Se define como un camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2018).

2.2.1.3. Clasificación por su demanda

El MTC, según el manual de carreteras DG-2018 (2018), clasifica a las carreteras del Perú, en función a la demanda en:

- a. Autopistas de Primera Clase.** - Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6.000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6,00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más Calzada de 3,60 m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- b. Autopistas de Segunda Clase.**- Son carreteras con un IMDA entre 6.000 y 4.001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un

separador central que puede variar de 6,00 m hasta 1,00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más Calzada de 3,60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- c. Carreteras de Primera Clase.** - Son carreteras con un IMDA entre 4,000 y 2,001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- d. Carreteras de Segunda Clase.** - Son carreteras con IMDA entre 2,000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.30 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- e. Carreteras de Tercera Clase.** - Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3,00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener Calzada hasta de 2,50 m, contando con el sustento técnico correspondiente. Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de

ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.

- f. **Trochas Carrozables.** - Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4,00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m. La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

2.2.2. PAVIMENTO

2.2.2.1. Definición

De acuerdo a la Norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2013), existen dos puntos de vista para definir un pavimento: el de la Ingeniería y el del usuario.

De acuerdo a la Ingeniería, el pavimento es un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado subrasante. Esta capa debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado período de tiempo.

Desde el punto de vista del usuario, el pavimento es una superficie que debe brindar comodidad y seguridad cuando se transite sobre ella. Debe proporcionar un servicio de calidad, de manera que influya positivamente en el estilo de vida de las personas.



Figura N° 01. Esquema típico del paquete estructural de un pavimento
Fuente: 3 ING SAC

2.2.2.2. Clasificación de pavimentos

Se pueden identificar 3 tipos de pavimentos, que se diferencian principalmente por el paquete estructural que presentan:

- a. Pavimento flexible
- b. Pavimento rígido
- c. Pavimento híbrido

a) Pavimento Flexible. - Está conformado por una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones en las capas inferiores sin que la estructura falle.

Luego, debajo de la carpeta, se encuentran la base granular y la capa de subbase, destinadas a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Finalmente está la subrasante que sirve de soporte a las capas antes mencionadas.

b) Pavimento Rígido. - El pavimento rígido o pavimento hidráulico, se compone de losas de concreto hidráulico que algunas veces presentan acero de refuerzo. Esta losa va sobre la base (o subbase)

y ésta sobre la subrasante. Este tipo de pavimentos no permite deformaciones de las capas inferiores.

c) Pavimento Híbrido. - Es una combinación de flexible y rígido. Por ejemplo, cuando se colocan bloquetas de concreto en lugar de la carpeta asfáltica, se tiene un tipo de pavimento híbrido. El objetivo de este tipo de pavimento es disminuir la velocidad límite de los vehículos, ya que las bloquetas producen una ligera vibración en los autos al circular sobre ellas, lo que obliga al conductor a mantener una velocidad máxima de 60 km/h. Es ideal para zonas urbanas, pues garantiza seguridad y comodidad para los usuarios.

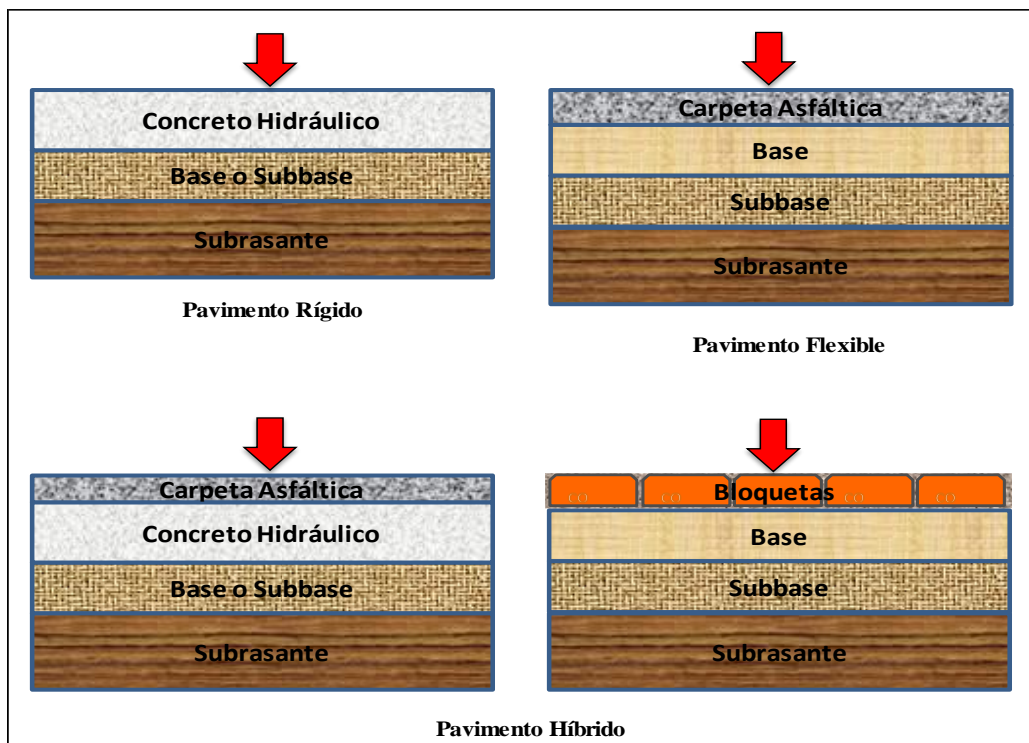


Figura N° 02. Esquema de paquete estructural de los pavimentos flexibles, rígidos e híbridos.

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.3. Pavimentos flexibles en las vías

La presente investigación está referido a la evaluación superficial de un pavimento flexible, por lo que se explicará a detalle la deformación de la capa de rodadura, mencionando también los elementos que la constituyen y su comportamiento frente a sollicitaciones externas.

Como se describió en el ítem 2.2.2.2 (Clasificación de pavimentos), los pavimentos flexibles están constituidos por las siguientes capas: carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante. A continuación, se explica los detalles de cada uno de estos elementos.

Subrasante. - Es la capa que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por defectos de la humedad.

Los materiales apropiados para esta capa generalmente son los granulares. La compactación y el espesor debe escarificarse, homogenizarse, mezclarse, conformarse y compactarse en su totalidad, hasta lograr la densidad máxima.

Subbase. - Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. Además, es una capa que sirve como drenaje y control de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento.

El material deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (CBR) que el material de subrasante y su espesor será variable por tramos, dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante.

La compactación de la subbase debe ser tendido en capas no mayores de 20 centímetros de espesor. Este debe homogenizarse y conformarse, agregándole la cantidad de agua que sea necesaria para lograr la compactación en su totalidad, hasta alcanzar su densidad máxima.

Base. - Es la capa de pavimento sobre la cual se coloca la capa de rodadura; que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito a la subbase que se encuentra en la parte inferior, y a través de ésta a la subrasante.

Capa de rodadura. - Es la capa que se coloca en la parte superior del paquete estructural, sobre la base, una vez colocado el ligante asfáltico; y es la que proporcionara la superficie de rodamiento a la vía, y es la que permitirá visualizar de manera directa e informar las deficiencias del pavimento. También evita la desintegración de las capas subyacentes y contribuye en soportar cargas al resto de capas y distribuir los esfuerzos.

Esta capa es elaborada con material pétreo seleccionado con un diámetro menor a una pulgada y aglomerantes bituminosos emulsificados o asfaltos rebajados. El contenido de asfalto deberá ser óptimo al momento de emplear para garantizar una buena resistencia ante las cargas que será sometida. Esta capa será la más expuesta al intemperismo y a los efectos abrasivos del tránsito, proporcionando una superficie de rodamiento adecuada.

2.2.3. RUGOSIDAD SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

2.2.3.1. Definición

Según ASTM E867-06 (2012), define la rugosidad como la “Desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal.”

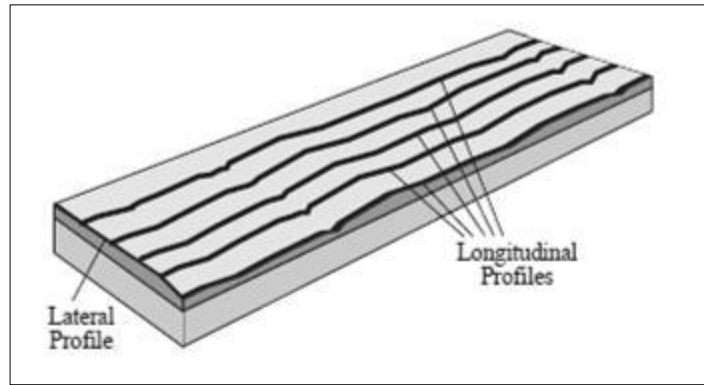


Figura N° 03. Perfil longitudinal real de una carretera

Fuente: ICC Laser y KJ Law., "The Little Book of Profiling: Basic information about measuring and interpreting road profiles", USA-University of Michigan, 1988.

Algunos autores prefieren utilizar el término Regularidad, puesto que este concepto se asocia más fácilmente a la definición de Roughness, que el término Rugosidad. De esta manera, puede encontrarse bibliografía que trata indistintamente los conceptos de Regularidad y Rugosidad; sin embargo, para efectos de la presente investigación se prefiere utilizar Rugosidad, para referirse a las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad del rodado, seguridad y costos de operación del vehículo.

2.2.3.2. Causas posibles de la rugosidad

Existen 10 causas posibles que dan origen a la rugosidad en la etapa de construcción de la vía:

1. Variaciones en la superficie de la base o carpeta asfáltica existente sobre la que se construye la nueva capa de desgaste.
2. No verificar la superficie asfáltica con la regla inmediatamente después de la compactación inicial para hacer las correcciones mientras que la superficie asfáltica todavía se encuentra en caliente.
3. Paradas y reinicios frecuentes de la pavimentadora.
4. Juntas de construcción de mala calidad: se debe verificar las juntas inmediatamente después de su construcción y corregirlas de ser necesario cuando aún está en caliente.
5. Rastrillado excesivo del material colocado.

6. Rodillado irregular o dejar que el rodillo se detenga sobre el pavimento caliente.
7. Mezcla no uniforme.
8. Operaciones impropias de los camiones.
9. Temperatura no uniforme del material: las cargas frías no se compactan al mismo espesor que las calientes.
10. Ajuste frecuente a los controladores de la regla de la pavimentadora.

2.2.3.3. Ventajas de un pavimento sin rugosidad.

- Un pavimento sin rugosidad se conserva por más tiempo.
- La vida de servicio aumenta.
- Disminuye el consumo de combustible y el costo de mantenimiento del vehículo.
- Disminuye el costo de mantenimiento del pavimento.
- Disminución de las cargas dinámicas en los pavimentos.

2.2.3.4. Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos.

- Edad del pavimento.
- Niveles de tráfico vehicular.
- Espesores del pavimento.
- El número estructural.
- Las propiedades del concreto asfáltico utilizado.
- Las características del medio ambiente.
- Propiedades de la base granular, como el contenido de humedad y el porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Propiedades de la sub rasante, como el índice de plasticidad.
- Extensión y severidad de las fallas en el pavimento.

2.2.3.5. Importancia

Una buena rugosidad de la superficie de los pavimentos ofrece condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios de las carreteras. Una mala rugosidad superficial tiene incidencia en los costos

de operación de los vehículos, puesto que, dependiendo de la magnitud de las irregularidades superficiales, la velocidad de circulación también puede verse afectada negativamente, lo cual puede reflejarse por un mayor desgaste en las llantas y el consumo de combustible.

Adicionalmente, los efectos dinámicos producidos por las irregularidades de las carreteras, pueden reflejarse no sólo en los vehículos, sino también en modificaciones de estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento, lo que puede incrementar los costos en las actividades de conservación y rehabilitación.

Por estas razones, conocer la rugosidad superficial del pavimento en cualquier momento desde el inicio de su periodo de servicio o de la vida útil, permitirá definir las acciones de conservación o rehabilitación necesarias en el momento pertinente (Badilla Vargas, Gustavo. 2009).

2.2.3.6. Conservación de Pavimentos

2.2.3.6.1. Conservación Vial

Es el conjunto de operaciones necesarias para la preservación o mantenimiento de una carretera y de cada uno de sus elementos componentes y complementarios en las mejores condiciones para el tráfico, compatibles con las características geométricas, capa de rodadura que tuvo cuando fue construida, o al estado último a que ha llegado después de las posibles mejoras que haya recibido a lo largo del tiempo.

Según las Especificaciones Técnicas Generales para la conservación de carreteras aprobado por Resolución Directoral N°051-2007-MTC (2007), define como “Conjunto de actividades que se realizan para mantener en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen la vía y, de esta manera, garantizar que el tránsito sea cómodo, seguro, fluido y económico”.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante Resolución Ministerial N°817-2006-MTC/09 de fecha 07 de noviembre del 2006,

aprobó la Política Nacional del Sector Transporte. Es de destacar que esta nueva política da especial importancia a la conservación vial, pues define que se atienda de manera prioritaria y efectiva la infraestructura de transportes y su desarrollo, de acuerdo con la demanda de accesibilidad.

2.2.3.6.2. Conservación rutinaria

Conjunto de actividades que se ejecutan permanentemente y se constituyen en acciones que se realizan diariamente en los diferentes tramos de la vía. Tiene como finalidad principal la preservación de todos los elementos viales con la mínima cantidad de alteraciones o de daños y, en lo posible, conservando las condiciones que tenían después de la construcción o la rehabilitación. Debe tener el carácter de preventiva y se incluyen en ella las actividades de limpieza de la calzada y de las obras de drenaje, el corte de la vegetación de la zona del derecho de vía y las reparaciones de los defectos puntuales de la plataforma, entre otras.

2.2.3.6.3. Conservación periódica

Se denomina al conjunto de actividades que se ejecutan en periodos, en general, de más de un año y que tienen el propósito de evitar la aparición o el agravamiento de defectos mayores, de preservar las características superficiales, de conservar la integridad estructural de la vía y de corregir algunos defectos puntuales mayores.

2.2.4. ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

2.2.4.1. Definición.

El IRI es un estándar de medida de rugosidad superficial de las carreteras, el cual permite evaluar con cualquier equipo de medición de la rugosidad de un pavimento e indicar en valores propios del IRI, permitiendo referirse a una sola escala de medición que puede identificar en qué condiciones superficiales se encuentra una superficie de pavimento y detectar anomalías en algunos de sus tramos. El Índice Internacional de Rugosidad permite especificar rangos o niveles de tolerancia para la

aceptación de tramos nuevos de autopistas y carreteras, sirviendo como un parámetro de control de calidad superficial. Para carreteras ya en servicio, el Índice Internacional de Rugosidad es una herramienta para monitorear el comportamiento del camino a través del tiempo y permite fijar umbrales de alerta para proceder a un estudio de los daños o para realizar las labores de mantenimiento de acuerdo a la importancia del camino.

El IRI también se define como la acumulación del movimiento vertical que sufre la suspensión de una rueda (un cuarto de carro) cuando éste recorre la superficie a una velocidad de referencia de 80 km/h. El modelo de cuarto de carro (quarter car) se basa en una rueda representada por un resorte vertical, la masa del eje soportada por la llanta, un resorte de la suspensión, un amortiguador y la masa del vehículo soportada por la suspensión de la rueda (Figura 4). Las deflexiones a lo largo del camino son acumuladas y divididas entre la distancia horizontal, para calcular la rugosidad en IRI como dice su propia definición (Sayers y Karamihas, 1998).

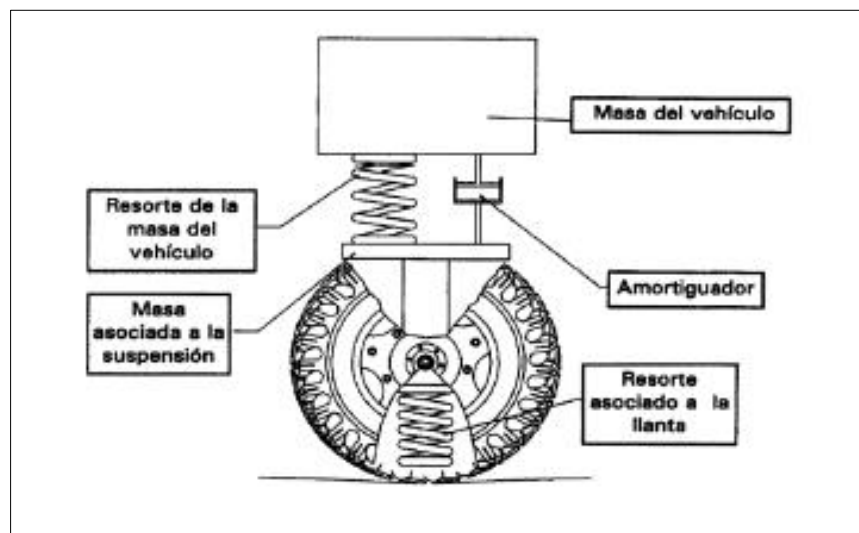


Figura N° 04. Respuesta dinámica de un cuarto de carro y el Índice Internacional de Rugosidad

Fuente: (Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica 67. 1996.)

2.2.4.2. Reseña.

El índice de Rugosidad Internacional (IRI) surgió como una necesidad de unificar los criterios para medición de la rugosidad superficial de las carreteras. Este experimento se realizó en Brasil en 1982 por el Banco Mundial en la cual participaron equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica, para establecer correlaciones y un estándar de calibración para las mediciones de rugosidad. Se observó que los valores de los equipos de medición de la rugosidad superficial existentes es posible relacionarlos. Una vez establecido este punto, uno de los objetivos de las investigaciones fue encontrar un índice de referencia al que posteriormente se denominó Índice Internacional de Rugosidad (Hirpahuanca Laura, D. 2016).

Fue aceptado desde 1986 por el Banco Mundial como estándar de medida de la rugosidad superficial de un camino. Dicho índice es la sumatoria en valor absoluto, de los desplazamientos verticales a lo largo de un intervalo de distancia dividido entre la longitud del mismo.

En la actualidad el IRI es uno de los controles de recepción más importantes, relacionados con el nivel de rugosidad de los pavimentos, que se refleja en el nivel de comodidad, seguridad y costos de operación para los usuarios; así como disminución de los efectos dinámicos en el pavimento.

2.2.4.3. Escalas y Características del IRI

El IRI tiene unidades de milímetros por metro (mm/m), metro por kilómetro (m/km) o pulgada por milla (in/mi).

- Según la Norma Técnica Peruana CE.010 y el MTC, la cual será tomado como referencia para nuestra investigación; los parámetros que utilizan para la clasificación de un pavimento según su rugosidad IRI, son los siguientes:

Tabla N° 01

Evaluación y Valoración del IRI, según tipo de vía.

ESTADO	VIAS PAVIMENTADAS	VIAS NO PAVIMENTADAS
	RUGOSIDAD	RUGOSIDAD
BUENO	$0 < \text{IRI} \leq 2.8$	$\text{IRI} \leq 6$
REGULAR	$2.8 < \text{IRI} \leq 4.0$	$6 < \text{IRI} \leq 8$
MALO	$4 < \text{IRI} \leq 5.0$	$10 \leq \text{IRI}$
MUY MALO	$5 < \text{IRI}$	$9 < \text{IRI} \leq 10$

Fuente: NTP CE.010 y MTC, Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras, según el estado vial.

- Sayers y Karamihas (1998), presenta un estándar para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías (ver figura N° 05); donde el rango de la escala del IRI varía de acuerdo al tipo de camino:

IRI de 0 a 12 : Vías pavimentadas

IRI de 0 a 20 : Vías no pavimentadas

Donde 0 m/km es un camino perfectamente uniforme y 12 a 20 un camino intransitable.

Así mismo luego de diversos muestreos en diferentes tipos de pavimentos con diferentes rugosidades, el departamento de transporte

de la universidad de Michigan concluyó en 1998 la tabla expuesta a continuación donde estipula la velocidad máxima que se puede desarrollar según la rugosidad de la vía. Es una tabla muy importante pues es con esta que se basan los márgenes de rugosidad para diferentes proyectos según la velocidad que se permitirá como límite superior.

Así por ejemplo el caso de la norma peruana que exige máximo 2.5 m/km de IRI para vías expresas, tiene que ver con el límite de velocidad máxima con la que se diseñan estas vías de entre 80 y 100 km/h.

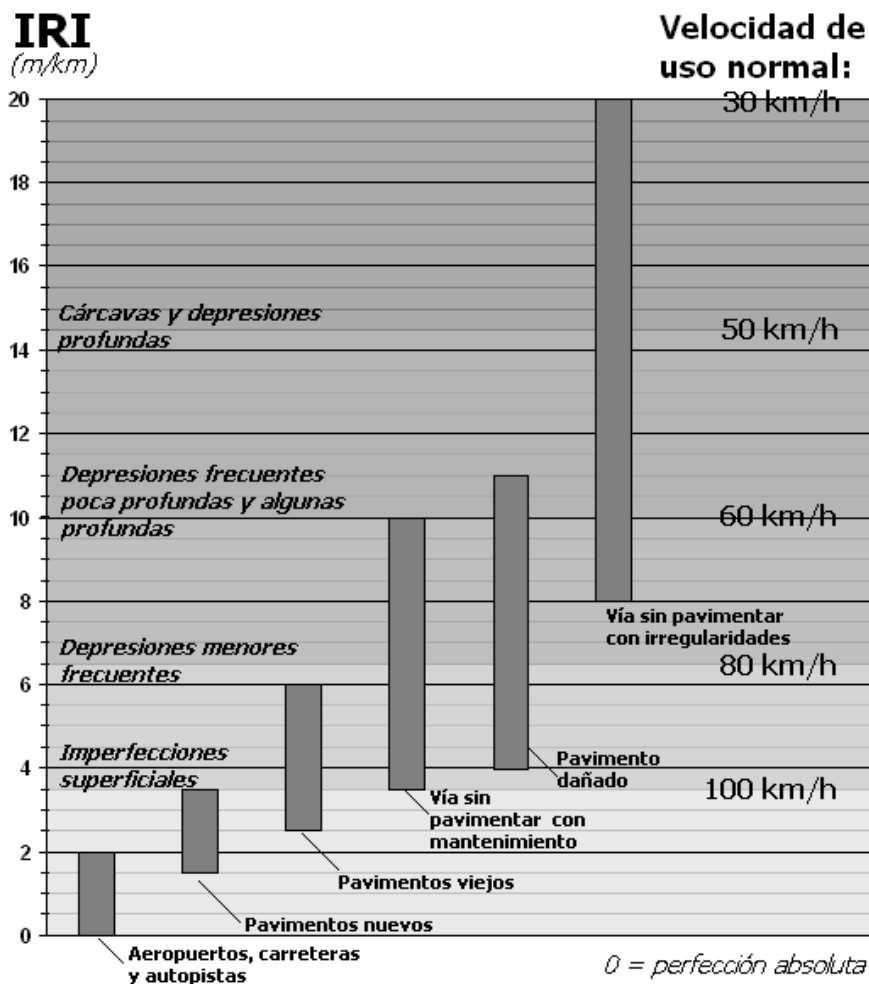


Figura N° 05. Escala según estándar para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías (Sayers y Karamihas, 1998)

Fuente: Badilla A. "Determinación de la regularidad superficial de pavimentos mediante el cálculo del índice de regularidad internacional". San José, Costa Rica, 2008

- El manual de carreteras también nos da valores en unidades IRI para los tipos de carretera según la rugosidad inicial de un pavimento nuevo y de un pavimento existente reforzado, y asimismo para la rugosidad durante el periodo de servicio, y recomienda los siguientes valores:

Tabla N° 02

Rugosidad inicial IRI (m/km). Según tipo de carretera con carpeta asfáltica en caliente.

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

Fuente: Manual de Carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción. EG - 2013.

2.2.4.4. Especificaciones técnicas para las mediciones de IRI en el Perú

Las primeras especificaciones técnicas que se utilizaron para las mediciones de rugosidad en el Perú, relacionaban la exigencia del IRI con el valor PSI; el cual era usado para diseño de pavimentos nuevos (Montoya, J. 2013); Este valor PSI, que según la escala de Sayers en valor IRI era igual a 1.23 m/km, supuestamente debía ser alcanzado con procesos constructivos convencionales. Luego, el MTC emitió opinión al respecto, estableciendo un límite más flexible para pavimentos en

construcciones nuevas; estableciendo una rugosidad media máxima de 1.5 m/km.

Para el caso de pavimentos recapados o con refuerzos asfálticos. Estos serán mejorados si la rugosidad es no mayor a 3 m/km, y se estableció un límite de 2.0 m/km.

En octubre del año 1995 mediante el Proyecto Especial de Rehabilitación de la Infraestructura de Transportes (PERT), se dio a conocer las nuevas especificaciones técnicas para rugosidad, las cuales fueron incluidas como parte de control para la recepción de las obras; en donde se menciona que la rugosidad se deberá controlar calculando el parámetro denominado **IRI Característico (IRI_c)**, el cual es definido por la siguiente expresión:

$$IRI_c = IRI_p + 1.645 d$$

Donde: IRI_c = IRI característico
 IRI_p = IRI promedio
 d = desviación estándar

De acuerdo al factor de correlación empleado (K=1.645), se cumplirá que el 95% del pavimento experimentará una rugosidad igual o menor al IRI_c.

En tal sentido, la recepción de las obras será aceptada si cumple:

- a) En pavimentos nuevos IRI_c ≤ a 2.0 m/km.
- b) En tramos de refuerzo del pavimento el IRI_c ≤ a 2.5 m/km.
- c) En tramos de sellado de pavimentos existente, el IRI_c ≤ 3.0 m/km.

- Por otra parte, en la siguiente tabla N° 03, se presenta un cuadro de consolidado de algunas exigencias de la rugosidad para concesiones que se realizaron en el Perú entre los años 1994 y 2010.

Tabla N° 03

Consolidado de exigencias de rugosidad en concesiones viales en el Perú.

CONCESIÓN	Año	Metodología	IRI				
			Obras Nuevas	Operación	Tolerancia	IMD (veh/día)	Velocidad de diseño (Km/h)
Arequipa - Matarani	1994	IRI promedio	2.0	2.0	No	2,500	60
Red Vial N° 5	2003	IRI promedio	3.5	3.5	No	3,500	75
Red Vial N° 6	2005	IRI promedio	2.0	3.0	20% y 15%	4,500	75
IIRSA norte, IIRSA sur, tramos 2,3 y 4	2006	IRI Media deslizante	2.5 / 3.5	3.5 / 4.0	20% y 15%	400	50
IIRSA sur tramos 1 y 5	2007	IRI Media deslizante	2.0 / 2.5	3.5 / 4.0	No	400	50
Buenos Aires - Canchaque	2007	IRI Media deslizante	2.5 / 3.0	3.5 / 4.0	No	200	50
Autopista del Sol	2009	IRI Media deslizante	2.0	3.5	No	3,000	75
IIRSA centro T-2	2010	IRI Media deslizante	2.0	3.5	No	4,000	50

Fuente: Tesis: Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú

2.2.5. MÉTODOS Y EQUIPOS PARA EVALUAR LA RUGOSIDAD

Tabla N° 04

Clasificación de equipos para la medición del IRI en carreteras.

CLASIFICACION DE EQUIPO	CLASIFICACION SEGÚN BANCO MUNDIAL, BOLETIN TECNICO N° 46	CLASIFICACION SEGÚN ASTM E-950-98	
	REQUERIMIENTOS	INTERVALOS LONGITUDINALES DE ALMACENAMIENTO DE DATOS	RESOLUCION DE MEDICIONES VERTICALES
Clase 1	Perfilografos de precision. Requiere que el perfil longitudinal de un camino sea medido como una serie de puntos de elevacion equidistantes a traves de la huella o rodera de la via para calcular el IRI. Esta distancia no debera superar los 0.25 mm y la precision en la medicion de la elevacion debera de ser 0.5 mm para pavimentos que porten valores de IRI ente 1 y 3 m/km para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20 m/km.	Menor o igual a 25 mm	Menor o igual a 0.1 mm
Clase 2	Otros metodos Perfilometricos. Requieren una frecuencia de puntos de perfil, no superior a 0.5m y una precision en la medicion de la elevacion comprendida entre 1.0 mm para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20 m/km.	Mayor que 25 mm. Hasta 150 mm	Mayor que 0.1 mm. Hasta 0.2 mm
Clase 3	IRI estimado mediante ecuaciones de correlacion. La obtencion del perfil longitudinal se hace mediante equipos tipo respuesta (RTRRM), los cuales han sido calibrados previamente con perfilometros de de precision mediante ecuaciones de correlacion.	Mayor que 150 mm. Hasta 300 mm	Mayor que 0.2 mm. Hasta 0.5 mm
Clase 4	Estimaciones subjetivas y mediciones no calibradas. Incluyen mediciones realizados con equipos no calibrados, estimaciones subjetivas con base en la experiencia en la calidad de viaje o inspecciones visuales de las carreteras.	Mayor que 300 mm.	Mayor que 0.5 mm.

Fuente: Washington Department of Transportation, en línea internet. 01 de Mayo 2005

Existen diversos equipos de medición de rugosidad, entre los cuales podemos mencionar los más comunes:

1. Equipos estáticos

Topográficos. - Según, Rodríguez Zelaya, E; Torres Mayorga, L; Villeda Alverenga, M. (2019), Levantamiento con mira y nivel: el método más conocido para medir perfiles es el que emplea el equipo tradicional de topografía. Este consiste en una mira de precisión marcada en unidades convenientes, un nivel de anteojo que se utiliza para establecer la cota horizontal de referencia y una cinta usada para marcar la distancia longitudinal a lo largo de la huella de la rueda. Es un equipo que se consigue fácilmente a bajo costo, pero requiere muchas horas hombre y

en general es mejor usarlo sólo cuando se deben medirse unos pocos perfiles.

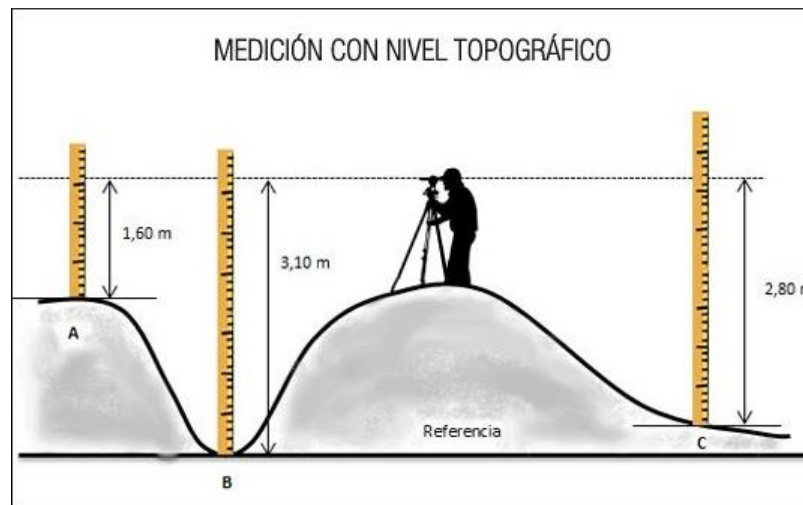


Figura Nº 06. Levantamientos con miras a nivel.

Fuente: internet, google Chrome, mediciones topográficas.

2. Equipos Dinámicos

Perfilómetro Láser. - Según Montoya (2013), El Perfilómetro láser es un equipo basado en la medida de distancias por medio de láser y acelerómetros inerciales, preparado para registrar los perfiles longitudinales y transversales de las carreteras, así como para tomar simultáneamente datos de textura.

Las mediciones se realizan con el vehículo circulando totalmente integrado en el tráfico.

En la actualidad existen versiones que pueden realizar mediciones con velocidades de circulación menores a 20 km/h sin que pueda generarse alteración alguna de los resultados.

Estos equipos, dependiendo del modelo y proveedor permiten:

- Obtener distintos índices de rugosidad superficial de los firmes, haciendo posible la auscultación sistemática de la red de carreteras.

- Detectar problemas relacionados con la rugosidad transversal de los firmes (ahuellamientos, zonas de posible formación de charcos, etc.).
- Determinar de manera continua la profundidad de textura.
- Obtener el perfil longitudinal del camino.
- Se pueden georeferenciar los resultados, puesto que también dispone de un equipo autónomo de posicionamiento global (GPS).

El perfil y la profundidad de textura se pueden obtener simultáneamente o cada uno por separado.



Figura N° 07. Equipo de clase I: Perfilometro Laser

Fuente: internet, google Chrome, medición con Perfilometro laser.

Walking Profiler. - El walking profiler es un equipo basado en la medida de distancias por medio de acelerómetros inerciales, preparado para registrar los perfiles longitudinales de las carreteras, o en todo caso el perfil longitudinal de cualquier superficie que se desee medir. La portabilidad del equipo, permite que las mediciones se realicen a paso de caminata, puesto que el dispositivo solo requiere ser empujado por una persona para que vaya acumulando información en función a su desplazamiento. En la actualidad existen versiones que integran una computadora portátil al dispositivo a fin de realizar los procesamientos en campo.

Estos equipos, dependiendo del modelo y proveedor permiten:

- Obtener distintos índices de rugosidad superficial de los firmes, haciendo posible la auscultación sistemática de la red de carreteras.
- Alta precisión en la obtención del perfil longitudinal de evaluación.
- Se pueden georeferenciar los resultados, puesto que también dispone de un equipo autónomo de posicionamiento global (GPS).



Figura N° 08. Equipo de clase I: Walking Profiler de la marca SSI

Fuente: internet, google Chrome. Equipo clase I Walking Profile. Por Ricardo Garrido

Perfilógrafo California. - El Perfilógrafo california permite obtener el perfilograma o perfil longitudinal de la superficie de rodadura y determinar a partir de él el índice de perfil de pavimento. El equipo se encuentra formado por un arco metálico rígido, unos carros de carga ubicados en los extremos del marco, una llanta sensor neumática y una consola de registro.

Las pruebas consisten en medir las irregularidades en la superficie mediante el registro de datos de variaciones entre la rueda principal central respecto a las ruedas de apoyo que forman una línea recta referencial, estas variaciones son registradas dentro de un perfilograma; cabe indicar que los tramos de medición no deben de ser menores a 200 metros. Para calcular el índice de perfil de pavimento, se suman todas protuberancias mayores de 10 mm dividido sobre la longitud de

evaluación y multiplicado por 1000; las unidades con las que se presenta el coeficiente obtenido serán en cm / Km.

La desventaja principal de este equipo es que mediante su utilización no se puede obtener valores IRI de superficies.



Figura N° 09. Equipo de clase II: Perfilografo California

Fuente: internet, google Chrome. Equipo clase II Perfilografo California

Bump Integrator. - Es uno de los diversos dispositivos disponibles en el mercado los cuales son conocidos también como dispositivos del tipo respuesta o Response-type Road Roughness Measuring System (RTRRMS). Estos, van montados sobre la carrocería de un vehículo con un dispositivo adherido al eje posterior y conectado a través de un cable. Las variaciones (movimientos hacia arriba y hacia abajo) entre el eje posterior y la carrocería son cuantificadas para un intervalo de longitud las cuales representan a las variaciones diferenciales de las masas m_1 y m_2 que forman parte de la teoría de la ecuación del cuarto de coche mencionado anteriormente.

Para la recolección de datos, el vehículo se desplaza sobre la superficie a evaluar a una velocidad constante de 40 km/h donde las irregularidades que puedan presentarse producirán movimientos perpendiculares, estos movimientos son interpretados y cuantificados mediante un dispositivo

contador, cuyo valor es recolectado para una posterior conversión a unidades de IRI (m/Km) mediante una ecuación de correlación.

Para esta correlación es necesaria la comparación de resultados entre el Bump Integrator y algún equipo de clase I o II en las conocidas pistas de calibración.

Por otro lado, los vehículos dependiendo del modelo y la marca poseen dinámicas particulares, por esta razón el Bump Integrator recolecta la información de las particularidades de cómo se mueve el vehículo y por lo tanto, las lecturas pueden ser contaminadas con otros tipos de movimiento ajenos al desplazamiento en la pista. Es entonces que una desventaja aparece al momento de querer comparar dos sistemas vehículo–dispositivo para una misma pista; puesto que, por las características anteriormente descritas, no pueden ser reproducibles (no son iguales). Asimismo, y por esta razón las medidas realizadas con equipos del tipo respuesta no pueden ser comparadas con los realizados años anteriores.



Figura N° 10. Equipo de clase III: Bump Integrator

Fuente: internet, google Chrome. Equipo clase III Bump Integrator

Roughometer II. - El *Roughometer II* (así como el *Bump Integrator*) es un dispositivo clasificado dentro de la Clase III por poseer tecnología de funcionamiento calificado dentro de los dispositivos del tipo respuesta o Response-Type Road Roughness Measuring System(RTRRMS).

El equipo está conformado por los siguientes dispositivos: uno portátil denominado controlador, mediante el cual se administra la ejecución de la medición y el almacenamiento digital de la información; este dispositivo está conectado con el sensor de rugosidad y el odómetro rotatorio mediante el módulo de interfaz. Tanto el controlador como el módulo de interfaz van instalados en la cabina, mientras que el sensor de rugosidad va instalado en el eje posterior del vehículo, cercano a la rueda izquierda. Conforme el vehículo recorre la vía a una velocidad uniforme entre 50 a 60 km/hr, el sensor de rugosidad percibe las vibraciones inducidas al eje, como consecuencia de la calidad de rodado, las cuales son enviadas mediante codificación al controlador, el que se encarga de almacenar la información.

La bondad de este dispositivo, es que posterior al procesamiento de los datos en un ordenador, entrega los resultados en escala IRI; sin embargo estos resultados deberán ser ajustados a una curva de ajuste mediante una ecuación de correlación, debido a que por norma todo resultado obtenido por un equipo de clase III, deberá ser correlacionado con los resultados de un dispositivo de clase mayor.



Figura N° 11. Equipo de clase III: Roughometer II

Fuente: internet, google Chrome. Equipo clase III. Roughometer II

2.2.6. SERVICIABILIDAD DE LOS PAVIMENTOS

2.2.6.1 Definición

La Serviciabilidad de un pavimento se define como la idoneidad que tiene el mismo para servir a la clase de tránsito que lo va a utilizar.

2.2.6.2 Evaluación de la Serviciabilidad

La mejor forma de evaluarla es a través del índice de servicio presente (PSI), el cual varía de 0 (carretera imposible) hasta 5 (carretera perfecta). La filosofía básica del diseño es el concepto del comportamiento y capacidad de servicio, el cual proporciona un medio para diseñar un pavimento con base en un volumen específico de tránsito total, y con un nivel mínimo de serviciabilidad deseado, al final del período de diseño.

La serviciabilidad de los pavimentos ha sido representada en un índice, derivado de los resultados de la prueba AASHO, y otras incorporaciones y modificaciones que han ido agregando en los últimos 30 años.

Los siguientes cuadros descritos a continuación en las tablas 05 y 06; muestran la escala de evaluación y su respectiva descripción así:

Tabla N° 05

Índice de Serviciabilidad.

Índice de Serviciabilidad (PSI)	Calidad
4 - 5	Muy Buena
3 - 4	Buena
2 - 3	Regular
1 - 2	Mala
0 - 1	Muy Mala

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, 1993

Tabla N° 06

Escala de Clasificación de la Serviciabilidad de los pavimentos según NORMA AASHTO 1962.

CALIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN
Numérica	Verbal	
5.0 - 4.0	Muy buena	Sólo los pavimentos nuevos (o casi semi nuevos) son los suficientemente suaves y sin deterioro para calificar en su categoría . La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpetados durante el año de inspección normalmente se clasifican como muy buenos.
4.0 - 3.0	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un nivel de deterioro superficial, como desconches y fisuras menores.
3.0 - 2.0	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en los pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamientos, parches y agrietamientos. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamientos, escalonamiento y pumping.
2.0 - 1.0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde puedan afectar la velocidad del tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas findadas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamientos y ahuellamientos; y ocurre en un 50 % o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconche de juntas escalonamiento y bombeo.
1.0 - 0.0	Muy mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas . El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

Fuente: Gestión de Infraestructura Vial 2º Ed Ampliada de SOLMINIHAC, Hernán.

Sección 6.1 Pag. 85

2.2.7. EL RUGOSIMETRO DE MERLIN

2.2.7.1. Introducción al Rugosímetro Merlín.

El Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) desarrolló el Rugosímetro MERLIN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation), basándose en el principio del perfilómetro estático, con el objetivo de obtener un equipo de bajo costo, fácil manejo y un método

de análisis simple con resultados confiables (Hirpahuanca Laura, D. 2016).

Fue diseñado en la base de una simulación de estas operaciones de medidas de perfil de la vía en el “International Road Roughness Experiment” (Sayers et al 1986a) Experimento Internacional de Rugosidad de la Vía.

2.2.7.2. Definición.

El Merlín o también llamado bicicleta de Merlin es un instrumento económico, versátil, sencillo y de fácil operación, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo lo cual hace que su utilización resulte completamente económica cuando se trate de evaluar tramos cortos de carretera.

2.2.7.3. Esquema y representación de las partes de un equipo MERLIN

Las figuras 12 y 13 representan un esquema ilustrativo del instrumento. Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla (Del Águila, P. 1999).



Figura N° 12. Rugosímetro MERLIN.

Fuente: Elaboración propia - Evaluación del IRI de la vía Cajamarca Baños del Inca.

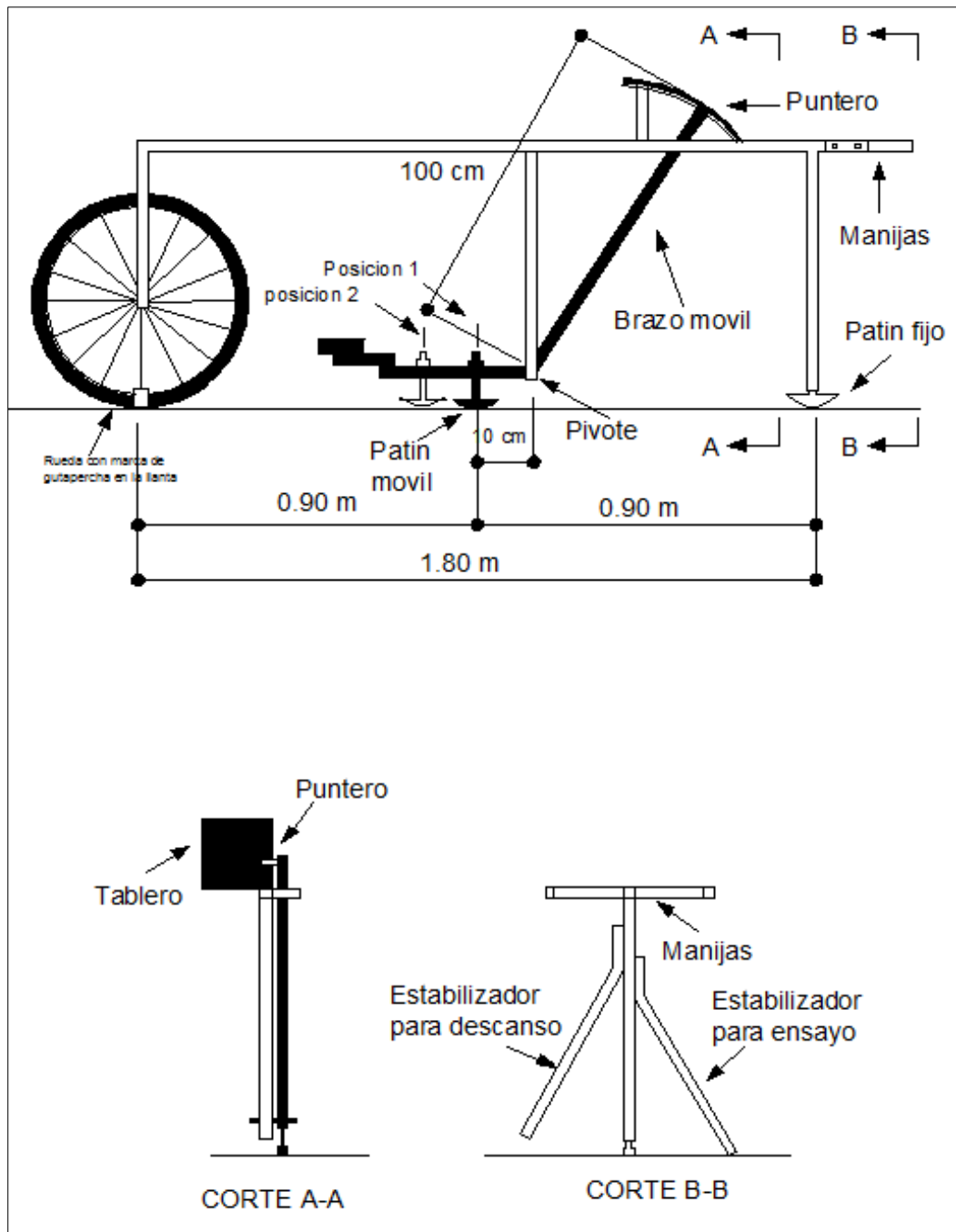


Figura Nº 13. Esquema del Rugosímetro MERLIN.

Fuente: Del Águila Rodríguez, Pablo, 1999

Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil.

El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el cual se adecua a las

imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento.

La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de manera tal que un movimiento vertical de 1 mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero.

Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cuál se desliza el puntero (Ver figura N° 14).



Figura N° 14. Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio.

Fuente: Del Águila Rodríguez, Pablo, 1999

2.2.8. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

2.2.8.1. Fundamentos teóricos

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. La Figura 15; ilustra cómo el MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante (Del Águila, P. 1999). El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

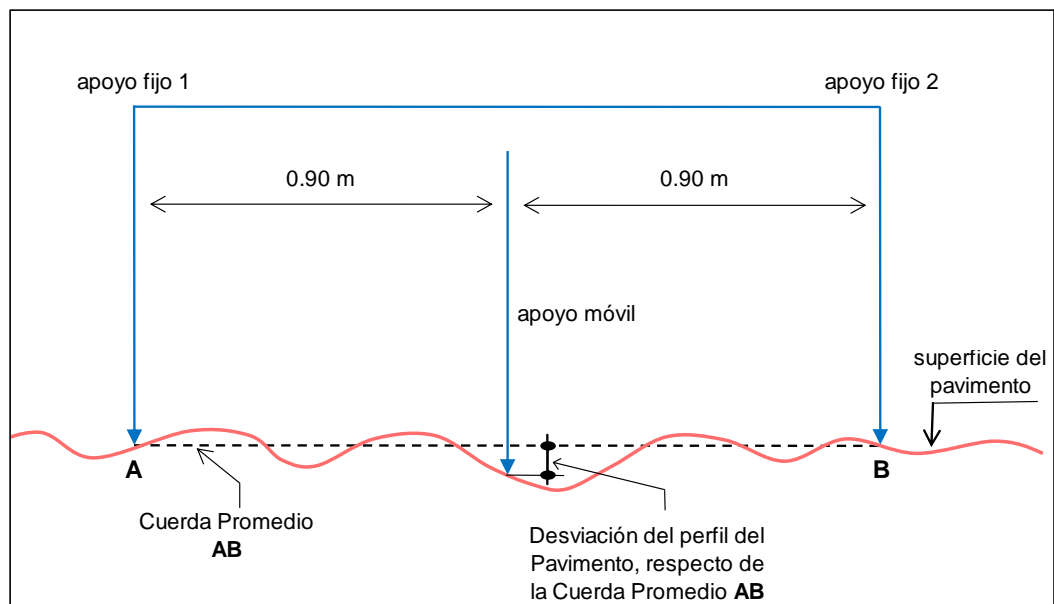


Figura N° 15. Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio utilizando MERLIN.

Fuente: Del Águila Rodríguez, Pablo, 1999.

La longitud de la cuerda promedio es 1.80m, por ser la distancia que proporciona los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición (Hirpahuanca Laura, D. 2016), Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos.

Si se define el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad (Ver Figura 16). El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades MERLIN”.

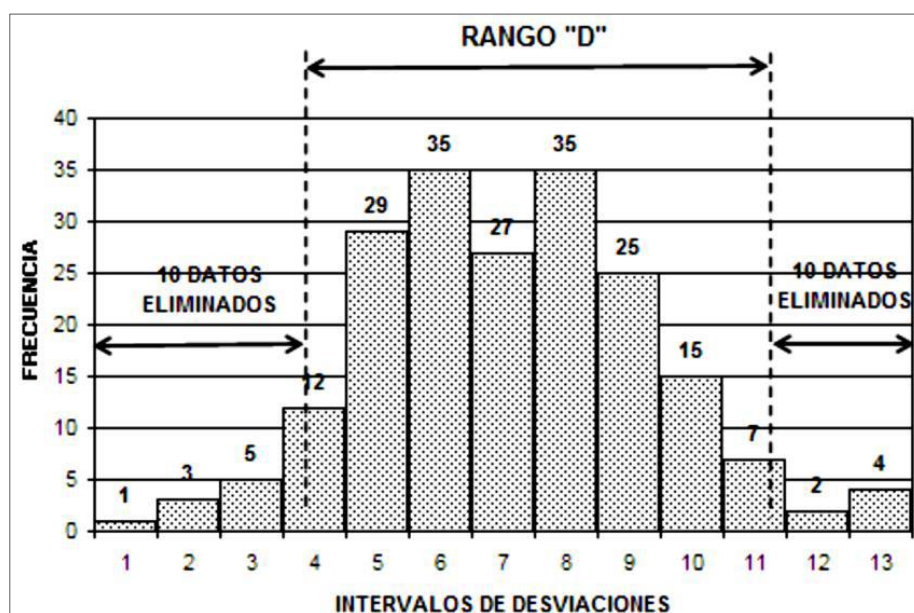


Figura N° 16. Histograma de la distribución de frecuencias de una Muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva.

Fuente: Del Águila Rodríguez, Pablo, 1999.

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 no es nuevo ni original del TRRL. Varios parámetros de rugosidad precedentes, tal como el conocido Quarter-car Índice (QI), han sido propuestos por otros investigadores basándose en el mismo concepto, los que son analizados en la referencia (Del Águila Rodríguez, Pablo, 1999).

2.2.8.2. Correlación D vs IRI

Según Del Águila, P. (1996), Para relacionar la rugosidad determinada con el MERLIN 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:

$$\text{Cuando: } 2.4 < \text{IRI} < 15.9 \text{ ó } D > 50\text{mm,} \\ \text{IRI} = 0.593 + 0.0471D \dots\dots\dots \text{ecuación (1)}$$

$$\text{Cuando: } \text{IRI} < 2.4 \text{ ó } D < 50\text{mm,} \\ \text{IRI} = 0.0485D \dots\dots\dots \text{ecuación (2)}$$

La expresión (1) es la ecuación original establecida por el TRRL mediante simulaciones computarizadas, utilizando una base de datos proveniente del Ensayo Internacional sobre Rugosidad realizado en Brasil en 1982. La ecuación de correlación establecida es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio, con superficie de rodadura asfáltica, granular o de tierra, siempre y cuando su rugosidad se encuentre comprendida en el intervalo indicado.

La expresión (2) es la ecuación de correlación establecida de acuerdo a las investigaciones en el Perú, luego de comprobarse, y después de ser evaluados más de 3,000 km de pavimentos, el cual deberá ser aplicado en pavimentos nuevos o en buen estado.

Existen otras expresiones que han sido estudiadas para el caso de superficies que presentan cierto patrón de deformación que incide, de una manera particular, en las medidas que proporciona en MERLIN del TRRL estableció en 1996, para el caso de superficies con macadam de penetración de extendido manual, la siguiente expresión:

$$\text{IRI} = 1.913 + 0.0490 D \dots\dots\dots \text{ecuación (3)}$$

2.2.9. CORRELACIÓN PSI - IRI

En el Perú, la determinación analítica del PSI se efectúa utilizando la expresión establecida por Sayers, que relaciona la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad. La expresión, es una correlación desarrollada

con la base de datos establecida en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad de Caminos, realizado en Brasil en 1982.

Para correlacionar el Índice de Serviciabilidad y el IRI, se utiliza la siguiente fórmula.

$$PSI = 5 \times e^{(-0.0041 \times IRI)} \dots\dots\dots \text{ecuación (4)}$$

En donde:

PSI = Índice de Serviciabilidad

IRI = Índice Internacional de Rugosidad

e = 2.71828183 (base de los logaritmos neperianos).

Es de tomar en cuenta, que en esta fórmula y con estos valores, lo que se obtiene es pulgada por milla. Esta fórmula fue desarrollada por el Departamento de Transporte de Illinois, USA.

Los Niveles de Serviciabilidad es la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento. Inicialmente esta condición se cuantificó a través de la opinión de los conductores, cuyas respuestas se tabulaban en la escala de 5 a 1.

En la siguiente figura, se presenta la correlación entre PSI e IRI, en la cual ya se ha hecho la conversión a metros por Kilómetro.

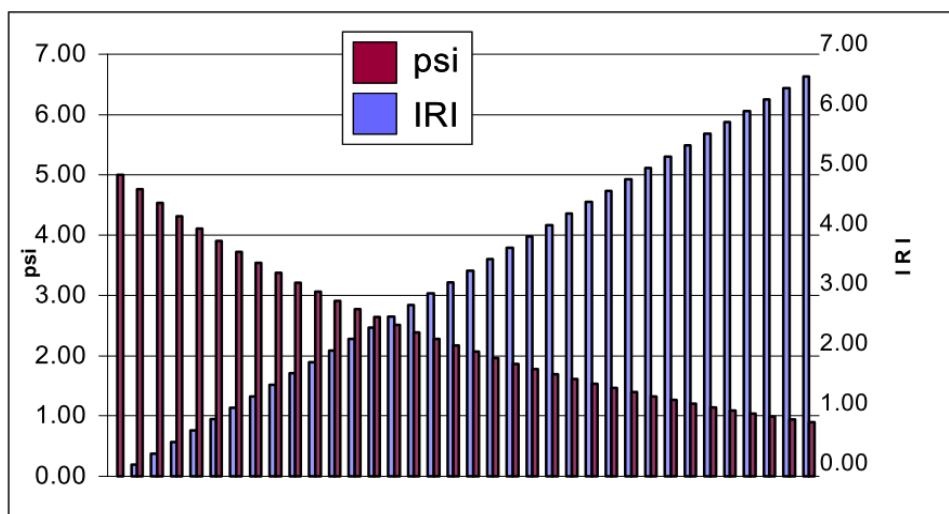


Figura N° 17. Correlación PSI – IRI

Fuente: Barrantes Jiménez, 2011.

Tabla N° 07

Rangos y Valores característicos de IRI en función del PSI.

Pavimentos Flexibles (Modelo de AASHO)			Pavimentos Rígidos (Modelo de AASHO)			Clasificación	Descripción AASHO
Valores de PSI	Valores de IRI	Rangos de IRI	Valores de PSI	Valores de IRI	Rangos de IRI		
5,0	0,0	0 - 1,0	5,0	0	0 - 1,4	Muy Buena	Sólo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son lo suficiente suaves y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasificaría como muy buenos.
4,2	0,8		4,5	0,97			
4,0	1,0		4,0	1,4			
3,0	1,9	1,0 - 1,9	3,0	2,3	1,4 - 2,3	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahueamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desprendimientos y fisuras menores.
2,5	2,6	1,9 - 3,6	2,5	2,9	2,3 - 3,6	Regular	En esta categoría la calidad del manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahueamiento, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamiento, escalonamiento y bombeo de finos.
2,0	3,6		2,0	3,6			
1,5	4,9	3,6 - 6,4	1,5	4,6	3,6 - 6,0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahueamiento, y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconches de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
1,0	6,4		1,0	6,0			
0,0	9,5	> 6,4	0,0	11,2	> 6,0	Muy Mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

Fuente: Barrantes Jiménez, 2011.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. VÍAS PRINCIPALES URBANAS

Una vía es todo aquello donde se desarrolla el tránsito. Generalmente una vía principal o avenida tiene dos sentidos de circulación, lo que diferencia de la calle de sentido único. Estas vías urbanas principalmente soportan gran cantidad de vehículos y comunican diferentes distritos de la ciudad y en las cuales convergen las vías secundarias.

2.3.2. RUGOSIDAD SUPERFICIAL

Se define como las irregularidades en la superficie del pavimento, la cual tiene un efecto directo en el deterioro de las carreteras y en los usuarios, además afecta adversamente a la calidad de rodado, seguridad y costo de operación del vehículo. El Banco Mundial propuso una medida de la rugosidad denominada el índice de rugosidad internacional (IRI), cuyo rango

va de 0 (un pavimento ideal, sin ninguna imperfección) hasta 12 (una carretera completamente intransitable) normalmente. Este parámetro, ampliamente usado, permite medir la rugosidad superficial de los pavimentos a partir de la sumatoria, en valor absoluto, de los desplazamientos verticales a lo largo de un tramo, dividido entre la longitud del mismo.

2.3.3. DESEMPEÑO DE UNA VÍA

La “performance” o desempeño de un pavimento puede definirse como la capacidad estructural o funcional medible a lo largo de su período de diseño. El público usuario le asigna valores subjetivos de acuerdo a su calidad de rodadura, seguridad, aspecto y conveniencia.

La capacidad funcional comprende:

- Calidad aceptable de rodadura.
- Adecuada fricción superficial.
- Geometría apropiada para la seguridad vial.
- Apariencia (Estética).

2.3.4. NIVEL DE SERVICIO

El nivel de servicio se define como una manera “Cualitativa” que describe las condiciones de operación dentro de una corriente de tránsito y la percepción por parte de los conductores relacionado a un conjunto de factores (velocidad, detenciones, libertad de maniobras, seguridad, comodidad y economía) que concurren en ella cuando soportan un cierto volumen de tránsito (Rondón, 2015).

2.3.5. ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE (PSI)

Es un índice de la comodidad y seguridad que percibe el usuario al transitar por el pavimento, la forma de medición de este índice ha variado, en un principio se realizaba en forma subjetiva la cual se evaluaba transitando varias veces sobre el pavimento evaluando su confort dando una calificación en una escala de 0 (pésimo) a 5 (excelente). Por lo que esta forma de medición fue objeto de modificaciones por lo que incorporaron parámetros medibles. (Ver ítem 2.2.9. fórmula 4)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se indica la ubicación geográfica donde se realizó la investigación; además de identificar los diferentes recursos como: herramientas, materiales, equipos y el personal necesario e involucrado. Además, se explica la metodología de trabajo desarrollado, con el fin de asegurar un procedimiento ordenado a fin transmitir un análisis de los datos en forma detallada y dando un enfoque de cómo funciona en el presente.

3.1. UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA

País	: Perú
Región	: Cajamarca
Departamento	: Cajamarca
Provincia	: Cajamarca
Distrito	: Cajamarca – Baños del Inca

3.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Tabla N° 08

Ubicación Geográfica de la investigación

Punto: Inicio - Fin	Progresiva (Km)	Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM		Zona	Elevación (msnm)
		Longitud	Latitud	Este(m)	Norte(m)		
ROTONDA (intersección Vía Evitamiento Sur y Avenida Atahualpa)	Km 0 + 000 m.	78° 30' 08" O	7° 09' 56" S	775848.45	9207183.88	17 M	2696
ROTONDA (Ingreso a Baños del Inca)	Km 3 + 700 m.	78° 28' 09" O	7° 09' 53" S	779548.45	9207171.78	17 M	2662

Fuente: Elaboración propia.

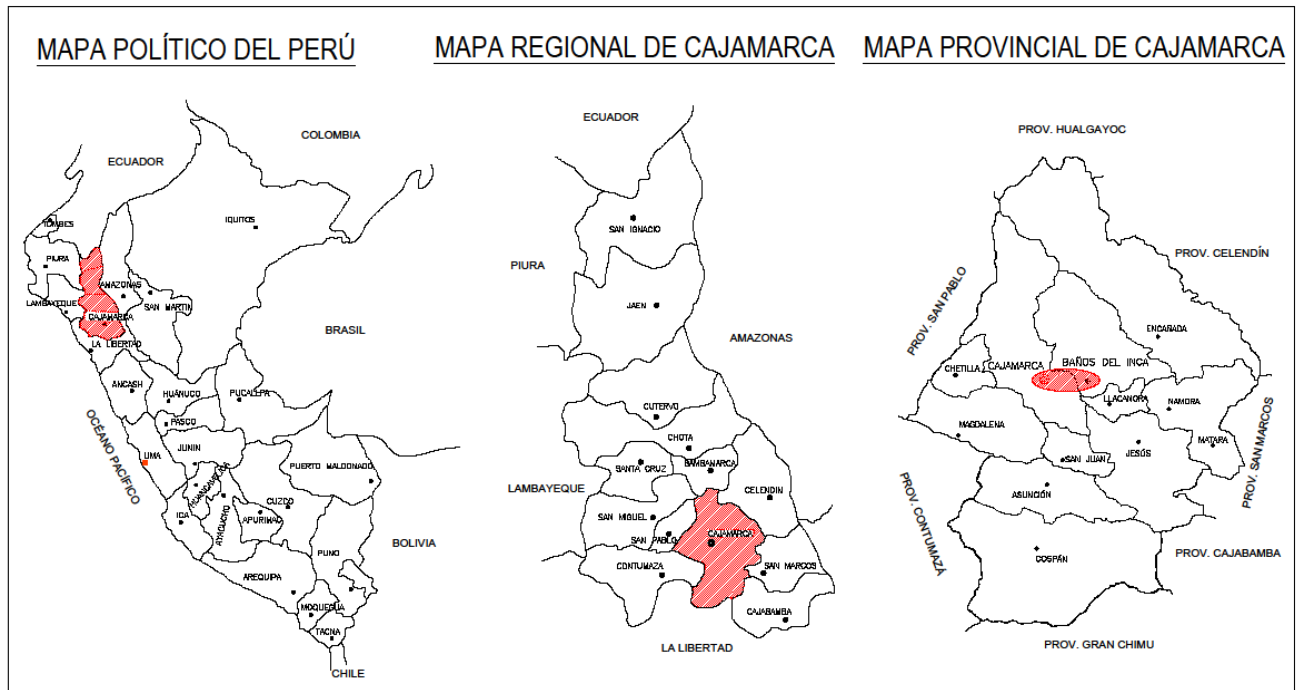


Figura N° 18. Ubicación geográfica de la zona.

Fuente: Mapa político del Perú, INEI.

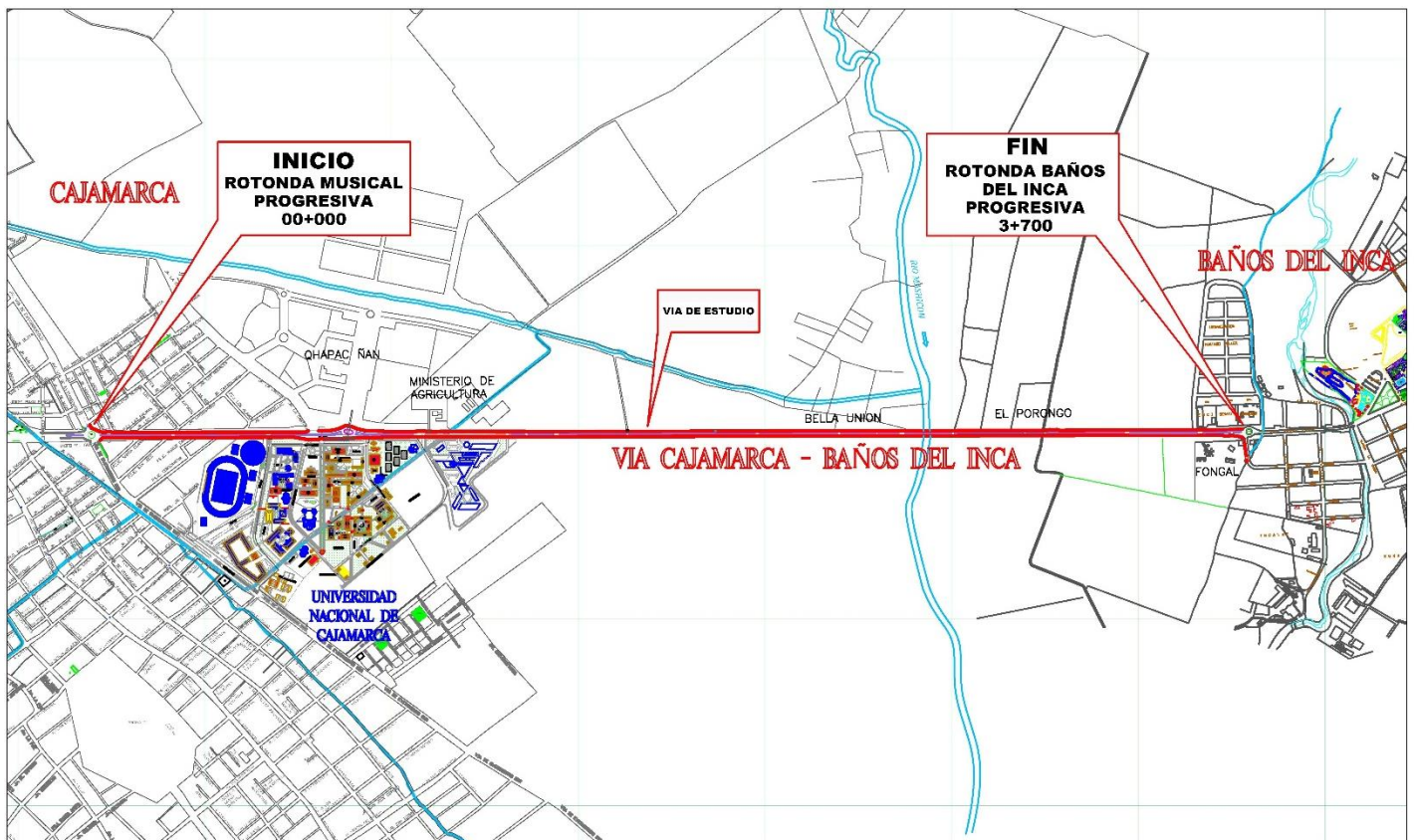


Figura N° 19. Ubicación de la zona en estudio.

Fuente: Plano catastral de Cajamarca, 2007

3.2. TIEMPO DE REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló dentro del periodo comprendido entre abril y octubre del 2019.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. TIPO, NIVEL DE DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

- Tipo: Cuantitativa
- Nivel: Descriptivo
- Diseño: Metodológico
- Método: Hipotético - Deductivo

3.3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

- **Población:**

La población para la presente investigación son los sectores que recorre la Vía Cajamarca – Baños del Inca, como son: la villa universitaria, Qhapac Ñan, Bella Unión y El Porongo.

- **Muestra:**

La muestra es la carpeta de rodadura del pavimento de la vía Cajamarca – Baños del Inca.

3.3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

Como unidad de análisis fueron considerados 18 tramos en total de ambas calzadas de la vía, cada uno de 400 metros.

3.3.4. RECURSOS

a. Recursos humanos

- Tesista: Bach. Tingal Limay, Homero
- Asesor: Ing. Alejandro Cubas Becerra

- Técnico: Ruperto Sánchez Lorenzo
- Otros colaboradores

b. Recursos Materiales

- Computadora, papel, impresora, tablero, bolígrafos, pintura para señalización de unidades de muestra.

3.3.5. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- Rugosímetro de Merlin, Estación Total con cuatro prismas, Odómetro para medir distancias, Cámara fotográfica.
- Conos de seguridad, paletas de señalización de tránsito, Chalecos reflectivos, cascos, wincha, vernier, llave francesa para ajuste de patín. (ver fotos en anexos).

3.3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.6.1. Técnicas

- **Documental:** Recolectar información almacenada en fuentes escritas que guarde relación directa con la medición de la rugosidad mediante el equipo Merlin.
- **Normativa:** Norma ASSHTO 1993, DG-2018, Manual de transportes y comunicaciones (MTC), Manual de uso del Rugosímetro de Merlin y diseño geométrico de carreteras que son utilizadas estas normativas de organización para el control de IRI.
- **Directa:** Implica la recolección de datos en campo mediante las siguientes acciones: Levantamiento topográfico, Medición de rugosidad y Conteo de tráfico.

3.3.6.2. Instrumentos de recolección

La toma de datos en campo se ha dado mediante los formatos mencionados:

- Formatos de ensayos en campo para la medición de la rugosidad con Merlin (ver anexo 3).
- Formato de conteo vehicular (ver anexo 2).

3.4. PROCEDIMIENTO

3.4.1. INSPECCION VISUAL Y LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

La inspección visual sirvió como referencia para saber el estado y las circunstancias que puede pasar al momento de empezar la evaluación. El levantamiento topográfico se realizó a lo largo de todo el pavimento, tomando datos no solo del pavimento sino también de algunas calles, cruces, veredas y otros detalles para así elaborar el plano en planta de la vía y la ubicación de las unidades de muestras (ver anexo N° 08).

3.4.2. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA

a) Estudio de tráfico

- **Conteo de vehículos.** - Se llevó a cabo durante 05 días de duración en jornada de 24 horas; en las fechas: viernes 13 al 17 de abril del 2018, en la zona del puente de la Universidad Nacional de Cajamarca. El tipo de conteo fue continuo, direccional y por tipo de vehículo.
- **IMD.** - El Índice Medio Diario de Tránsito se ha calculado con la siguiente fórmula:

$$IMD = \frac{Vd_1 * 5 + (V_S + VD)}{7 * F.C}$$

Dónde:

- Vd1 = Volumen Promedio de los días laborables
- Vs = Volumen de Sábado
- VD = Volumen de Domingo
- F.C. = Factor Estacional o de Corrección (FC=1)

Tabla N° 09

Índice Medio Diario.

Tramo: Cajamarca - Baños del Inca	Vehiculos Ligeros	Combis	Vehiculos pesados	IMD
Dias laborables	11,225	3,501	756	
Sabado	10,450	3,212	694	
Domingo	8,712	3,889	362	
IMD TOTAL	6,077	2,120	362	8,560

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 10

Volumen de Tráfico

TIPO	VIERNES	SABADO	DOMINGO	LUNES	MARTES
	00:00 hrs - 24:00 hrs	00:00 hrs - 24:00 hrs	00:00 hrs - 24:00 hrs	00:00 hrs - 24:00 hrs	00:00 hrs - 24:00 hrs
AUTOMOVIL	7421	6512	4605	7519	7555
CAMIONETA	3795	3373	2637	3795	3791
CMTA. RURAL	3014	2695	2267	3018	2991
MICRO	403	375	337	420	420
OMNIBUS					
2E	61	59	42	65	67
3E	23	27	20	23	26
CAMIÓN					
2E	592	556	278	604	604
3E	143	128	63	153	149
4E	4	6	6	6	7
SEMITRAYLERS					
2S2	0	0	0	0	0
2S3	0	0	0	0	0
3S2	7	7	7	11	11
>=3S3	10	14	9	9	10
TRAYLERS					
2T2	0	0	0	0	0
2T3	0	0	0	0	0
3T2	0	0	0	0	0
>=3T3	0	0	0	0	0
	15473	13752	10271	15623	15631
				IMD =	14961

Fuente: Elaboración propia.

Conteo de tráfico según formato del MTC, la cual está distribuido de acuerdo a los tipos de vehículos y la hora de registro de dichos vehículos durante 7 días.

- **Clasificación vehicular.** - Tipo de vehículo que predomina en el sector, siendo el resultado: (ver tabla N° 11)

Tabla N° 11
 Conteo vehicular.

TIPO DE VEHICULO	IMD	%
Automovil	3361	62
Bus mediano	196	4
Bus grande	21	0
Camioneta	1569	29
Camión 2E	263	5
Camión 3E	33	1
Articulado	19	0
TOTAL	5462	100

Fuente: Elaboración propia

- **Velocidad directriz.** - Según las Normas para el Diseño de Carreteras, es 60 km/h.
- **Clasificación de la vía.** - Según Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018, se clasifica de la siguiente manera:

Según la demanda: Carretera de Primera Clase.
Según su orografía: Terreno Llano Tipo I.
Según su jerarquía: Ruta Vecinal Nacional 3N

- **Sección típica de la vía**

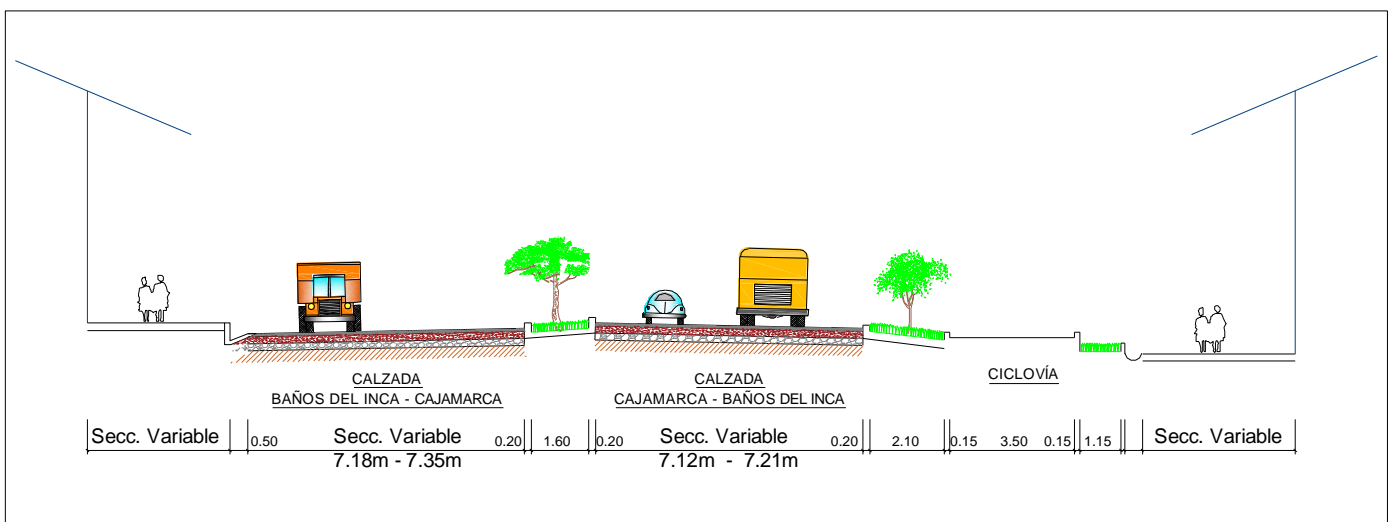


Figura N° 20. Sección típica de la vía en estudio

Fuente: Elaboración propia

▪ Estructura del pavimento

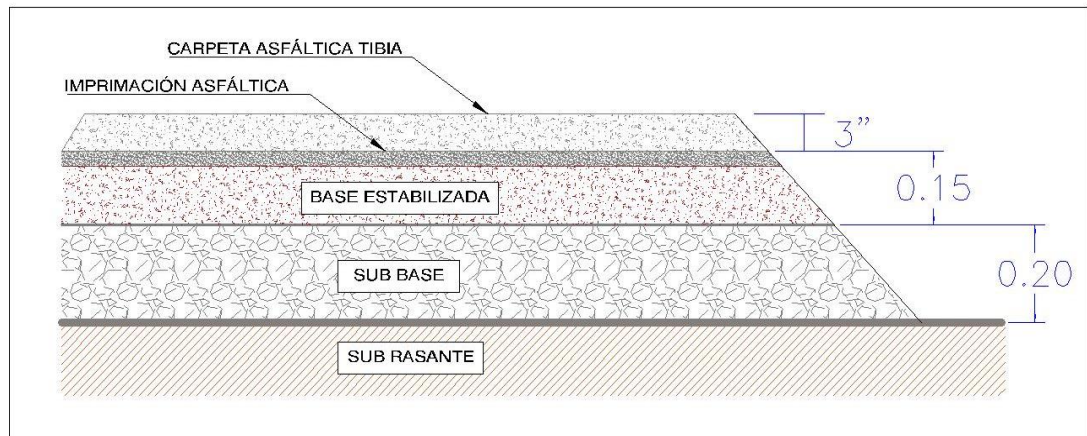


Figura N° 21. Estructura del pavimento

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO Y EJEMPLO DE CÁLCULO DEL IRI

3.4.3.1. PROCEDIMIENTO

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajen conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un trecho de aproximadamente 400 m. de longitud sobre la calzada de la vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico (Hirpahuanca Laura, D. 2016).

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del MERLIN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es

aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo (figura N° 13, Corte B-B). Una vez estabilizado el equipo se tomará lectura en la posición que adopta el puntero y esta corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como el mostrado en el Tabla N° 12. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar.

Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas.

El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con gutapercha fosforescente, por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

- **Cálculo del rango “D”**

Como se ha explicado, para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del Rugosímetro, En la medida que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división 25 o con alguna cercana (dispersión baja), el ensayo demostrará que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a una línea recta (baja rugosidad). Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la división N° 25 (dispersión alta), se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada).

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma (figura N° 16).

3.4.3.2. EJEMPLO DE CÁLCULO DEL IRI, SEGÚN DESARROLLO Y MÉTODO UTILIZADO EN LA TESIS

a). Datos generales

Tramo	: 01
Calzada	: 1 (Ida); tomada en sentido de Cajamarca hacia Baños del Inca
Unidad de Muestra	: UM-01
Progresiva	: 0+000 km - 0+400 km
Longitud	: 400 m.

b). Llenado de registro de campo en los primeros 400 m

Tabla N° 12

Formato de registro de campo para Medición del IRI

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

TABLA DE CONTEO									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

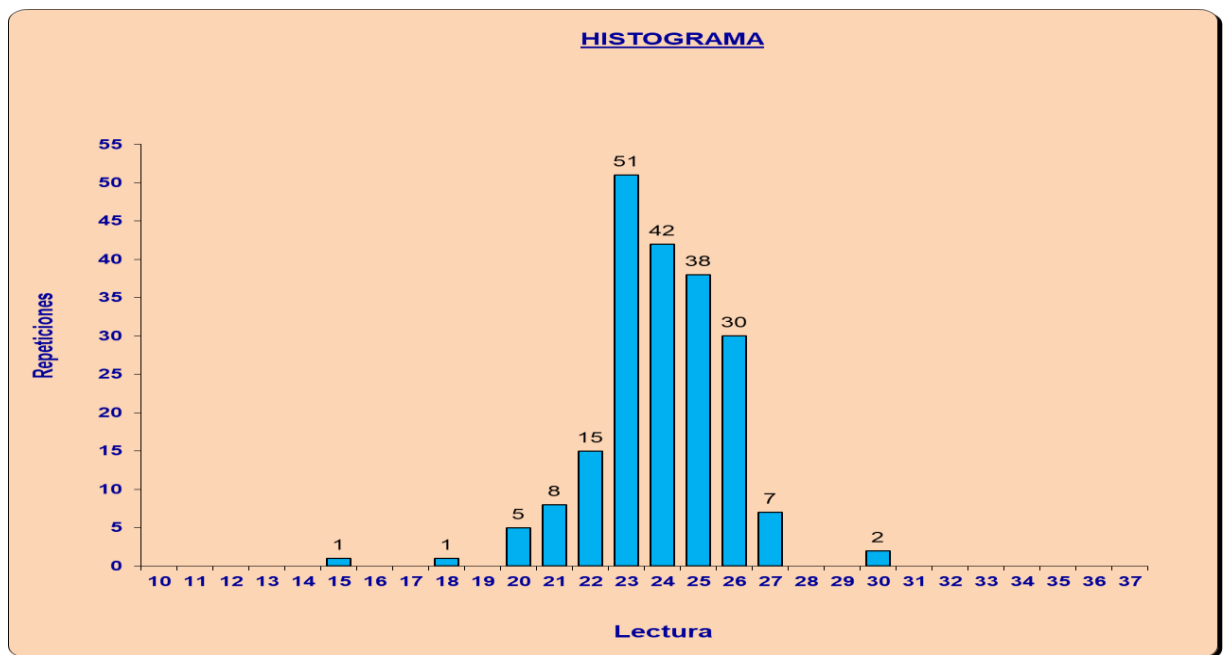
Fuente: Elaboración propia

c). Cálculo del Rango D

Para esto se elimina 10 de datos de extremo inferior y 10 de datos de extremo superior del histograma, como sigue:

Graficado el registro

Figura N° 22. Formato de registro de campo para Medición del IRI



Fuente: Elaboración propia

Del lado inferior, se eliminarán los intervalos 15, 18, 20 y 3 datos del intervalo 22; quedando: $5/8 = 0.625$

Por el lado superior, se eliminarán los intervalos 30, 27 y 01 dato del intervalo 26; quedando: $29/30 = 0.967$

Entonces el Rango será: $0.625 + 4 + 0.967 = 5.592$ unidades.

El Rango "D" determinado del histograma se debe expresar en milímetros, para lo cual se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros (5mm), cuando se llega a este punto se ha calculado la rugosidad en escala MERLIN en cual debe ser convertido a escala IRI.

Por lo tanto: $D = 5.592 \times 5\text{mm} = 27.96$ mm

- **Factor de corrección para ajuste de D**

Para determinar el factor de corrección se hace uso de un disco circular de bronce de aproximadamente 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor, y se procede de la siguiente manera:

- 1º. Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm. El espesor se calculará como el valor promedio considerando 4 medidas diametralmente opuestas. Para nuestro ejemplo el espesor medido es 6.1mm
- 2º. Se coloca Rugosímetro sobre una superficie plana y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el patín móvil se encuentra sobre el piso (por ejemplo, lectura=25). Se levanta el patín y se coloca la pastilla de calibración debajo de él, apoyándola sobre el piso. Esta acción hará que el puntero sobre el tablero se desplace, asumiendo una relación de brazos estándar de 1 a 10, una distancia igual al espesor de la pastilla multiplicado por 10 (es decir: 6.1 x 10 = 62 mm), lo que significa, considerando que cada casillero mide 5 mm, que el puntero se ubicará aproximadamente en el casillero 12, siempre y cuando la relación de brazos actual del equipo sea igual a la asumida. Si no sucede eso, se deberá encontrar un factor de corrección (F.C.) usando la siguiente expresión:

$$F.C. = \frac{(EP \times 10)}{[(LI-LF) \times 5]} \dots\dots\dots \text{ecuación (4)}$$

Donde,

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

Si la posición inicial del puntero es 25 y la final 10, entonces el Factor de Corrección será:

$$FC = (6.1 \times 10) / [(25-10) \times 5] = \mathbf{0.813}$$

• **Cálculo del Rango “D” corregido:**

El valor D calculado en el ítem c, pg. 68., deberá modificarse considerando el Factor de Corrección definido en el ítem d, pg. 69. y la Relación de Brazos empleada en los ensayos (RB=1).

Entonces el valor D corregido será:

$$D_c = (27.96\text{mm}) \times (0.813\text{mm}) \times (1) = 22.73$$

Este valor llevado a condiciones estándar es la rugosidad en “unidades MERLIN”.

c). Determinación de la Rugosidad en unidades IRI

para transformar la Rugosidad de unidades Merlin a la escala del IRI; utilizamos las ecuaciones 1 o 2 de las correlaciones (pg. 53) según sea el caso.

Aplicando la expresión para el caso de $IRI < 2.5$ ó $D < 50\text{mm}$; se tiene:

$$IRI = 0.0485D$$

$$IRI = 0.485 \times 22.73$$

$$IRI = 1.1 \text{ m/km}$$

3.5. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.5.1. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Estos datos y resultados se presentan en tablas considerando el promedio de nueve ensayos para cada calzada y sin tomar en cuenta algunas singularidades encontradas en el trayecto de ida y vuelta. Estas muestras fueron ingresadas de manera ordenada a través de tablas y gráficos en los cuales se hizo una evaluación y análisis comparativo de cada tramo y Calzada, considerando el promedio de la Rugosidad expresado en unidades IRI; de acuerdo a los objetivos planteados y así poder dar fundamento a la comprobación de la hipótesis. Así tenemos:

A. ANALISIS DE LAS UNIDADES DE MUESTRA TOMADAS

A.1. CALZADA 1 (IDA):

UM-01: Tramo 0+000 al 0+400, se verifica un pavimento en buen estado, dentro del cual no se registraron singularidades y el registro de medidas de las 200 unidades fue al 100%.

UM-02: Tramo 0+400 al 0+800, se verifica un pavimento en buen estado, dentro del cual se registraron tres singularidades (02 gibas de dos metros de ancho y 01 tramo de bloqueta: 0+765 al 0+800), los cuales permiten alterar la medida y el valor de la rugosidad, no considerándose para la evaluación; y sobre el registro de las 200 medidas solo fueron analizadas 185 unidades.



Fotografía N° 01. Detalle de Giba de dos metros de ancho

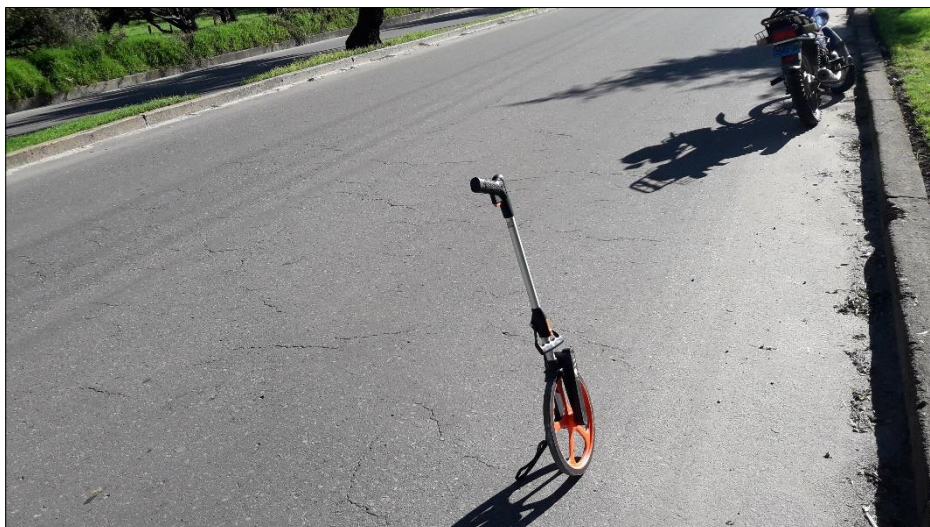
UM-03: Tramo 0+800 al 1+200, el tramo aún continúa con bloqueta hasta el km 0+850, desde el cual se inicia la toma de datos. A la altura de la morgue km 1+150 cruza un canal el cual altera la medición del que se registró un dato de 35 en la tabla del Merlin; sobre el registro de las 200 medidas solo fueron analizadas 175 unidades.



Fotografía N° 02. Inicio de tramo embloquetado, frente a la Universidad Nacional de Cajamarca.

UM-04: Tramo 1+200 al 1+600, en este tramo el pavimento se verificó un buen estado y se registró 01 singularidad (giba de 1.5m) a la altura de la DRE Cajamarca km 1+413; sobre el registro de las 200 medidas fueron analizadas todas las unidades al 100%.

UM-05: Tramo 1+600 al 2+000, el tramo el pavimento continuó en buen estado, con algunas fisuras longitudinales y transversales, pero éstas no influyeron en la medida, no hay singularidades y el registro de las 200 medidas fueron analizadas todas al 100%.



Fotografía N° 03. Fisuras ligeramente visibles

UM-06: Tramo 2+000 al 2+400, aquí nos encontramos a la altura del barrio Bella Unión, tramo de pavimento en buen estado, se registra 01 singularidad (giba de 1.20m) a la altura del km 2+380; el registro de las 200 medidas fue analizadas al 100%.



Fotografía N° 04. Detalle de Giba muy pronunciada.

UM-07: Tramo 2+400 al 2+800, el tramo de pavimento siguió en buen estado, se observa 01 singularidad (puente de 20 m de longitud sobre el río Mashcon km 2+660 al 2+680) no altera la rugosidad, el registro de las 200 medidas fueron analizadas todas al 100%.

UM-08: Tramo 2+800 al 3+200, tramo de pavimento en buen estado, se presenta 01 singularidad altura grifo el Porongo km 3+040 (giba de 2.20m) no tomado en consideración, y el registro de las 200 medidas fueron analizadas al 100%.

UM-09: Tramo 3+200 al 3+700, tramo final de la evaluación el pavimento en buen estado, se presenta 01 singularidad altura de Fongal km 3+618 (giba de 2.20m) no tomado en consideración, y el registro de medidas fueron analizadas 250 unidades.



Fotografía N° 05: Ondulación a un costado de la berma

A.2. CALZADA 2 (VUELTA):

UM-01: Tramo 0+000 al 0+400, similar al tramo de la calzada 1 (ida), se toma registro de 200 datos.

UM-02: Tramo 0+400 al 0+800, se verifica un pavimento en buen estado, en la parte final se encontró dos singularidades (01 giba de 3.20m de ancho en forma diagonal y 01 tramo de pavimento rígido km 0+676 al 0+770; más una parte de bloqueta: del km 0+770 al 0+850 y otra parte de pavimento rígido km 0+850 al 0+935. Esto tomado como parte de la muestra 03), los cuales permiten alterar la medida y el valor de la rugosidad, no considerado para la evaluación; se registraron 140 unidades.

Como se puede apreciar en la siguiente imagen (fotografía N° 06), tomada desde el puente Qhapac Ñan, en este punto del trayecto de las unidades de muestra se observa claramente ambas calzadas de la vía están construido con bloqueta.



Fotografía N° 06. Presencia de bloquetas en ambas calzadas de la vía.

UM-03: Tramo 0+800 al 1+200, el tramo de vía aún es bloqueta y pavimento rígido hasta el punto 0+935 m, desde el cual se inicia la toma de datos. A la altura del ministerio de agricultura km 1+160 cruza un canal el cual altera la medición del que se registró un dato de 33 en la tabla del Merlin; fueron analizadas 135 unidades.

UM-04: Tramo 1+200 al 1+600, tramo de pavimento en buen estado, se registró 02 singularidades (gibas) una de 1.80m de ancho frente a Residencia de la UNC km 1+272; y otra frente al IESTP km 1+447. fueron analizadas 200 unidades

UM-05: Tramo 1+600 al 2+000, tramo de pavimento en buen estado, no hay singularidades, con se completó el registro de las 200 unidades

UM-06: Tramo 2+000 al 2+400, tramo que culmina en el barrio Bella Unión, se observa buen estado de pavimento, no se verifica singularidades; se completó el registro de las 200 unidades.

UM-07: Tramo 2+400 al 2+800, se observó un pavimento en buen estado, se encuentra 02 singularidades (01 giba frente al ingreso a Bella Unión km 2+410, más 01 puente de 20 m de longitud sobre el rio Mashcon km

2+660 al 2+680 no considerado; se completó el registro de las 200 unidades.

UM-08: Tramo 2+800 al 3+200, tramo de pavimento en buen estado ubicado entre Bella Unión y Ferreyros, se presenta 01 singularidad altura grifo el Porongo km 3+113 (giba de 2.00m) no tomado en consideración, y el registro de las 200 medidas fueron analizadas al 100%.

UM-09: Tramo 3+200 al 3+700, tramo final de la evaluación, pavimento en buen estado, no presenta singularidades, fueron analizadas 250 unidades.

B. ANALISIS DE SINGULARIDADES

Una singularidad es cualquier alteración del perfil longitudinal de la carretera que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar: puentes, badenes, tapas de alcantarillas, gibas, etc. que alteren el perfil del camino (Montoya, J. 2013).

Las singularidades que se emplacen en dos tramos vecinos, ubicadas al final de un tramo y a comienzos del siguiente (ambas en la misma pista), afectan los dos tramos. Estas singularidades no se han tomado en consideración, estas fueron Bloquetas, pavimento rígido, gibas, puentes, debido a que afectan el intervalo completo de la medición de la pista.

En ese sentido, las singularidades vendrían a ser afectaciones más puntuales la cuales se pueden filtrar durante el análisis de resultados

3.5.2. REGISTRO, ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LAS UNIDADES DE MUESTRA PARA DETERMINAR LOS RESULTADOS


3.5.2.1. CÁLCULO DEL IRI EN LA VÍA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA.

▪ **REGISTRO DE CAMPO – CALZADA 1 (IDA)**

UNIDAD DE MUESTRA N° 01 - CALZADA 1 (IDA)

Tabla N° 13

Resultados de la evaluación del tramo: Km 00+000m al Km 00+400m. Calzada 1 (ida)

TESIS :		ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN								
MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD EN CARPETA ASFÁLTICA CON MERLIN										
UNIDAD DE REGISTRO N° : 01										
TRAMO :	Cajamarca - Baños del Inca									
CARRIL :	Derecho (ida)									
Progresiva inicial :	0 + 000	Progresiva final :	0 + 400	Longitud : 400 m						
TIPO SUPERFICIE :	Asfalto									
RESPONSABLE :	Bach. Tingal Limay Homero									
FECHA :	Lunes 13 - 05 - 2018									
46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1										
					50					
					49					
					48					
					47					
					46					
					45					
					44					
					43					
					42					
					41					
					40					
					39					
					38					
					37					
					36					
					35					
					34					
					33					
					32					
					31					
				X X	30					
					29					
					28					
				X X	27					
			X X X X	X X	26					
				X X	25					
		X X X X	X X	24						
	X X X X	X X	23							
			X X	22						
				X X	21					
					X X X X X X	20				
						19				
						X	18			
							17			
							16			
							X	15		
								14		
								13		
								12		
								11		
								10		
								9		
								8		
								7		
								6		
								5		
								4		
								3		
								2		
								1		
TABLA DE CONTEO										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	1
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	2
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	3
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	4
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	5
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	6
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	7
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	8
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	9
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	10
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	11
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	12
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	13
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	14
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	15
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	16
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	17
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	18
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	19
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	20

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 23. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 01; Calzada 1 (ida)

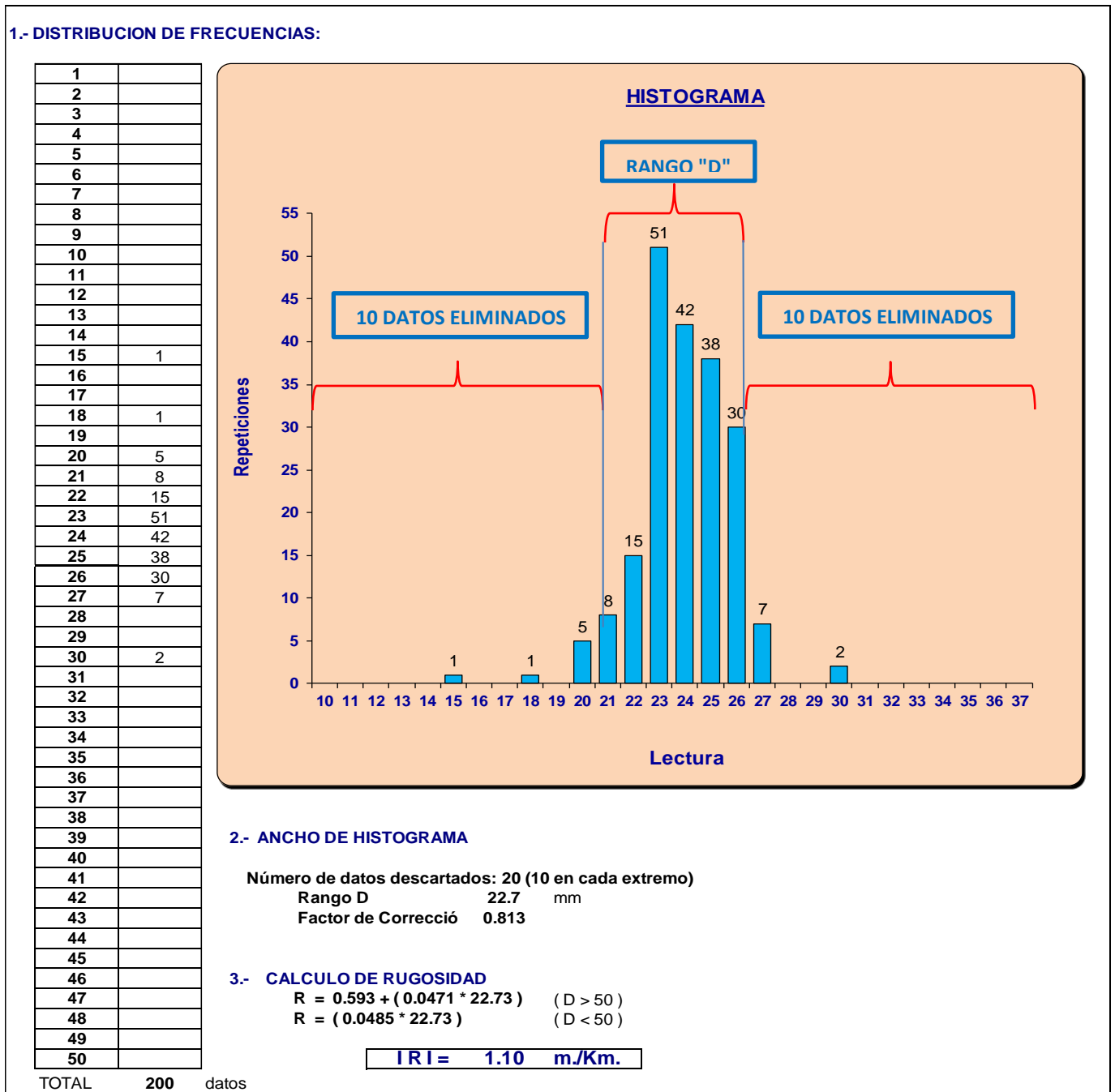
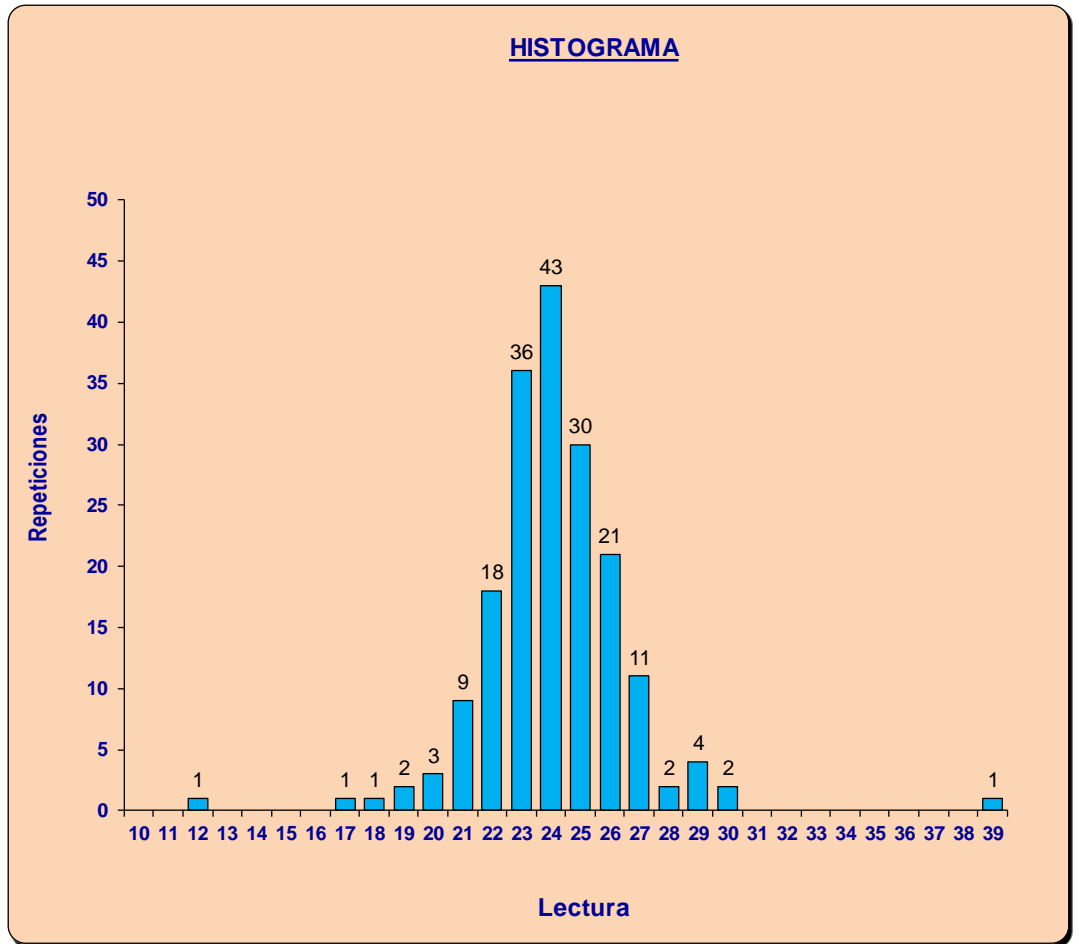


Figura 25: En base al histograma de distribuciones se procede al cálculo del rango “D” cuyo eje “x” indica los intervalos de desviaciones, el eje “y” indica la frecuencia. El puntero del equipo indicó valores depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (Ver Tabla 18, muestra 01 ensayo de campo N°01) indicando la cantidad de veces que se repite en los intervalos de desviaciones, presentando con mayor frecuencia el valor de 23 mm un total de 51 veces y con menor frecuencia de 01 vez en los intervalos 15 y 18, además del grafico debemos eliminar 10 datos del extremo izquierdo y 10 datos del extremo derecho; para el izquierdo se elimina los intervalos 15, 18 y 20 del intervalo 21 solo se elimina tres datos, que resulta una unidad fraccionaria igual a 5/8= 0.625; lo mismo para el extremo derecho se elimina los intervalos 30 y 27 del intervalo 26 se elimina un dato, quedando una unidad fraccionaria de 29/30= 0.967. Se tiene en consecuencia un rango D= 0.625+4+0.967 = 5.592 unidades. El Rango D determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad: 5.592 x 5mm=27.96mm

Figura N° 24. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 02; Calzada 1 (ida)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

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



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 23.1 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$$R = 0.593 + (0.0471 * 23.12) \quad (D > 50)$$

$$R = (0.0485 * 23.12) \quad (D < 50)$$

IRI = 1.12 m./Km.

TOTAL 185 datos

Fuente: Elaboración propia

UNIDAD DE MUESTRA Nº 03 - CALZADA 1 (IDA)

Tabla Nº 15

Resultados de la evaluación del tramo: Km 00+800m al Km 1+200m. Calzada 1 (ida).

PROYECTO DE INVESTIGACION		ANALISIS DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VIA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL RUGOSIMETRO DE MERLIN																																															
		MEDICION DE LA RUGOSIDAD EN CARPETA ASFALTICA CON MERLIN																																															
UNIDAD DE REGISTRO : 03																																																	
TRAMO	:	Cajamarca - Baños del Inca																																															
CARRIL	:	Derecho (I da)																																															
Progresiva inicial	:	0 + 800	Progresiva final:	1 + 200	Longitud:	400	m																																										
TIPO SUPERFICIE	:	Asfalto																																															
RESPONSABLE	:	Bach. Tingal Limay Homero																																															
FECHA	:	Lunes 13 - 05 - 2018																																															
46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1																																																	
																																																50	
																																																49	
																																																48	
																																																47	
																																																46	
																																																45	
																																																44	
																																																43	
																																																42	
																																																41	
																																																40	
																																																39	
																																																38	
																																																37	
																																																36	
																																																X	35
																																																	34
																																																	33
																																																	32
																																																	31
																																																X	30
																																																X	29
																																																	28
																																																X	27
																																																X	26
																																																X	25
																																																X	24
																																																X	23
																																																X	22
																																																X	21
																																																X	20
																																																X	19
																																																X	18
																																																X	17
																																																X	16
																																																X	15
																																																X	14
																																																X	13
																																																X	12
																																																X	11
																																																X	10
																																																X	9
																																																X	8
																																																X	7
																																																X	6
																																																X	5
																																																X	4
																																																X	3
																																																X	2
																																																X	1

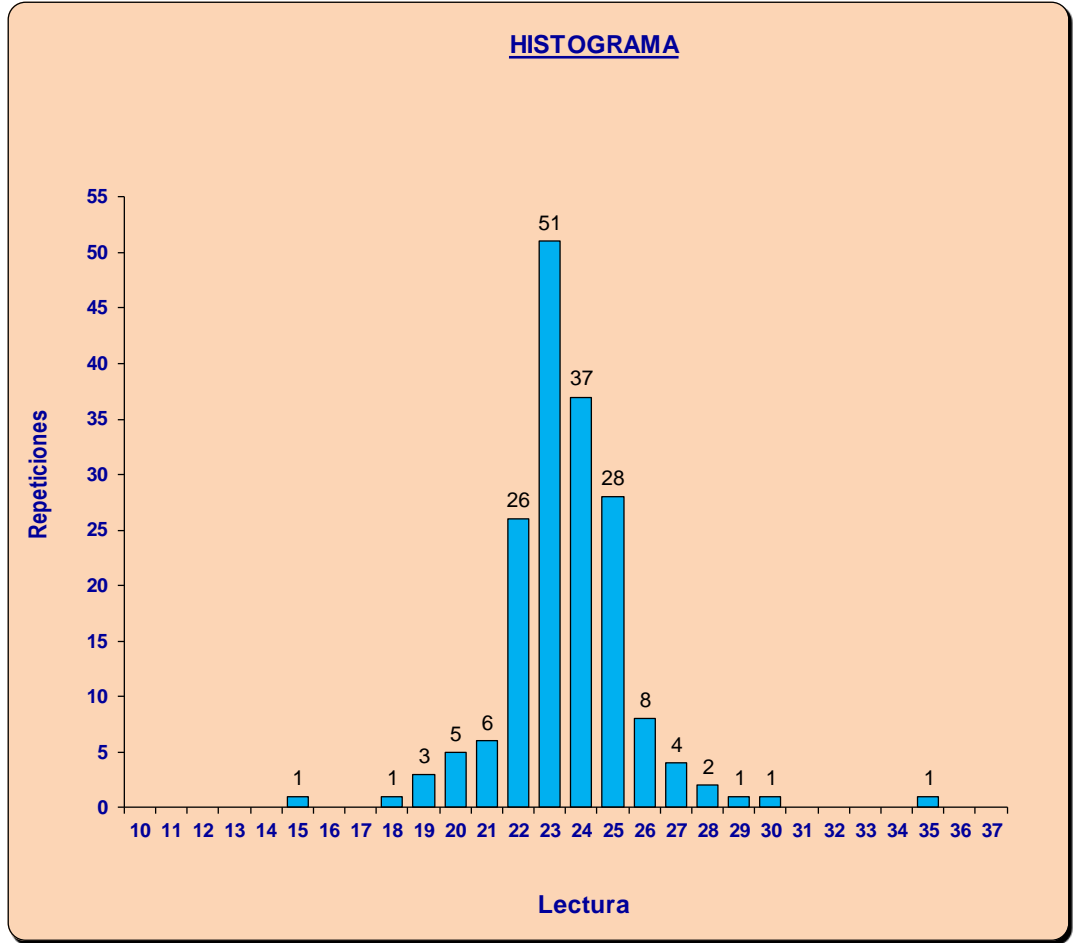
TABLA DE CONTEO										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	4
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	5
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	6
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	7
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	8
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	9
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	10
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	11
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	13
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	14
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	15
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	16
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	18
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	19
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 25. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 03 Calzada 1 (ida).

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	1
16	
17	
18	1
19	3
20	5
21	6
22	26
23	51
24	37
25	28
26	8
27	4
28	2
29	1
30	1
31	
32	
33	
34	
35	1
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 23,9 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$R = 0.593 + (0.0471 * 23.88)$ (D > 50)
 $R = (0.0485 * 23.88)$ (D < 50)

IRI = 1.16 m./Km.

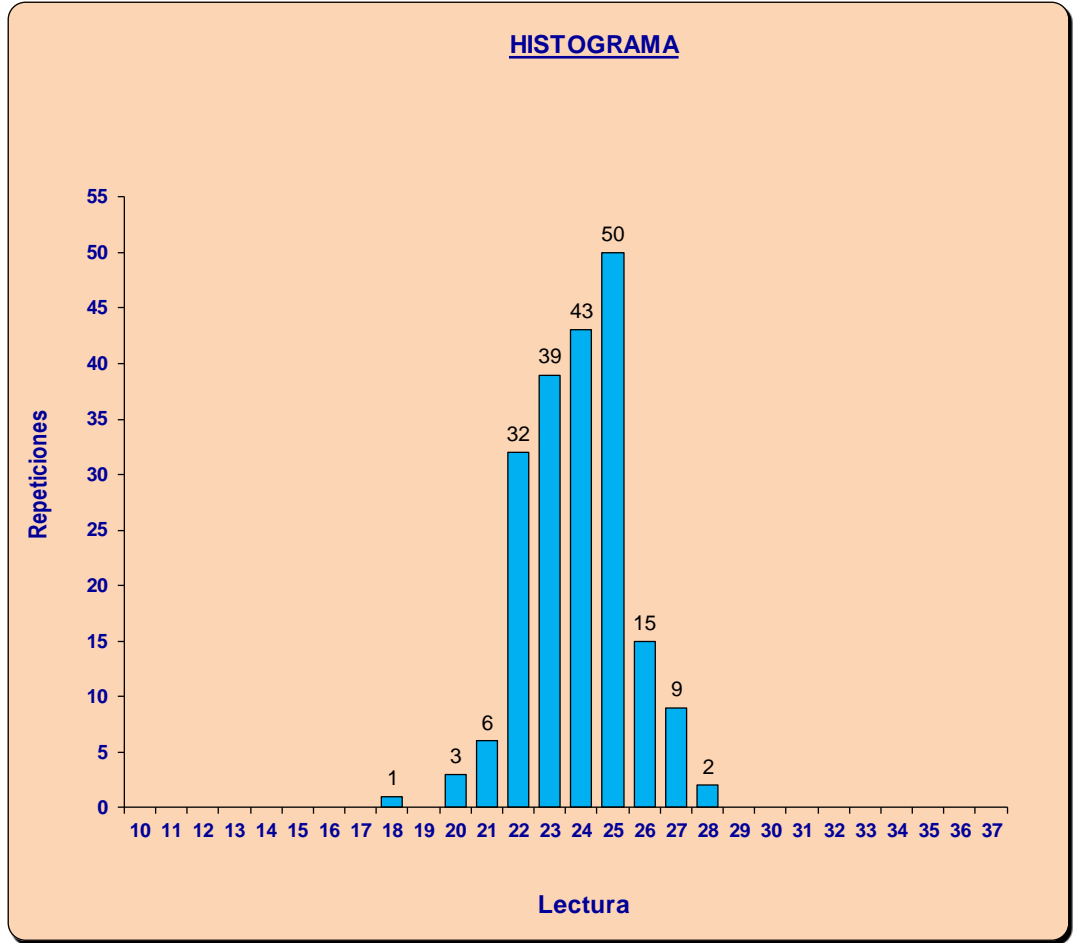
TOTAL 175 datos

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 26. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 04 Calzada 1 (ida)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

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



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 16.7 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$R = 0.593 + (0.0471 * 16.71)$ (D > 50)
 $R = (0.0485 * 16.71)$ (D < 50)

IRI = 0.81 m./Km.

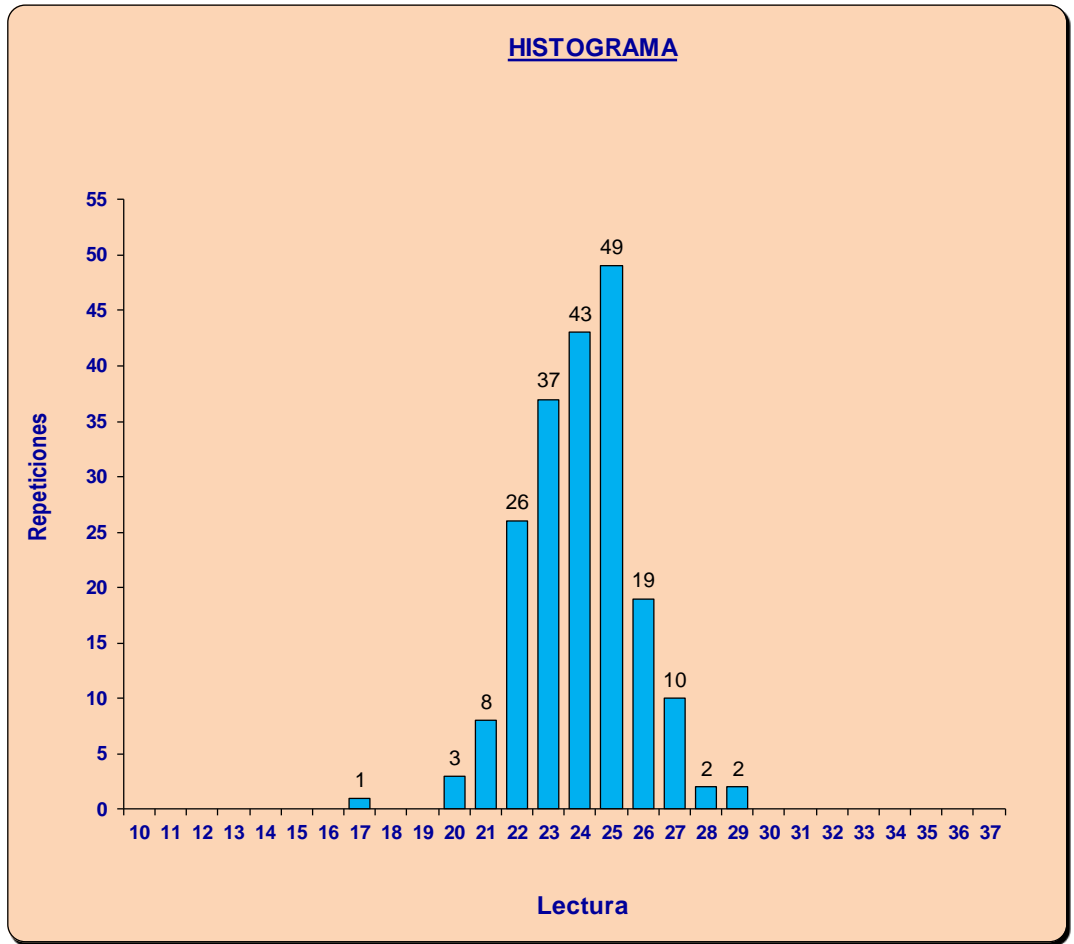
TOTAL 200 datos

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 27. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 05 Calzada 1 (ida)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

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



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 18.9 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$R = 0.593 + (0.0471 * 18.9)$ ($D > 50$)
 $R = (0.0485 * 18.9)$ ($D < 50$)

IRI = 0.92 m./Km.

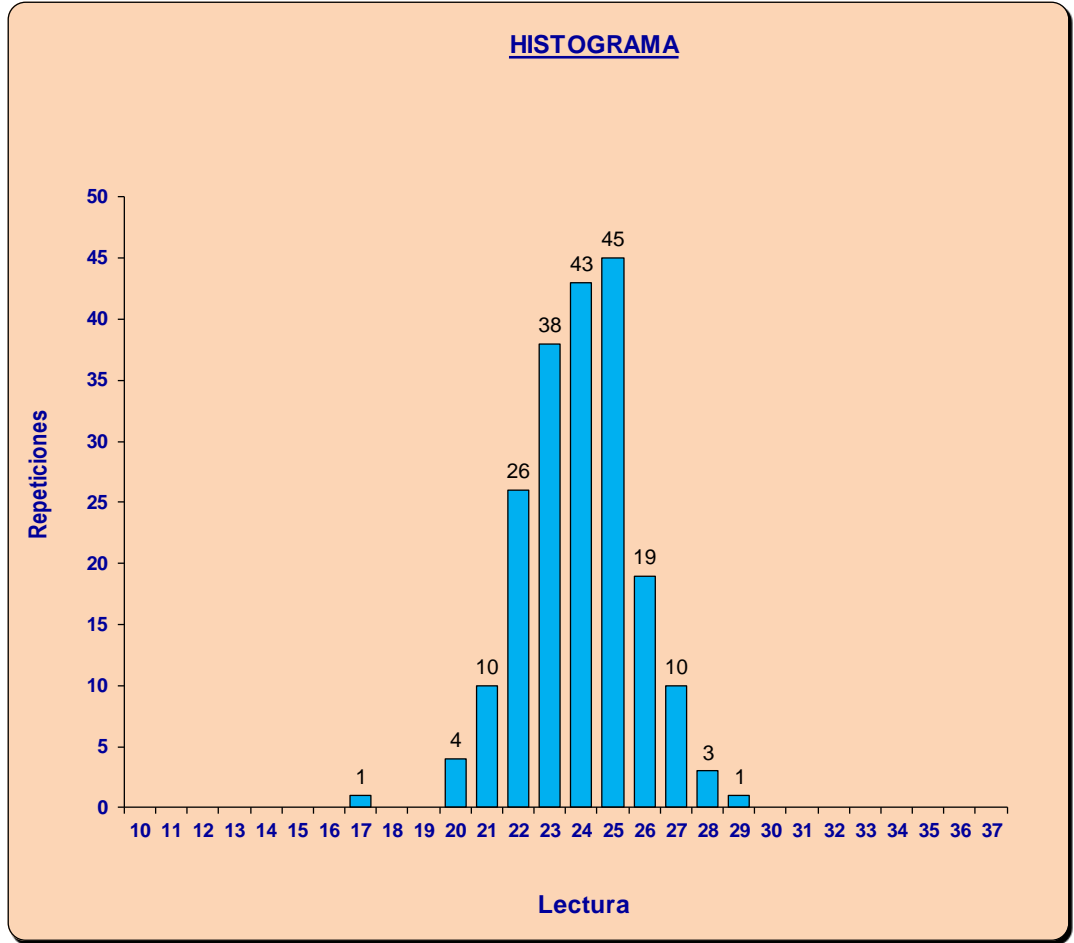
TOTAL 200 datos

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 28. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 06 Calzada 1 (ida)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

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



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 19.9 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$R = 0.593 + (0.0471 * 19.92)$ (D > 50)
 $R = (0.0485 * 19.92)$ (D < 50)

IRI = 0.97 m./Km.

TOTAL 200 datos

Fuente: Elaboración propia

UNIDAD DE MUESTRA N° 07 – CALZADA 1 (IDA)

Tabla N° 19. Resultados de la evaluación del tramo: Km 2+400m al Km 2+800m. Calzada 1 (ida)

PROYECTO DE INVESTIGACION	ANALISIS DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VIA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL RUGOSIMETRO DE MERLIN																								
MEDICION DE LA RUGOSIDAD EN CARPETA ASFALTICA CON MERLIN																									
UNIDAD DE REGISTRO : 07																									
TRAMO	: Cajamarca - Baños del Inca																								
CARRIL	: Derecho (Ida)																								
Progresiva inicial	: 2 + 400	Progresiva final:	2 + 800	Longitud :	400 m																				
TIPO SUPERFICIE	: Asfalto																								
RESPONSABLE	: Bach. Tingal Limay Homero																								
FECHA	: Lunes 13 - 05 - 2018																								
46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1																									
																									50
																									49
																									48
																									47
																									46
																									45
																									44
																									43
																									42
																									41
																									40
																									39
																									38
																									37
																									36
																									35
																									34
																									33
																									32
																									31
																									30
																									29
																									28
																									27
																									26
																									25
																									24
																									23
																									22
																									21
																									20
																									19
																									18
																									17
																									16
																									15
																									14
																									13
																									12
																									11
																									10
																									9
																									8
																									7
																									6
																									5
																									4
																									3
																									2
																									1

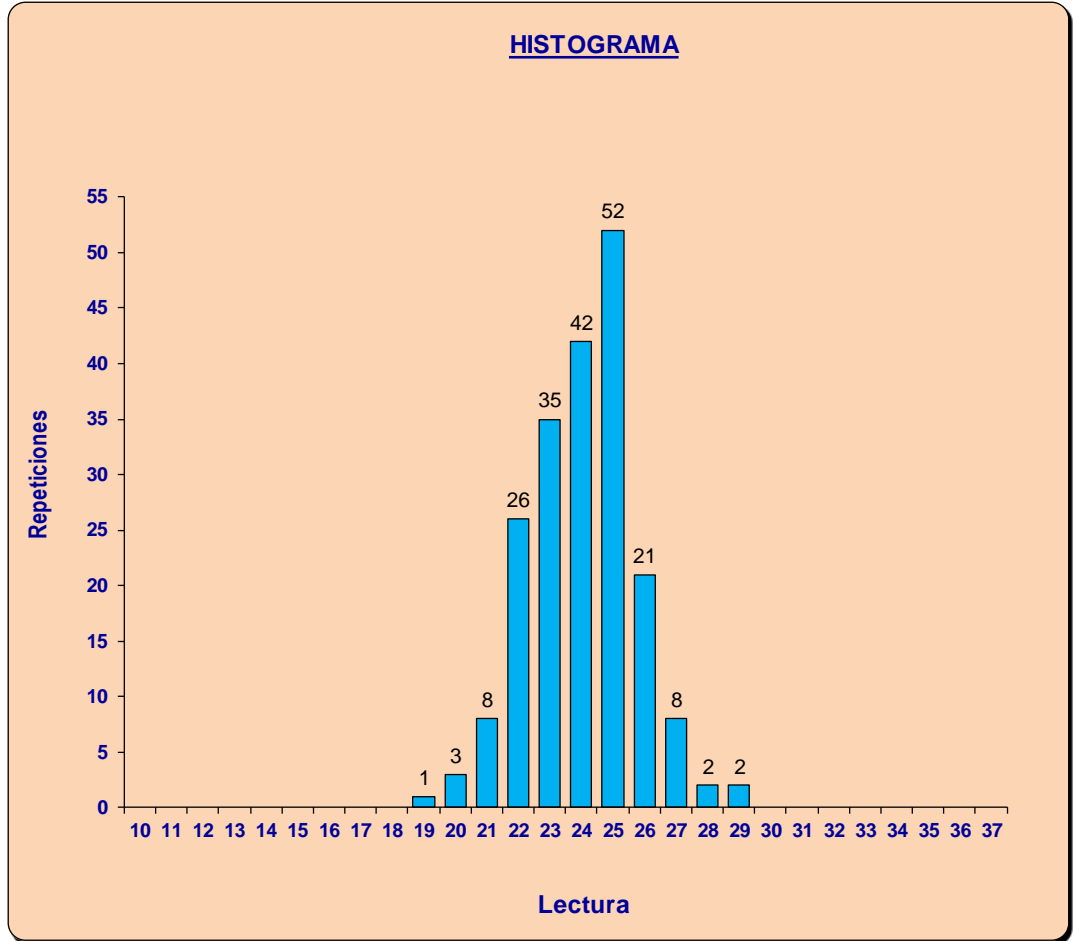
TABLA DE CONTEO										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	4
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	5
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	6
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	7
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	8
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	9
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	10
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	11
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	13
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	14
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	15
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	16
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	18
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	19
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 29. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 07 Calzada 1 (ida)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	1
20	3
21	8
22	26
23	35
24	42
25	52
26	21
27	8
28	2
29	2
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 18.3 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$R = 0.593 + (0.0471 * 18.29)$ (D > 50)
 $R = (0.0485 * 18.29)$ (D < 50)

IRI = 0.89 m./Km.

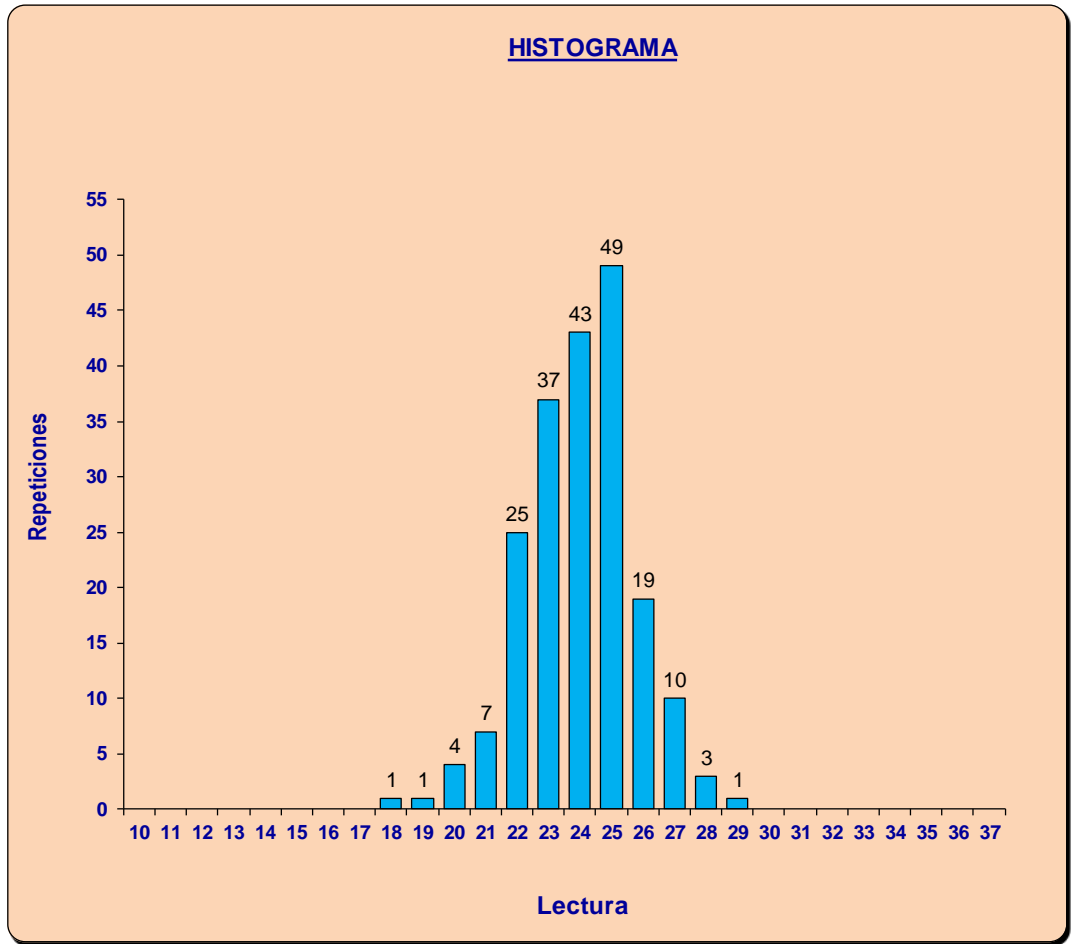
TOTAL 200 datos

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 30. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 08 Calzada 1 (ida)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

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



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 19.6 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$R = 0.593 + (0.0471 * 19.63)$ ($D > 50$)
 $R = (0.0485 * 19.63)$ ($D < 50$)

IRI = 0.95 m./Km.

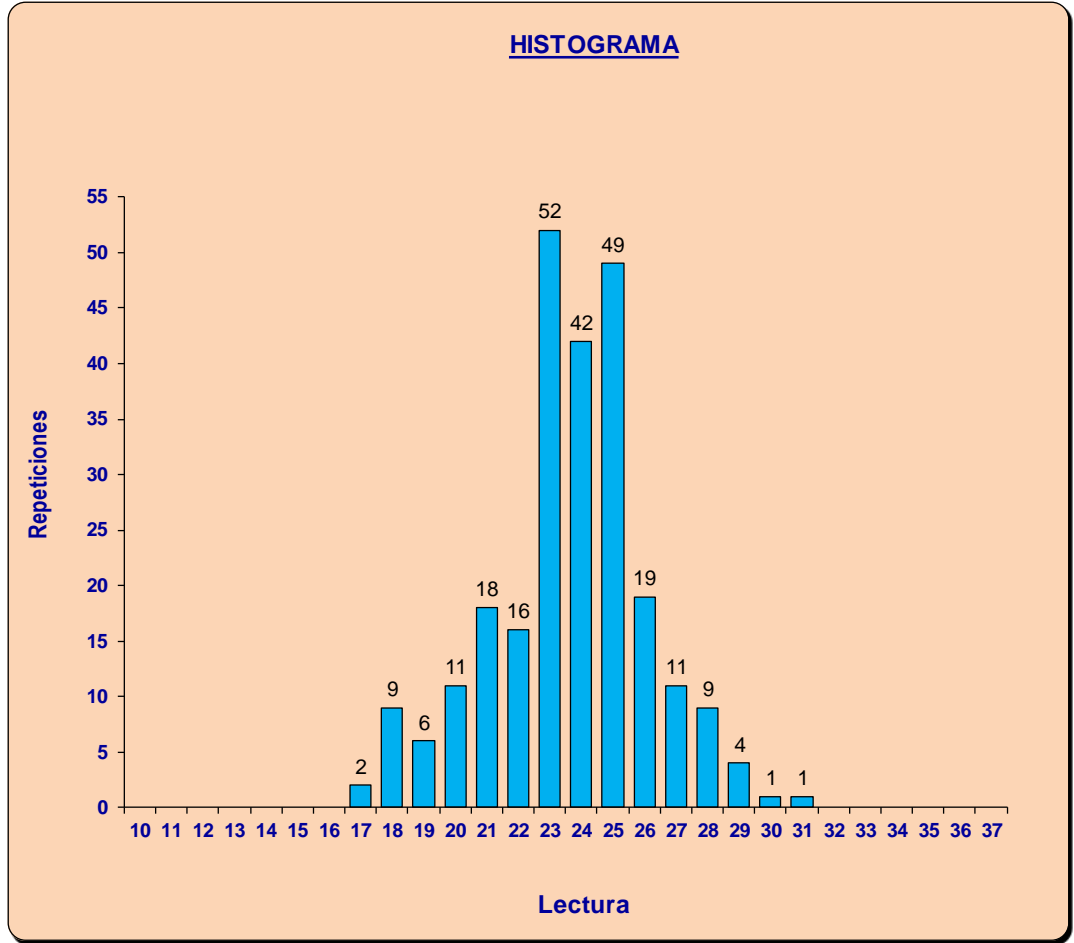
TOTAL 200 datos

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 31. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 09 Calzada 1 (ida)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	2
18	9
19	6
20	11
21	18
22	16
23	52
24	42
25	49
26	19
27	11
28	9
29	4
30	1
31	1
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 35.2 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$R = 0.593 + (0.0471 * 35.23)$ (D > 50)
 $R = (0.0485 * 35.23)$ (D < 50)

IRI = 1.71 m./Km.

TOTAL 250 datos

Fuente: Elaboración propia

▪ **REGISTRO DE CAMPO – CALZADA 2 (VUELTA)**

UNIDAD DE MUESTRA N° 01 – CALZADA 2 (VUELTA)

Tabla N° 22. Resultados de la evaluación del tramo: Km 0+000m al Km 0+400m.
Calzada 2 (vuelta)

PROYECTO DE INVESTIGACION		ANALISIS DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VIA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL RUGOSIMETRO DE MERLIN	
MEDICION DE LA RUGOSIDAD EN CARPETA ASFALTICA CON MERLIN			
UNIDAD DE REGISTRO : 10			
TRAMO	: Cajamarca - Baños del Inca		
CARRIL	: Izquierdo		
Progresiva inicial	: 0 + 000	Progresiva final: 0 + 400	Longitud: 400 m
TIPO SUPERFICIE	: Asfalto		
RESPONSABLE	: Bach. Tingal Limay Homero		
FECHA	: Lunes 13 - 05 - 2018		
		46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1	
			50
			49
			48
			47
			46
			45
			44
			43
			42
			41
			40
			39
			38
			37
			36
			35
			34
			33
			32
			31
			30
			29
			28
			27
			26
			25
			24
			23
			22
			21
			20
			19
			18
			17
			16
			15
			14
			13
			12
			11
			10
			9
			8
			7
			6
			5
			4
			3
			2
			1

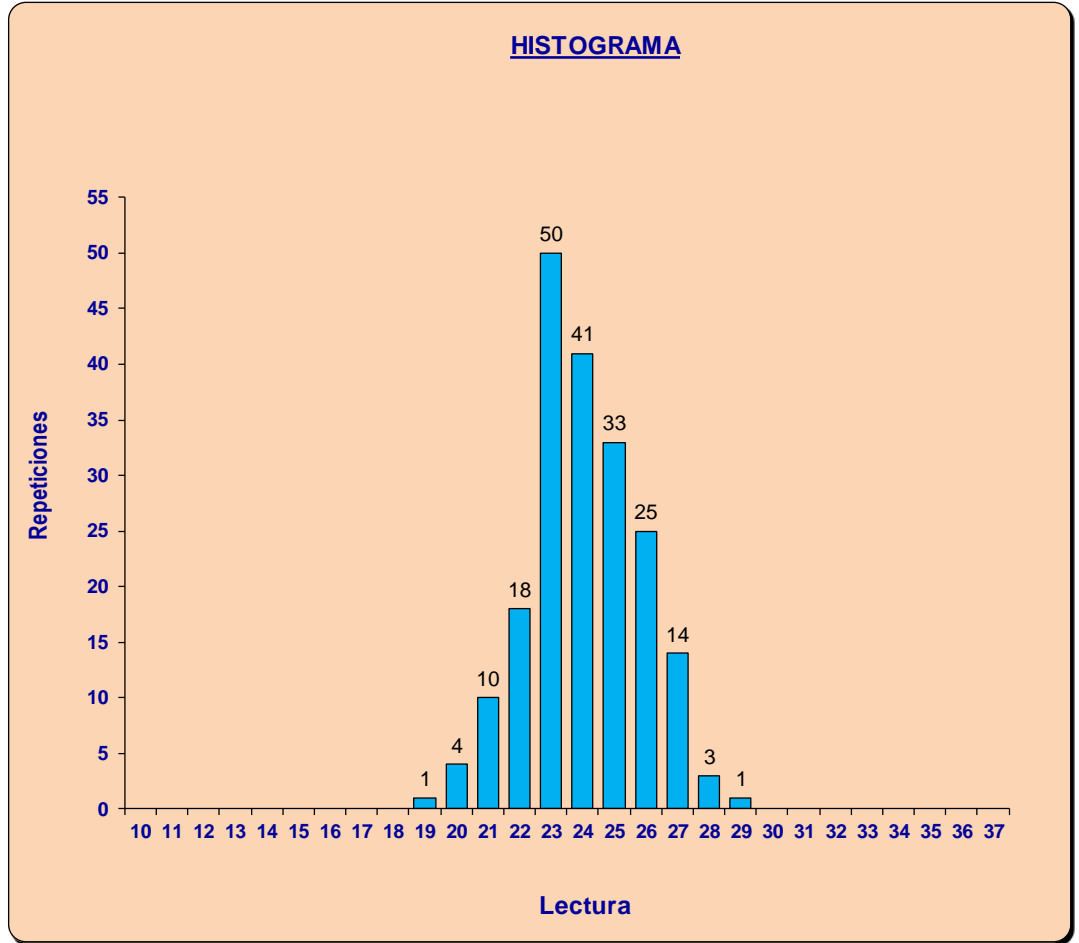
TABLA DE CONTEO									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 32. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 01 Calzada 2 (vuelta)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

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



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 20.6 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

R = 0.593 + (0.0471 * 20.62) (D > 50)
 R = (0.0485 * 20.62) (D < 50)

IRI = 1.00 m./Km.

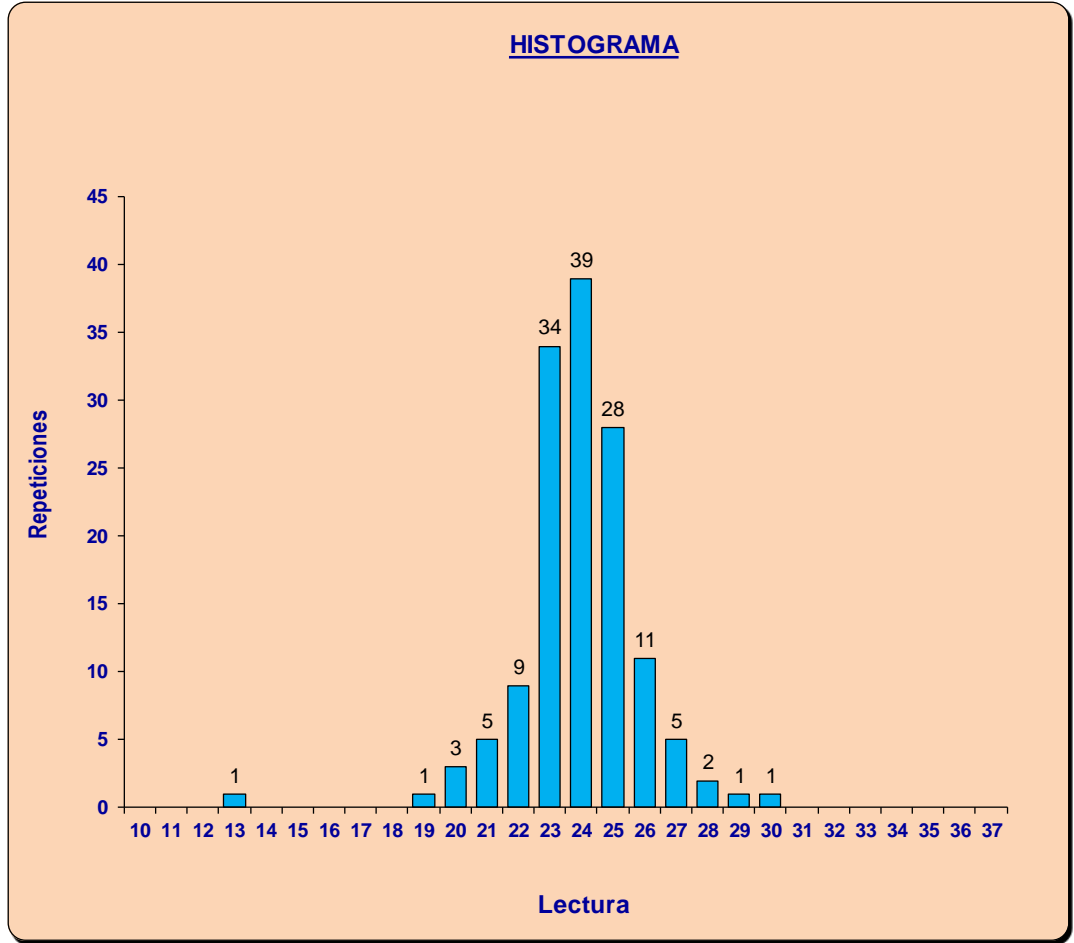
TOTAL 200 datos

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 33. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 02 Calzada 2 (vuelta)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

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



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 20.0 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$$R = 0.593 + (0.0471 * 19.96) \quad (D > 50)$$

$$R = (0.0485 * 19.96) \quad (D < 50)$$

IRI = 0.97 m/Km.

TOTAL 140 datos

Fuente: Elaboración propia

UNIDAD DE MUESTRA N° 03 – CALZADA 2 (VUELTA)

Tabla N° 24. Resultados de la evaluación del tramo: Km 00+800m al Km 1+200 m.

Calzada 2 (vuelta)

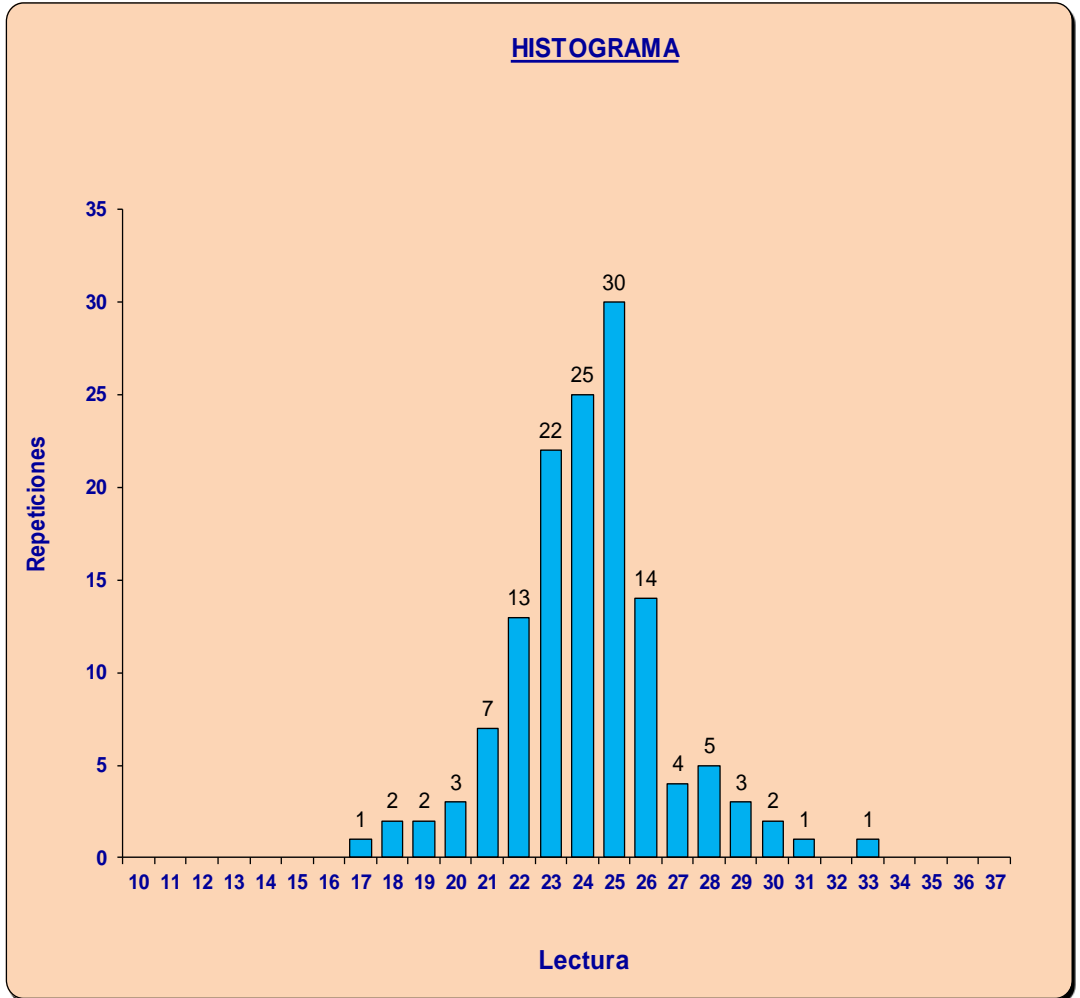
PROYECTO DE INVESTIGACION	ANALISIS DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VIA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL RUGOSIMETRO DE MERLIN	
MEDICION DE LA RUGOSIDAD EN CARPETA ASFALTICA CON MERLIN		
UNIDAD DE REGISTRO : 12		
TRAMO : Cajamarca - Baños del Inca	CARRIL : Izquierdo	
Progresiva inicial : 0 + 800	Progresiva final: 1 + 200	Longitud : 400 m
TIPO SUPERFICIE : Asfalto		
RESPONSABLE : Bach. Tingal Limay Homero		
FECHA : Lunes 13 - 05 - 2018		
46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1		
		50
		49
		48
		47
		46
		45
		44
		43
		42
		41
		40
		39
		38
		37
		36
		35
		34
		X 33
		32
		X 31
		X X 30
		X X X 29
		X X X X 28
		X X X X X 27
		X X X X X X 26
		X X X X X X X 25
		X X X X X X X X 24
		X X X X X X X X X 23
		X X X X X X X X X 22
		X X X X X X X X X 21
		X X X X X X X X X 20
		X X X X X X X X X 19
		X X X X X X X X X 18
		X X X X X X X X X 17
		16
		15
		14
		13
		12
		11
		10
		9
		8
		7
		6
		5
		4
		3
		2
		1
TABLA DE CONTEO		
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		
/ / / / / / / / / /	1	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	2	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	3	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	4	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	5	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	6	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	7	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	8	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	9	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	10	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	11	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	12	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	13	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	14	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	15	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	16	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	17	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	18	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	19	/ / / / / / / / / /
/ / / / / / / / / /	20	/ / / / / / / / / /

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 34. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 03 Calzada 2 (vuelta)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

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



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D 24.9 mm

Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$$R = 0.593 + (0.0471 * 24.85) \quad (D > 50)$$

$$R = (0.0485 * 24.85) \quad (D < 50)$$

$$IRI = 1.21 \text{ m./Km.}$$

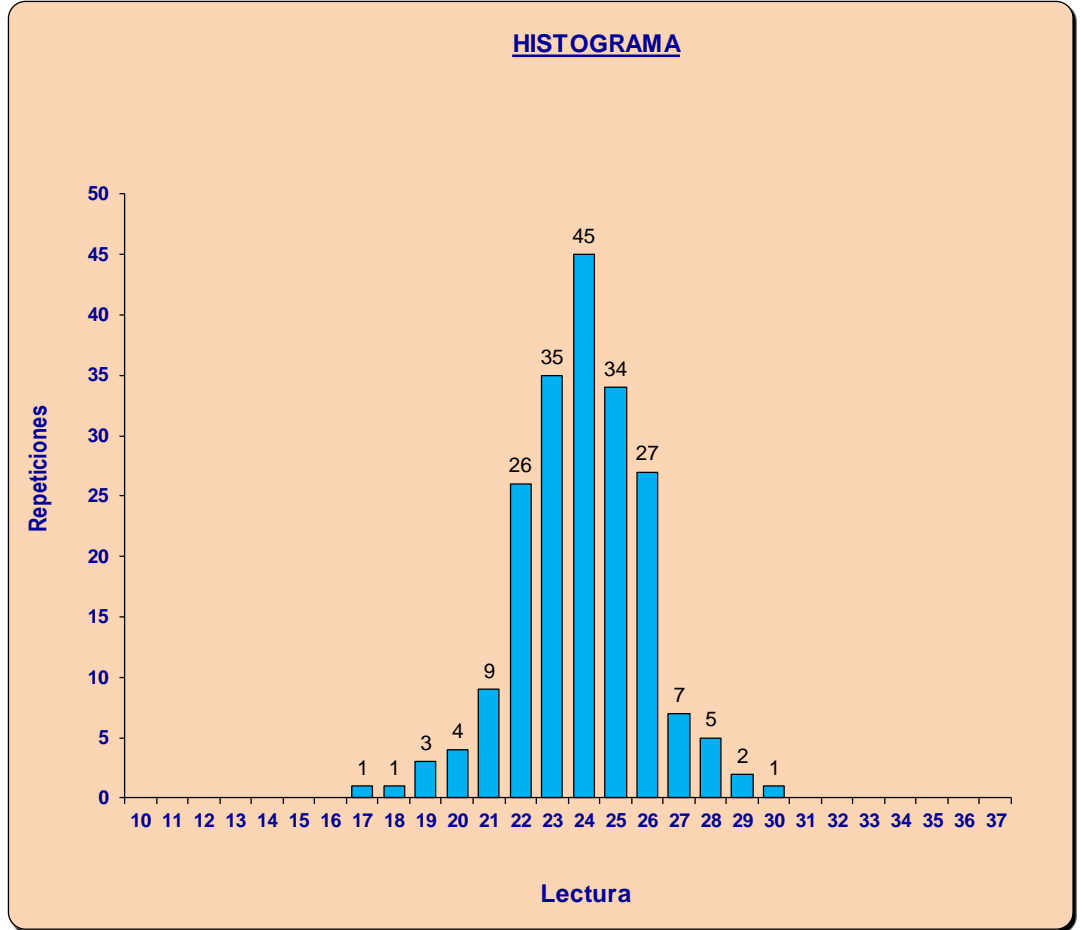
TOTAL 135 datos

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 35. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 04 Calzada 2 (vuelta)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

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



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D 22.8 mm

Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$$R = 0.593 + (0.0471 * 22.78) \quad (D > 50)$$

$$R = (0.0485 * 22.78) \quad (D < 50)$$

$$IRI = 1.10 \text{ m/Km.}$$

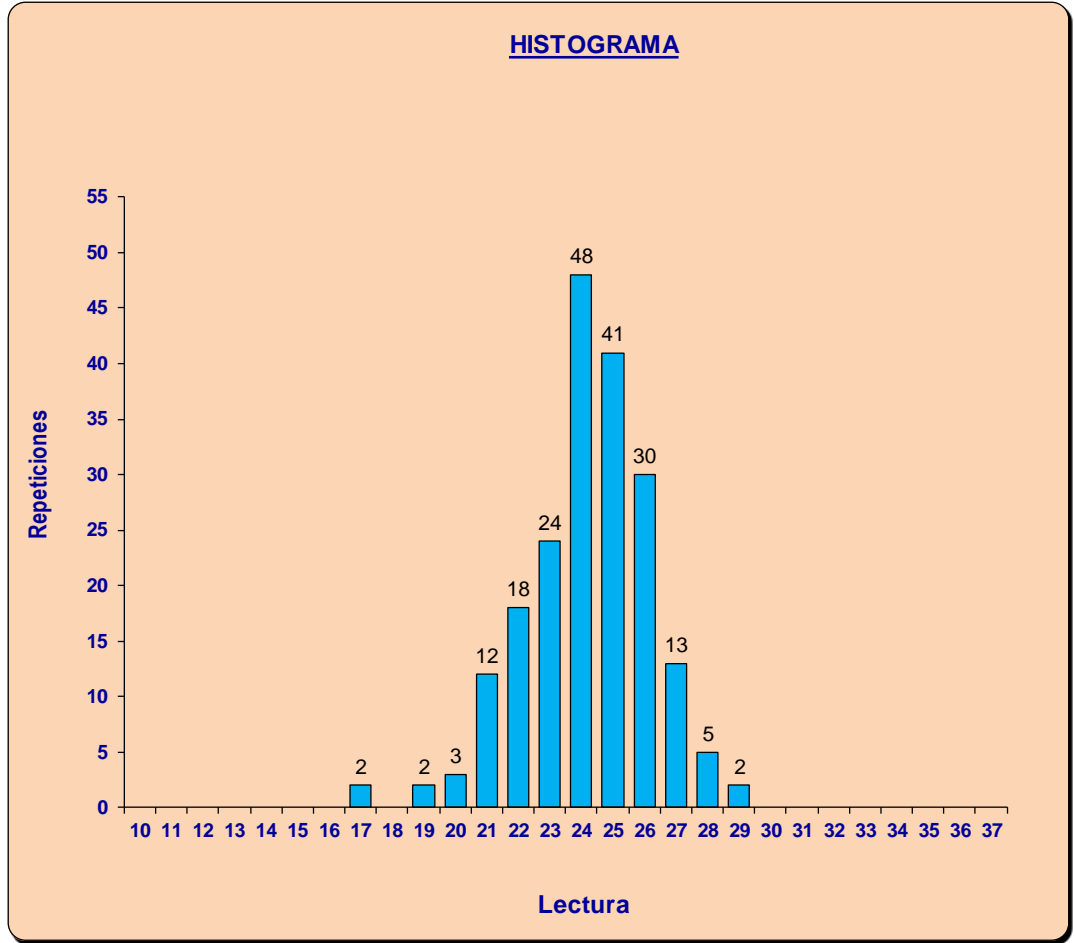
TOTAL 200 datos

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 36. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 05 Calzada 2 (vuelta)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

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



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 22.4 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$R = 0.593 + (0.0471 * 22.44)$ (D > 50)
 $R = (0.0485 * 22.44)$ (D < 50)

IRI = 1.09 m/Km.

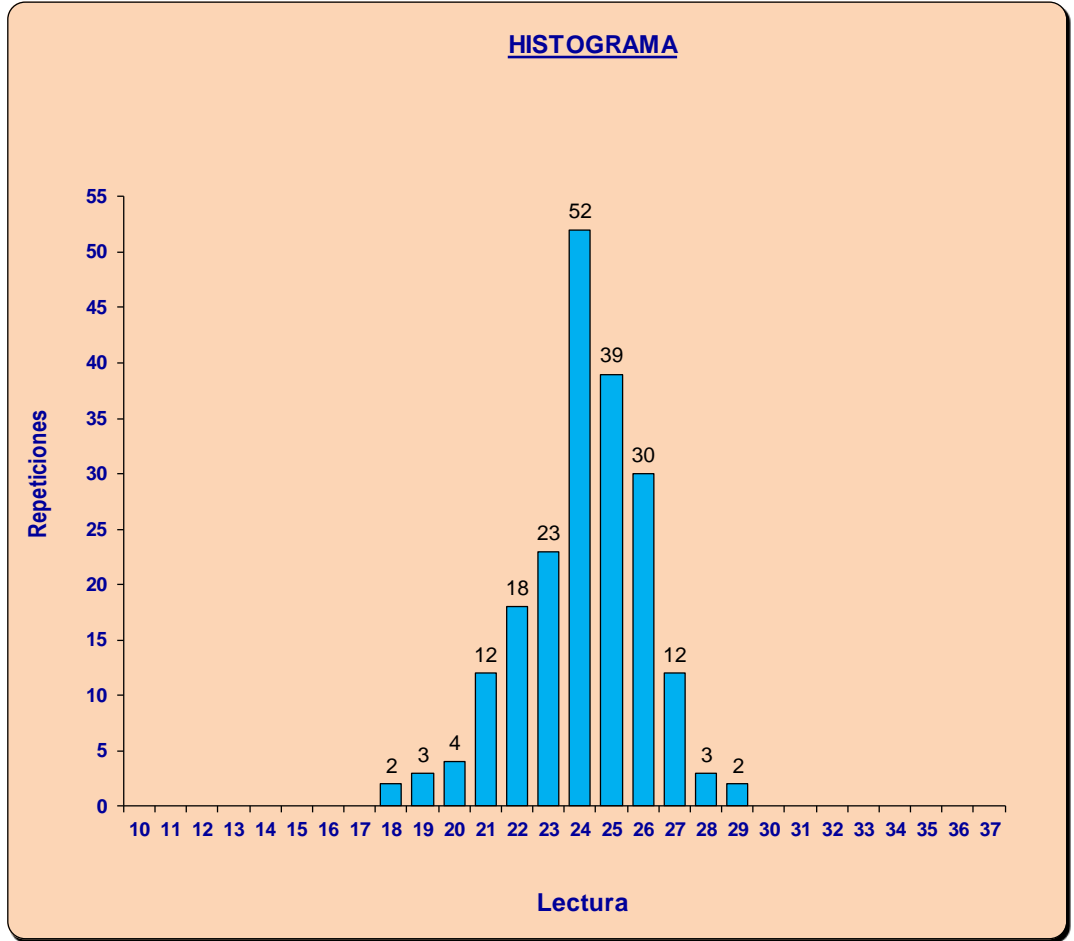
TOTAL 200 datos

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 37. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 06 Calzada 2 (vuelta)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	2
19	3
20	4
21	12
22	18
23	23
24	52
25	39
26	30
27	12
28	3
29	2
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 22.4 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$R = 0.593 + (0.0471 * 22.36)$ (D > 50)
 $R = (0.0485 * 22.36)$ (D < 50)

IRI = 1.08 m./Km.

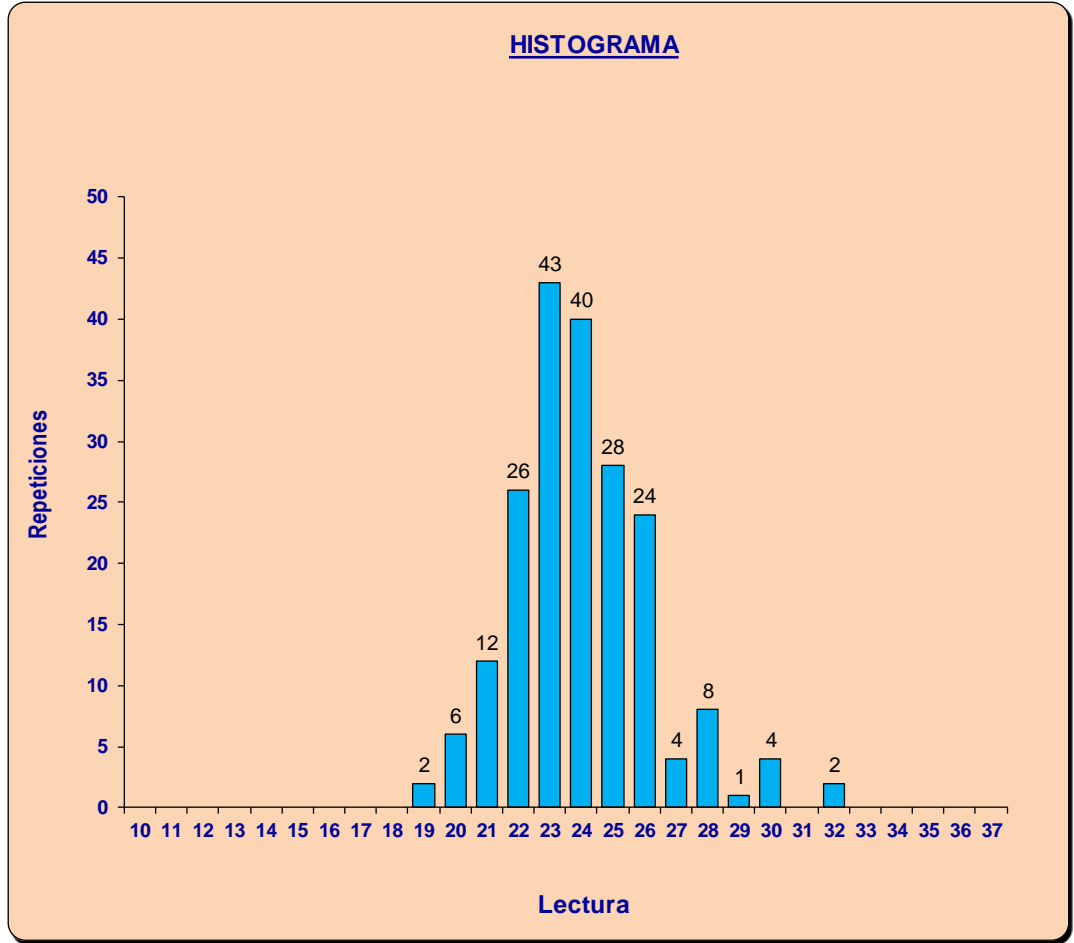
TOTAL 200 datos

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 38. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 07 Calzada 2 (vuelta)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

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



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 26.3 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$R = 0.593 + (0.0471 * 26.25)$ (D > 50)
 $R = (0.0485 * 26.25)$ (D < 50)

IRI = 1.27 m/Km.

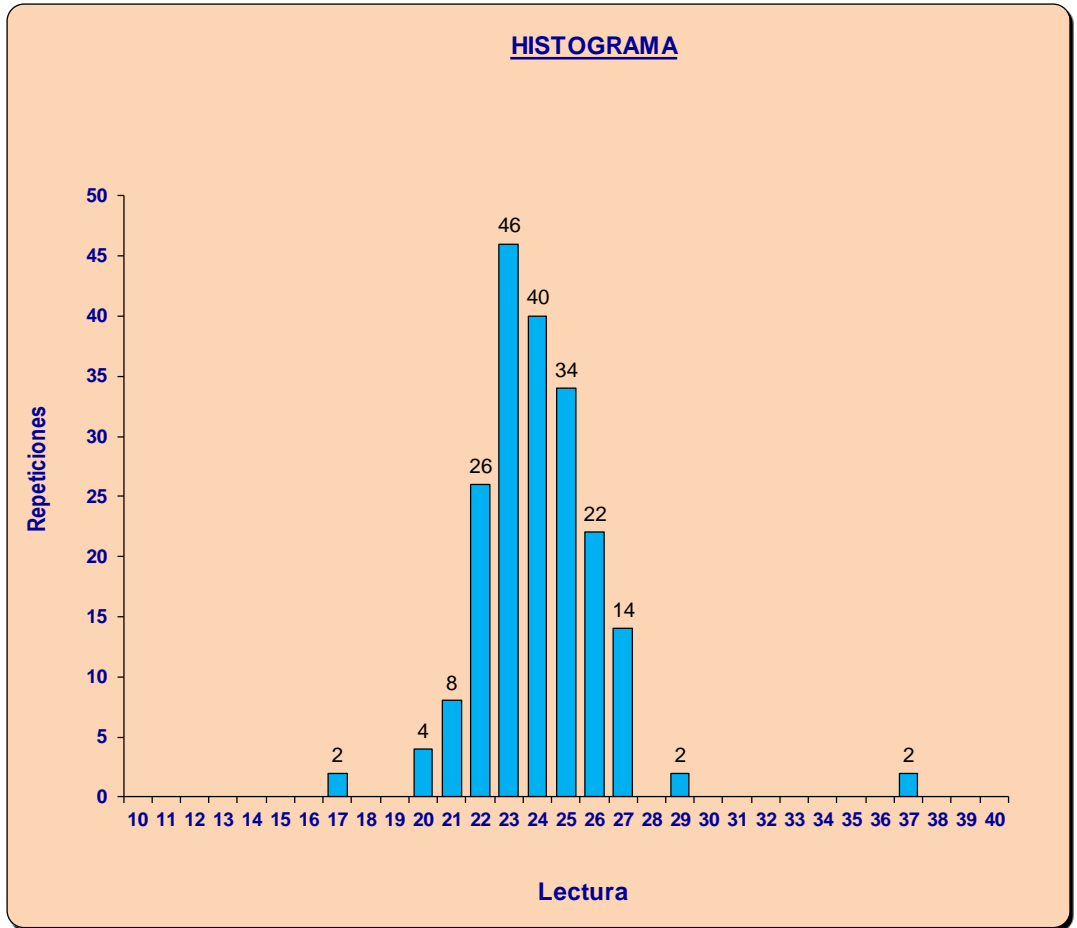
TOTAL 200 datos

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 39. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 08 Calzada 2 (vuelta)

1.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS:

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



2.- ANCHO DE HISTOGRAMA

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)
 Rango D 20.6 mm
 Factor de Corrección 0.813

3.- CALCULO DE RUGOSIDAD

$R = 0.593 + (0.0471 * 20.62)$ (D > 50)
 $R = (0.0485 * 20.62)$ (D < 50)

IRI = 1.00 m./Km.

TOTAL 200 datos

Fuente: Elaboración propia

UNIDAD DE MUESTRA N° 09 – CALZADA 2 (VUELTA)

Tabla N° 30

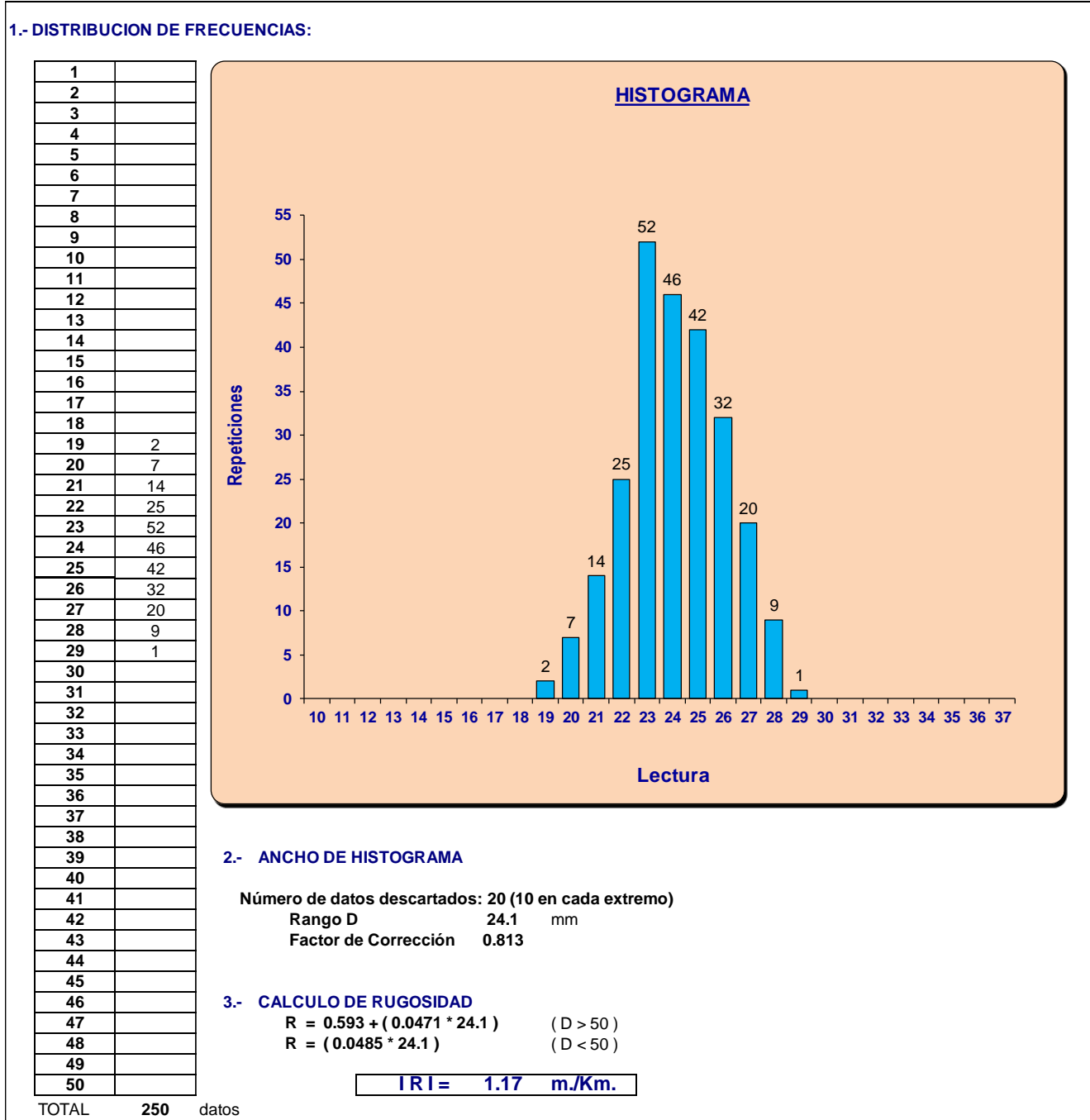
Resultados de la evaluación del tramo: Km 3+200m. al Km 3+700m. Calzada 2 (vuelta)

PROYECTO DE INVESTIGACION	ANALISIS DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VIA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL RUGOSIMETRO DE MERLIN																								
MEDICION DE LA RUGOSIDAD EN CARPETA ASFALTICA CON MERLIN																									
UNIDAD DE REGISTRO : 18																									
TRAMO :	Cajamarca - Baños del Inca																								
CARRIL :	Izquierdo																								
Progresiva inicial :	3 + 200	Progresiva final:	3 + 700	Longitud :	500 m																				
TIPO SUPERFICIE :	Asfalto																								
RESPONSABLE :	Bach. Tingal Limay Homero																								
FECHA :	Lunes 13 - 05 - 2018																								
46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1																									
																									50
																									49
																									48
																									47
																									46
																									45
																									44
																									43
																									42
																									41
																									40
																									39
																									38
																									37
																									36
																									35
																									34
																									33
																									32
																									31
																									30
																									29
																									28
																									27
																									26
																									25
																									24
																									23
																									22
																									21
																									20
																									19
																									18
																									17
																									16
																									15
																									14
																									13
																									12
																									11
																									10
																									9
																									8
																									7
																									6
																									5
																									4
																									3
																									2
																									1

TABLA DE CONTEO										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	4
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	5
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	6
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	7
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	8
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	9
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	10
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	11
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	13
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	14
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	15
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	16
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	18
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	19
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 40. Histograma de distribución de frecuencias según recolección de datos de Muestra 09 Calzada 2 (vuelta)



Fuente: Elaboración propia

3.5.3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se muestra la Tabla N° 31 y 32, que resume el metrado del análisis de la Rugosidad en las dos Calzadas; siendo nueve unidades de muestras por cada lado.

3.5.3.1. IRI PROMEDIO

Tabla N° 31

Resumen del cálculo de la rugosidad en unidades IRI, UM - Calzada 1 (ida)

ENSAYO	PROGRESIVA		CALZADA	IRI (m/km)
	KM.	KM.		
UM - 01	0+000	0+400	1 (IDA)	1.10
UM - 02	0+400	0+800	1 (IDA)	1.12
UM - 03	0+800	1+200	1 (IDA)	1.16
UM - 04	1+200	1+600	1 (IDA)	0.81
UM - 05	1+600	2+000	1 (IDA)	0.92
UM - 06	2+000	2+400	1 (IDA)	0.97
UM - 07	2+400	2+800	1 (IDA)	0.89
UM - 08	2+800	3+200	1 (IDA)	0.95
UM - 09	3+200	3+700	1 (IDA)	1.71
IRI PROMEDIO - CALZADA 1 (IDA)				1.07

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar para la Calzada 1 de ida, el valor que más sobresale de las lecturas es el valor 0.81 que representa a la unidad de muestra 04 el cual indica una superficie de pavimento poco rugosa, seguido del valor 0.92 de la unidad de muestra 05. Por otro lado, se observa lo que el valor más alto es de 1.71 correspondiente a la unidad de muestra 09 la cual nos indica una superficie más deficiente en su capa de rodadura.

Tabla N° 32

Resumen del cálculo de la rugosidad en unidades IRI, UM - Calzada 2 (vuelta)

ENSAYO	PROGRESIVA		CALZADA	IRI (m/km)
	KM.	KM.		
UM - 01	0+000	0+400	2 (vuelta)	1.00
UM - 02	0+400	0+800	2 (vuelta)	0.97
UM - 03	0+800	1+200	2 (vuelta)	1.21
UM - 04	1+200	1+600	2 (vuelta)	1.10
UM - 05	1+600	2+000	2 (vuelta)	1.09
UM - 06	2+000	2+400	2 (vuelta)	1.08
UM - 07	2+400	2+800	2 (vuelta)	1.27
UM - 08	2+800	3+200	2 (vuelta)	1.00
UM - 09	3+200	3+700	2 (vuelta)	1.17
IRI PROMEDIO - CALZADA 2 (vuelta)				1.10

Fuente: Elaboración propia

En este caso para el Calzada 2 (vuelta) el valor que más sobresale de las lecturas es de 0.97 que representa a la muestra 02 el cual indica una superficie de pavimento poco rugosa, seguido del valor 1.00 de las muestras 01 y 08; Además también, se observa lo que el valor más alto es de 1.27 de la muestra 07 la cual nos indica una superficie más deficiente en su capa de rodadura.

3.5.3.2. IRI CARACTERISTICO (IRI_c)

a. IRI_c CALZADA 1 (IDA)

Tabla N° 33. Cuadro resumen del IRI característico, UM Calzada 1 (ida)

ENSAYO	PROGRESIVA		CALZADA	D (mm)	FC	IRI (m/km)	PSI
	KM.	KM.					
UM - 01	0+000	0+400	1 (ida)	22.73	0.813	1.10	4.1
UM - 02	0+400	0+800	1 (ida)	23.12	0.813	1.12	4.1
UM - 03	0+800	1+200	1 (ida)	23.88	0.813	1.16	4.1
UM - 04	1+200	1+600	1 (ida)	16.71	0.813	0.81	4.3
UM - 05	1+600	2+000	1 (ida)	18.90	0.813	0.92	4.2
UM - 06	2+000	2+400	1 (ida)	19.92	0.813	0.97	4.2
UM - 07	2+400	2+800	1 (ida)	18.29	0.813	0.89	4.3
UM - 08	2+800	3+200	1 (ida)	19.63	0.813	0.95	4.2
UM - 09	3+200	3+700	1 (ida)	35.23	0.813	1.71	3.7

CANTIDAD	N	9.00	9	9	9
SUMA	S = Σ N	198.41	7	A	37
PROMEDIO	$\bar{X} = S / N$	22.05	0.813	1.07	4.12
LIMITES ABSOLUTO	MIN	16.71	0.813	0.81	3.66
	MAX	35.23	0.813	1.71	4.31
DESVIACION ESTANDAR	δ	5.50	0.000	0.27	0.19
VARIANZA	Δ	30.20	0.000	0.07	0.04
COEF. DE VARIACION	Ω	24.93	0.000	24.93	4.67

IRI promedio : 1.07

T : 1.65

δ : 0.27

IRI Característico = 1.51

Fuente: Elaboración propia

b. IRIc CALZADA 2 (VUELTA)

Tabla N° 34. Cuadro resumen del IRI característico, UM Calzada 2 (vuelta)

ENSAYO	PROGRESIVA		CALZADA	D (mm)	FC	IRI (m/km)	PSI
	KM.	KM.					
UM - 01	0+000	0+400	2 (vuelta)	20.62	0.813	1.00	4.2
UM - 02	0+400	0+800	2 (vuelta)	19.96	0.813	0.97	4.2
UM - 03	0+800	1+200	2 (vuelta)	24.85	0.813	1.21	4.0
UM - 04	1+200	1+600	2 (vuelta)	22.78	0.813	1.10	4.1
UM - 05	1+600	2+000	2 (vuelta)	22.44	0.813	1.09	4.1
UM - 06	2+000	2+400	2 (vuelta)	22.36	0.813	1.08	4.1
UM - 07	2+400	2+800	2 (vuelta)	26.25	0.813	1.27	4.0
UM - 08	2+800	3+200	2 (vuelta)	20.62	0.813	1.00	4.2
UM - 09	3+200	3+700	2 (vuelta)	24.10	0.813	1.17	4.0

CANTIDAD	N	9.00	9	9	9
SUMA	S = Σ N	203.96	7	A	37
PROMEDIO	$\bar{X} = S / N$	22.66	0.813	1.10	4.09
LIMITES ABSOLUTO	MIN	19.96	0.813	0.97	3.97
	MAX	26.25	0.813	1.27	4.19
DESVIACION ESTANDAR	δ	2.11	0.000	0.10	0.08
VARIANZA	Δ	4.45	0.000	0.01	0.01
COEF. DE VARIACION	Ω	9.31	0.000	9.31	1.86

IRI promedio : 1.10
 T : 1.65
 δ : 0.10

IRI Característico = 1.27

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS

Las 18 hojas de campo: nueve de la calzada 1 y nueve de la calzada 2; fueron transcritas al Microsoft Excel para el cálculo y su respectivo análisis.

El procedimiento de análisis consistió en:

- a) Contar y anotar en los casilleros de cada formato de campo; cuántas veces se repitan los valores (ver ítem 3.5. Análisis, tratamiento y presentación de resultados).
- b) Con esos datos se dibujó el histograma de frecuencias.
- c) Luego, obtener el IRI con los procedimientos que se indicó en el marco teórico y del ejemplo desarrollado.
- d) El procesamiento de datos de los 18 ensayos se encuentra del mismo modo desarrollado en el ítem 3.5.1. en la figura que está seguido a cada tabla de llenado de datos; pero el resumen de los datos obtenidos los presentamos a continuación en los siguientes subítems:

4.1.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE AMBAS CALZADAS

Haciendo uso de correlaciones estadísticas se compararon los resultados de ambas calzadas y así obteniendo datos como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla N° 35.

Comparación del IRI de las dos Calzadas

ENSAYO	PROGRESIVA		IRI (m/km)	
	KM.	KM.	Calzada 1 (ida)	Calzada 2 (vuelta)
M - 01	0+000	0+400	1.10	1.00
M - 02	0+400	0+800	1.12	0.97
M - 03	0+800	1+200	1.16	1.21
M - 04	1+200	1+600	0.81	1.10
M - 05	1+600	2+000	0.92	1.09
M - 06	2+000	2+400	0.97	1.08
M - 07	2+400	2+800	0.89	1.27
M - 08	2+800	3+200	0.95	1.00
M - 09	3+200	3+700	1.71	1.17
PROMEDIO			1.07	1.10

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 35; se puede apreciar que existen tramos en donde el IRI CALZADA 1 (IDA) y el IRI CALZADA 2 (VUELTA), son muy similares llegando casi al 100%, no obstante; en otros tienden a diferir llegando hasta 95%, esta diferencia se debe a varios factores, tiempos de construcción y mantenimientos que se han realizado.

4.1.2. RELACIÓN ENTRE LA RUGOSIDAD (IRI) Y LA SERVICIABILIDAD (PSI)

La determinación analítica del PSI se ha efectuado utilizando la expresión aproximada establecida por Sayers, que relaciona el Índice de Rugosidad Internacional con el Índice Presente de Serviabilidad.

La correlación adoptada se desarrolló usando los datos obtenidos en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad en Caminos, como indica la norma realizada en Brasil en 1982, (ver tabla N° 36).

Debe tomarse en cuenta que en la fase de diseño se establece el nivel de serviabilidad inicial del proyecto, dependiendo del tipo de obra, a manera

de referencia se muestra los valores de PSI empleados en el diseño de pavimentos.

- Construcción nueva con carpeta asfáltica en caliente PSI de 4.2
- Rehabilitación con recapeado de carpeta asfáltica en caliente PSI de 4.0
- Construcción nueva con tratamiento superficial bicapa PSI de 3.5

Utilizando la tabla N° 02 Índice de Serviciabilidad (PSI)

Índice de Serviciabilidad (PSI)	Calidad
4 - 5	Muy Buena
3 - 4	Buena
2 - 3	Regular
1 - 2	Mala
0 - 1	Muy Mala

Se tiene:

Tabla N° 36.

Relación IRI - PSI Para Calzada 1 (ida)

ENSAYO	PROGRESIVA		IRI (m/km)	PSI
	KM.	KM.		
UM - 01	0+000	0+400	1.10	4.1
UM - 02	0+400	0+800	1.12	4.1
UM - 03	0+800	1+200	1.16	4.1
UM - 04	1+200	1+600	0.81	4.3
UM - 05	1+600	2+000	0.92	4.2
UM - 06	2+000	2+400	0.97	4.2
UM - 07	2+400	2+800	0.89	4.3
UM - 08	2+800	3+200	0.95	4.2
UM - 09	3+200	3+700	1.71	3.7
PROMEDIO			1.07	4.12

PSI = 4.12

ESTADO DEL PAVIMENTO ES: MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 37.

Relación IRI – PSI Para Calzada 2 (vuelta)

ENSAYO	PROGRESIVA		IRI (m/km)	PSI
	KM.	KM.		
UM - 01	0+000	0+400	1.00	4.2
UM - 02	0+400	0+800	0.97	4.2
UM - 03	0+800	1+200	1.21	4.0
UM - 04	1+200	1+600	1.10	4.1
UM - 05	1+600	2+000	1.09	4.1
UM - 06	2+000	2+400	1.08	4.1
UM - 07	2+400	2+800	1.27	4.0
UM - 08	2+800	3+200	1.00	4.2
UM - 09	3+200	3+700	1.17	4.0
PROMEDIO			1.10	4.09

PSI = 4.09

ESTADO DEL PAVIMENTO ES: MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON LA HIPÓTESIS.

Se contrasta la hipótesis parcialmente; ya que los resultados después de analizar, muestran que las unidades calculadas a lo largo de los dos Calzadas arrojan valores del IRI menores a 1.5 m/km y relacionando con el Serviciabilidad los valores del PSI está comprendido entre 4 a 5. Dando un resultado de un pavimento que se encuentra en BUEN ESTADO.

Por otro lado, los dos Calzadas son similares respectivamente.

4.2.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON LOS ANTECEDENTES TEÓRICOS

AÑO 1995.

Los primeros estudios de rugosidad de pavimentos en Perú, se realizaron con el Rugosímetro Merlín. La primera prueba del control de la calidad de un pavimento nuevo se realizó en la Panamericana Norte, en el mes de febrero de 1995, en el tramo de la vía de evitamiento, en la ciudad de Trujillo, mediante el programa de rehabilitación de carreteras, financiado por el banco Interamericano de Desarrollo.

En la presente investigación se realizó el análisis superficial en las dos calzadas del pavimento flexible de la Vía Cajamarca – Baños del Inca, la cual tiene una longitud de 3.7 km para cada calzada, con un total de 18 ensayos realizados con el Rugosímetro Merlín; obteniéndose un estado aceptable, esto según AASTHO 1992.

- Sachún, J. (2016) analizó un pavimento rígido con un tramo que tiene 2 carril y otro de 1 carril, realizado 74 ensayos en el Rugosímetro de Merlín en la ciudad de Trujillo para poder hacer una comparación con los datos de 1995 obteniéndose una alteración del índice de rugosidad internacional durante el tiempo, se tiene para este pavimento un IRI promedio de 1.77 m/km, una desviación estándar de 0.19, un IRI característico de 2.08 m/km y un PSI de 3.4; mientras que en ésta investigación se analizó un pavimento flexible de la ciudad de Cajamarca evaluando un total de 7.3 km de la Vía, de Cajamarca hasta Baños del Inca, de los cual se analizó 18 ensayos obteniéndose resultados de rugosidad del pavimento como son: para el Calzada 1 (ida) un IRI promedio de 1.07 m/km, una desviación estándar de 0.27, un IRI característico de 2.69 m/km y un PSI de 4.12; para el Calzada 2 (vuelta) un IRI promedio de 1.10 m/km, una desviación estándar de 0.10, un IRI característico de 2.117 m/km y un PSI de 4.09 y para todo el pavimento estudiado se tiene un IRI promedio de 1.1 m/km. Entonces para Sachún, de acuerdo a la clasificación PSI está en un rango de 3 – 4 y se está hablando de un pavimento bueno, del mismo modo para

este trabajo de investigación la clasificación de PSI está en un rango de 4 – 5 y con ello se verifica también que el pavimento está en buen estado. Esto nos da la idea clara que el pavimento estudiado y analizado en esta investigación está en mejor estado comparado al de la ciudad de Trujillo.

- Redondo, O. (2006) utilizó las características geométricas del equipo Merlin e inicio el diseño de un equipo que se evalúa los requisitos para la rugosidad de un pavimento, con la finalidad de obtener un diseño que se obtenga el mejoramiento para que así obtener un equipo mayor exactitud de cómo utilizar los costos de fabricación comprensible, en esta investigación se optó por el uso exclusivo del equipo Merlin debido a que según el banco mundial es el equipo más preciso para la medición de las irregularidades del pavimento y en ambas investigaciones se puede analizar superficialmente el pavimento.
- Tapia, R. (2018) para contribuir con la rehabilitación de un pavimento rígido en Cajamarca en el Jr. José Sabogal realizó una evaluación superficial al igual que esta investigación utilizando la misma metodología, concretándolo con el proceso del Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos, se utilizó la metodología en donde se mide el desplazamiento vertical del terreno y el eje medio de la línea imaginaria de la distancia continua.
- Se recomienda que se implemente la evaluación superficial de pavimento tanto flexible como rígido con el método de Rugosímetro de Merlin que según el Banco Mundial es el método más preciso y menos costos. Dicha información sería de gran utilidad para las entidades públicas encargadas de la red vial, ya que se puedan rehabilitar de capa de rodadura a tiempo o para que se evalúen el Nivel de Servicio del Pavimento.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se llegó a determinar 18 Unidades de Muestra cada una de 400 metros; de los cuales se evaluaron con el Rugosímetro Merlin, el rendimiento promedio del equipo fue de 1.5 Km/h, es decir se necesitaron un promedio de 4 horas para realizar la toma de datos, esta medición se realizó en dos días debido al alto flujo de vehículos.
- Se analizó la Rugosidad en 7.3 kilómetros (calzada de ida y vuelta) de la vía Cajamarca – Baños del Inca, desde la Rotonda Musical hasta la Rotonda Baños del Inca (Senati), obteniendo valores en unidades IRI como fueron: por la Calzada derecha de la vía 1.07 m/km en IRI promedio, una desviación estándar de 0.27, IRI Característico de 1.51 m/km, un PSI de 4.12; y para la Calzada 2 (vuelta) 1.10 m/km en IRI promedio, una desviación estándar de 0.10, IRI Característico de 1.27 m/km, un PSI de 4.09; el cual nos indica que la vía en conceptos generales está en buenas condiciones de transitabilidad vehicular, y según la escala de estimación de rugosidad de carreteras dada por la Norma ASTM E-1926-98, nos indica que la carretera tiene un manejo cómodo entre 100 km/hora - 120 km/hora, no obstante está contemplada estas velocidades en las señalizaciones de tránsito, debido al alto flujo de vehículos y personas.
- Se obtuvo como resultado para este pavimento un IRI mínimo de 0.81 m/km, un IRI máximo de 1.71 m/km y un IRI promedio de 1.085 m/km.
- Se calculó el Índice de Rugosidad Internacional en los dos tramos bien definidos, el cual correlacionado con el PSI se concluye como resultado final de la evaluación lo siguiente:

Tabla N° 38

Resultado final de la evaluación del estado del pavimento

ENSAYO	PROGRESIVA		IRI (m/km)	PSI	ESTADO
	KM.	KM.			
CALZADA 1 - IDA					
UM - 01	0+000	0+400	1.10	4.1	BUENO
UM - 02	0+400	0+800	1.12	4.1	BUENO
UM - 03	0+800	1+200	1.16	4.1	BUENO
UM - 04	1+200	1+600	0.81	4.3	BUENO
UM - 05	1+600	2+000	0.92	4.2	BUENO
UM - 06	2+000	2+400	0.97	4.2	BUENO
UM - 07	2+400	2+800	0.89	4.3	BUENO
UM - 08	2+800	3+200	0.95	4.2	BUENO
UM - 09	3+200	3+700	1.71	3.7	BUENO
CALZADA 2 - VUELTA					
UM - 01	0+000	0+400	1.00	4.2	BUENO
UM - 02	0+400	0+800	0.97	4.2	BUENO
UM - 03	0+800	1+200	1.21	4.0	BUENO
UM - 04	1+200	1+600	1.10	4.1	BUENO
UM - 05	1+600	2+000	1.09	4.1	BUENO
UM - 06	2+000	2+400	1.08	4.1	BUENO
UM - 07	2+400	2+800	1.27	4.0	BUENO
UM - 08	2+800	3+200	1.00	4.2	BUENO
UM - 09	3+200	3+700	1.17	4.0	BUENO

Fuente: Elaboración propia

- De la tabla anterior (Tabla N° 38) podemos concluir que ambas calzadas de la vía muestran gran similitud en valores del IRI, obteniendo un resultado de la Rugosidad y como evaluación y valoración del IRI según Norma Técnica Peruana CE.010 y el MTC la cual considera dentro de sus parámetros para vías pavimentadas el resultado es BUENO.

Otras las conclusiones:

- Se determinó el nivel de servicio mediante la evaluación del comportamiento superficial del pavimento flexible de la vía Cajamarca - Baños el Inca, a través de la rugosidad obtenida en campo medido con el equipo Merlin, el cual es aceptable por lo que se cumple con la hipótesis.
- Se analizó el procedimiento de las deformaciones longitudinales con el equipo Rugosímetro de Merlin demostrando que la serviciabilidad del pavimento flexible se encuentra en un estado aceptable ubicándose entre las escalas 4 - 5.
- Se verifica que el valor se ajusta a la escala de SAYERS, el cual menciona que debería ser de 1.23 m/km, alcanzado en procesos constructivos convencionales.
- Se obtuvo un rango "D" de cada muestra y un factor de corrección de 0.813 para toda la vía en estudio.
- A mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es importante evaluar la condición superficial mediante el monitoreo periódico y permanente de la vía. Se recomienda que sea de manera anual.
- Una evaluación correcta nos da a conocer el Índice de Rugosidad Internacional de cada tramo de vía puesto que se deben tener en cuenta varios aspectos de esta, como los costos de mantenimiento los cuales se reducen considerablemente en pavimentos que cuentan con un IRI relativamente bajo
- Previo y durante la evaluación y toma de lecturas y datos de la vía en estudio, se debe constatar que el equipo se encuentre correctamente calibrado; verificar que la llanta del Equipo Merlin se encuentre en buen

estado y bien inflada, ya que éstos son uno de los puntos fijos, y con el cual se obtendrán datos correctos.

- Durante el recorrido por la vía para la toma de datos se debe tomar las medidas adecuadas de seguridad, en este caso se contó con personal de apoyo con paletas de desvío de tránsito y un automóvil que en todo momento sirvió como protección en la parte posterior de los operadores. Se recomienda salir a campo en horas donde el volumen de tráfico sea más bajo y al finalizar la jornada se debe marcar con tiza o pintura el punto donde se quedó la medición, para que al siguiente día se continúe desde el mismo punto.
- Debemos de tener en cuenta que cuando en el tablero el puntero indica valores cercanos a 25, el pavimento es menos rugoso y si en cambio está muy alejado de 25, indica que el pavimento presenta muchas imperfecciones. Además, también se debe mencionar que los Intervalos de longitud mayores ocultan niveles altos de rugosidad superficial en los pavimentos, obteniendo valores de IRI satisfactorios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MTC, Registro Nacional de Carreteras (RENAC), 2012.
- **MONTOYA, J. (2013)**. Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú. Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú.
- **HIRPAHUANCA LAURA, D. (2016)**. Tesis. Determinación y comparación superficial del pavimento de la carretera Cusco – Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de Merlin.
- **Rodríguez Zelaya, Edgar; Torres Mayorga, Luis; Villeda Alvarenga, Miguel (2019)**. Desarrollo de metodología para la medición de IRI mediante el uso de un Rugosímetro basado en el Merlin, para evaluación de pavimentos flexibles y rígidos en el Salvador. Universidad de El Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- **DEL AGUILA, PABLO**: Desarrollo de la Ecuación de Correlación para la determinación del IRI en pavimentos asfálticos nuevos, utilizando el Rugosímetro MERLIN. Sevilla, 1999.
- **DEL AGUILA, PABLO**: Estado del Arte sobre la Medición de la Rugosidad de Pavimentos en el Perú. Lima, 1998.
- **BADILLA, GUSTAVO**: Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del índice de regularidad internacional. (IRI), San José. Costa Rica, 2008.
- **ASTM E867-06**, “Terminology Relating to Traveled Surface Characteristics”, (2012).
- Especificaciones Técnicas Generales para la conservación de carreteras aprobado por Resolución Directoral N°051-2007-MTC
- **MANUAL DE CARRETERAS**; especificaciones técnicas generales para

construcción de carreteras, EG-2018.

- **Sayers, M.W. y Karamihas, S.M.** “The Little Book of Profiling” University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI), USA, 1997,100 p.
- **Pablo del Águila Rodríguez.** *Manual de Equipo Merlin para medir la Rugosidad en Pavimentos (pág. 4-10)*, Camineros S.A.C.
- American Association of State Highway and Transportation Officials.- AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.- American Association of State Highway and Transportation Officials.- Washington, D.C., USA, 1993.
- Martínez Naranjo, S., & Tobón García, J. A. (2012). Análisis de la problemática actual para el cumplimiento de la regularidad superficial en proyectos viales.

ANEXOS:

ANEXO N° 01: TABLERO RUGOSÍMETRO MERLIN.

Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio.

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

Fuente: manual de usuario (Merlin), equipo para rugosidad.

ANEXO N° 02: FORMATO CONTEO TRÁFICO.

ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																				
I. Datos generales																						
Tesis	Tingal Limay Homero																					
Distrito																						
Carretera																						
Fecha																						
		Estación:																				
II. Datos de campo																						
HORA	AUTOMOVIL		CAMIONETA		CMTA RURAL		MICRO		OMNIBUS			CAMIÓN			SEMITRAYLERS			TRAYLERS			TOTAL	
	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	2E	3E	2E	3E	2S2	2S3	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01																						
01-02																						
02-03																						
03-04																						
04-05																						
05-06																						
06-07																						
07-08																						
08-09																						
09-10																						
10-11																						
11-12																						
12-13																						
13-14																						
14-15																						
15-16																						
16-17																						
17-18																						
18-19																						
19-20																						
20-21																						
21-22																						
22-23																						
23-00																						
TOTAL																						

REGISTRO TIPO DE VEHICULO – IDA Y VUELTA DURANTE 24 HRS Y 5 DIAS

CONTEO TRÁFICO NO MOTORIZADO		
Moto Car	Motos	Bicicletas
		Triciclos

Tingal Limay, Homero
Tesis

Alejandro Cubas Becerra
Asesor

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 03: FORMATO RUGOSÍMETRO MERLIN.

PROYECTO DE INVESTIGACION	ANALISIS DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VIA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL RUGOSIMETRO DE MERLIN
MEDICION DE LA RUGOSIDAD EN CARPETA ASFALTICA CON MERLIN	

UNIDAD DE REGISTRO :

TRAMO :
 CARRIL :
 Progresiva inicial : Progresiva final: Longitud : m
 TIPO SUPERFICIE :
 RESPONSABLE : **Bach. Tingal Limay Homero**
 FECHA :

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

NUMERO DE REPETICIONES

TABLA DE CONTEO									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

CONTEO DE 200
VECES

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 04: CÁLCULO DE LOS HISTOGRAMAS Y EL IRI.

Cálculo de primera muestra de 400 m. UM-01: km 0+000m a 0+400m

Paso 1: Cálculo del Factor de Corrección.

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

$$F.C. = 0.813$$

(Dato único para todo el ensayo, Ver anexo N° 07: calibración del Merlin)

Paso 2: Recolección de datos en campo.

(Recolección de datos de campo, Ver Tabla N° 18)

Paso 3: Gráfica de histograma de frecuencias según la recolección de los datos de campo.

Ver Figura N°25. Histograma de distribución de frecuencias (cálculo Excel)

Paso 4: Cálculo del Rango "D".

Para esto eliminamos 10 datos de cada lado del histograma de frecuencias y la suma de extremos más lo restante será el rango buscado:

Lado Izquierdo: En el intervalo (21) quedara.

$$\frac{(8 - 3)}{8} = 0.625$$

Lado Derecho: En el intervalo (26) quedara.

$$\frac{(30 - 1)}{30} = 0.967$$

Entonces el rango D queda:

$$"D" = 0.625 + 4 + 0.967$$

$$"D" = 5.592$$

Paso 5: Corrección del rango "D".

Se multiplicó por el factor de corrección (F.C.) y por 5, porque el tablero tiene 50 divisiones de 5mm cada una.

$$D_{cor} = 5.592 \times 0.813 \times 5$$

$$D_{cor} = 22.73 \text{ mm}$$

Paso 6: Cálculo de la Rugosidad en unidades del IRI.

Para $D < 50$,


$$IRI = 0.0485 \times D$$

$$IRI = 0.0485 \times 22.73$$

$$IRI = 1.1 \text{ m/km}$$

Nota: El procedimiento de cálculo fue el mismo para todas las muestras evaluadas.

ANEXO N° 05: FORMATO DATOS DE CAMPO – CONTEO DE TRÁFICO.

ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN																				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																	
I. Datos generales																																					
Tesista		Tingal Limay Homero																																			
Distrito		Cajamarca																																			
Carretera		Vía Cajamarca - Baños del Inca																																			
Fecha		Viernes 13 - 04 - 2018						Sentido Ida: Cajamarca - Baños del Inca Vuelta: Baños del Inca - Cajamarca						Estacion: Puente Capac ñan																							
II. Datos de campo																																					
HORA	AUTOMOVIL		CAMIONETA		CMTA. RURAL		MICRO		OMNIBUS				CAMIÓN				SEMITRAYLERS				TRAYLERS				TOTAL												
	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	2E	3E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3																
00-01	33	41	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80								
01-02	18	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42								
02-03	5	8	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15								
03-04	10	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29								
04-05	26	26	10	26	4	4	0	0	3	2	0	0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106								
05-06	52	56	19	26	20	26	0	6	0	3	0	0	8	3	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	222								
06-07	48	92	61	53	86	84	7	10	5	7	0	0	5	8	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	472								
07-08	261	292	99	147	159	119	18	17	4	8	2	4	8	11	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1156								
08-09	243	218	127	175	139	134	20	21	1	3	2	0	21	28	6	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1140								
09-10	233	214	133	182	88	122	17	16	0	1	0	1	23	29	4	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1069								
10-11	232	173	116	148	117	112	20	16	2	0	1	1	19	29	6	10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1003								
11-12	210	163	113	137	100	102	14	18	0	0	2	2	28	21	12	5	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	930								
12-13	289	205	135	132	150	97	16	11	2	0	0	0	33	27	11	9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1118								
13-14	262	261	119	155	73	11	11	19	1	0	0	0	14	29	4	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	966								
14-15	215	235	114	144	84	118	15	19	2	1	0	0	20	22	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	997								
15-16	251	210	93	143	97	105	12	18	2	4	0	2	22	18	4	7	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	992								
16-17	286	187	92	138	103	110	15	13	0	1	0	0	22	26	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000								
17-18	268	236	95	158	191	88	14	0	1	0	1	1	18	26	2	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1103								
18-19	179	201	60	148	75	56	9	12	0	0	0	2	8	23	2	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	782								
19-20	229	166	69	100	60	56	8	3	3	4	1	0	9	10	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	721								
20-21	240	156	56	64	39	26	5	1	1	0	0	0	9	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	603								
21-22	191	100	44	54	19	10	1	1	0	0	0	0	4	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	427								
22-23	152	91	30	27	12	10	0	0	0	0	0	1	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	329								
23-00	65	53	17	24	4	4	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	171								
TOTAL	3998	3423	1611	2184	1620	1394	202	201	27	34	9	14	276	316	73	70	3	1	0	0	0	2	5	4	6	0	0	0	15473								
CONTEO TRÁFICO NO MOTORIZADO																																					
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Moto Car</td> <td>Motos</td> <td>Bicicletas</td> <td>Triciclos</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4479</td> <td>2319</td> <td>121</td> <td>6</td> <td>2446</td> </tr> </table>																												Moto Car	Motos	Bicicletas	Triciclos		4479	2319	121	6	2446
Moto Car	Motos	Bicicletas	Triciclos																																		
4479	2319	121	6	2446																																	
_____ Tingal Limay, Homero Tesista														_____ Alejandro Cubas Becerra Asesor																							

Fuente: Elaboración propia

ANALISIS DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VIA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL RUGOSIMETRO DE MERLIN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

I. Datos generales

Tesista	Tingal Limay Homero																					
Distrito	Cajamarca																					
Carretera	Via Cajamarca - Baños del Inca																					
Fecha	Sabado 14 - 04 - 2018			Sentido	Ida: Cajamarca - Baños del Inca								Vuelta: Baños del Inca - Cajamarca				Estacion:	Puente Capac fïan				

II. Datos de campo

HORA	AUTOMOVIL		CAMIONETA		CMTA RURAL		MICRO		OMNIBUS				CAMIÓN				SEMITRAYLERS				TRAYLERS				TOTAL											
	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	2E		3E		2E		3E		4E		2S2		2S3		3S2			>=3S3		2T2		2T3		3T2		>=3T3		
									IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA		IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA
00-01	26	22	6	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57
01-02	13	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
02-03	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	
03-04	5	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
04-05	33	26	9	18	3	4	1	0	1	2	0	0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103	
05-06	66	62	12	20	18	15	1	6	0	3	1	0	8	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	218	
06-07	89	94	42	49	73	79	5	9	4	6	0	0	5	8	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	468	
07-08	138	233	78	122	125	94	18	17	4	9	2	4	8	11	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	870	
08-09	166	205	130	166	126	109	23	21	1	3	2	0	21	20	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	998	
09-10	172	198	128	140	79	101	14	17	0	1	0	1	18	29	4	4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	908	
10-11	156	167	109	113	99	100	19	16	2	0	1	1	19	29	6	9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	847	
11-12	200	172	97	104	89	97	12	16	0	0	2	2	28	21	5	5	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	854	
12-13	215	192	116	100	125	97	21	18	2	0	0	0	27	27	11	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	958	
13-14	180	213	94	117	86	11	16	20	1	0	1	1	14	25	4	6	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	792	
14-15	188	212	100	133	84	118	11	13	2	1	0	0	20	22	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	912	
15-16	205	170	82	126	112	105	9	12	2	4	0	2	18	12	4	7	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	874	
16-17	231	180	88	126	98	110	12	9	0	1	0	0	22	26	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	911	
17-18	231	204	96	158	147	70	8	4	1	0	1	1	18	23	2	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	968	
18-19	188	232	72	148	66	52	4	7	0	0	0	2	8	23	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	811	
19-20	220	173	69	100	49	50	5	3	5	2	1	0	9	10	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	699	
20-21	251	183	56	64	32	25	5	1	1	0	0	0	9	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	634	
21-22	145	130	45	49	15	8	1	1	0	0	0	1	4	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	402	
22-23	100	93	25	33	8	10	0	0	0	0	0	1	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	276	
23-00	51	56	10	16	2	4	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	143	
TOTAL	3276	3236	1469	1904	1436	1259	185	190	26	33	11	16	261	295	62	66	5	1	0	0	0	0	2	5	6	8	0	0	0	0	0	0	0	0	13752	

Moto Car	Motos	Bicicletas	Triciclos	2248
3821	2112	134	2	

Tingal Limay, Homero
Tesista

Alejandro Cubas Becerra
Asesor

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

I. Datos generales

Tesista	Tingal Limay Homero				
Distrito	Cajamarca				
Carretera	Via Cajamarca - Baños del Inca				
Fecha	Domigo 15 - 04 - 2018	Sentido	Ida: Cajamarca - Baños del Inca	Vuelta: Baños del Inca - Cajamarca	Estacion: Puente Capac ñan

II. Datos de campo

HORA	AUTOMOVIL		CAMIONETA		CMTA. RURAL		MICRO		OMNIBUS				CAMIÓN				SEMITRAYLERS						TRAYLERS						TOTAL								
	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	2E		3E		2E		3E		4E		2S2		2S3		3S2		>=3S3		2T2			2T3		3T2		>=3T3			
									IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA		IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA
00-01	17	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	
01-02	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
02-03	4	5	0	2	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	
03-04	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
04-05	24	18	9	18	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	
05-06	51	48	12	16	12	16	1	4	0	1	1	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	169	
06-07	52	73	34	40	71	50	3	4	2	4	0	0	1	8	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	345	
07-08	103	188	76	86	99	86	14	10	5	4	1	1	3	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	685	
08-09	132	147	112	108	83	97	19	17	1	3	2	0	5	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	738	
09-10	126	138	96	69	79	101	7	21	1	1	0	1	6	13	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	664	
10-11	100	114	109	113	99	100	15	11	1	0	1	0	9	18	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	697	
11-12	145	139	97	104	89	97	8	10	0	1	2	1	12	9	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	721	
12-13	107	99	88	101	104	92	16	13	1	0	0	0	10	16	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	656	
13-14	128	159	68	92	62	26	15	18	1	0	0	1	6	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	592
14-15	112	134	76	88	57	95	9	13	1	1	0	0	9	10	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	609	
15-16	142	104	84	93	83	75	12	11	0	3	0	2	6	8	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	633
16-17	167	146	62	94	98	88	8	9	0	1	0	0	12	14	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	704
17-18	199	148	88	121	89	65	6	5	1	0	0	1	4	9	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	740
18-19	136	188	63	100	50	44	4	6	0	0	0	2	2	12	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	611
19-20	167	146	43	68	32	43	5	3	5	2	1	0	9	10	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	536
20-21	134	126	40	54	29	21	34	3	1	0	0	2	9	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	461
21-22	94	100	29	32	12	8	1	0	0	0	0	1	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	283
22-23	72	64	21	17	6	3	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	190
23-00	36	43	8	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98
TOTAL	2258	2347	1216	1421	1156	1111	179	158	21	21	8	12	111	167	38	25	4	2	0	0	0	0	2	5	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	10271		

	Motos	Bicicletas	Triciclos
	36	109	3

Tingal Limay, Homero
Tesista

Alejandro Cubas Becerra
Asesor

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

I. Datos generales

Tesista	Tingal Limay Homero		
Distrito	Cajamarca		
Carretera	Vía Cajamarca - Baños del Inca		
Fecha	Lunes 16 - 04 - 2018	Sentido	Ida: Cajamarca - Baños del Inca Vuelta: Baños del Inca - Cajamarca
Estacion:	Puente Capac ñan		

II. Datos de campo

HORA	AUTOMOVIL		CAMIONETA		CMTA. RURAL		MICRO		OMNIBUS				CAMIÓN				SEMITRAYLERS				TRAYLERS				TOTAL										
	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	2E		3E		2E		3E		4E		2S2		2S3		3S2			>=3S3		2T2		2T3		3T2		>=3T3	
									IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA		IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA
00-01	23	32	5	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63
01-02	10	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	
02-03	9	7	0	2	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	
03-04	7	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	
04-05	24	29	10	26	4	4	1	0	3	2	0	0	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110	
05-06	58	67	19	26	20	26	2	6	0	3	0	0	8	7	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	245	
06-07	74	115	61	53	86	84	7	10	5	7	0	0	9	8	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	528	
07-08	283	318	99	147	159	119	18	17	4	8	2	4	8	11	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1204	
08-09	251	230	127	175	139	134	20	21	1	3	2	0	21	28	6	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1160	
09-10	129	232	133	182	88	122	17	16	0	1	0	1	23	27	4	4	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	983	
10-11	247	184	116	148	117	112	20	16	2	0	1	1	19	29	6	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1028	
11-12	225	175	113	137	100	102	14	18	0	2	2	2	29	21	12	5	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	959	
12-13	301	233	135	132	150	97	16	15	2	0	0	0	33	27	11	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1161	
13-14	284	259	119	155	73	11	13	19	1	0	0	0	14	29	4	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	988	
14-15	215	235	114	144	84	118	15	19	2	1	0	0	20	22	4	5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	
15-16	251	210	93	143	97	105	12	18	2	4	0	2	22	18	4	7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	989	
16-17	286	187	92	138	103	110	15	13	0	1	0	0	22	26	5	5	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1005	
17-18	268	236	95	158	191	88	14	4	1	0	1	1	18	26	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1106	
18-19	179	201	60	148	75	56	9	12	0	0	0	2	8	23	2	6	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	783	
19-20	229	166	69	100	60	56	8	4	3	4	1	0	9	10	1	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	724	
20-21	240	156	56	64	39	26	6	2	1	0	0	0	9	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	606	
21-22	191	100	44	54	19	10	1	1	0	0	0	0	4	2	1	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	434	
22-23	133	80	30	27	12	10	1	0	0	0	0	1	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	
23-00	73	48	17	24	4	4	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	
TOTAL	3990	3529	1611	2184	1622	1396	209	211	28	37	9	14	283	321	78	75	4	2	0	0	0	0	6	5	4	5	0	0	0	0	0	0	15623		

	Motos	Bicicletas	Triciclos
	47	83	2

Tingal Limay, Homero
Tesista

Alejandro Cubas Becerra
Asesor

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA, UTILIZANDO EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

I. Datos generales

Tesista	Tingal Limay Homero	
Distrito	Cajamarca	
Carretera	Via Cajamarca - Baños del Inca	
Fecha	Martes 17 - 04 - 2018	Sentido
		Ida: Cajamarca - Baños del Inca
		Vuelta: Baños del Inca - Cajamarca
		Estacion: Puente Capac ñan

II. Datos de campo

HORA	AUTOMOVIL		CAMIONETA		CMTA. RURAL		MICRO		OMNIBUS				CAMIÓN				SEMITRAYLERS						TRAYLERS					TOTAL								
	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	2E		3E		2E		3E		4E		2S2		2S3		3S2		≥3S3		2T2		2T3		3T2		≥3T3			
									IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA		VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA	VLTA	IDA
00-01	15	21	4	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
01-02	9	12	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	
02-03	6	8	2	0	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21		
03-04	4	5	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15		
04-05	19	23	10	21	4	7	1	0	3	2	0	0	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98		
05-06	58	67	19	26	20	26	2	6	0	3	0	0	8	7	0	2	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	247		
06-07	74	115	61	53	86	84	7	10	4	7	0	0	5	8	5	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	521		
07-08	283	318	99	147	133	119	18	17	4	6	2	4	12	11	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1180		
08-09	251	230	127	175	127	134	20	21	1	3	2	0	21	28	6	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1151		
09-10	129	232	133	182	121	122	17	16	0	1	0	1	23	27	4	4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1015		
10-11	247	184	116	148	99	112	20	16	2	0	1	1	19	33	6	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1014		
11-12	225	175	113	137	78	102	14	18	0	3	2	2	29	21	12	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	938		
12-13	301	233	135	132	145	97	16	15	2	0	0	0	33	27	11	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1156		
13-14	284	259	119	155	84	11	13	19	1	0	2	0	14	25	4	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	997		
14-15	232	235	114	144	87	118	15	19	5	1	0	1	20	22	3	5	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1025		
15-16	251	210	93	143	105	105	12	18	2	4	0	2	22	18	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	994		
16-17	286	239	92	138	132	110	15	13	0	1	0	0	22	26	5	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1086		
17-18	273	236	95	158	170	88	14	4	1	0	1	1	18	25	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1091		
18-19	196	201	60	148	88	56	9	12	0	0	0	2	8	23	2	6	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	813		
19-20	189	166	69	100	56	56	8	4	3	2	1	0	9	10	1	2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	679		
20-21	240	156	56	64	30	26	6	2	1	0	0	0	9	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	597		
21-22	191	122	44	54	19	10	1	1	0	2	0	0	4	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	454		
22-23	129	95	30	27	8	7	1	0	0	0	0	1	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	302		
23-00	73	48	17	24	2	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	169		
TOTAL	3965	3590	1612	2179	1596	1395	209	211	31	36	11	15	284	320	74	75	3	4	0	0	0	0	7	4	4	6	0	0	0	0	0	0	15631			

	Motos	Bicicletas	Triciclos
	36	103	2

141

Tingal Limay, Homero
Tesista

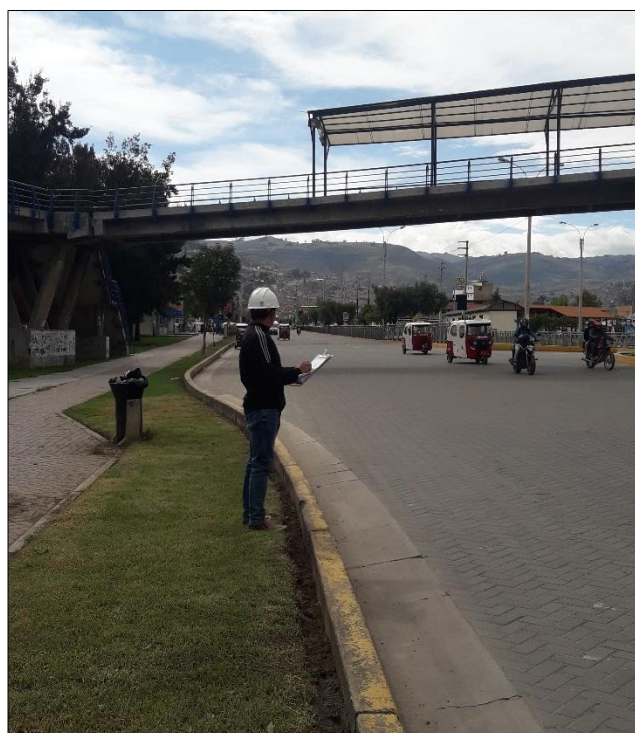
Alejandro Cubas Becerra
Aesor

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 06: PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía N° 07. Levantamiento topográfico de la sección de la vía Cajamarca – Baños del Inca, y algunos otros detalles.



Fotografía N° 08. Conteo de tráfico, estación puente Qhapac Ñan - Calzada 1 (ida)



Fotografía N° 09. Conteo de tráfico, estación puente Qhapac Ñan - Calzada 2 (vuelta).



Fotografía N° 10. Inicio de medición con odómetro cada 400 m. (UM-01, Km 00+000)



Fotografía N° 11. medida y marcación de muestra (UM-02)



Fotografía N° 12. Medida y marcación de UM-03



Fotografía N° 13. Apoyo en medición y señalización de UM-04.



Fotografía N° 14. Medida y señalización utilizando pintura y Odómetro, UM-06.



Fotografía N° 15. Verificación del Rugosímetro de Merlin para para dar inicio al registro de mediciones.



Fotografía N° 16. Técnico dando el visto bueno y verificando la calibración del Rugosímetro de Merlin; previo a la toma de datos.



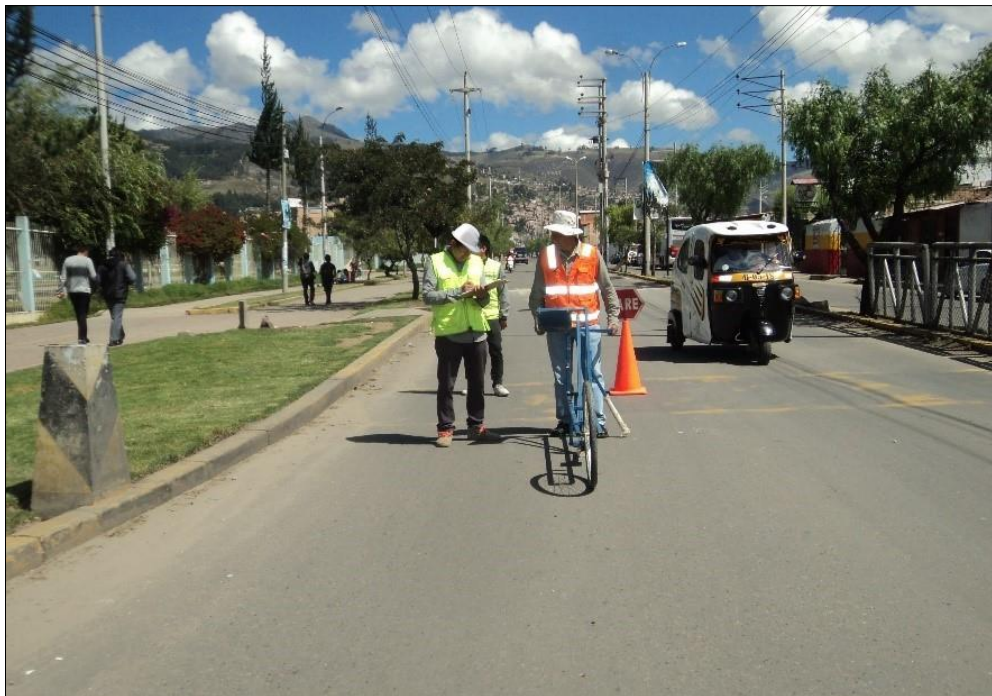
Fotografía N° 17. Inicio de toma de datos con el Rugosímetro de Merlin, UM 01 - Calzada 1 (ida), (Rotonda Musical - Cajamarca), Km 00+000m



Fotografía N° 18. Lectura y toma de datos con Merlin, Calzada 1 (ida), km 00+160.



Fotografía N° 19. Lectura y toma de datos, km 00+200m.



Fotografía N° 20. Lectura y toma de datos con Merlin, Calzada 1 (ida), km 00+600 – Altura UNC



Fotografía N° 21. Lectura y toma de datos con Merlin, Calzada 1 (ida), km 00+730 – Altura UNC



Fotografía N° 22. Lectura y toma de datos con Merlin, Calzada 1 (ida), km 00+880 – Altura Puente Qhapac Ñan



Fotografía N° 23. Lectura y toma de datos con Merlin, Calzada 1 (ida), km 02+560 – Altura de Bella Unión



Fotografía N° 24: Lectura y toma de datos con Merlin, Calzada 1 (ida), km 03+600 (Fongal)



Fotografía N° 25. Fin de toma de datos en la Calzada 1 (ida), km 03+700 (Rotonda Baños del Inca)



Fotografía N° 26. Fin de medición y toma de lecturas – Calzada 2 (vuelta). (Rotonda Musical – Cajamarca)



Fotografía N° 27. Pastilla o disco circular de bronce. Colocado debajo del apoyo móvil del Rugosímetro de Merlin para su nivelación.



Fotografía N° 28. Equipo y Herramienta de trabajo: conos de seguridad, paletas para dirigir el tránsito y Odómetro para medir las distancias de muestreo.

ANEXO N° 07: CALIBRACIÓN MERLIN



CORPORACION SANCHEZ E.I.R.L.

CONSULTOR DE OBRAS ESPECIALIDAD LEY 30225
RUC. 20485600025 CERTIFICADO INDECOPI N° 00060687

CONTROL DE CALIDAD, SUPERVISION DE OBRAS VALES, HIDRAULICAS Y EDIFICACIONES.
ENSAYOS DE LABORATORIO PARA SUELOS, PAVIMENTOS RIGIDOS FLEXIBLES Y ENSAYOS ESPECIALES
A NIVEL ESTRUCTURAL Y DE SUPERFICIE DEL PAVIMENTO. GEOMETRO NUCLEAR ENCLIMETRO IMPAC
EQUIPO DE MONITORIO DE PARTICULAS PERMISIBLES EN EL AIRE, PM10, PM2.5

EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO

Para la evaluación de la Rugosidad del Pavimento, se ha utilizado el Rugosímetro de Merlín, Método desarrollado por El Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL), y que tiene como base el principio del perfilómetro estático. El Rugosímetro de Merlín si bien es cierto es un equipo de bajo Costo, de fácil manejo y de análisis simple, con resultados confiables, tiene como desventaja su bajo rendimiento comparado con el rendimiento de los rugosímetros dinámicos automatizados, tales como el Bump Integrator y otros que ya se emplean a utilizar en el mercado nacional.

CORRELACIONES ENTRE LA RUGOSIDAD EN UNIDADES MERLIN Y EL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL IRI

Para relacionar la rugosidad determinada con el MERLIN respecto al Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que es el parámetro utilizado para uniformar los resultados provenientes de la gran diversidad de equipos que existen en la actualidad, se ha utilizado las siguientes expresiones:

- a) $IRI = 0.393 + 0.0471 D$cuando $D > 50$
- b) $IRI = 0.0483 D$cuando $D < 50$

METODO DE MEDICION Y CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD

Procedimiento de Medición en Campo

Para medir los datos en campo, en primer lugar se realizó la calibración del equipo, calculando el factor de corrección para el ajuste del valor de "D".

Las ecuaciones a) y b) representan correlaciones entre el valor D y la rugosidad en unidades IRI, las cuales han sido desarrolladas para una condición de relación de brazos del Rugosímetro de 1 a 10. Esta relación en la práctica suele variar y depende del desgaste que experimenta el patrón del brazo móvil del instrumento. En consecuencia, para corregir los resultados se verifica la relación de brazos actual del instrumento, y se determina un factor de corrección que permita llevar los valores a condiciones estándar.

Para determinar el factor de corrección se hizo uso del disco circular de bronce (proporcionado por el proveedor como parte del equipo Merlín) y luego de medir el promedio de su espesor y tomar lecturas con el Rugosímetro, con y sin el disco de bronce, en una superficie plana, se calculó el factor mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

EP: Espesor de la pastilla

U: Posición inicial del puntero (sin pastilla)

LF: Posición final del puntero (con pastilla)



CORPORACION SANCHEZ E.I.R.L.

CONSULTOR DE OBRAS ESPECIALIDAD LEY 30225
RUC. 20495800025 CERTIFICADO INDECOPI N° 00060687

CONTROL DE CALIDAD, SUPERVISION DE OBRAS VIALES, HIDRAULICAS Y EDIFICACIONES.
ENSAYOS DE LABORATORIO PARA SUELOS, PAVIMENTOS RIGIDOS, FLEXIBLES Y ENSAYOS ESPECIALES
A NIVEL ESTRUCTURAL Y DE SUPERFICIE DEL PAVIMENTO. DENSIMETRO NUCLEAR, ESCLEROMETRO IMPAK
EQUIPO DE MONITOREO DE PARTICULAS PERMISIBLES EN EL AIRE, PM10, PM2.5

FACTOR CORRECCION

Espesor de Pastilla 6.1 mm

LECTURA SIN PASTILLA	LECTURA CON PASTILLA	DIFERENCIA	FC
24	10	14	0.8714
28	12	16	0.7625
26	11	15	0.8133
25	10	15	0.8133
28	12	16	0.7439
24	11	13	0.9385
26	11	15	0.7974
26	10	16	0.7625

PROMEDIO = 0.8129

Fórmula para calcular el Factor de Corrección

$$FC = (EP \times 10) / (U-LF)^5$$



CORPORACION SANCHEZ E.I.R.L.

Rapporto
Rapporto Sánchez Lorenzo
TITULAR GERENTE

ANEXO N° 08: PLANOS