



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DE LA CARRETERA BAÑOS DEL INCA – LLACANORA, UTILIZANDO EL EQUIPO MERLIN Y LA APLICACIÓN ROADROID EN UN SMARTPHONE”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Kevin Geanpierre Manco Castillo

Asesor:

Ing. Gabriel Cachi Cerna

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, a mis padres, hermanos y abuelos por ser incondicionales en su apoyo, para poder lograr mis objetivos. A mi hija que es una de las más grandes motivaciones en mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida, la salud, la fortaleza y la grandiosa familia que me obsequio; a cada uno de los ingenieros que participaron en mi formación profesional, en especial al Ing. Gabriel Cachi.

A mi madre, padre y hermanos, que realizaron un gran esfuerzo para poder culminar mi carrera y siempre estar conmigo, en los momentos buenos para compartir mi felicidad y en los malos para ser mi sustento; Los amo.

A mis abuelos por ser incondicionales y siempre brindarme sus sabios consejos.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	10
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	11
RESUMEN.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema.....	30
1.3. Objetivos	30
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	30
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	30
1.4. Hipótesis	30
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	31
2.1. Tipo de investigación	31
2.2. Población y muestra.....	31
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	31
2.4. Procedimiento	32
2.4.1. <i>Procedimientos de recolección de datos</i>	32
2.4.1.1. Inspección visual.....	32
2.4.1.2. Rugosímetro Merlin.....	33
2.4.1.3. Aplicación Roadroid	36
2.4.2. <i>Procedimientos de tratamiento y análisis de datos</i>	42
2.4.2.1. Rugosímetro Merlin.....	42
2.4.2.2. Índice de Serviciabilidad Presente.....	45
2.4.2.3. Aplicación Roadroid	45
2.5. Aspectos éticos	50
CAPÍTULO III. RESULTADOS	51
3.1. Ubicación del tramo en estudio	51
3.1.1. <i>Ubicación Política</i>	51
3.1.2. <i>Ubicación Geográfica</i>	51
3.2. Resultados obtenidos con el rugosímetro Merlin.....	52
3.2.1. <i>Resultados Carril derecho desde Km 0+000 hasta el Km 5+080</i>	52
3.2.1.1. Ensayo N° 1 Carril Derecho Km 0+000 hasta el Km 0+400.....	52
3.2.1.2. Ensayo N° 2 Carril Derecho Km 0+400 hasta el Km 0+800.....	53
3.2.1.3. Ensayo N° 3 Carril Derecho Km 0+800 hasta el Km 1+200.....	54
3.2.1.4. Ensayo N° 4 Carril Derecho Km 1+200 hasta el Km 1+600.....	55
3.2.1.5. Ensayo N° 5 Carril Derecho Km 1+600 hasta el Km 2+000.....	57
3.2.1.6. Ensayo N° 6 Carril Derecho Km 2+000 hasta el Km 2+400.....	58

3.2.1.7.	Ensayo N° 7 Carril Derecho Km 2+400 hasta el Km 2+800.....	59
3.2.1.8.	Ensayo N° 8 Carril Derecho Km 2+800 hasta el Km 3+200.....	60
3.2.1.9.	Ensayo N° 9 Carril Derecho Km 3+200 hasta el Km 3+600.....	62
3.2.1.10.	Ensayo N° 10 Carril Derecho Km 3+600 hasta el Km 4+000.....	63
3.2.1.11.	Ensayo N° 11 Carril Derecho Km 4+000 hasta el Km 4+400.....	64
3.2.1.12.	Ensayo N° 12 Carril Derecho Km 4+400 hasta el Km 4+800.....	65
3.2.1.13.	Ensayo N° 13 Carril Derecho Km 4+800 hasta el Km 5+080.....	67
3.2.2.	<i>Resultados Carril izquierdo desde Km 0+000 hasta el Km 5+080</i>	<i>68</i>
3.2.2.1.	Ensayo N° 1 Carril Izquierdo Km 0+000 hasta el Km 0+400	68
3.2.2.2.	Ensayo N° 2 Carril Izquierdo Km 0+400 hasta el Km 0+800	69
3.2.2.3.	Ensayo N° 3 Carril Izquierdo Km 0+800 hasta el Km 1+200	70
3.2.2.4.	Ensayo N° 4 Carril Izquierdo Km 1+200 hasta el Km 1+600	72
3.2.2.5.	Ensayo N° 5 Carril Izquierdo Km 1+600 hasta el Km 2+000	73
3.2.2.6.	Ensayo N° 6 Carril Izquierdo Km 2+000 hasta el Km 2+400	74
3.2.2.7.	Ensayo N° 7 Carril Izquierdo Km 2+400 hasta el Km 2+800	75
3.2.2.8.	Ensayo N° 8 Carril Izquierdo Km 2+800 hasta el Km 3+200	77
3.2.2.9.	Ensayo N° 9 Carril Izquierdo Km 3+200 hasta el Km 3+600	78
3.2.2.10.	Ensayo N° 10 Carril Izquierdo Km 3+600 hasta el Km 4+000	79
3.2.2.11.	Ensayo N° 11 Carril Izquierdo Km 4+000 hasta el Km 4+400	80
3.2.2.12.	Ensayo N° 12 Carril Izquierdo Km 4+400 hasta el Km 4+800	82
3.2.2.13.	Ensayo N° 13 Carril Izquierdo Km 4+800 hasta el Km 5+080	83
3.3.	Resumen de resultados obtenidos con el rugosímetro Merlin	85
3.3.1.	<i>Carril derecho.....</i>	<i>85</i>
3.3.2.	<i>Carril izquierdo</i>	<i>86</i>
3.3.3.	<i>Carril derecho + izquierdo.....</i>	<i>87</i>
3.4.	Resultados obtenidos con la aplicación Roadroid.....	87
3.4.1.	<i>Viaje 1.....</i>	<i>87</i>
3.4.1.1.	Ensayo N° 1 Carril derecho Km 0+000 hasta el Km 5+040	87
3.4.1.2.	Ensayo N° 2 Carril izquierdo Km 0+000 hasta el Km 5+060	88
3.4.2.	<i>Viaje 2.....</i>	<i>88</i>
3.4.2.1.	Ensayo N° 1 Carril Derecho Km 0+000 hasta el Km 5+060.....	88
3.4.2.2.	Ensayo N° 2 Carril Izquierdo Km 0+000 hasta el Km 5+060	89
3.4.3.	<i>Viaje 3.....</i>	<i>89</i>
3.4.3.1.	Ensayo N° 1 Carril Derecho Km 0+000 hasta el Km 5+050.....	89
3.4.3.2.	Ensayo N° 2 Carril izquierdo Km 0+000 hasta el Km 5+060	90
3.4.4.	<i>Resumen de resultados con aplicación Roadroid</i>	<i>90</i>
3.4.5.	<i>Gráficos comparativos.....</i>	<i>91</i>
3.4.5.1.	Velocidad de recorrido.....	91
3.4.5.2.	eIRI (Índice de rugosidad internacional estimado)	92
3.5.	Comparación de ambos métodos	94
3.5.1.	<i>Carril derecho.....</i>	<i>94</i>
3.5.2.	<i>Carril izquierdo</i>	<i>97</i>
3.5.3.	<i>Resumen de comparación</i>	<i>100</i>
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		101
4.1.	Discusión.....	101
4.2.	Conclusión	104

REFERENCIAS.....	106
ANEXOS	108
Anexo 1: Formato de presentación de datos, Rugosímetro MERLIN	109
Anexo 2: Formato de presentación de datos Roadroid	110
Anexo 3: Equipo MERLIN	111
Anexo 4: Panel fotográfico	112

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Escala del Índice de serviciabilidad.....	21
TABLA 2: Ubicación de singularidades, Carril derecho – Viaje 1	48
TABLA 3: eIRI sin singularidades, Carril derecho – Viaje 1.....	49
TABLA 4: Coordenadas que delimitan el tramo en estudio.....	51
TABLA 5: Muestra 01 carril derecho, km 0+000 m – km 0+400 m.....	53
TABLA 6: Muestra 02 carril derecho, km 0 + 400 m – km 0 + 800 m.....	54
TABLA 7: Muestra 03 carril derecho, km 0 + 800m – km 1 + 200 m.....	55
TABLA 8: Muestra 04 carril derecho, km 1 + 200 m – km 1 + 600 m.....	56
TABLA 9: Muestra 05 carril derecho, km 1 + 600 m – km 2 + 000 m.....	58
TABLA 10: Muestra 06 carril derecho, km 2 + 000 m – km 2 + 400 m.....	59
TABLA 11: Muestra 07 carril derecho, km 2 + 400 m – km 2 + 800 m.....	60
TABLA 12: Muestra 08 carril derecho, km 2 + 800 m – km 3 + 200 m.....	61
TABLA 13: Muestra 09 carril derecho, km 3 + 200 m – km 3 + 600 m.....	63
TABLA 14: Muestra 10 carril derecho, km 3 + 600 m – km 4 + 000 m.....	64
TABLA 15: Muestra 11 carril derecho, Km 4 + 000 m – Km 4 + 400 m.....	65
TABLA 16: Muestra 12 carril derecho, km 4 + 400 m – km 4 + 800 m.....	66
TABLA 17: Muestra 13 carril derecho, km 4 + 800 m – km 5 + 080 m.....	68
TABLA 18: Muestra 01 carril izquierdo, km 0 + 000 m – km 0 + 400 m.....	69
TABLA 19: Muestra 02 carril izquierdo, km 0 + 400 m – km 0 + 800 m.....	70
TABLA 20: Muestra 03 carril izquierdo, km 0 + 800 m – km 1 + 200 m.....	71
TABLA 21: Muestra 04 carril izquierdo, km 1 + 200 m – km 1 + 600 m.....	73
TABLA 22: Muestra 05 carril izquierdo, km 1 + 600 m – km 2 + 000 m.....	74
TABLA 23: Muestra 06 carril izquierdo, km 2 + 000 m – km 2 + 400 m.....	75
TABLA 24: Muestra 07 carril izquierdo, km 2 + 400 m – km 2 + 800 m.....	76
TABLA 25: Muestra 08 carril izquierdo, km 2 + 800 m – km 3 + 200 m.....	78
TABLA 26: Muestra 09 carril izquierdo, km 3 + 200 m – km 3 + 600 m.....	79
TABLA 27: Muestra 10 carril izquierdo, km 3 + 600 m – km 4 + 000 m.....	80
TABLA 28: Muestra 11 carril izquierdo, km 4 + 000 m – km 4 + 400 m.....	81
TABLA 29: Muestra 12 carril izquierdo, km 4 + 400 m – km 4 + 800 m.....	83

TABLA 30: Muestra 13 carril izquierdo, km 4 + 800 m – km 5 + 080 m.....	84
TABLA 31: Resumen de resultados obtenidos en el Carril derecho	85
TABLA 32: Resumen de PSI cada 400m – Carril Derecho.....	85
TABLA 33: Resumen de resultados obtenidos en el Carril izquierdo	86
TABLA 34: Resumen de PSI cada 400m. – Carril Izquierdo	86
TABLA 35: Cuadro resumen de resultados obtenidos con el rugosímetro Merlin.....	87
TABLA 36: Resumen de resultados obtenidos en el Carril derecho – Viaje 1	87
TABLA 37: Resumen de resultados obtenidos en el carril izquierdo – Viaje 1.....	88
TABLA 38: Resumen de resultados obtenidos en el carril derecho – Viaje 2	88
TABLA 39: Resumen de resultados obtenidos en el carril izquierdo – Viaje 2.....	89
TABLA 40: Resumen de resultados obtenidos en el carril derecho – Viaje 3.....	89
TABLA 41: Resumen de resultados obtenidos en el carril izquierdo – Viaje 3.....	90
TABLA 42: Cuadro resumen de resultados obtenidos con la aplicación Roadroid para cada viaje	90
TABLA 43: Cuadro comparativo entre los resultados del IRI con ambos equipos – Carril Derecho	94
TABLA 44: Cuadro comparativo entre los resultados del IRI con ambos equipos – Carril Izquierdo.....	97
TABLA 45: Cuadro resumen de comparación entre IRI vs eIRI	100

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1: Factor de costo de operación vs IRI (Arroyo y Agueberre, 2002).....</i>	<i>15</i>
<i>FIGURA 2: Comparativa entre Rugosidad y Textura</i>	<i>19</i>
<i>FIGURA 3: Logo de aplicación Roadroid.....</i>	<i>22</i>
<i>FIGURA 4: Comparación de datos del Roadroid con un perfilómetro laser.....</i>	<i>23</i>
<i>FIGURA 5: Comparación cIRI (rojo) VS Perfilómetro laser (verde)</i>	<i>24</i>
<i>FIGURA 6: Valores de Índice Roadroid</i>	<i>25</i>
<i>FIGURA 7: Resalto circular</i>	<i>26</i>
<i>FIGURA 8: Resalto trapezoidal</i>	<i>26</i>
<i>FIGURA 9: Resalto en cojín.....</i>	<i>27</i>
<i>FIGURA 11: Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento.</i>	<i>34</i>
<i>FIGURA 12: Interface de aplicación cuando el GPS no se encuentra activado.....</i>	<i>37</i>
<i>FIGURA 13: Menú aplicación ROADROID</i>	<i>38</i>
<i>FIGURA 14: Menú Setting</i>	<i>38</i>
<i>FIGURA 15: Menú device & vehicle.....</i>	<i>39</i>
<i>FIGURA 16 : Fitting adjustment.....</i>	<i>40</i>
<i>FIGURA 17: Ejes del acelerómetro en posición inicial</i>	<i>40</i>
<i>FIGURA 18: Opción Cámara de aplicación para</i>	<i>41</i>
<i>FIGURA 19: Tramo en estudio de carretera Baños del Inca - Llacanora</i>	<i>41</i>
<i>FIGURA 20: Menú manage uploads</i>	<i>42</i>
<i>FIGURA 21: Mediciones realizadas con la app Roadroid.....</i>	<i>46</i>
<i>FIGURA 22: Descarga de archivos en formato de texto.....</i>	<i>46</i>
<i>FIGURA 23: Gráficos de eIRI en un sector de la carretera.....</i>	<i>47</i>
<i>FIGURA 24: Ubicación del tramo en estudio; Fuente: Google Earth.....</i>	<i>51</i>

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1: <i>Posición del smartphone en parabrisas.</i>	37
FOTOGRAFÍA 2: <i>Pavimento en mal estado, relleno con material de desmonte, 2018.</i>	113
FOTOGRAFÍA 3: <i>Ausencia de carpeta asfáltica, Vía de evitamiento norte, 2018.</i>	113
FOTOGRAFÍA 4: <i>Inicio de toma de datos con el rugosímetro MERLIN, Carril Derecho.</i>	114
FOTOGRAFÍA 5: <i>Fin de toma de datos con el rugosímetro MERLIN, Carril Derecho.</i>	114
FOTOGRAFÍA 6: <i>Inicio de toma de datos con el rugosímetro MERLIN, Carril Izquierdo.</i>	115
FOTOGRAFÍA 7: <i>Toma de datos con el rugosímetro MERLIN, Carril Izquierdo. Zona del parqueo.</i>	115
FOTOGRAFÍA 8: <i>Fin de Toma de datos con el rugosímetro MERLIN, Carril Izquierdo.</i>	116
FOTOGRAFÍA 9: <i>Vehículo seleccionado para la recolección de datos con aplicación</i>	116
FOTOGRAFÍA 10: <i>Vehículo a baja velocidad, tomando iniciativa para sobrepasarlo</i>	117
FOTOGRAFÍA 11: <i>Moto torito estacionada, desplazándonos del carril para sobrepasar.</i>	117
FOTOGRAFÍA 12: <i>Recorrido de la carretera sin presencia de tráfico</i>	118
FOTOGRAFÍA 13: <i>Agregado fino y grueso, utilizados para construcción, dentro del carril izquierdo y derecho</i>	118
FOTOGRAFÍA 14: <i>Desnivel entre el pavimento y buzón presente en la carretera</i>	119
FOTOGRAFIA 15: <i>Irregularidad superficial causada por residuos de mezcla de concreto</i>	119

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1 (Relación entre PSI e IRI)</i>	21
<i>Ecuación 2 (Factor de corrección para Rango D)</i>	43
<i>Ecuación 3 (Expresión cuando $2.4 < IRI < 15.9$)</i>	44
<i>Ecuación 4 (Expresión cuando $IRI < 2.4$)</i>	44
<i>Ecuación 5 (IRI característico)</i>	44
<i>Ecuación 6 (PSI despejado)</i>	45

RESUMEN

En la presente investigación se busca analizar la variabilidad que existe, entre los datos obtenidos de la aplicación para Smartphone Roadroid con respecto a los del Rugosímetro MERLIN, para la medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la carretera Baños del Inca – Llacanora, dicha carretera está clasificada como Tercera Clase-CV1; así mismo brindar el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) para cada tramo de la carretera en estudio. Para el estudio se utilizó la siguiente metodología: inspección visual, medición de la regularidad superficial usando el rugosímetro MERLIN, medición de la regularidad superficial usando la aplicación Roadroid en un Smartphone, luego se agruparon en muestras representativas de 400 m. para poder determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en los dos carriles: para el carril Derecho tenemos un $IRI_p = 1.94$ m/km, un $eIRI = 2.40$ m/km y un $PSI = 3.51$; para el carril Izquierdo tenemos un $IRI_p = 2.34$ m/km, un $eIRI = 2.73$ m/km y un $PSI = 3.26$, teniendo en ambos carriles una transitabilidad “Buena”. Al comparar los resultados de ambos métodos obtenemos una variabilidad que oscila entre el 0.00 % y 156.95%, con coeficientes de determinación (R^2) 0.2276 y 0.4044 para el carril derecho e izquierdo respectivamente; lo cual representa un relación positiva baja.

Palabras clave: Regularidad superficial, Serviciabilidad, IRI, Roadroid, Rugosímetro MERLIN

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Dada la gran importancia de las obras viales en el mundo ha sido necesario establecer indicadores de la calidad del pavimento, ya que la calidad del pavimento puede ser entendida como la capacidad estructural del pavimento para soportar las cargas que sobre él actúan, pero también se puede entender como la comodidad que siente el usuario al transitar con su vehículo sobre él, frente a esta situación el Banco mundial encargo a varios investigadores entre ellos Sayers, Gillespie y Paterson a desarrollar la publicación técnica N° 45 y N°46, donde se presenta el IRI (Índice de rugosidad internacional) como un parámetro usado para medir las irregularidades en el rodado en una carretera que indica el estado del pavimento.(Laura, 2016).

Desde la década de los 90 con la finalidad de resolver y cerrar brechas en infraestructura vial, el estado peruano adopto una política de privatización a través de concesiones.

Una de las obligaciones de las diversas empresas que asumen la concesión por un determinado periodo es mejorar los niveles de servicio de la vía. De esta manera, el estado asegura los costos de operación vehicular disminuyan y el IMDA aumente. Esto implica un mayor desarrollo económico y social, ya que está ligado estrechamente al mejoramiento de los sistemas de transporte. (Ramírez, 2017).

Los costos que cualquier país debe de enfrentar durante toda la vida útil de un camino se divide en tres clases:

- Costos Iniciales de construcción, que implican la realización de un proyecto.

- Costos de conservación, que son aquellos que abarcan las inversiones para mantener el camino en buenas condiciones, así como de conservar la calidad de servicio al usuario, enfrentando el probable crecimiento en la demanda.
- Costo de operación, que se producen cotidianamente por la circunstancia de los vehículos por dicho camino. (Arriaga, Garnica y Rico, 1998).

Arriaga, Garnica y Rico, (1998). Nos dicen que el criterio que debe orientar las decisiones en el área de transporte es minimizar los costos naciones totales durante la vida útil del camino. Los costos de operación de los vehículos implican una atención especial debido a que estos superan a los otros dos, ocurren rutinariamente por el paso del tráfico de vehículos a lo largo de la carretera y tienen que ser pagados por los usuarios como resultado de la operación de dichos vehículos. Los principales costos de operación son los siguientes: combustible, lubricantes, llantas, reparación t refracciones, operador, depreciación y reposición de vehículos, intereses, seguros, tiempo de traslado de las mercancías.

El éxito en construir un pavimento de calidad no es sólo dado por un buen diseño y preparación de mezcla de asfalto en caliente con buenos materiales, también es de suma importancia una correcta colocación y compactación de la mezcla, lo cual finalmente nos dará la medida de Índice de Rugosidad Internacional (IRI) inicial. (Lavaud, 2011).

Se conoce que los costos de operación vehicular se incrementan cuando la condición del pavimento es paupérrima. Es decir, si la carretera es nueva, bien conservada, con ligeras imperfecciones, en un terreno plano y sin problemas de tráfico,

los costos de operación son mínimos. Sin embargo, si una vía tiene baches y muchas irregularidades los gastos de operación aumentan significativamente, llegando a incrementar hasta tres veces. En la figura 1 se presenta un gráfico que relaciona al costo de operación vs el IRI. (Vidal, 2016). Donde se observa que el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es directamente proporcional al costo de operación, es decir que a mayor índice de IRI el usuario tendrá mayor gasto. Por otro lado, también nos indica que el IRI es inversamente proporcional al Índice de Servicio.

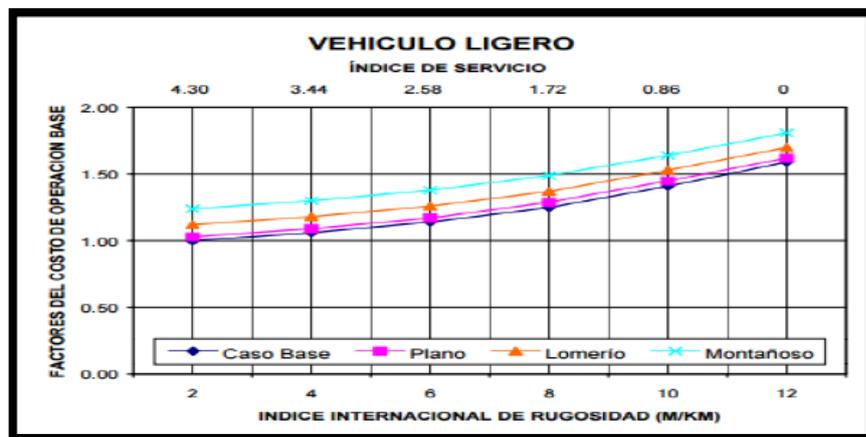


FIGURA 1: Factor de costo de operación vs IRI (Arroyo y Agueberre, 2002)

De acuerdo con la clasificación del Banco Mundial los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases, siendo los de Clase 1 los más exactos (Mira y nivel, TRRL Bean, perfilómetros estáticos y dinámicos, pero que no cumplen con los niveles de exactitud que son exigidos para la Clase 1. Los métodos clase 3 Utilizan ecuaciones de correlación para derivar sus resultados a la escala del IRI (Bump integrator, Mays meter) Los métodos clase 4 permiten obtener resultados meramente referenciales y se emplean cuando se requieren únicamente estimaciones gruesas de rugosidad. (del Águila, P.,1999).

El método de medición que utiliza el MERLIN, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de

sus resultados, califica como un método Clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el MERLIN, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ($R^2=0.98$). (del Águila, 1999).

Mientras que la aplicación para Smartphone Roadroid, según Almenara, (2016). Un estudio realizado en el año 2005 los datos arrojados por esta aplicación tuvieron una concordancia de 70% frente a estudios de mayor precisión. En el año 2006 se clasificó esta herramienta como relativamente económica y fácil de operar, logrando costos de venta muy altos. Sin embargo, poseía algunas limitaciones que venían por la infraestructura de vehículo, las conexiones ente los cables y la computadora, y la humedad en el medio ambiente.

Hoy en día, la provincia de Cajamarca presenta complicaciones en infraestructura vial. Debido a los escasos o improvisados mantenimientos que realizan a sus vías y la presencia de agentes agresivos existentes en el medio ambiente, además de la detección de fallas en sus vías a destiempo, permitiendo que el problema se generalice (ver fotografía 2 y 3 en anexo 6). Es por ello que esta investigación plantea, además de comprobar la fidelidad de los datos obtenidos por la aplicación Roadroid para el cálculo de IRI de la carretera Baños del Inca - Llacanora, ser una fuente confiable para brindar información sobre el estado y confort que tenemos en dicha carretera.

Antecedentes

Mohammed, U. (2015). En su tesis: “Pavement performance measure using Android -based Smart pone application”, de la Universidad de Osmania de la India. Siendo el objetivo de esta investigación medir la rugosidad del pavimento en la ciudad de Hyderabad, La India, utilizando la tecnología del teléfono inteligente basado en un Android. Nos indica que la rugosidad es un importante indicador de la condición del pavimento, los cuales deben ser considerados cuidadosamente para evaluar pavimentos nuevos. Concluye que la longitud para hallar el IRI promedio debe ser cada 100m, además concluyo que manejar el vehículo a una velocidad constante de 50km/h es adecuada para la obtención del IRI.

Almenara, C. (2015), en su tesis: “Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima”, concluye que la presencia de tráfico en la toma de datos tiene una gran influencia, ya que altera totalmente los valores reales de rugosidad debido a los cambios de velocidad considerables y recomienda plantear un plan estratégico para mantener condiciones de velocidad constante durante el muestreo.

Laura, D. (2016), en su tesis: “Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco-Urcos, usando teléfonos inteligentes y el Rugosímetro de Merlin – 2016”, obtiene porcentajes de similitud del eIRI y el IRI cercanos al 100%, no obstante, tiene tramos en los cuales llega hasta 74%. Relaciona la variación a la técnica de toma de datos de cada equipo, puesto que mientras uno toma directamente del perfil del pavimento, la otra toma indirectamente de las vibraciones del vehículo.

Ramírez, B. (2017), en su tesis: “Cálculo del IRI mediante acelerómetro de Smartphone en el tramo Huarney – Casma de la carretera Panamericana Norte”, comprobó que la tendencia de aumentar el IRI en curvas horizontales y verticales. Si bien no se observa valores picos, se tiene valores oscilantes; es decir, valores que suben y en los puntos adyacentes disminuyen. Esto genera diferencias entre los dos tipos de IRI que calcula el software. Sin embargo, cuando la carretera presenta una pendiente casi constante los valores de IRI no oscilan como en los otros segmentos de la vía.

La torre, F. (2018), en su tesis: “Aplicación del sistema Roadroid utilizando smartphone para diagnosticar la uniformidad superficial del pavimento en el centro urbano de Chiclayo”, Nos menciona que los rompemuelle (gibas) son elevadores de los valores IRI en la aplicación. Concluyendo que en el diagnóstico del IRI o índice de Roadroid los resultados finales de las avenidas fueron muy elevados, teniendo el IRI más bajo en la avenida No 7 Av. Tumbes con un valor de 3.19 m/km y en la avenida No 29 Av. José Rivadeneira y Tejada presenta el valor más alto siendo este 28.58 m/km. Finalmente menciona que el valor promedio del IRI en todo el centro urbano en la ciudad de Chiclayo es 10.51 m/km.

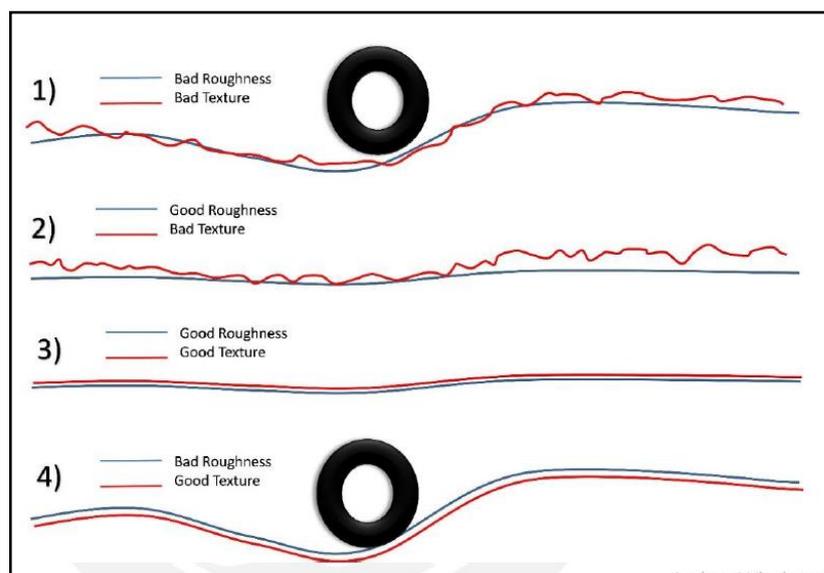
Conoceremos términos necesarios para el buen entendimiento de esta investigación:

Rugosidad

La rugosidad se define como las irregularidades en la superficie del pavimento que afecta adversamente a la calidad de rodado, seguridad y costo de operación del vehículo. En la práctica esto significa que la rugosidad tiene el mayor efecto en la evolución de los usuarios que califican la calidad de rodado. Uno de los problemas con los que se encuentran los técnicos a la hora de valorar la calidad y comodidad de la rodadura de los vehículos y de comparar experiencias entre países, es la gran diversidad de técnicas, equipos e indicadores existentes en cada país. (Forslöf, 2014)

Forslöf (como se citó en Almenara, 2015) menciona que la rugosidad de las carreteras es un parámetro importante y más usados, para evaluar la calidad en una vía y ver el estado del pavimento. Además, la rugosidad de una carretera se le conoce comúnmente como IRI, pero es necesario reconocer la definición de lo que en realidad es rugosidad y textura.

FIGURA 2: Comparativa entre Rugosidad y Textura



Fuente: Roughness and Texture, Forslöf (2014)

Índice Internacional de Rugosidad

Como respuesta a la necesidad de establecer un índice que permitiera la evaluación de las deformaciones verticales de un camino, nace el Índice internacional de Rugosidad común mente llamado IRI por sus siglas en inglés (International Roughness Index).

El IRI se define como la acumulación del movimiento vertical que sufre la suspensión de una rueda (un cuarto de carro) cuando este recorre la superficie a una velocidad de referencia de 80 km/h. En este sentido, es un índice de comodidad de rodadura, y constituye el parámetro de la vía que percibe el usuario. (Rivera, Fernando; Peña Castro, Germán A., 2012).

El cálculo matemático del Índice Internacional de Rugosidad está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la masa inferior (en milímetros, metros o pulgadas) de un modelo de vehículo (cuarto de carro, Figura 8), dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (en m, km. o millas) que se produce por los movimientos al vehículo, cuando éste viaja a una velocidad de 80 km/hr. El IRI se expresa en unidades de mm/m, m/km, in/mi, etc. (Arriaga, Garnica y Rico, 1998).

Índice de serviciabilidad presente (PSI)

El Índice de serviciabilidad Presente es la comodidad de circulación al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece. (Arriaga, Garnica y Rico, 1998)

Para evaluar la serviciabilidad del pavimento se emplea el parámetro denominado Índice de serviciabilidad Presente (PSI), el cual establece la condición funcional o capacidad de servicio actual del pavimento, conceptos que fueron desarrollados por el cuerpo técnico del Ensayo Vial AASHTO, en 1957. Los valores del PSI se evalúan mediante una escala que va de 0 a 5, en donde la condición óptima corresponde al máximo valor. (P. del Águila, 1999)

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 ecuación 1, es una correlación desarrollada con la base de datos establecida en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad de Caminos, realizado en Brasil en 1982. donde,

$$IRI = 5.5 \ln \left(\frac{5.0}{PSI} \right) \pm 25\% \text{ para } IRI < 12 \quad (\text{Ecuación 1})$$

IRI : Índice de rugosidad Internacional

PSI : Índice de serviciabilidad Presente

TABLA 1:
Escala del Índice de serviciabilidad

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

Fuente: Guía AASHTO

Rugosímetro MERLIN

El MERLIN es un equipo de diseño simple. El Anexo 3 presenta un esquema ilustrativo del instrumento. Consta de un marco formando 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, 1999)

Roadroid

Roadroid es un sistema útil para monitorear las condiciones de las vías, mediante un teléfono inteligente. Consistiendo en: una aplicación, que recolecta las vibraciones de la vía utilizando el acelerómetro del teléfono y el GPS para posicionarlo y un servicio a internet, que se encarga de transferir los datos de la condición de la vía, ayudando así al monitoreo y el sistema de gestión en mantenimiento de las vías.

FIGURA 3: Logo de aplicación Roadroid



Fuente: Roadroid, 2018

La aplicación analiza las vibraciones de la vía 100 veces por segundo (en 90 km/h una señal cada 25 cm). Sobre estos 100 ejemplos, es calculado y guardado un valor de la condición de la vía con las coordenadas del GPS.

IRI estimado (eIRI)

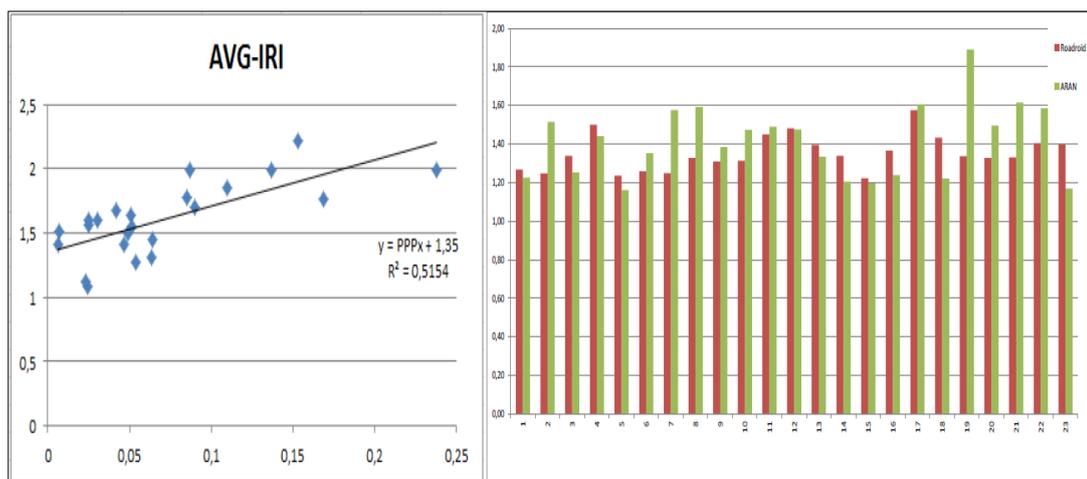
El IRI estimado es una variación del cálculo de IRI propuesto por el Banco Mundial, ya que usa correlaciones lineales con instrumentos de medición de alta

precisión. Además, el eIRI pertenece a la clase 3 del método de precisión propuesto por Sayers (Sayers, 1986).

Para establecer estas correlaciones del eIRI brindado por Roadroid se realizaron mediciones del IRI en las carreteras de NVDB con los equipos de clase 1 (alta precisión) cada 20 metros de longitud, los datos obtenidos fueron promediados, los mismos que reflejan la condición de las carreteras.

Las investigaciones realizadas por diferentes instituciones en todo el mundo, como el Banco mundial, Naciones Unidas, empresas del rubro y universidades a lo largo del 2014 han presentado diferentes informes que muestran correlaciones alcanzadas de hasta 81% entre el eIRI y el IRI.

FIGURA 4: Comparación de datos del Roadroid con un perfilómetro laser



Fuente: Roadroid, 2014

IRI calculado (cIRI)

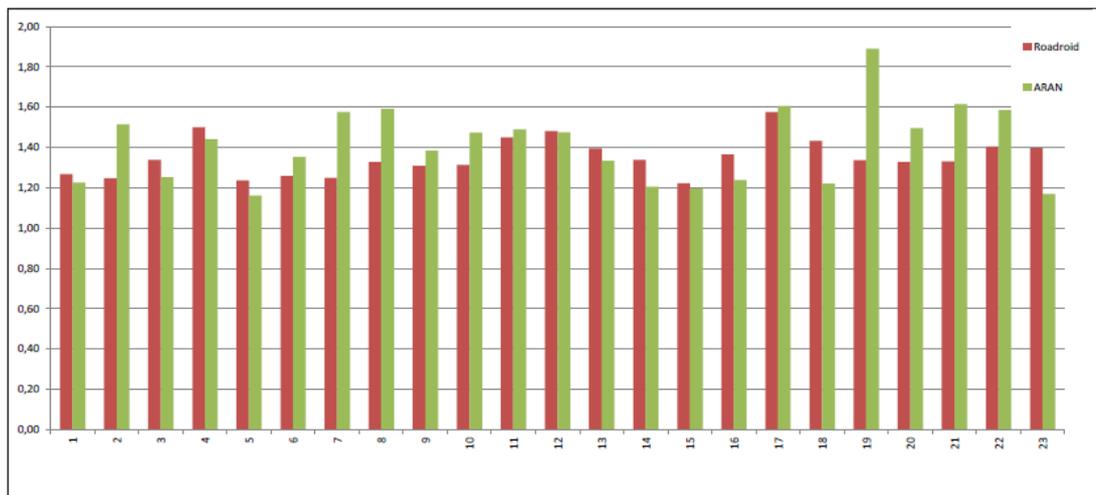
A partir de diferentes investigaciones por parte del equipo Roadroid se estableció el IRI calculado que al ser calibrado correctamente se obtiene resultados muy confiables en la medición de la rugosidad de las carreteras. Asimismo, pertenece a la clase 2 del método de precisión propuesto por Sayers (Sayers et al., 1986).

El Cálculo del cIRI está basado en el modelo de cuarto de carro planteado por el Banco Mundial, este cIRI depende de una buena calibración en la aplicación, e que el rango

de velocidad sea entre 60 a 80 km/h y que está sea constante durante la recolección de datos.

El software PROVAL, herramienta validada y utilizada por instituciones norteamericanas como la FHWA (Federal Highway Administration) y la LTPP (Long Term Pavement Performance Program), fue el utilizado para validar los datos. Presenta excelentes resultados para pavimentos de asfalto, sin embargo, cuando se trata de pavimentos con sellado superficial de grava o caminos de adoquines las mediciones presenta limitaciones.

FIGURA 5: Comparación cIRI (rojo) VS Perfilómetro laser (verde)



Fuente: Roadroid, 2014

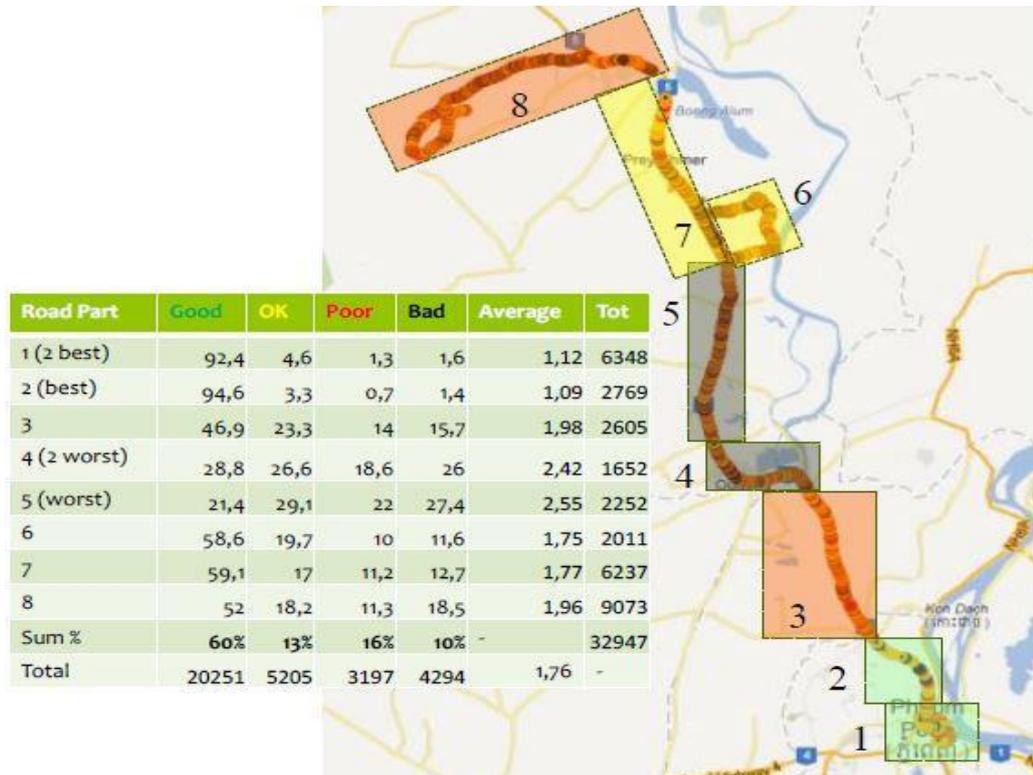
Índice Roadroid (IR)

Roadroid diferencia las vías analizadas por medio del IRI (calculado o estimado) en cuatro rangos y los representa a través de colores (verde, amarillo, rojo y negro). El objetivo es presentar los datos de manera global y escalable.

El Índice Roadroid muestra el porcentaje de cada rango de ruta gracias a la base de datos que se genera al analizar una carretera. Por ejemplo, para un segmento de ruta examinada se consigue un 93.7% de bueno (color verde), 3.3% de satisfactorio (color amarillo), 1.6% de no satisfactorio (color rojo) y 1.4% de pobre (color negro). La

ventaja de este índice radica en añadir datos de varias mediciones en el tiempo; además, se genera informes automáticamente facilitando la comparación de los resultados obtenidos de la calidad de pavimentos de diferentes longitudes de carreteras.

FIGURA 6: Valores de Índice Roadroid



Fuente: Roadroid, 2014

Singularidades en pavimento

Reductores de velocidad

Tipo de dispositivo para el control de velocidad diseñado con la finalidad de obligar al conductor a disminuir la velocidad de operación.

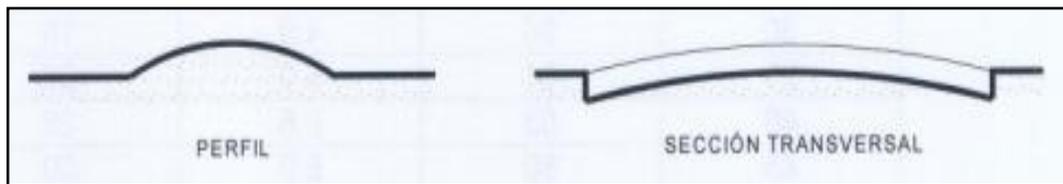
Dispositivo estructural fijo, que opera como reductor de velocidad en los sectores de las carreteras que atraviesan las zonas urbanas y que consiste en la elevación transversal de la calzada en una sección determinada de la vía. Su ubicación se encuentra en zonas de transición de Rural a Urbano y viceversa donde exista iluminación en la vía, el dispositivo debe contar con un sistema de iluminación

diferenciada a efecto de garantizar a los conductores la visibilidad oportuna del dispositivo, su localización y la presencia de peatones. (MTC, 2007)

Tipos de resalto

- a) **Circular:** Este tipo de resalto es de sección circular y puede colocarse en un solo carril o toda la sección de la vía

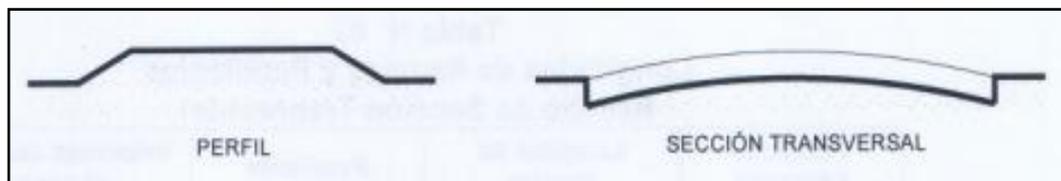
FIGURA 7: Resalto circular



Fuente: MTC, 2007

- b) **Trapezoidal:** Este tipo de resalto es de sección trapezoidal y cubre toda la sección de la vía, también tiene la función de cruceo peatonal.

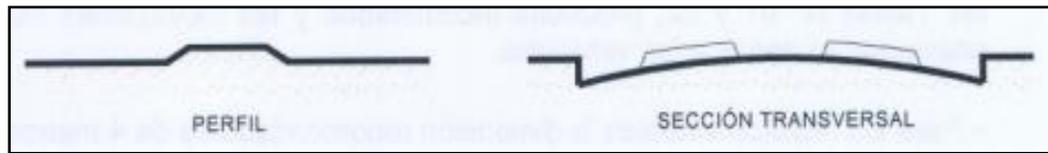
FIGURA 8: Resalto trapezoidal



Fuente MTC, 2007

- c) **Virtual:** Se denomina resalto virtual a una marca en el pavimento, el cual genera en el conductor la sensación de estar observando un resalto, con el propósito de inducirlo a disminuir la velocidad del vehículo. Por lo general se utiliza para complementar resaltos en serie.
- d) **Cojines:** Este tipo de resalto no sube toda la sección de la vía, su uso es para velocidades de orden de 50 a 60 km/h, con la finalidad de calmar la velocidad pero sin afectar la comodidad de los vehículos de emergencia, sin perjudicar el tiempo de respuesta en asistir, trasladar enfermos o heridos, incendios, etc.

FIGURA 9: Resalto en cojín



Fuente: MTC, 2007

Normativa peruana respecto al IRI

La importancia de una Norma Técnica Peruana radica en establecer requisitos de diseño, mantenimiento, rehabilitación, definir una metodología de medición de rugosidad y tener un respaldo por parte de entidades nacionales. Actualmente, existen parámetros de IRI en la recepción de obras y se establece márgenes de valores de IRI en la mayoría de contratos de las concesiones viales. Además, las especificaciones de IRI se basan en las investigaciones realizadas por el Banco Mundial y se utiliza la norma internacional ASTM E950 para la utilización de equipos de clase 1 que se viene utilizando en el Perú en forma continua. (Montoya, 2013)

La norma CE.010, perteneciente al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). En el Capítulo 3, referido a ensayos, requisitos de los materiales y pruebas de control, nos menciona que con respecto a la carpeta asfáltica terminada, el encargado del control es la supervisión de la obra y que la regularidad superficial o rugosidad se medirá en unidades IRI; además que tendrá un máximo valor de 2.5 m/km. Si este requerimiento no es cumplido, se procede a revisar equipos y procedimientos de esparcido y compactación.

Sobre los equipos usados a determinar la rugosidad, se encuentran: la cinta métrica y nivel, rugosímetro, perfilómetro o cualquier otro método técnicamente aceptable y aprobado por la supervisión. La medición de la rugosidad se efectuará al finalizar la obra como control final de calidad del pavimento terminado, donde se

deberá realizar a lo largo de toda su longitud e involucrando ambas huellas vehiculares, registrándose mediciones parciales cada kilómetro.

Según el Manual de Carreteras (MTC, 2014), Sección Suelos y Pavimentos, nos indica que la conservación del pavimento durante el periodo de servicio, debe estar asociada al cumplimiento de los niveles de servicio, el trabajo de conservación que se realice será para cumplir los estándares admisibles siendo una obligación que la carretera se conserve en condiciones aceptables y dentro de los niveles de servicio admisibles para el periodo de diseño.

Los niveles de servicio básico a controlar, están referidos a lo siguiente:

a. Caminos No pavimentados: Afirmados

- Control de perfilado
- Control de rugosidad
- Control del espesor de la capa de afirmado

b. Caminos Pavimentados: Pavimentos Flexibles, Semirrígidos

- Control de fisuras y baches
- Control de ahuellamiento
- Control de textura superficial
- Control de rugosidad
- Control de deflexiones

c. Caminos Pavimentados: Pavimentos Rígidos

- Control de fisuras y baches
- Control de sello de juntas
- Control de rugosidad

Los métodos convencionales para determinar el índice internacional de rugosidad (IRI) son de rendimientos bajos y/o costos elevados; siendo Roadroid un método que tiene alto rendimiento, bajos costos y facilita el control periódico de la superficie del pavimento, es por ello que en esta investigación usamos dicha tecnología aplicándola a una carretera que une los distritos de Baños del Inca y Llacanora pertenecientes a la provincia de Cajamarca. Además, se determinará el nivel de transitabilidad en la que se encuentra dicha carretera gracias al índice de serviciabilidad presente, esto servirá como antecedente para un próximo mantenimiento de la carretera en estudio.

1.2. Formulación del problema

- ✓ ¿La aplicación Roadroid para smartphone es un método confiable, como los métodos convencionales, para medir el índice de rugosidad internacional (IRI) y serviciabilidad en una carretera de la provincia de Cajamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- ✓ Analizar la variabilidad del Índice de Rugosidad Internacional de la carretera Baños del Inca – Llacanora, utilizando el rugosímetro MERLIN y la aplicación para smartphone Roadroid.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ✓ Comparar valores IRI obtenidos con el rugosímetro MERLIN y la aplicación para smartphone Roadroid.
- ✓ Determinar el Índice de rugosidad en la carretera Baños del Inca – Llacanora, usando el rugosímetro MERLIN y la aplicación para smartphone Roadroid.
- ✓ Determinar el índice de serviciabilidad presente en la carretera Baños del Inca - Llacanora.

1.4. Hipótesis

- ✓ La aplicación Roadroid es un método confiable para medir la rugosidad y la Serviciabilidad en la carretera Baños del Inca – Llacanora, en límites +/- 25% de error.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según el propósito: Investigación aplicada, se enfoca en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación que permite lograr un objetivo concreto.

Según el diseño de investigación: Investigación no experimental, se basa en la interpretación o las observaciones; sin manipular, controlar o alterar las variables en estudio.

2.2. Población y muestra

Población: Carretera Baños del Inca - Llacanora

Unidad de estudio: Pavimento flexible.

Criterios de selección de muestra: Carretera con calzada de dos carriles, con pocas curvas horizontales, pendientes constantes y bajo flujo de vehículos

Muestra: Está constituida por el pavimento flexible de la carretera Baños del Inca – Llacanora, en el tramo delimitado desde el cruce de Shaullo hasta la entrada a Llacanora (última giba). Esta vía cuenta con dos carriles de rodadura, uno en cada sentido; con una longitud de 5.080 km, una pendiente mínima de 0.5% y una pendiente máxima de 7%, un bombeo de 2%, un ancho mínimo de bermas de 0.50 m, y una velocidad directriz de 35 Km/h.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Recolección de datos

- **Revisión Documental:** Recolectar información en fuentes escritas que aborden el tema de medición de la rugosidad usando el equipo MERLIN y la aplicación Roadroid.

- **Normativa:** Manual de carreteras “Suelo, geología, geotecnia y pavimentos” (2014), Manual de mantenimiento o conservación vial, siendo utilizadas para el control del IRI.
- **Observación Directa:** Implica la recolección de datos de campo mediante las siguientes acciones: Inspección visual, Medición de rugosidad con equipo MERLIN y aplicación Roadroid.
- **Instrumentos:** Formato para la medición de la rugosidad con MERLIN, (ver anexo N° 1). Aplicando la metodología del rugosímetro MERLIN para determinar de la regularidad superficial, además de configurar la aplicación Roadroid según lo establecido en sus procedimientos para la recolección de datos.

Análisis de datos

- **Estadística descriptiva:** Implica un conjunto de técnicas numéricas y gráficas usadas para describir y analizar un grupo de datos; para esta investigación usamos: tablas comparativas, gráficos de distribución, gráficos de frecuencia y coeficientes de correlación.
- **Instrumentos:** Uso de software Microsoft Excel y Estadístico SPSS v25.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Procedimientos de recolección de datos

2.4.1.1. Inspección visual

Se inicia el recorrido de reconocimiento en la carretera, el cual nos ayudará a visualizar el estado en el que se encuentra, además, servirá para apreciar ciertas características de aspectos geométricos (curvas horizontales, curvas verticales, velocidad a la que se puede recorrer) y singularidades, como: gibas, tapas de buzones, badén, etc. pertenecientes a dicha carretera y que a su vez alteran el perfil longitudinal de la misma.

En esta inspección definimos los tramos de desarrollo, para alcanzar la velocidad mínima inicial del vehículo. Esta velocidad es de 50 km/h, sólo al ser alcanzada se puede iniciar el registro de datos con la aplicación Roadroid.

En el carril izquierdo la longitud del desarrollo designada se encuentra dentro del tramo establecido para el estudio, ocasionando que tengamos una cantidad menor de datos recolectados por la aplicación Roadroid para los primeros 400 m. de este carril.

2.4.1.2. Rugosímetro Merlin

En esta investigación, para el caso del rugosímetro Merlin, la metodología seleccionada es la que plantea Pablo del Águila Rodríguez en su Manual del Usuario MERLINER.

El método de medición que utiliza el MERLIN, por haber sido diseñado como una variación del perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el MERLIN, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ($R^2 = 0.98$). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel),

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 (ver anexo3). 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.

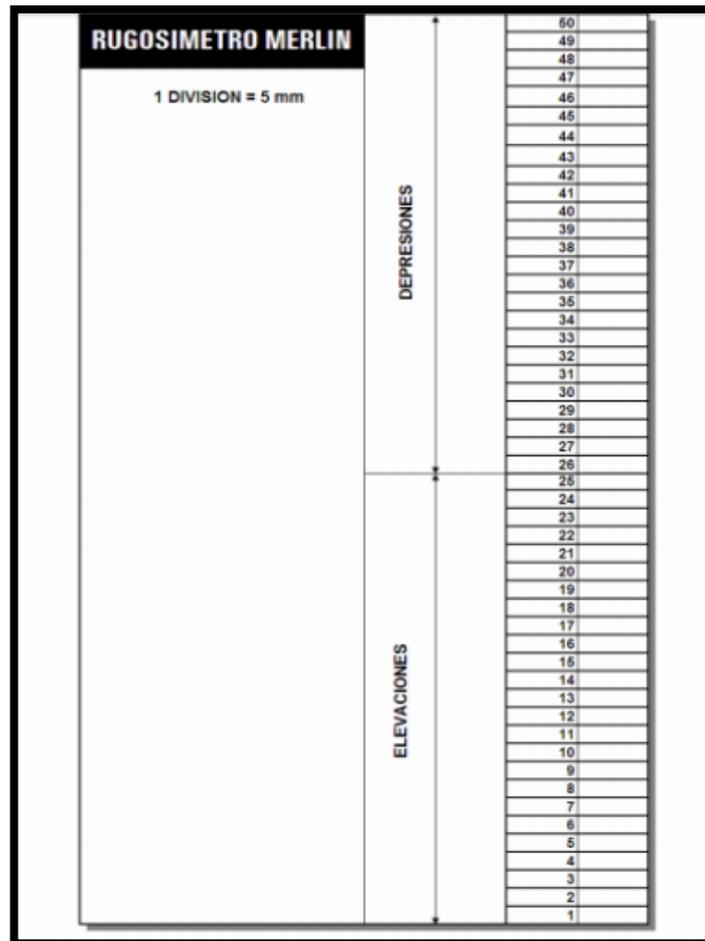


FIGURA 10: Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento.

Ejecución de ensayos

En esta parte del estudio será necesario dos personas, como mínimo, un operador encargado de conducir el equipo y realizar las lecturas, y un auxiliar encargado de llenar los formatos con las lecturas realizadas por el operador. Estas lecturas serán

agrupadas en un tramo de 400 m. aproximadamente, representado así un ensayo; el recorrido será por la huella exterior del carril en estudio.

Para tener una buena recolección de datos, al momento del recorrido, se debe tener las siguientes consideraciones:

- Marcar la llanta del rugosímetro, lo que nos ayudara a identificar cuando esta ha dado una vuelta completa. Sabiendo que la longitud de circunferencia es de aproximadamente 2m.
- Tener un formato adecuado donde se anotarán las lecturas. (ver anexo 1)
- Un ensayo representa 400m de longitud, sobre el carril de la vía.
- Serán necesarias 200 lecturas tomadas con el rugosímetro MERLIN.
- Las lecturas se realizarán continuamente, exceptuando las singularidades presentes en el pavimento (gibas y badenes).

Para determinar un valor de rugosidad necesitamos realizar 200 observaciones, las cuales se realizan cada vuelta a la rueda del rugosímetro, es decir, cada 2 metros. Las irregularidades presentes en el pavimento serán detectadas por el patín móvil del rugosímetro MERLIN, las cuales se verán reflejadas por la posición que toma el puntero sobre la escala graduada del tablero; teniendo así las lecturas.

En cada observación el instrumento tendrá tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para el ensayo (Anexo 3, corte B-B).

Las lecturas oscilarán entre los valores 1 y 50, las mismas que serán anotadas en un formato de campo, tal como se muestra en el Anexo 1. Este formato consta de una cuadrícula formada por 20 filas y 10 columnas; los datos serán anotados de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, empezando por el (1,1).

Iniciamos la prueba estacionando el equipo en la progresiva 0+000 del carril seleccionado, estabilizamos el puntero y el operador indica la lectura al auxiliar para

su anotación; para ir al siguiente punto de lectura el operador procede a levantar el rugosímetro Merlin tomado de las manijas y posteriormente desplazarlo, este desplazamiento será controlado por la marca puesta en la llanta del rugosímetro. En el nuevo punto se repite el proceso y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas.

2.4.1.3. Aplicación Roadroid

Configuraciones previas

Para realizar la recolección de datos con la aplicación Roadroid, previamente, deberemos realizar las siguientes configuraciones, recomendadas en el manual de usuario para la versión 2.3.9.

- Descargar la aplicación en la página www.roadroid.com e instalarla en el smartphone, el cual debe tener un sistema operativo Android. Debemos brindar el IMEI del smartphone (IMEI: 355037/09/061056/2 modelo Samsung Galaxy A8 2018) para obtener un usuario y contraseña, teniendo así acceso a la página web de Roadroid. Este registro tiene un costo, pero, para nuestro caso Roadroid nos brindó una licencia gratuita de estudiante.
- El sujetador del smartphone se fija en el parabrisas de tal forma que esté rígido y posicionado horizontalmente. Además, para disponer de buenas fotografías durante la toma de datos se inicia la cámara del smartphone.



FOTOGRAFÍA 1: Posición del smartphone en parabrisas.

- Activamos el GPS del smartphone, esto es necesario para georreferenciar en latitud y longitud nuestra ubicación actual y la ubicación de todos los puntos que tomará a lo largo del recorrido, también, nos brinda la altura en metros sobre el nivel del mar. Si el GPS no se encuentra activado e iniciamos la aplicación nos mostrará el mensaje señalado en la siguiente figura 12.



FIGURA 11: Interface de aplicación cuando el GPS no se encuentra activado

- Desplegaremos el menú de la aplicación dando un toque en las 3 barras que se encuentra en la parte superior izquierda de la pantalla, como podemos apreciar en la Figura 12. Seguido nos dirigiremos a la opción Settings, el cual nos da las opciones de configuración que se muestra en la figura 14.

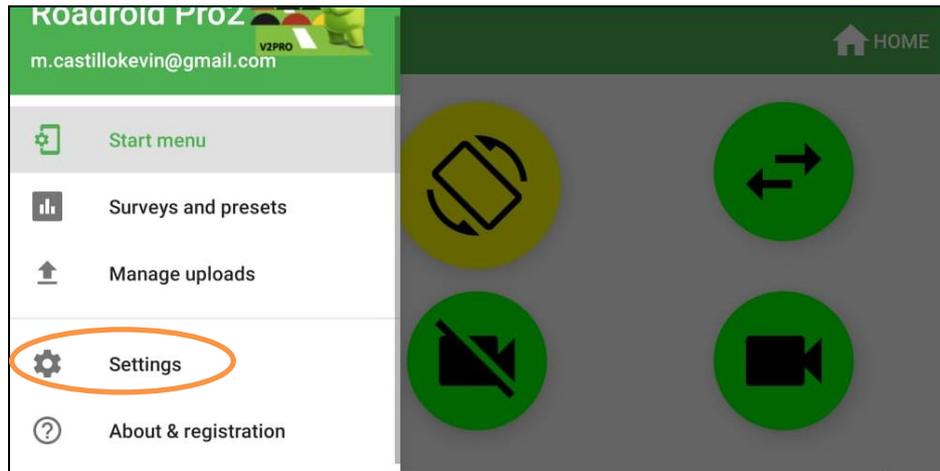


FIGURA 12: Menú aplicación ROADROID

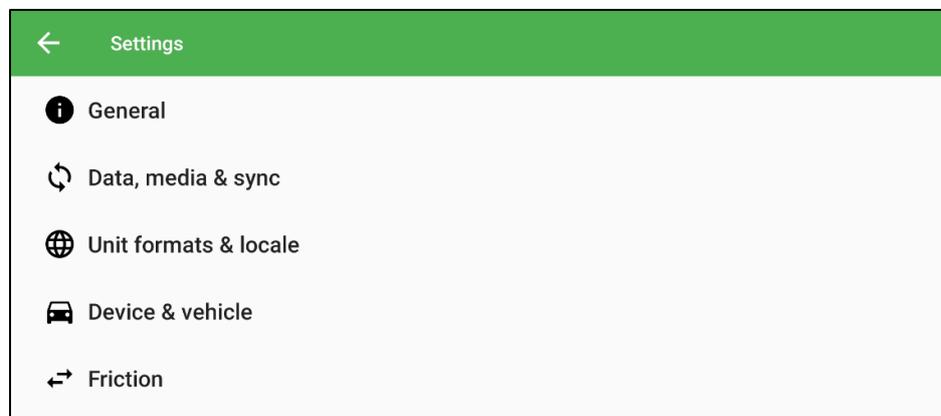


FIGURA 13: Menú Setting

- En la opción *Unit formats & locale* nos permite cambiar las unidades de velocidad e idioma de la aplicación, para nuestro caso seleccionamos Km/h e inglés respectivamente.
- Ingresamos a la opción *device & vehicle*, la cual nos despliega un nuevo menú en el que podremos configurar la frecuencia de muestreo del acelerómetro, el tipo de vehículo con el que realizamos el recorrido y la velocidad más lenta en la que podremos recorrer la carretera.

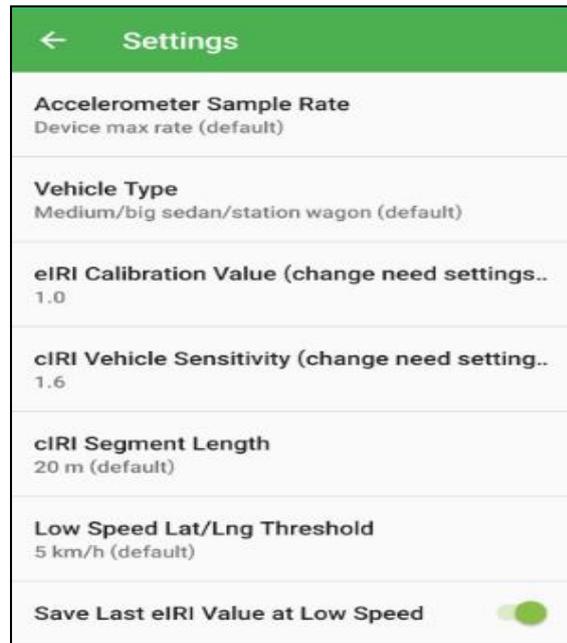


FIGURA 14: Menú device & vehicle

- Para nuestro caso el acelerómetro dejamos en la opción *Device max rate*, el tipo de *Vehicle Type* elegimos Medium/big sedan/Station wagon ya que el vehículo usado es de marca Hyundai Accent Hatchback que según sus características se clasifica como un vehículo mediano, la opción *Low Speed Lat/Lng Threshold* elegimos 5 km/h como la velocidad más lenta y además activamos la opción *Save Last eIRI Value at low speed* ya que nos permite guardar el último dato a baja velocidad. Esta última opción para nuestro caso sería necesaria puesto que contamos con gibas a lo largo de la carretera que nos harían disminuir la velocidad considerablemente.
- Seguido a esto seleccionamos la opción *cIRI Vehicle Sensivity*, el cual es 1.6 para carreteras de concreto asfáltico. En nuestro caso esto es indiferente ya que no alcanzaremos las condiciones necesarias para trabajar con el cIRI.
- Retornamos a la pantalla principal de la aplicación y nos dirigimos a la opción fitting adjustment (ver Figura 16), donde podremos ubicar los tres ejes del

acelerómetro x, y, z. Lo correcto es que cada eje se encuentre en un valor igual a cero, como podemos apreciar en la figura 17.

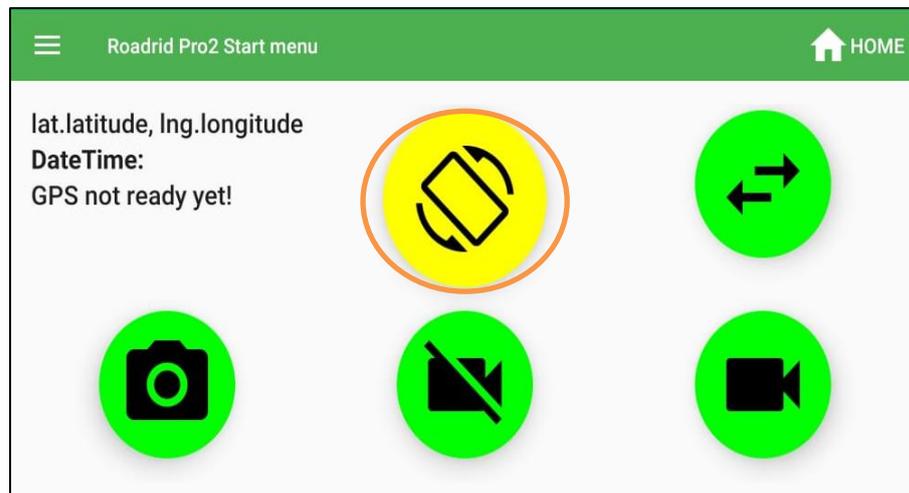


FIGURA 15 : Fitting adjustment.

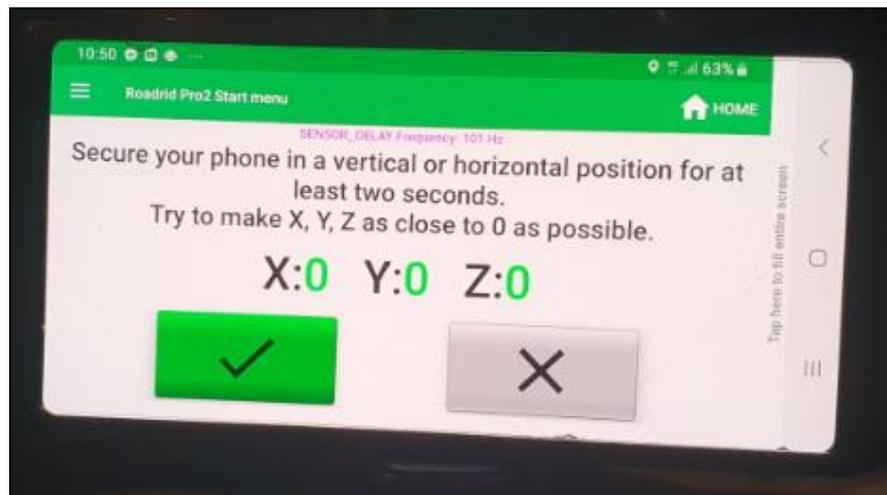


FIGURA 16: Ejes del acelerómetro en posición inicial.

- Desde la pantalla principal de la aplicación ingresamos a la cámara, donde nos aparecerá dos botones *start/stop sampling*, esta opción sólo se puede activar si el vehículo alcanzó una velocidad de 50 km/h como mínimo. Para lograr esta velocidad se recomienda estar a 200 m. aproximadamente antes del punto de partida de la toma de datos.

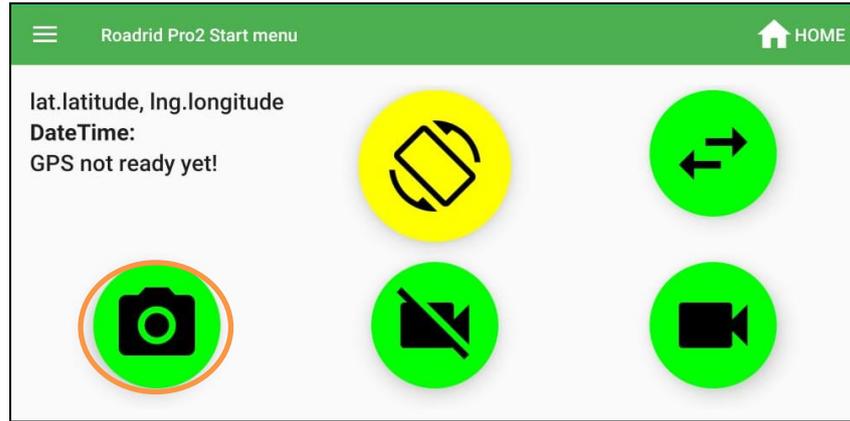


FIGURA 17: Opción Cámara de aplicación para

Recolección de datos

Para la recolección de datos realizamos 3 viajes, uno en el día y dos en la noche, teniendo en cuenta que el tráfico en el día sería mayor que en la noche. Esto nos ayudaría a poder identificar la influencia de los cambios de velocidades en los datos obtenidos por la aplicación.

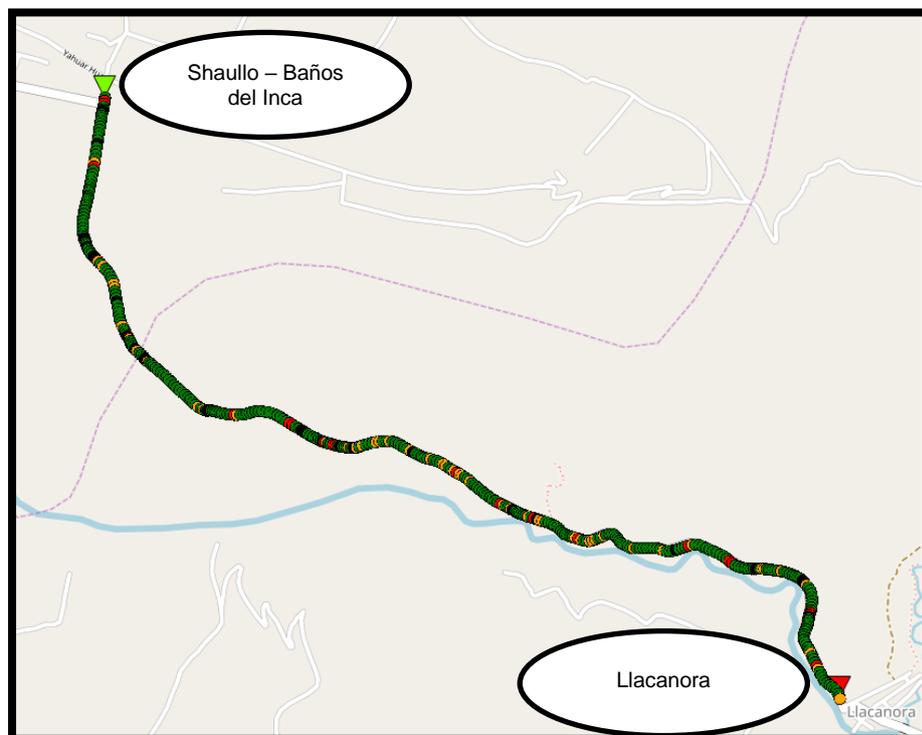


FIGURA 18: Tramo en estudio de carretera Baños del Inca - Llacanora

- Al finalizar la toma de datos se procede a cargar los archivos a la página web, donde podremos descargarlos para su posterior procesamiento.

- Desplegamos el menú principal de la aplicación (ver figura 13) y vamos a la opción *manage upload*, ingresaremos a la siguiente pantalla (ver figura 20), donde podremos elegir las opciones *upload data only* para subir solo los datos tomados y la opción *upload data and media* para subir los datos y fotos.

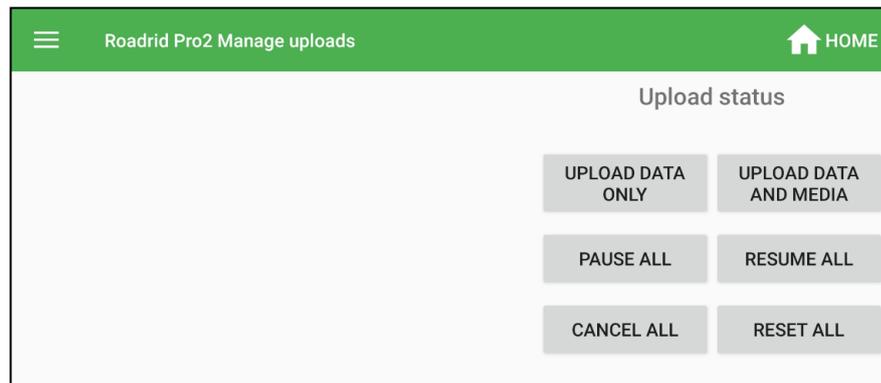


FIGURA 19: Menú manage uploads

Los archivos generados durante la toma de datos se guardan automáticamente en la carpeta Roadroid del celular en formato “zip”. Asimismo, las fotografías se almacenan en la misma carpeta. Al cargar los datos exitosamente a la web los archivos encontrados en la carpeta Roadroid se trasladan a la carpeta roadroid/backup. Además, en la pantalla del Smartphone aparecerá el mensaje “*upload complete*”.

2.4.2. Procedimientos de tratamiento y análisis de datos

2.4.2.1. Rugosímetro Merlin

Cálculo Rango “D”

La dispersión de los datos obtenidos con el rugosímetro Merlin se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse en forma de histograma. Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco

representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior.

Con el descarte se puede obtener, realizando fracciones al inicio y final del histograma, el rango “D” expresado en milímetros, el cual, será multiplicado por el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros.

Factor de corrección para el 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:

- a) 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.
- b) Se coloca el 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. 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, generando una nueva lectura. Teniendo estas lecturas podremos encontrar el factor de correlación (F.C) usando la siguiente expresión:

$$F.C = (EP \times 10) / [(LI - LF) \times 5] \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde,

- EP: Espesor de la pastilla
LI: Posición inicial del puntero
LF: Posición final del puntero

Cálculo del Rango “D” corregido

El valor D calculado anteriormente deberá modificarse considerando el factor de corrección (FC). Realizándose una simple multiplicación entre Valor “D” x FC, dándonos “D” corregido.

Rugosidad en la escala del IRI

Para transformar la rugosidad de unidades Merlin a la escala del IRI, se usa las siguientes expresiones:

$$\text{Cuando } 2.4 < IRI < 15.9, \text{ entonces } IRI = 0.593 + 0.0471D \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\text{Cuando } IRI < 2.4, \text{ entonces } IRI = 0.0485D \quad (\text{Ecuación 4})$$

Al aplicar las expresiones anteriores obtendremos el IRI expresado en unidades m/km.

Para un cálculo general del pavimento en estudio, el Manual del usuario MERLINER, (1999) nos permite calcular la rugosidad o regularidad superficial utilizando el parámetro llamado “IRI Característico”, definido por la siguiente expresión:

$$IRI_C = IRI_P + 1.645\sigma \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde:

IRI_C : IRI característico

IRI_P : IRI promedio

σ : Desviación Estándar

De acuerdo al factor de correlación empleado $k=1.645$, se cumplirá que el 95% del pavimento experimentará un IRI menor o igual que el IRI Característico.

Para que el tramo evaluado sea aceptado, el IRI característico debe cumplir que:

- Para pavimentos asfálticos nuevos, el IRI_C deberá ser menor o igual que 2.00 m/km.

- Para pavimentos con recapeo asfáltico, el IRI_C deberá ser menor o igual que 2.50 m/km.
- Para pavimentos con sellado asfáltico, el IRI_C deberá ser menor o igual que 3.00 m/km.

2.4.2.2. Índice de Serviciabilidad Presente

Se determina de acuerdo a la rugosidad, se tiene tablas del MTC (figura 10) en los que se establecen límites para el IRI, de acuerdo a la clasificación de la carretera y en la Tabla 1 donde se indica la escala de Serviciabilidad; para calcular la Serviciabilidad Presente se usará la relación establecida por la Sayers (Ecuación 1)

$$IRI = 5.5 \ln \left(\frac{5.0}{PSI} \right) \pm 25\% \text{ para } IRI < 12$$

Despejando PSI, obtenemos:

$$PSI = \frac{5.0}{\exp \left(\frac{IRI}{5.5} \right)} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

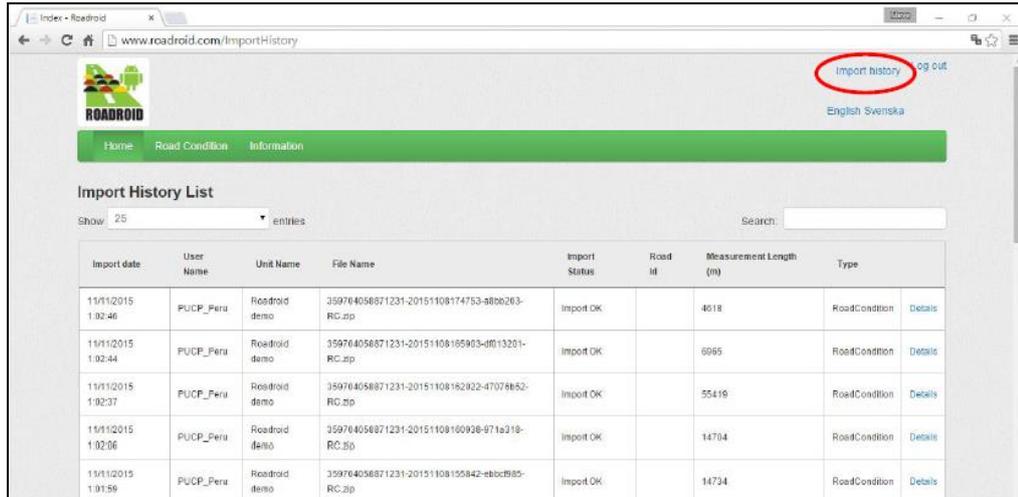
IRI : Índice Internacional de Rugosidad

PSI : Índice de Serviciabilidad Presente

2.4.2.3. Aplicación Roadroid

Importación de datos de la página Web

Para descargar los archivos cargados a la página web de Roadroid, se dirige a la pestaña *Home*. En la esquina superior derecha se podrá apreciar el hipervínculo *Import history*. Este abrirá una tabla y mostrará todas las mediciones realizadas con el smartphone registrado, incluyendo la fecha de la toma de datos, la longitud del tramo de vía.



Import History List

Show: 25 entries

Import date	User Name	Unit Name	File Name	Import Status	Road Id	Measurement Length (m)	Type
11/11/2015 1:02:46	PUCP_Peru	Roadroid demo	359764056871231-20151108174753-88bc263-RC.zip	Import OK		4618	RoadCondition Details
11/11/2015 1:02:44	PUCP_Peru	Roadroid demo	359764056871231-20151108165903-ff013201-RC.zip	Import OK		6965	RoadCondition Details
11/11/2015 1:02:37	PUCP_Peru	Roadroid demo	359764056871231-20151108162022-47078652-RC.zip	Import OK		55419	RoadCondition Details
11/11/2015 1:02:06	PUCP_Peru	Roadroid demo	359764056871231-20151108160938-971a219-RC.zip	Import OK		14704	RoadCondition Details
11/11/2015 1:01:58	PUCP_Peru	Roadroid demo	359764056871231-20151108155842-ebbc980-RC.zip	Import OK		14734	RoadCondition Details

FIGURA 20: Mediciones realizadas con la app Roadroid.

En el lado derecho de cada medición registrada se apreciará un hipervínculo con letras de color azul con el nombre *Details*, al darle un clic mostrará botones para descargar los datos. Uno de estos de nombre *Generate*, permite escoger 5 longitudes de espaciamiento para el cálculo del IRI. Puede ser cada 20, 50, 100, 160 y 200 metros. Una vez escogido entre estas cinco opciones se presionará el botón *Generate* y se descargará en formato texto los cálculos de IRI calculado y estimado.

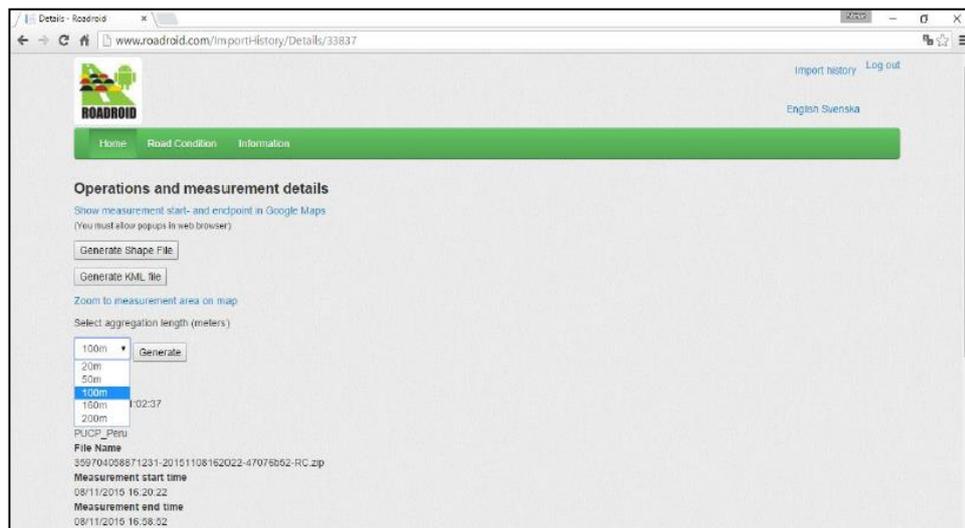


FIGURA 21: Descarga de archivos en formato de texto.

El botón *Generate KML file* es un archivo que permite ver la ruta recorrida en el programa *Google Earth*. Además, el hipervínculo *Show measurement start and*

endpoint in Google Maps abre la dirección de la página web de *Google Maps* y muestra el recorrido realizado.

Importa datos a Excel

Los archivos descargados en formato texto (.txt) se importarán al software Excel para realizar los gráficos. Estos servirán para realizar un análisis comparativo con las mediciones del perfilómetro láser. Además, de comprobar la influencia de la velocidad del vehículo para el cálculo del IRI y obtener el perfil del tramo recorrido. En cada columna de la hoja de cálculo estarán los datos de fecha y hora de la toma de dato, latitud, longitud, distancia (m), velocidad (km/h), altura (m), eIRI y cIRI.

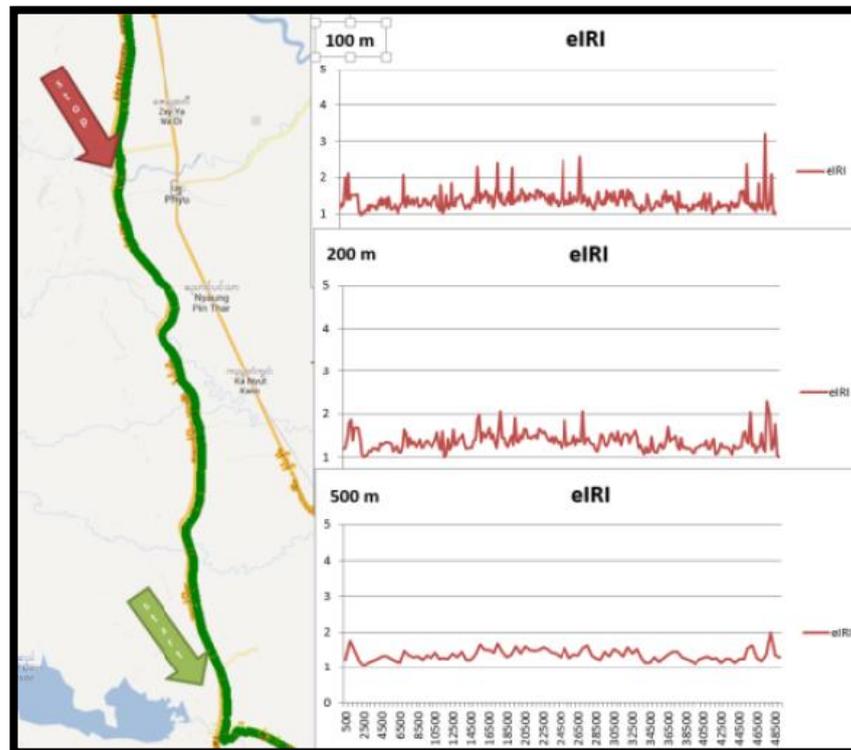


FIGURA 22: Gráficos de eIRI en un sector de la carretera.

Es importante resaltar que cada vez que se presiona la opción Stop durante los trabajos en campo, el software va a crear otro documento de texto en otra carpeta, pero en la misma ruta mencionada líneas arriba. Es recomendable llevar un

cuaderno de notas para escribir la hora y la progresiva aproximada cada vez que se detiene la toma de datos.

Procesamiento de datos en Microsoft Excel

Para un correcto procesamiento y posterior análisis, debemos tener en cuenta que estos datos brindados por la aplicación fueron tomados de forma continua a lo largo de la carretera; es decir, incluyendo las singularidades (gibas, badenes y tapas de buzones) inmersas en la carretera, mientras que al tomar los datos con el rugosímetro Merlin estas singularidades fueron obviadas. Por tal motivo, gracias a la distancia recorrida, velocidad y coordenadas brindadas por la aplicación Roadroid, se identificaron dichos datos.

TABLA 2:
Ubicación de singularidades, Carril derecho – Viaje 1

N°	Latitud	Longitud	Distancia(m)	V. (km/h)	Alt. (m)	eIRI	cIRI
114	-7.17858496434715	-78.4565739232408	1140	57.76	2657	1.98	1.89
115	-7.17858864864718	-78.4565721674416	1150	55.26	2657	2.01	2.87
116	-7.17865773282187	-78.4565436240644	1160	47.48	2657	1.97	2.96
117	-7.17876119127801	-78.4565002652285	1170	35.01	2657	17.53	1.86
118	-7.17881327425866	-78.4564763437722	1180	26.62	2657	23.14	4.61
119	-7.17885801597948	-78.4564559214948	1190	29.96	2657.5	8.04	7.36
120	-7.17892743642996	-78.4564239326272	1200	36.22	2657.5	2.31	4.66
121	-7.17901759254461	-78.4563761498600	1210	39.9	2657	1.95	2.29
122	-7.17911941046848	-78.4563143033329	1220	43.67	2656.5	2.04	2.36
123	-7.17922098003914	-78.4562496795150	1230	42.84	2655.5	17.3	3.84
124	-7.17930468211922	-78.4561770990539	1240	39.6	2655	17.48	4.76
125	-7.17937864133108	-78.4560858537940	1250	39.6	2655	17.48	4.76
126	-7.17938107144708	-78.4560826982702	1260	41.6	2655	3.44	4.11
127	-7.17940766445637	-78.4560502026523	1270	45.08	2654	3.26	3.22
128	-7.17949999177460	-78.4559367401782	1280	45.67	2652.5	2.42	2.92
129	-7.17958455552168	-78.4558262593044	1290	43.34	2651.5	2.91	3.24
130	-7.17965419433809	-78.4557346074190	1300	38.64	2650.5	14.38	4.94
131	-7.17971292930995	-78.4556712351913	1310	32.7	2650	14.06	7.06
132	-7.17975926098105	-78.4556164195995	1320	33.01	2649.5	2.14	4.84
133	-7.17981562296767	-78.4555523296713	1330	38.58	2648.5	2.16	2.29
134	-7.17988776425418	-78.4554691863720	1340	42.46	2648	2.48	2.5

En la tabla se muestra los datos brindados por la aplicación Roadroid, teniendo a los datos que representan singularidades en color rojo.

Se observa que la aplicación Roadroid genera dos valores referidos al IRI: el eIRI y cIRI, para esta investigación por cada 10 metros de longitud de carretera; siendo el

cIRI un parámetro que necesita una velocidad constante y no menor que 80 km/h, lo cual fue imposible alcanzar en el recorrido. Debido a las constantes curvas, zonas urbanas y detalles en la carretera (gibas), por tal motivo se trabajó con el eIRI ya que este valor es el que se asemeja más al IRI y además, por cuestión de velocidad, sólo necesita recorrer a una velocidad mayor o igual a 20 km/h; condición que fue cumplida en nuestros recorridos.

Luego de identificar los datos que representan las singularidades, procedemos a remplazarlos por el promedio del dato superior e inferior. Tal como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 3:
eIRI sin singularidades, Carril derecho – Viaje 1

N°	Latitud	Longitud	Distancia(m)	V. (km/h)	Alt. (m)	eIRI	cIRI
114	-7.17858496434715	-78.4565739232408	1140	57.76	2657	1.98	1.89
115	-7.17858864864718	-78.4565721674416	1150	55.26	2657	2.01	2.87
116	-7.17865773282187	-78.4565436240644	1160	47.48	2657	1.97	2.96
117	-7.17876119127801	-78.4565002652285	1170	35.01	2657	17.53	1.86
118	-7.17881327425866	-78.4564763437722	1180	26.62	2657	12.78	4.61
119	-7.17885801597948	-78.4564559214948	1190	29.96	2657.5	8.04	7.36
120	-7.17892743642996	-78.4564239326272	1200	36.22	2657.5	2.31	4.66
121	-7.17901759254461	-78.4563761498600	1210	39.9	2657	1.95	2.29
122	-7.17911941046848	-78.4563143033329	1220	43.67	2656.5	2.04	2.36
123	-7.17922098003914	-78.4562496795150	1230	42.84	2655.5	17.3	3.84
124	-7.17930468211922	-78.4561770990539	1240	39.6	2655	17.48	4.76
125	-7.17937864133108	-78.4560858537940	1250	39.6	2655	17.48	4.76
126	-7.17938107144708	-78.4560826982702	1260	41.6	2655	3.44	4.11
127	-7.17940766445637	-78.4560502026523	1270	45.08	2654	3.26	3.22
128	-7.17949999177460	-78.4559367401782	1280	45.67	2652.5	2.42	2.92
129	-7.17958455552168	-78.4558262593044	1290	43.34	2651.5	2.91	3.24
130	-7.17965419433809	-78.4557346074190	1300	38.64	2650.5	14.38	4.94
131	-7.17971292930995	-78.4556712351913	1310	32.7	2650	8.26	7.06
132	-7.17975926098105	-78.4556164195995	1320	33.01	2649.5	2.14	4.84
133	-7.17981562296767	-78.4555523296713	1330	38.58	2648.5	2.16	2.29
134	-7.17988776425418	-78.4554691863720	1340	42.46	2648	2.48	2.5

En la tabla tenemos los datos que representan las singularidades (resaltados de color rojo) promediadas. Siendo el valor 12.78 el resultado de promediar 17.53 y 8.04, mientras que el valor 8.26 resulta de promediar 14.38 y 2.14.

En las tablas anteriores; sólo se muestra parte de los datos obtenidos. Teniendo los datos completos en el **Anexo 4**. Para seguir con el procesamiento de estos datos se

tendrá que agrupar y promediar en tramos de 400 m, así podemos homogenizar con los tramos del rugosímetro Merlin. Esto nos permitirá realizar la comparación de ambos métodos, analizar la variación tanto en tablas como en gráficos, ayudando a una correcta interpretación.

2.5. Aspectos éticos

Esta investigación trae beneficios para la sociedad porque a través de procedimientos y medición de parámetros establecidos en la normativa correspondiente se consiguió realizar los ensayos, confiando en el recurso humano con el que se contó. Así mismo se tuvo un compromiso con el tema de investigación para obtener resultados correctos, representar un aporte y servir como antecedente de estudio para dicha carretera.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Ubicación del tramo en estudio

3.1.1. Ubicación Política

País : Perú

Región : Cajamarca

Departamento : Cajamarca

Provincia : Cajamarca

Distrito : Baños del Inca - Llacanora

3.1.2. Ubicación Geográfica

El tramo en estudio de la carretera Baños del Inca – Llacanora cuenta con 5.080 km.

Es una carretera de tercera clase y pertenece a la Red Vial Vecinal CA 1494.

TABLA 4:
Coordenadas que delimitan el tramo en estudio

Progresiva (Km)	Progresiva (km)	Coordenadas Geográficas Latitud	Coordenadas Geográficas Longitud	Coordenadas UTM Este (m)	Coordenadas UTM Norte (m)	zona	Elevación (msnm)
Baños del Inca (cruce Shaullo)	km 0 + 000	7°10'7.10"S	78°27'26.21"O	780833.9	9206830.6	17 M	2680
Llacanora	km 5 + 080	7°11'36.12"S	78°25'41.67"O	784027.8	9204076.4	17 M	2622

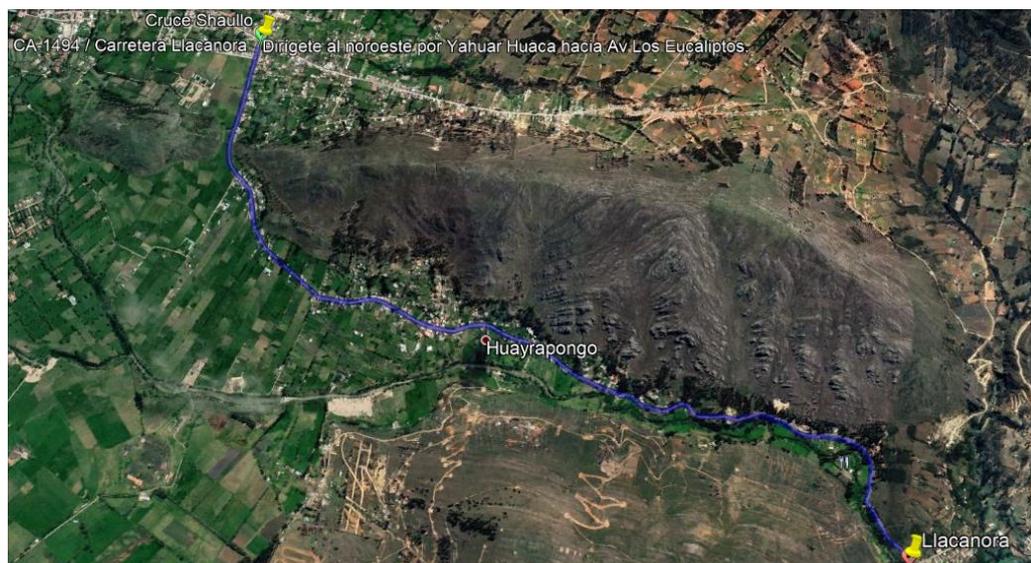


FIGURA 23: Ubicación del tramo en estudio; Fuente: Google Earth

3.2. Resultados obtenidos con el rugosímetro Merlin

3.2.1. Resultados Carril derecho desde Km 0+000 hasta el Km 5+080

3.2.1.1. Ensayo N° 1 Carril Derecho Km 0+000 hasta el Km 0+400

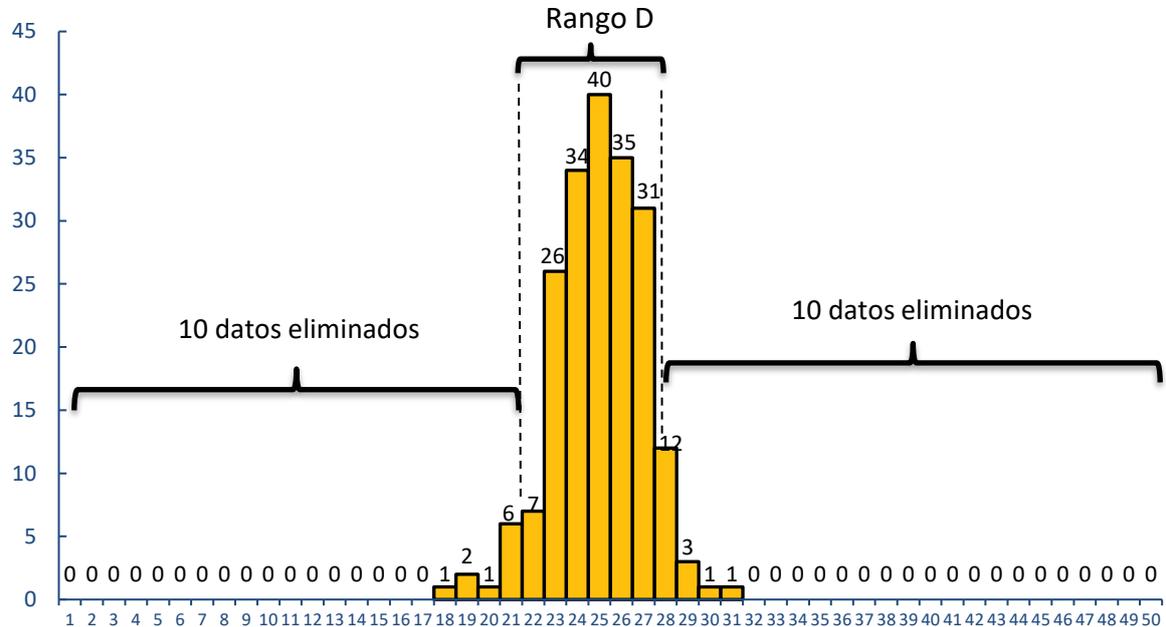


GRÁFICO 1: Histograma del ensayo N° 1 carril Derecho Km 0+000m – 0+400m.

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 25 mm con un total de 40 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 18, 20, 30 y 31. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 21 tenemos los 10 datos; del intervalo 50 al 29 tenemos 5 datos y del intervalo 28 deberemos eliminar 5 más, que origina una fracción $7/12 = 0.583$. En consecuencia, tenemos un rango “D” = $6 + 0.58 = 6.58$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($6.58 \times 5\text{mm} = 32.90$).

TABLA 5:
Muestra 01 carril derecho, km 0+000 m – km 0+400 m

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	32.90	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	28.656 ≈ 28.66	mm
R en valores IRI	1.39	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.1.2. Ensayo N° 2 Carril Derecho Km 0+400 hasta el Km 0+800

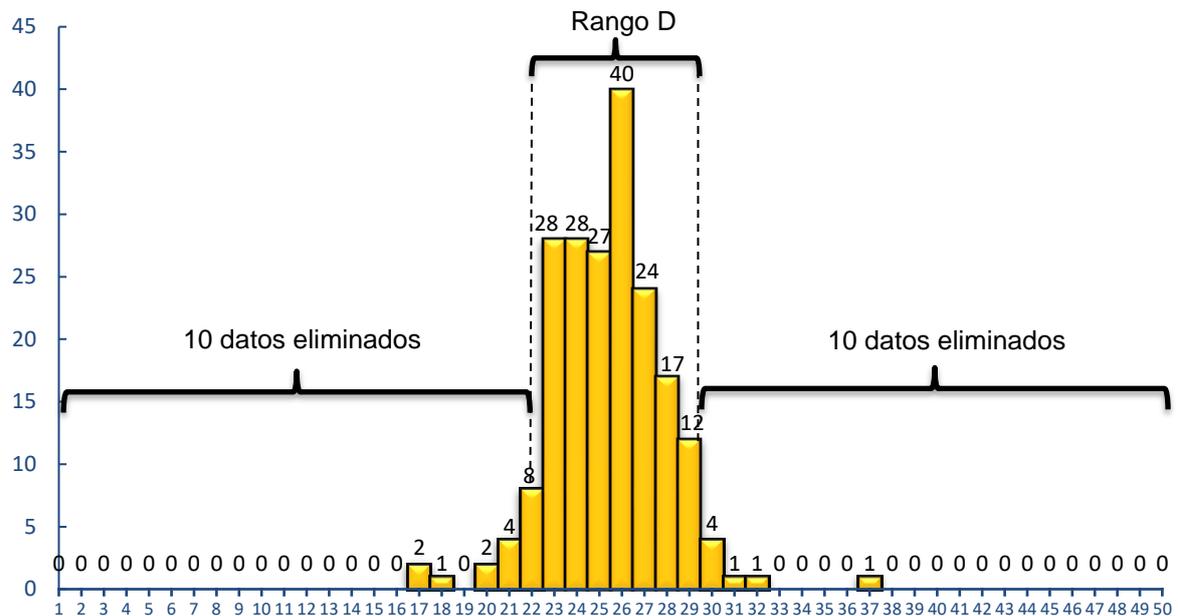


GRÁFICO 2: Histograma del ensayo N° 2 carril Derecho Km 0+400m – 0+800m.

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 26 mm con un total de 40 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 18, 31, 32 y 37. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 21 tenemos 09 datos y del intervalo 22 eliminaremos 1 más, que origina una fracción $7/8=0.875$; del intervalo 50 al 30 tenemos 7 datos y del intervalo 29 deberemos

eliminar 3 más, que origina una fracción $9/12 = 0.750$. En consecuencia tenemos un rango “D” = $6 + 0.875 + 0.750 = 7.63$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($7.63 \times 5\text{mm} = 38.15$).

TABLA 6:
Muestra 02 carril derecho, km 0 + 400 m – km 0 + 800 m

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	38.15	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$33.229 \approx 33.23$	mm
R en valores IRI	1.61	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.1.3. Ensayo N° 3 Carril Derecho Km 0+800 hasta el Km 1+200

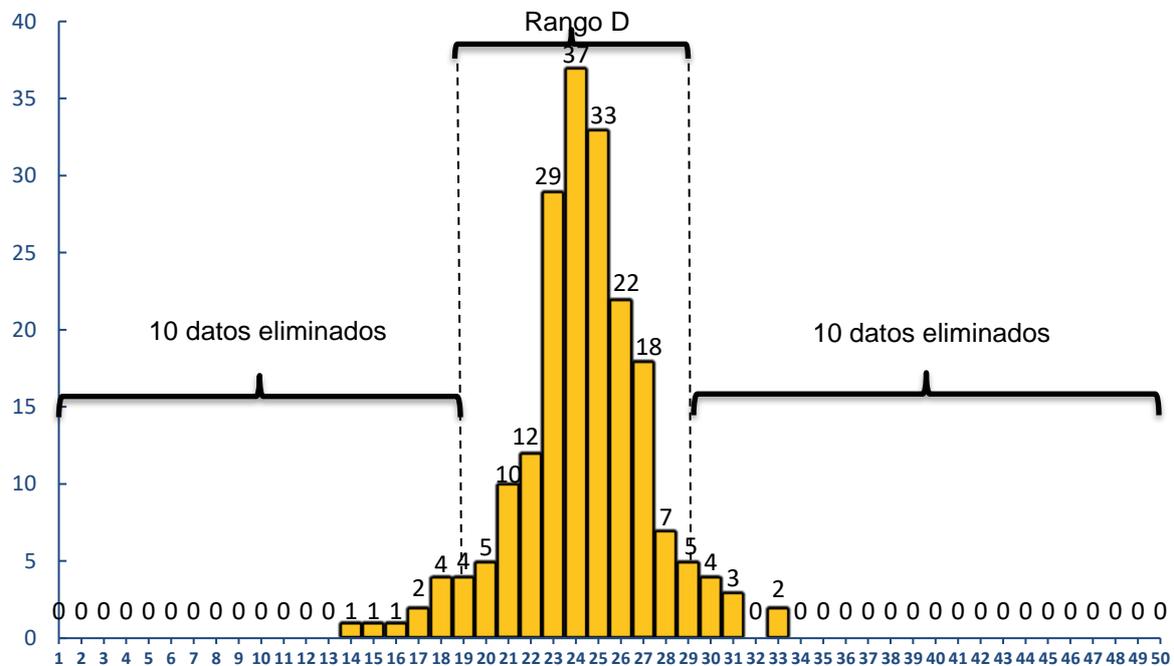


GRÁFICO 3: Histograma del ensayo N° 3 carril Derecho Km 0+800m – 1+200m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 24 mm con un total de 37 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 14, 15 y

16. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 18 tenemos los 9 datos y del intervalo 19 eliminaremos 1 más, que origina una fracción $3/4=0.750$; del intervalo 50 al 28 tenemos 9 datos y del intervalo 29 deberemos eliminar 1 más, que origina una fracción $4/5= 0.80$. En consecuencia tenemos un rango “D”= $9 + 0.75 + 0.80= 10.55$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($10.55 \times 5\text{mm}= 52.75$).

TABLA 7:
Muestra 03 carril derecho, km 0 + 800m – km 1 + 200 m

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	52.75	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$45.945 \approx 45.95$	mm
R en valores IRI	2.23	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.1.4. Ensayo N° 4 Carril Derecho Km 1+200 hasta el Km 1+600

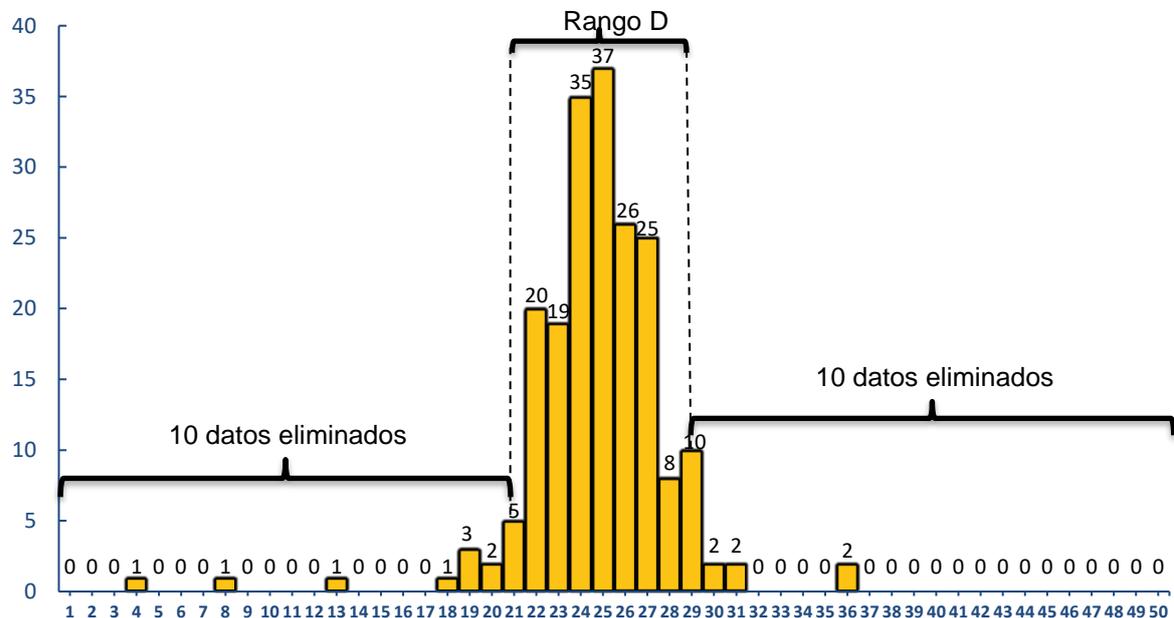


GRÁFICO 4: Histograma del ensayo N° 4 carril Derecho Km 1+200m – 1+600m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y

elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 25 mm con un total de 37 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 4, 8, 13 y 18. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 20 tenemos los 9 datos y del intervalo 21 deberemos eliminar 1 más, que origina una fracción $4/5 = 0.80$; del intervalo 50 al 30 tenemos 6 datos y del intervalo 29 deberemos eliminar 4 más, que origina una fracción $6/10 = 0.60$. En consecuencia tenemos un rango “D” = $7 + 0.80 + 0.40 = 8.40$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($8.40 \times 5\text{mm} = 42.00$).

TABLA 8:
Muestra 04 carril derecho, km 1 + 200 m – km 1 + 600 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	42.00	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$36.582 \approx 36.58$	mm
R en valores IRI	1.77	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.1.5. Ensayo N° 5 Carril Derecho Km 1+600 hasta el Km 2+000

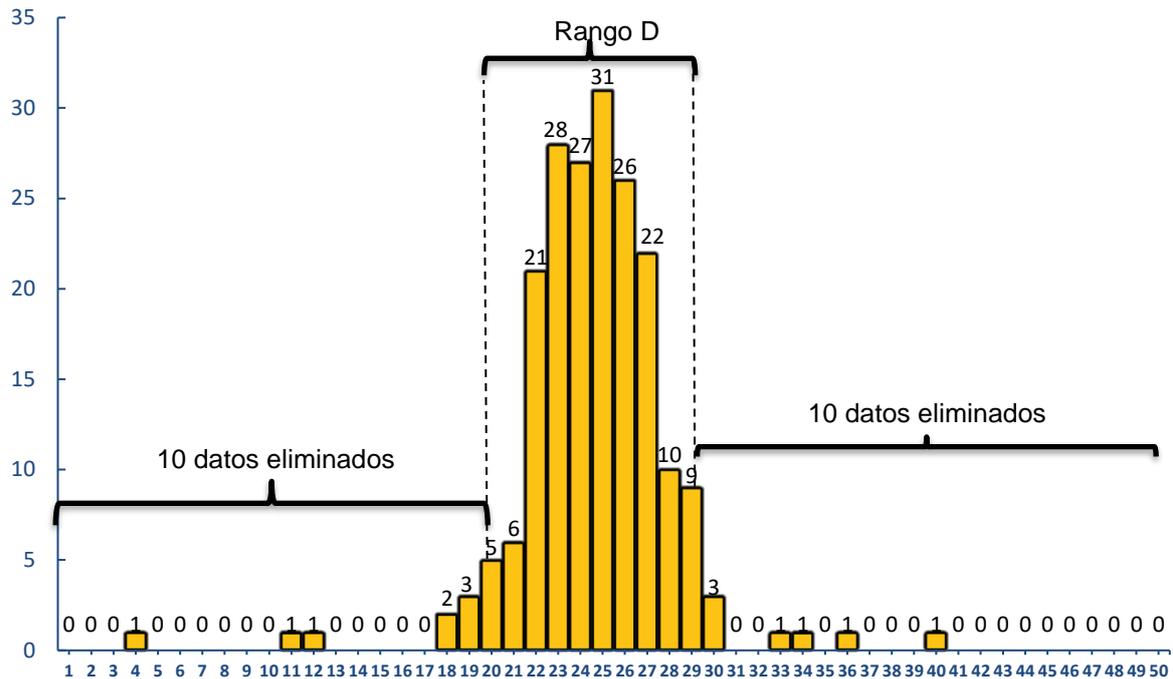


GRÁFICO 5: Histograma del ensayo N° 5 carril Derecho Km 1+600m – 2+000m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango

“D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 25 mm con un total de 31 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 4, 11, 12, 33, 34, 36 y 40. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 19 tenemos los 8 y del intervalo 20 debemos eliminar 2 datos más, que origina un fracción $3/5 = 0.60$; del intervalo 50 al 30 tenemos 7 datos y del intervalo 29 deberemos eliminar 3 más, que origina una fracción $6/9 = 0.667$. En consecuencia tenemos un rango “D” = $8 + 0.60 + 0.667 = 9.267$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($9.267 \times 5\text{mm} = 46.34$).

TABLA 9:
Muestra 05 carril derecho, km 1 + 600 m – km 2 + 000 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	46.34	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	40.358 ≈ 40.36	mm
R en valores IRI	1.96	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.1.6. Ensayo N° 6 Carril Derecho Km 2+000 hasta el Km 2+400

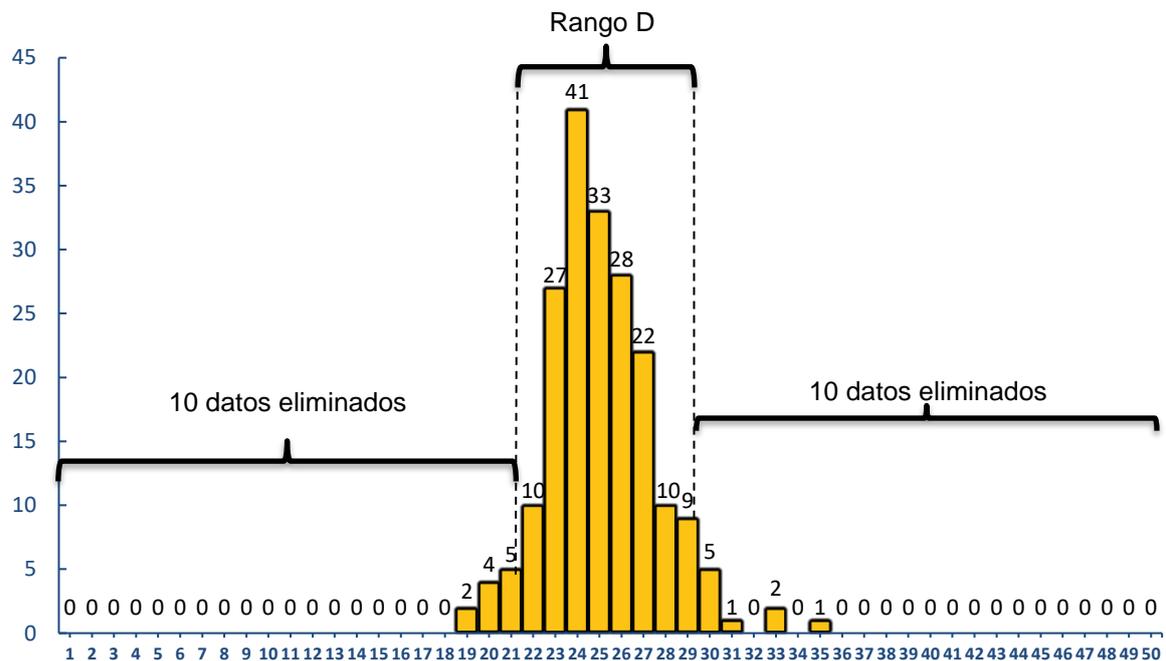


GRÁFICO 6: Histograma del ensayo N° 6 carril Derecho Km 2+000m – 2+400m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 24 mm con un total de 41 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 31 y 35. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 20 tenemos los 6 datos y del intervalo 21 deberemos eliminar 4 datos más, que

origina una fracción $1/5 = 0.20$; del intervalo 50 al 30 tenemos 9 datos y del intervalo 29 deberemos eliminar 1 más, que origina una fracción $8/9 = 0.889$. En consecuencia tenemos un rango “D” = $7 + 0.20 + 0.889 = 8.089$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($8.089 \times 5\text{mm} = 40.45$).

TABLA 10:

Muestra 06 carril derecho, km 2 + 000 m – km 2 + 400 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	40.45	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$35.228 \approx 35.23$	mm
R en valores IRI	1.71	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.1.7. Ensayo N° 7 Carril Derecho Km 2+400 hasta el Km 2+800

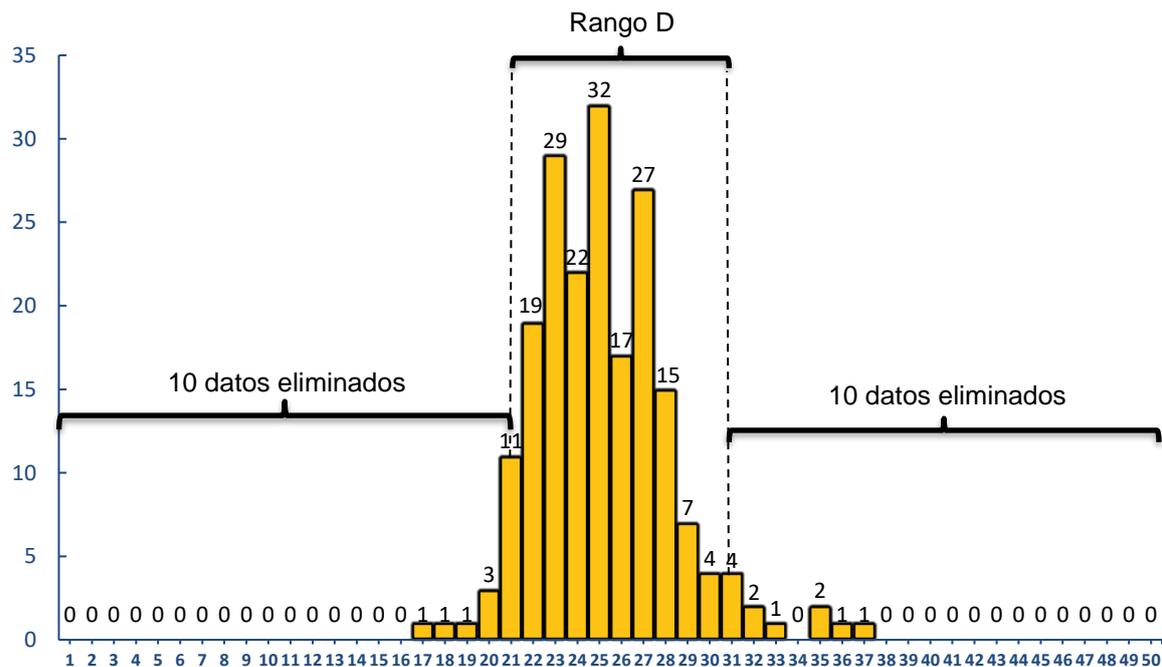


GRÁFICO 7: Histograma del ensayo N° 7 carril Derecho Km 2+400m – 2+800m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de

veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 25 mm con un total de 32 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 17, 18, 19, 33, 36 y 37. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 20 tenemos los 6 datos y del intervalo 21 deberemos eliminar 4 más, generando una fracción $7/11 = 0.636$; del intervalo 50 al 32 tenemos 7 datos y del intervalo 31 deberemos eliminar 3 más, que origina una fracción $1/4 = 0.25$. En consecuencia tenemos un rango “D” = $9 + 0.636 + 0.25 = 9.886$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($9.886 \times 5\text{mm} = 49.43$).

TABLA 11:
Muestra 07 carril derecho, km 2 + 400 m – km 2 + 800 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	49.43	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$43.054 \approx 43.05$	mm
R en valores IRI	2.09	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.1.8. Ensayo N° 8 Carril Derecho Km 2+800 hasta el Km 3+200

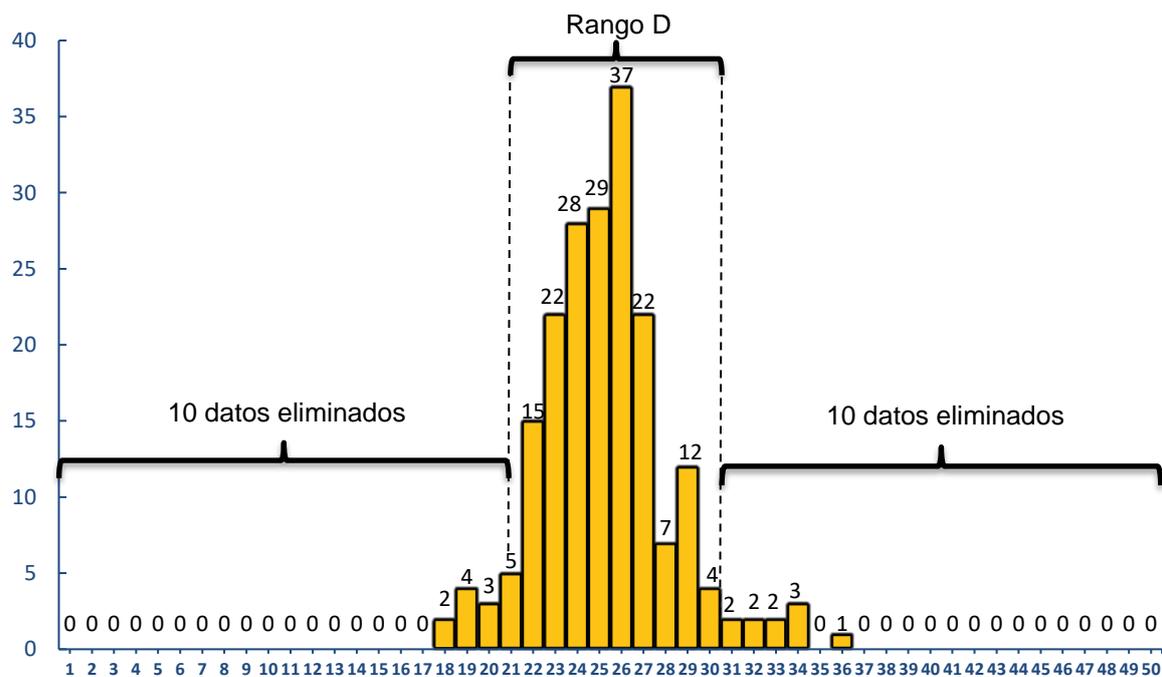


GRÁFICO 8: Histograma del ensayo N° 8 carril Derecho Km 2+800m – 3+200m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 26 mm con un total de 37 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 36. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 20 tenemos 9 datos y del intervalo 21 deberemos eliminar 1 más, que origina una fracción $\frac{4}{5} = 0.80$; del intervalo 50 al 31 tenemos 10 datos. En consecuencia tenemos un rango “D”= $9 + 0.80 = 9.80$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($9.80 \times 5\text{mm} = 49.00$).

TABLA 12:

Muestra 08 carril derecho, km 2 + 800 m – km 3 + 200 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	49.00	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$42.679 \approx 42.68$	mm
R en valores IRI	2.07	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.1.9. Ensayo N° 9 Carril Derecho Km 3+200 hasta el Km 3+600

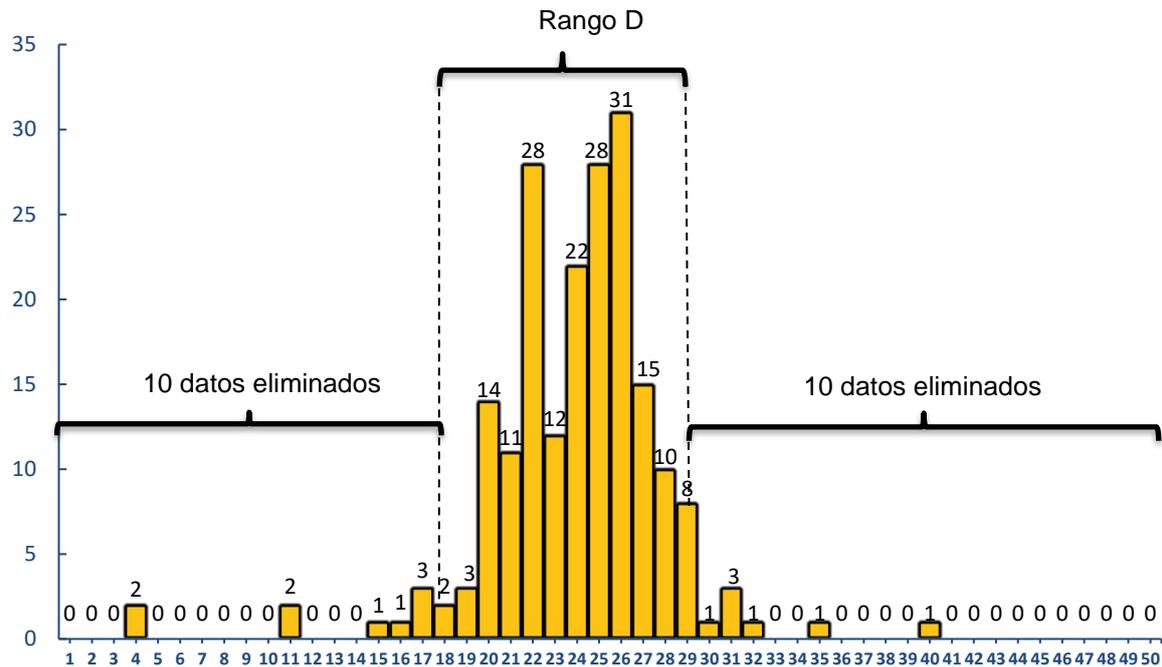


GRÁFICO 9: Histograma del ensayo N° 9 carril Derecho Km 3+200m – 3+600m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 26 mm con un total de 31 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 15, 16, 30, 32, 35 y 40. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 17 tenemos los 9 datos y del intervalo 18 deberemos eliminar 1 más, que origina la fracción $1/2 = 0.50$; del intervalo 50 al 30 tenemos 7 datos y del intervalo 29 deberemos eliminar 3 más, que origina una fracción $5/8 = 0.625$. En consecuencia tenemos un rango “D” = $10 + 0.50 + 0.625 = 11.125$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($11.125 \times 5\text{mm} = 55.63$).

TABLA 13:
Muestra 09 carril derecho, km 3 + 200 m – km 3 + 600 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	55.63	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	48.449 ≈ 48.45	mm
R en valores IRI	2.35	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.1.10. Ensayo N° 10 Carril Derecho Km 3+600 hasta el Km 4+000

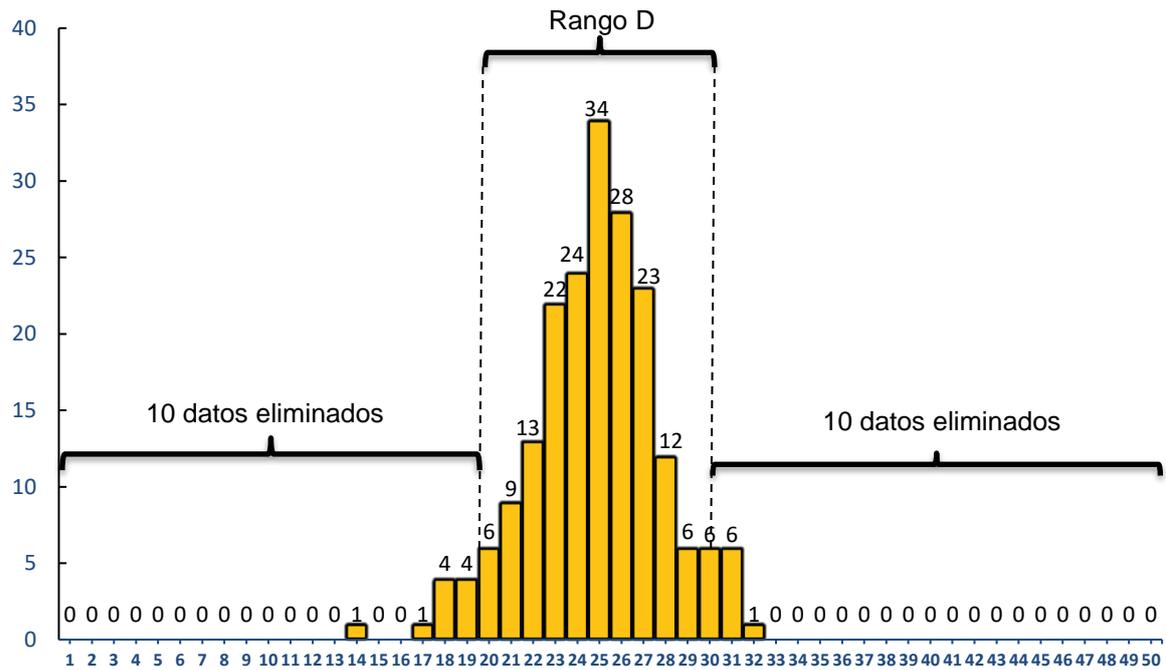


GRÁFICO 10: Histograma del ensayo N° 10 carril Derecho Km 3+600m – 4+000m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 25 mm con un total de 34 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 14, 17 y 32. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 19 tenemos los 10 datos; del intervalo 50 al 31 tenemos 7 datos y del intervalo 30 deberemos eliminar 3 más, que origina una fracción $3/6 = 0.50$. En consecuencia

tenemos un rango “D”= $10 + 0.50 = 10.50$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($10.50 \times 5\text{mm} = 52.50$).

TABLA 14:
Muestra 10 carril derecho, km 3 + 600 m – km 4 + 000 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	52.50	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$45.728 \approx 45.73$	mm
R en valores IRI	2.22	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.1.11. Ensayo N° 11 Carril Derecho Km 4+000 hasta el Km 4+400

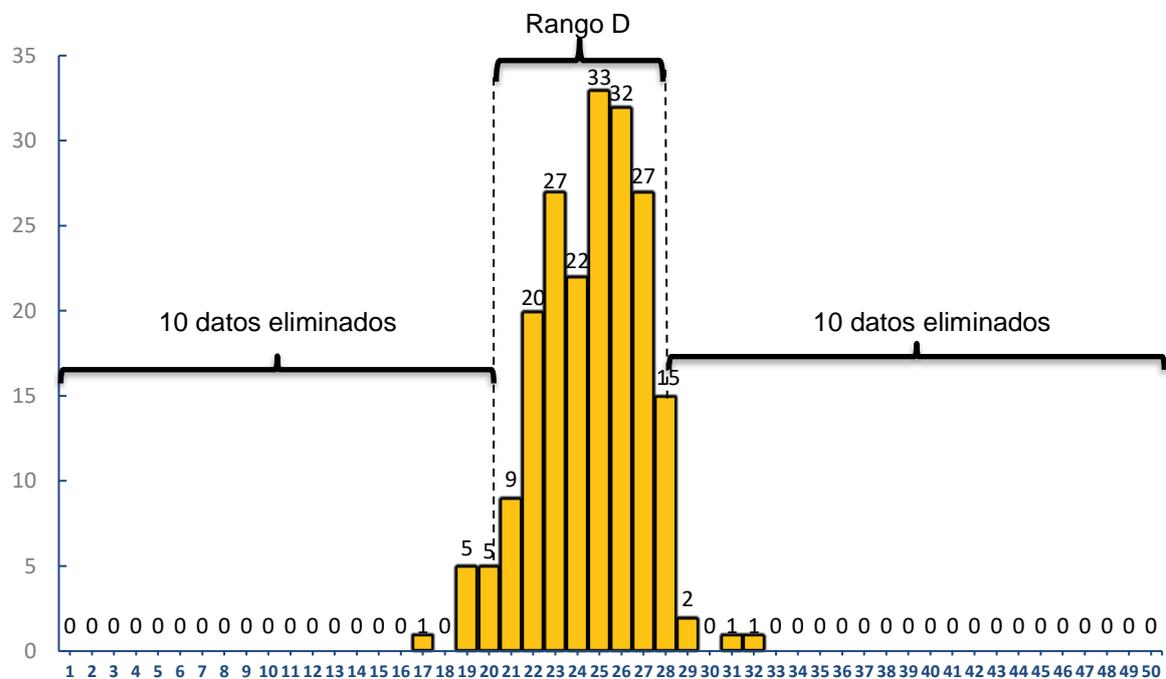


GRÁFICO 11: Histograma del ensayo N° 11 carril Derecho Km 4+000m – 4+400m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 25 mm con un total de 33 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 17, 31 y

32. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 19 tenemos 6 datos y del intervalo 20 deberemos eliminar 4 más, que origina la fracción $1/5 = 0.20$; del intervalo 50 al 29 tenemos 4 datos y del intervalo 28 deberemos eliminar 6 más, que origina una fracción $9/15 = 0.60$. En consecuencia tenemos un rango “D” = $7 + 0.20 + 0.60 = 7.80$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($7.80 \times 5\text{mm} = 39.00$).

TABLA 15:

Muestra 11 carril derecho, Km 4 + 000 m – Km 4 + 400 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	39.00	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$33.969 \approx 33.97$	mm
R en valores IRI	1.65	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.1.12. Ensayo N° 12 Carril Derecho Km 4+400 hasta el Km 4+800

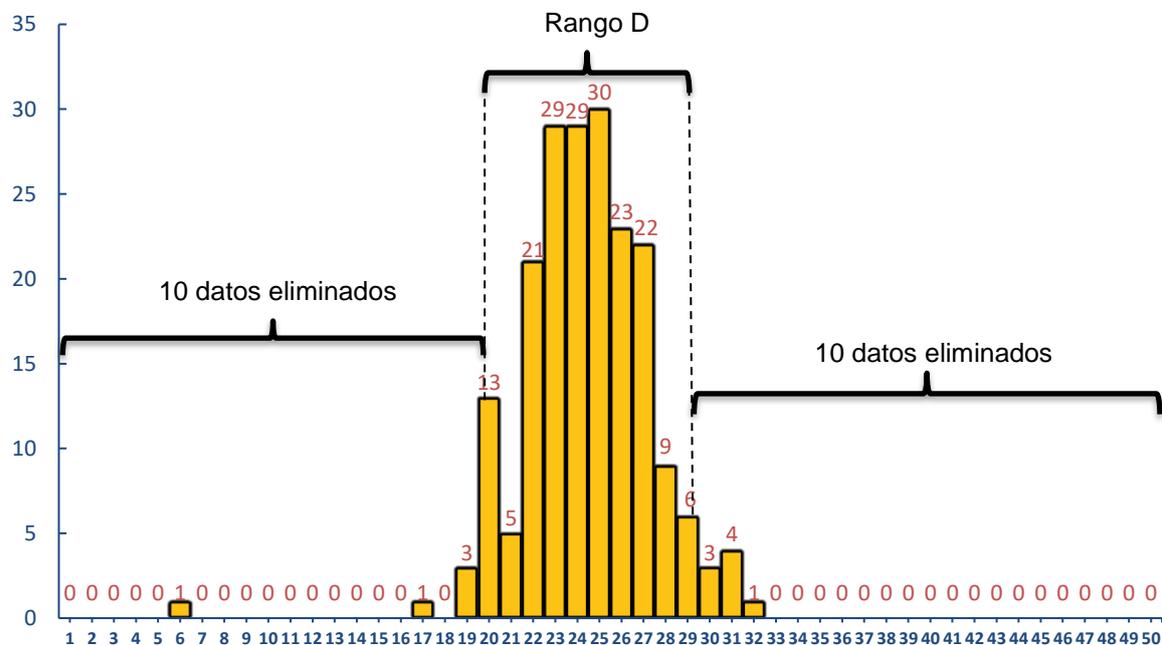


GRÁFICO 12: Histograma del ensayo N° 12 carril Derecho Km 4+400m – 4+800m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 25 mm con un total de 30 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 6, 17 y 32. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 19 tenemos 5 datos y del intervalo 20 deberemos eliminar 5 más, que origina la fracción $8/13 = 0.615$; del intervalo 50 al 30 tenemos 8 datos y del intervalo 29 deberemos eliminar 2 más, que origina una fracción $4/6 = 0.667$. En consecuencia tenemos un rango “D” = $8 + 0.615 + 0.667 = 9.282$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($9.282 \times 5\text{mm} = 46.41$).

TABLA 16:

Muestra 12 carril derecho, km 4 + 400 m – km 4 + 800 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	46.41	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$40.423 \approx 40.42$	mm
R en valores IRI	1.96	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.1.13. Ensayo N° 13 Carril Derecho Km 4+800 hasta el Km 5+080

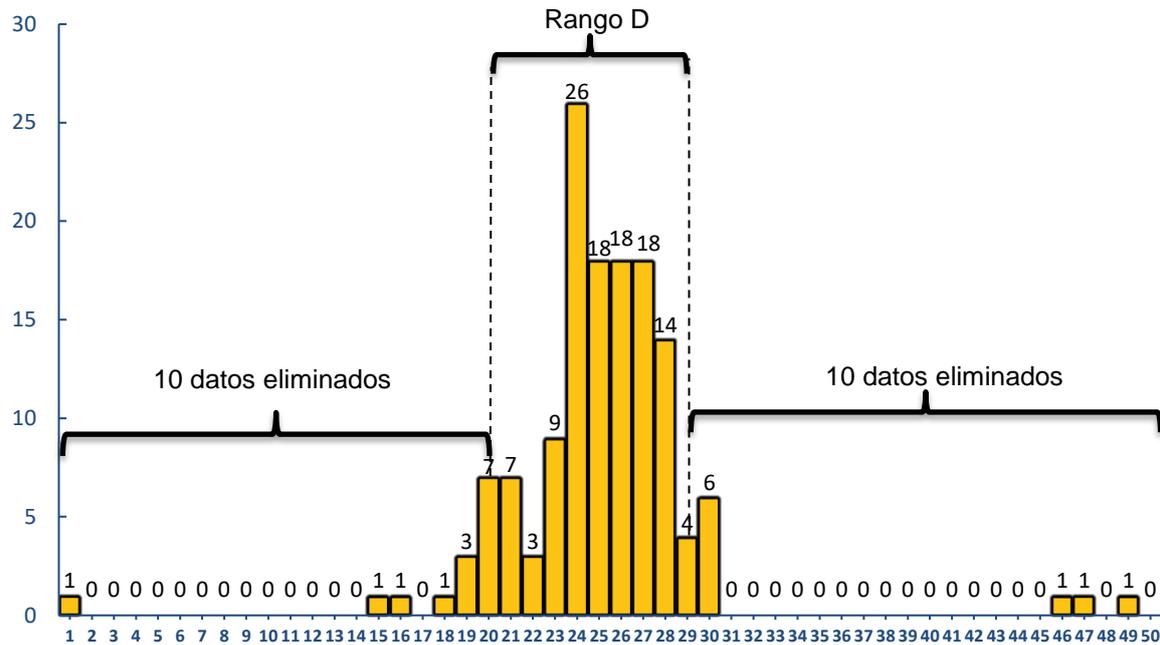


GRÁFICO 13: Histograma del ensayo N° 13 carril Derecho Km 4+800m – 5+080m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 24 mm con un total de 26 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 1, 15, 16, 18, 46, 47 y 49. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 19 tenemos 7 datos; del intervalo 50 al 31 tenemos 3 datos y del intervalo 30 deberemos eliminar 4 más, que origina una fracción $2/6 = 0.333$. En consecuencia tenemos un rango “D” = $10 + 0.333 = 10.333$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($10.333 \times 5\text{mm} = 51.67$).

TABLA 17:
Muestra 13 carril derecho, km 4 + 800 m – km 5 + 080 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	51.67	Mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	45.00	Mm
R en valores IRI	2.18	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.2. Resultados Carril izquierdo desde Km 0+000 hasta el Km 5+080

3.2.2.1. Ensayo N° 1 Carril Izquierdo Km 0+000 hasta el Km 0+400

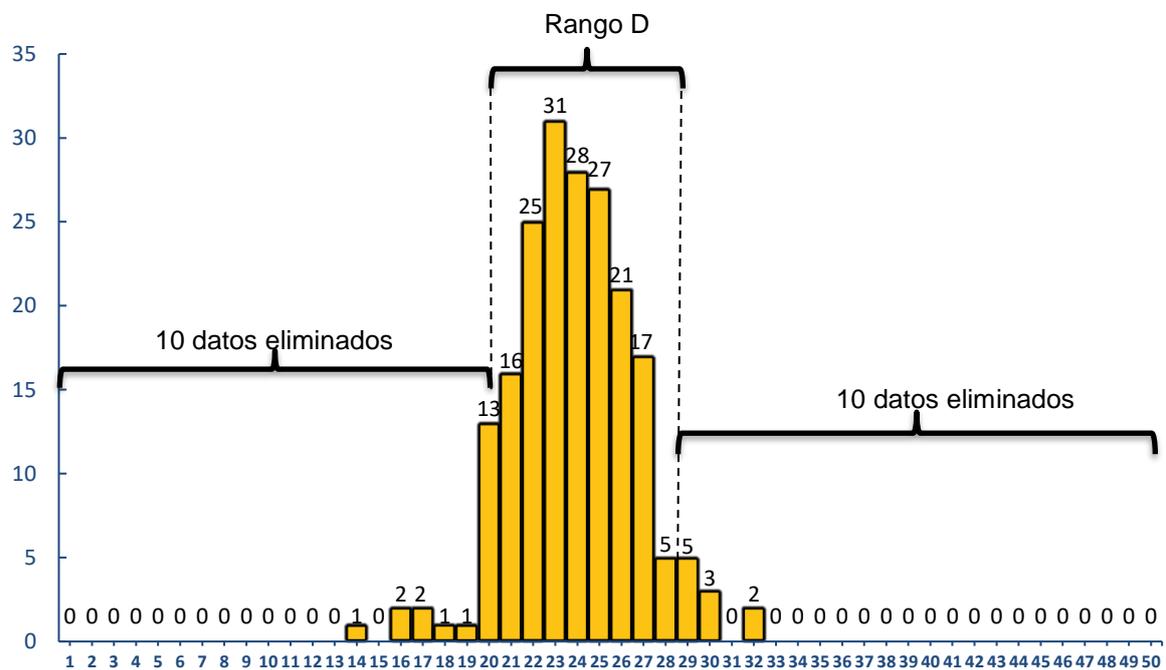


GRÁFICO 14: Histograma del ensayo N° 1 carril izquierdo Km 0+000m – 0+400m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 23 mm con un total de 31 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 14, 18 y 19. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 19 tenemos 7 datos y del intervalo 20 deberemos eliminar 3 más, que

origina una fracción $10/13 = 0.769$; del intervalo 50 al 29 tenemos 10 datos. En consecuencia tenemos un rango “D” = $8 + 0.679 = 8.679$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($8.679 \times 5\text{mm} = 43.85$).

TABLA 18:
Muestra 01 carril izquierdo, km 0 + 000 m – km 0 + 400 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	43.85	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$38.189 \approx 39.19$	mm
R en valores IRI	1.85	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.2.2. Ensayo N° 2 Carril Izquierdo Km 0+400 hasta el Km 0+800

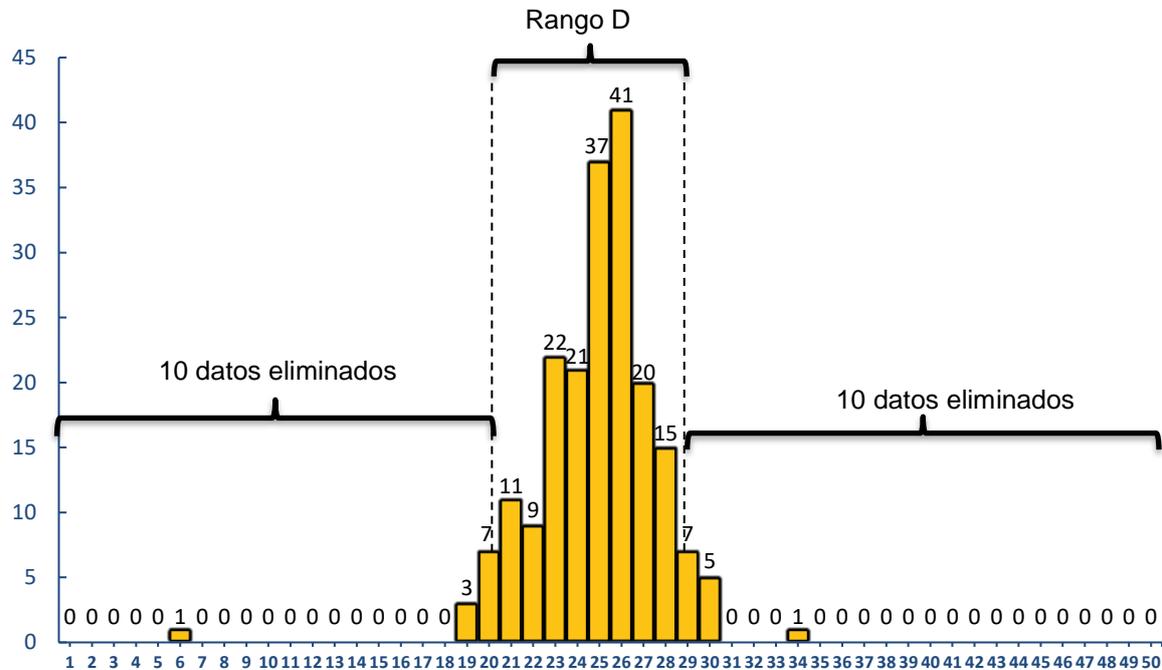


GRÁFICO 15: Histograma del ensayo N° 2 carril izquierdo Km 0+400m – 0+800m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el

valor 26 mm con un total de 41 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 6 y 34. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 19 tenemos 4 datos y del intervalo 20 deberemos eliminar 6 más, que origina una fracción $1/7 = 0.143$; del intervalo 50 al 30 tenemos 6 datos y del intervalo 29 deberemos eliminar 4 más, que origina una fracción $3/7 = 0.429$. En consecuencia tenemos un rango “D” = $8 + 0.143 + 0.429 = 8.572$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($8.572 \times 5\text{mm} = 42.86$).

TABLA 19:
Muestra 02 carril izquierdo, km 0 + 400 m – km 0 + 800 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	42.86	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$37.331 \approx 37.33$	mm
R en valores IRI	1.81	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.2.3. Ensayo N° 3 Carril Izquierdo Km 0+800 hasta el Km 1+200

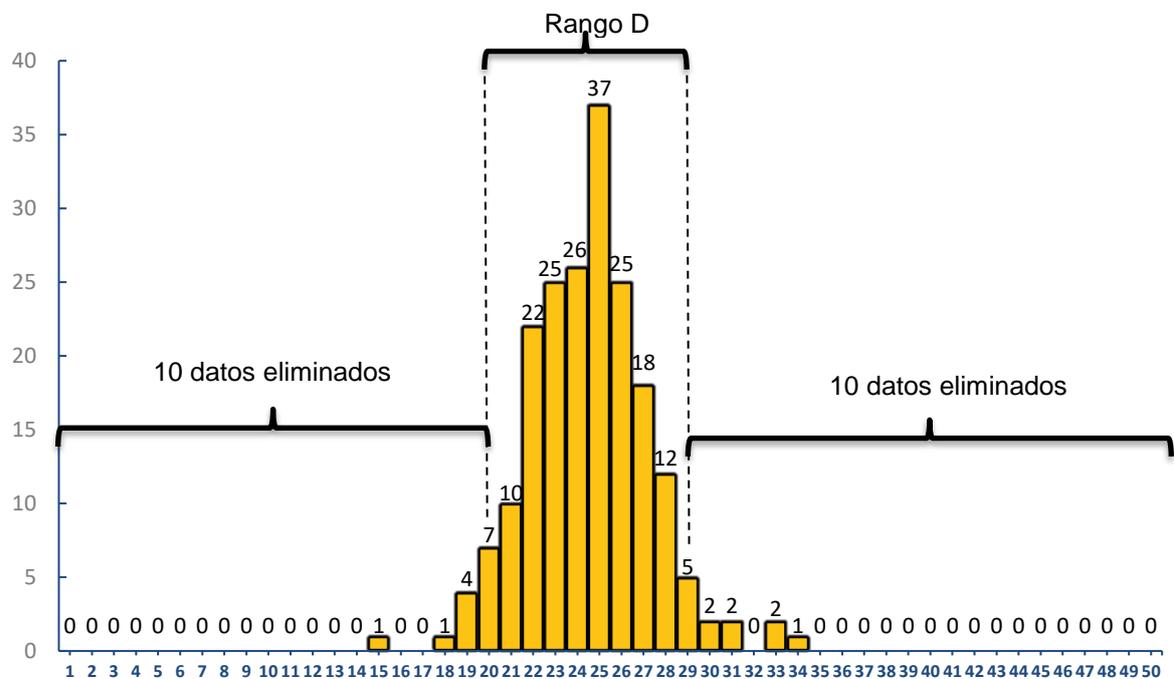


GRÁFICO 16: Histograma del ensayo N° 3 carril izquierdo Km 0+800m – 1+200m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 25 mm con un total de 37 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 15, 18 y 34. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 19 tenemos 6 datos y del intervalo 20 deberemos eliminar 4 más, que origina una fracción $3/7 = 0.429$; del intervalo 50 al 30 tenemos 7 datos y del intervalo 29 deberemos eliminar 3 más, que origina una fracción $2/5 = 0.40$. En consecuencia tenemos un rango “D” = $8 + 0.429 + 0.40 = 8.829$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($8.829 \times 5\text{mm} = 44.15$).

TABLA 20:
Muestra 03 carril izquierdo, km 0 + 800 m – km 1 + 200 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	44.15	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	38.45	mm
R en valores IRI	1.86	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.2.4. Ensayo N° 4 Carril Izquierdo Km 1+200 hasta el Km 1+600

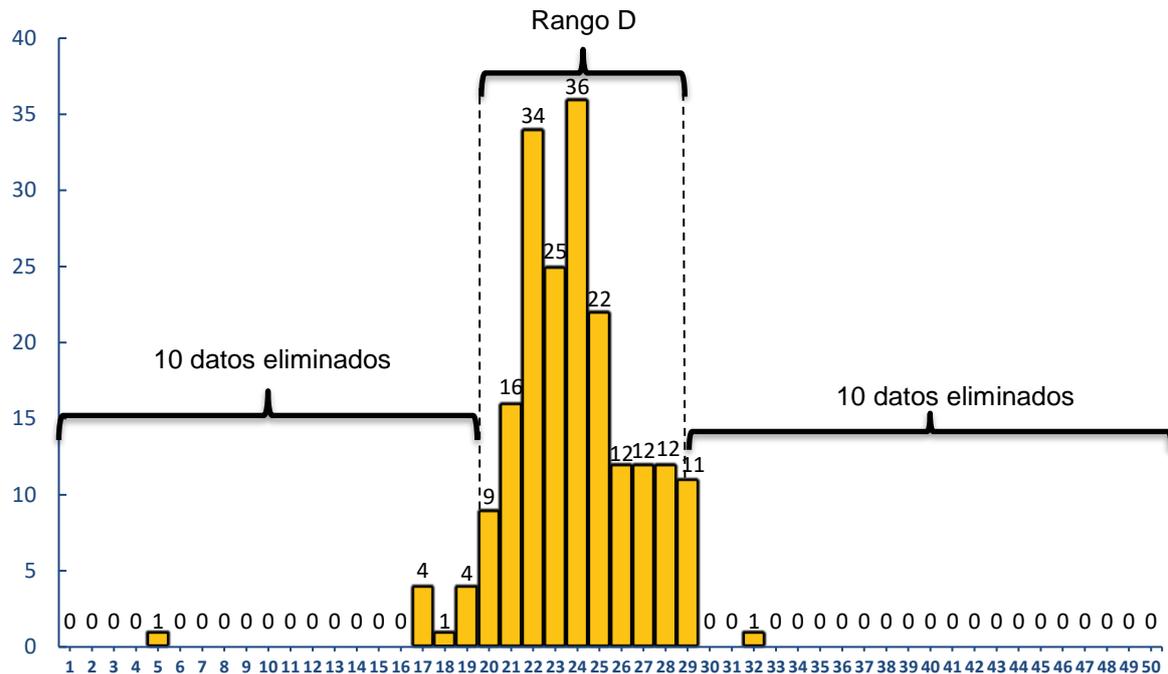


GRÁFICO 17: Histograma del ensayo N° 4 carril Izquierdo Km 1+200m – 1+600m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 24 mm con un total de 36 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 5, 18 y 32. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 19 tenemos 10 datos; del intervalo 50 al 30 tenemos 1 dato y del intervalo 29 deberemos eliminar 9 más, que origina una fracción $2/11 = 0.182$. En consecuencia tenemos un rango “D” = $9 + 0.182 = 9.182$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($9.182 \times 5\text{mm} = 45.91$).

TABLA 21:
Muestra 04 carril izquierdo, km 1 + 200 m – km 1 + 600 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	45.91	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	39.988 ≈ 39.99	mm
R en valores IRI	1.94	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.2.5. Ensayo N° 5 Carril Izquierdo Km 1+600 hasta el Km 2+000

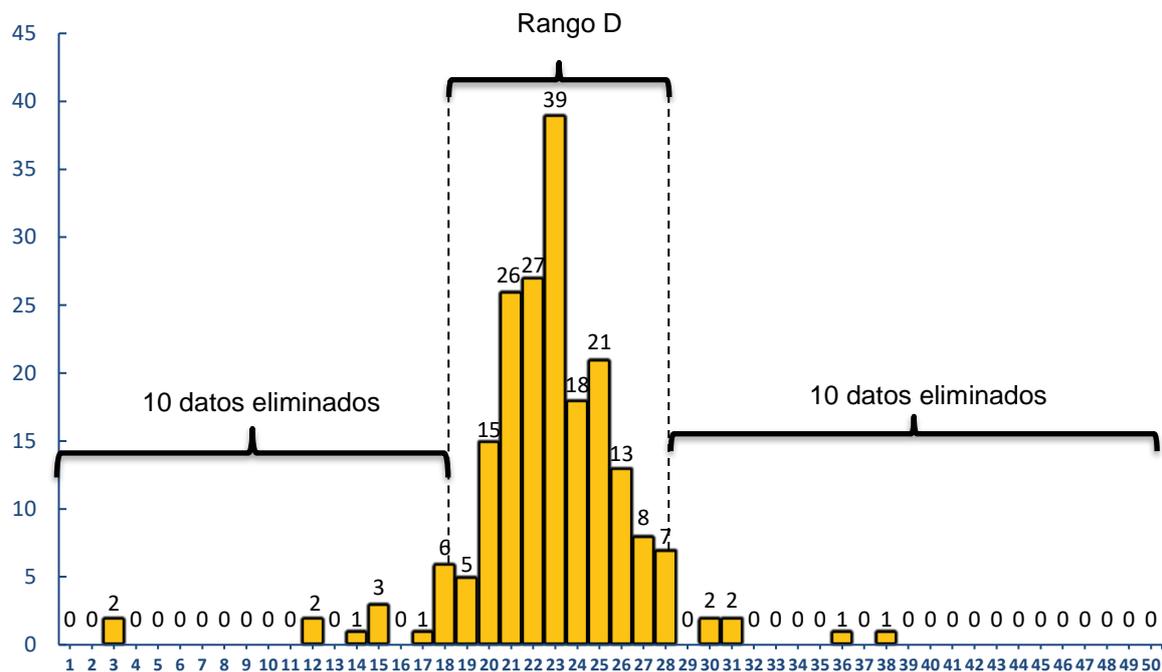


GRÁFICO 18: Histograma del ensayo N° 5 carril Izquierdo Km 1+600m – 2+000m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 23 mm con un total de 39 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 14, 17, 36 y 38. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 17 tenemos 9 datos y del intervalo 18 deberemos eliminar 1 más, que

origina una fracción $5/6 = 0.833$; del intervalo 50 al 29 tenemos 6 datos y del intervalo 28 deberemos eliminar 4 más, que origina una fracción $3/7 = 0.429$. En consecuencia tenemos un rango “D” = $9 + 0.833 + 0.429 = 10.262$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($10.262 \times 5\text{mm} = 51.31$).

TABLA 22:
Muestra 05 carril izquierdo, km 1 + 600 m – km 2 + 000 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	51.31	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$44.691 \approx 44.69$	mm
R en valores IRI	2.17	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.2.6. Ensayo N° 6 Carril Izquierdo Km 2+000 hasta el Km 2+400

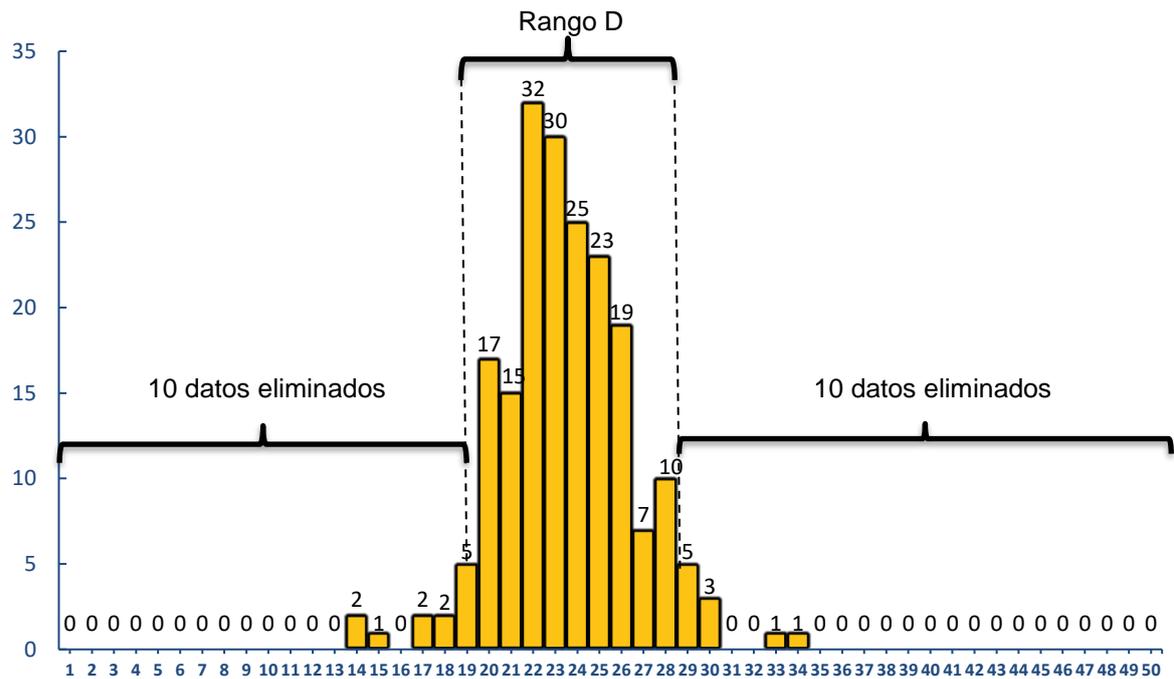


GRÁFICO 19: Histograma del ensayo N° 6 carril izquierdo Km 2+000m – 2+400m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de

veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 22 mm con un total de 32 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 15, 33 y 34. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 18 tenemos 7 datos y del intervalo 19 deberemos eliminar 3 más, que origina una fracción $2/5 = 0.40$; del intervalo 50 al 29 tenemos los 10 datos. En consecuencia, tenemos un rango “D” = $9 + 0.400 = 9.400$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($9.400 \times 5\text{mm} = 47.00$).

TABLA 23:

Muestra 06 carril izquierdo, km 2 + 000 m – km 2 + 400 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	47.00	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$40.937 \approx 40.94$	mm
R en valores IRI	1.99	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.2.7. Ensayo N° 7 Carril Izquierdo Km 2+400 hasta el Km 2+800

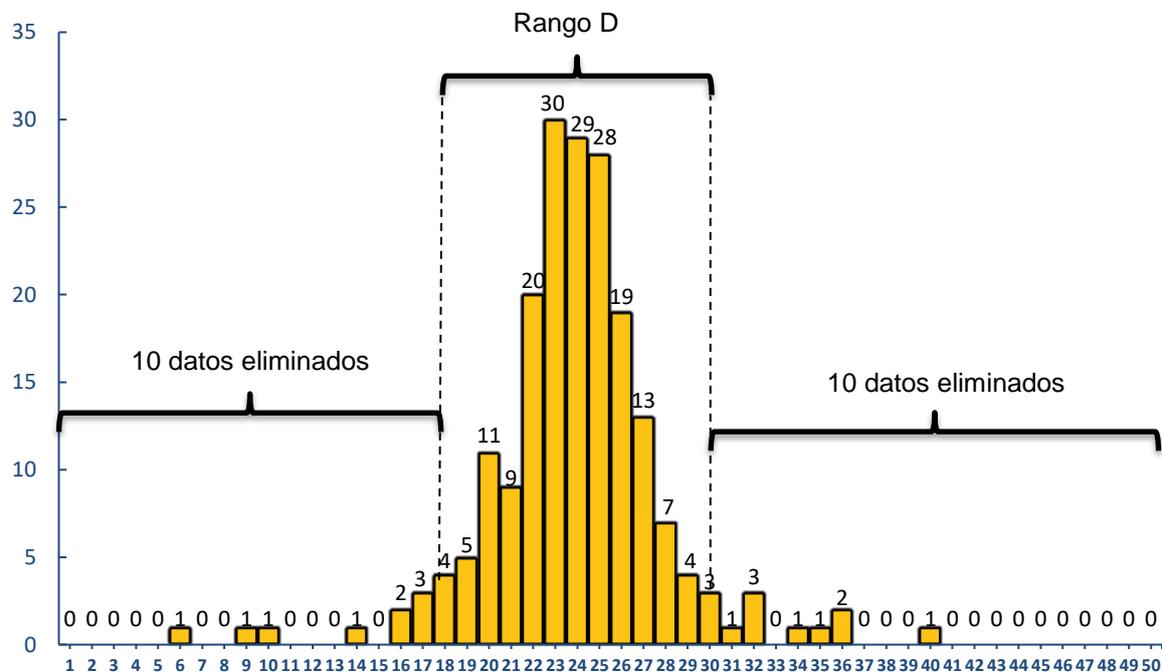


GRÁFICO 20: Histograma del ensayo N° 7 carril izquierdo Km 2+400m – 2+800m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 23 mm con un total de 30 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 6, 9, 10, 14, 31, 34, 35 y 40. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 17 tenemos 9 datos y del intervalo 18 deberemos eliminar 1 más, que origina una fracción $3/4 = 0.75$; del intervalo 50 al 31 tenemos 9 datos y del intervalo 30 deberemos eliminar 1 más, que origina la fracción $2/3 = 0.667$. En consecuencia, tenemos un rango “D” = $11 + 0.75 + 0.667 = 12.417$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($12.417 \times 5\text{mm} = 62.09$).

TABLA 24:

Muestra 07 carril izquierdo, km 2 + 400 m – km 2 + 800 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	62.09	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$54.076 \approx 54.08$	mm
R en valores IRI	3.14	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.2.8. Ensayo N° 8 Carril Izquierdo Km 2+800 hasta el Km 3+200

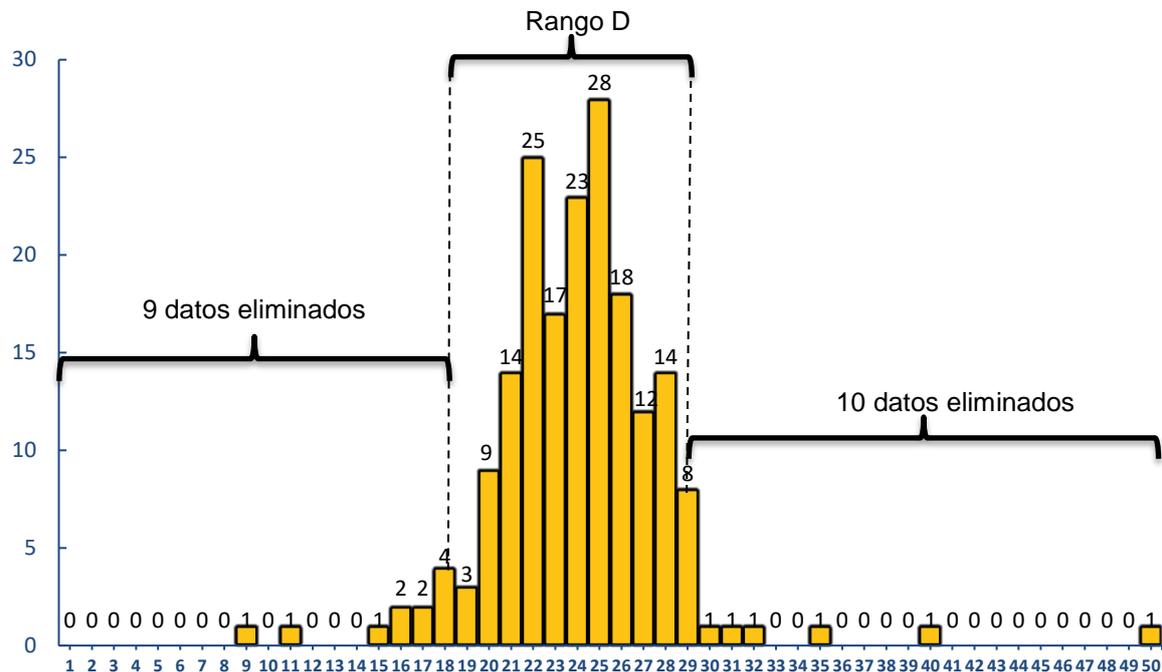


GRÁFICO 21: Histograma del ensayo N° 8 carril Izquierdo Km 2+800m – 3+200m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 25 mm con un total de 28 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 9, 11, 15, 30, 31, 32, 35, 40 y 50. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 17 tenemos 7 datos y del intervalo 18 deberemos eliminar 2 más, que origina una fracción $2/4 = 0.50$; del intervalo 50 al 30 tenemos 6 datos y del intervalo 29 deberemos eliminar 4 más, que origina la fracción $4/8 = 0.500$. En consecuencia, tenemos un rango “D” = $10 + 0.50 + 0.50 = 11.00$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($11.00 \times 5\text{mm} = 55.00$).

TABLA 25:
Muestra 08 carril izquierdo, km 2 + 800 m – km 3 + 200 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	55.00	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	47.905≈ 47.91	mm
R en valores IRI	2.32	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.2.9. Ensayo N° 9 Carril Izquierdo Km 3+200 hasta el Km 3+600

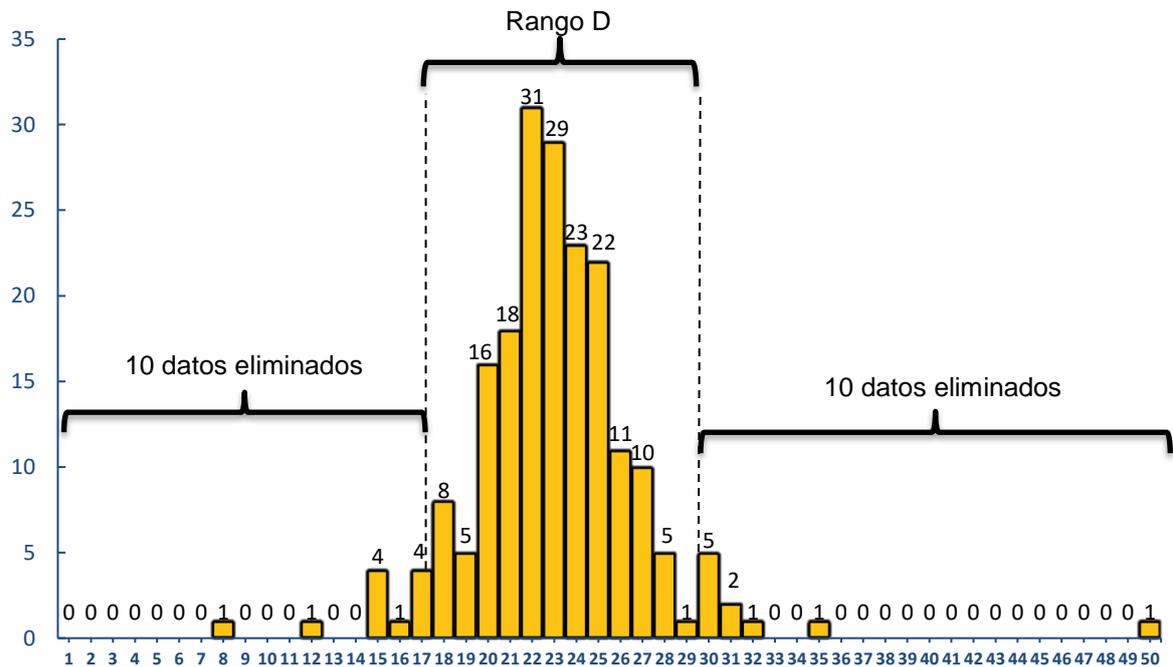


GRÁFICO 22: Histograma del ensayo N° 9 carril Izquierdo Km 3+200m – 3+600m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 24 mm con un total de 31 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 8, 12, 16, 29, 32, 35 y 50. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 16 tenemos 7 datos y del intervalo 17 deberemos eliminar 3 más, que

origina una fracción $1/4 = 0.25$; del intervalo 50 al 30 tenemos los 10 datos. En consecuencia, tenemos un rango “D” = $12 + 0.25 = 12.25$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($12.25 \times 5\text{mm} = 61.25$).

TABLA 26:
Muestra 09 carril izquierdo, km 3 + 200 m – km 3 + 600 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	61.25	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$53.349 \approx 53.35$	mm
R en valores IRI	3.48	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.2.10. Ensayo N° 10 Carril Izquierdo Km 3+600 hasta el Km 4+000

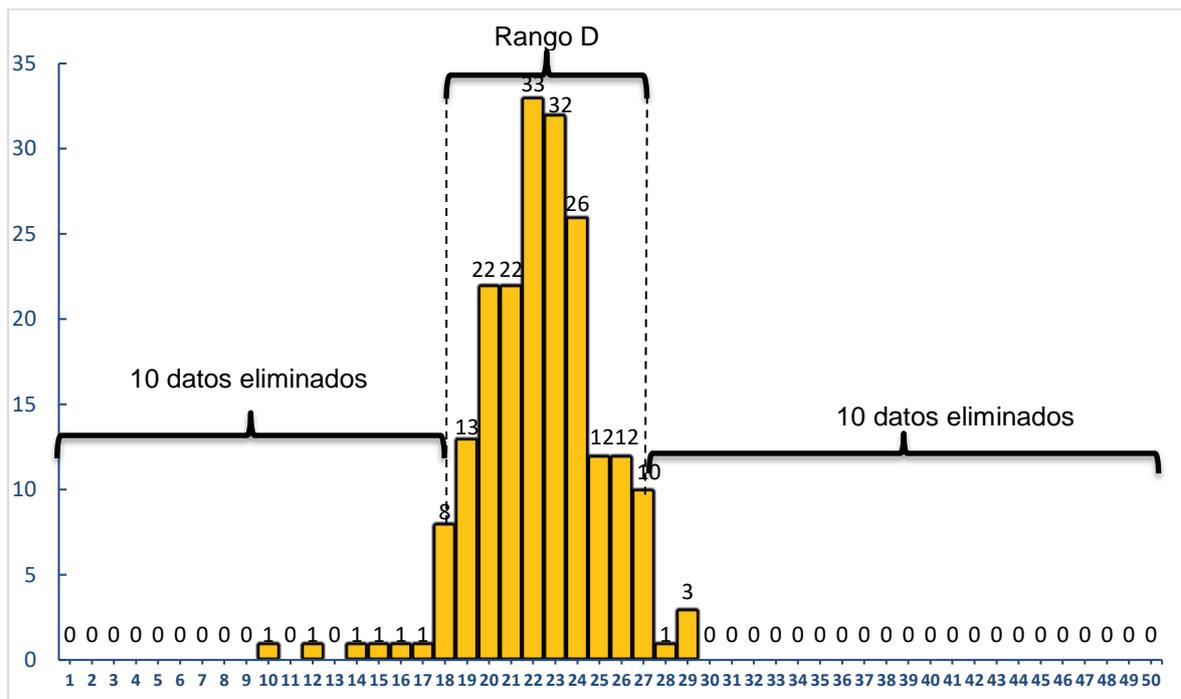


GRÁFICO 23: Histograma del ensayo N° 10 carril Izquierdo Km 3+600m – 4+000m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el

valor 22 mm con un total de 33 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 10, 12, 14, 15, 16, 17 y 28. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 17 tenemos 6 datos y del intervalo 18 deberemos eliminar 3 más, que origina una fracción $4/8 = 0.50$; del intervalo 50 al 28 tenemos 10 datos y del intervalo 27 deberemos eliminar 6 más, que origina una fracción $4/10 = 0.40$. En consecuencia, tenemos un rango “D” = $8 + 0.50 + 0.40 = 8.90$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($8.90 \times 5\text{mm} = 44.50$).

TABLA 27:

Muestra 10 carril izquierdo, km 3 + 600 m – km 4 + 000 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	44.50	Mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	38.76	Mm
R en valores IRI	1.88	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.2.11. Ensayo N° 11 Carril Izquierdo Km 4+000 hasta el Km 4+400

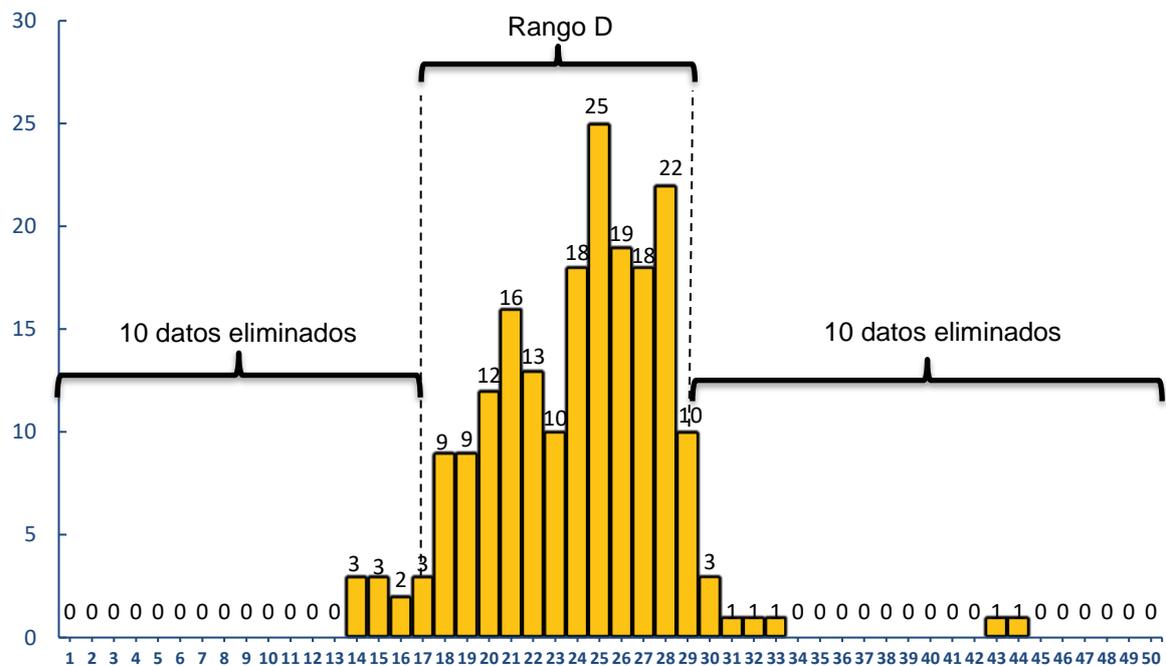


GRÁFICO 24: Histograma del ensayo N° 11 carril Izquierdo Km 4+000m – 4+400m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 25 mm con un total de 25 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 31, 32, 33, 43 y 44. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 16 tenemos 8 datos y del intervalo 17 deberemos eliminar 2 más, que origina una fracción $1/3 = 0.333$; del intervalo 50 al 30 tenemos 8 datos y del intervalo 29 deberemos eliminar 2 más, que origina una fracción $8/10 = 0.80$. En consecuencia, tenemos un rango “D” = $11 + 0.333 + 0.80 = 12.133$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($12.133 \times 5\text{mm} = 60.67$).

TABLA 28:

Muestra 11 carril izquierdo, km 4 + 000 m – km 4 + 400 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	60.67	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$52.839 \approx 52.84$	mm
R en valores IRI	3.08	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.2.12. Ensayo N° 12 Carril Izquierdo Km 4+400 hasta el Km 4+800

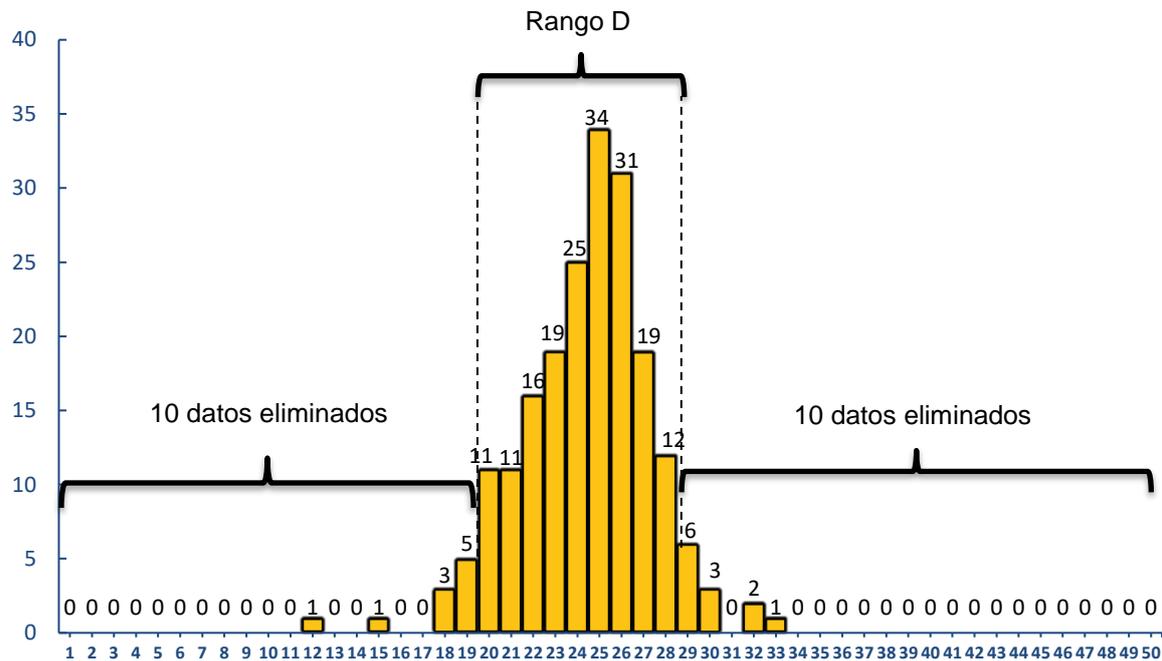


GRÁFICO 25: Histograma del ensayo N° 12 carril Izquierdo Km 4+400m – 4+800m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 25 mm con un total de 34 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 12, 15 y 33. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 19 tenemos los 10 datos; del intervalo 50 al 30 tenemos 6 datos y del intervalo 29 deberemos eliminar 4 más, que origina una fracción $\frac{2}{6} = 0.333$. En consecuencia, tenemos un rango “D” = $9 + 0.333 = 9.333$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($9.333 \times 5\text{mm} = 46.67$).

TABLA 29:
Muestra 12 carril izquierdo, km 4 + 400 m – km 4 + 800 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	46.67	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	40.645≈ 40.65	mm
R en valores IRI	1.97	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.2.2.13. Ensayo N° 13 Carril Izquierdo Km 4+800 hasta el Km 5+080

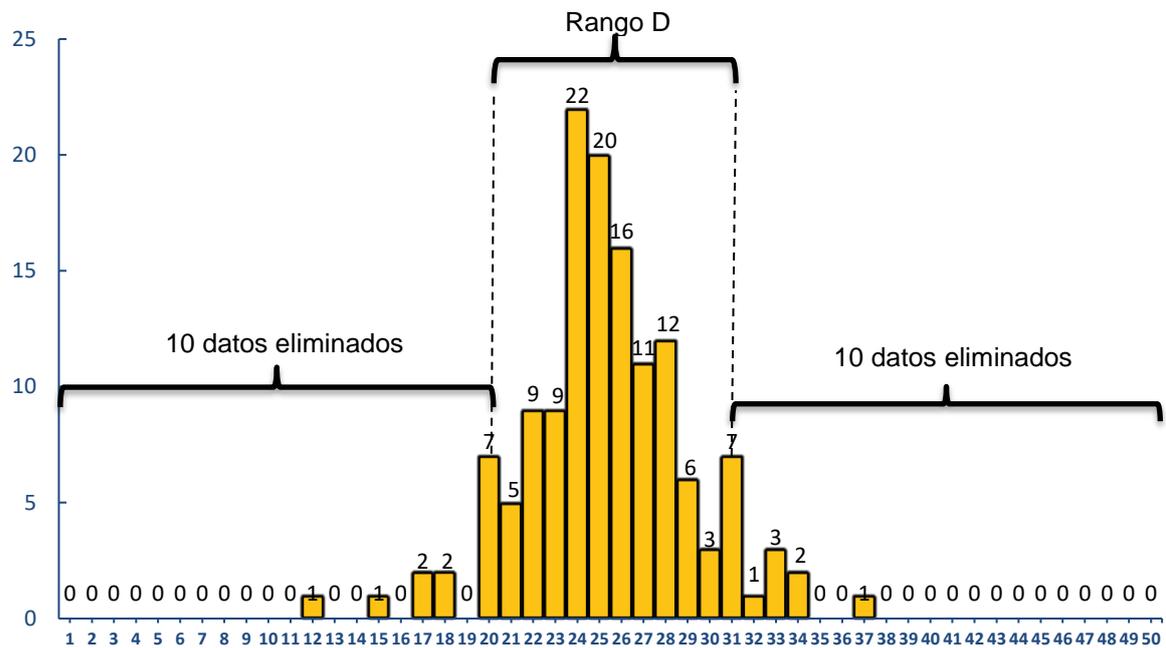


GRÁFICO 26: Histograma del ensayo N° 13 carril Izquierdo Km 4+800m – 5+080m

En base al histograma de distribución obtenido se procede a realizar el cálculo del rango “D”. En el eje “x” indica los intervalos de desviación y en el eje “y” las frecuencias. La posición tomada por el puntero a lo largo de este ensayo nos indicó valores de depresión y elevación según las irregularidades del pavimento (ver anexo 4) indicando la cantidad de veces que se repiten en los intervalos de desviación, presentando con mayor frecuencia el valor 24 mm con un total de 22 veces y con menor frecuencia 1 vez los valores de 12, 15, 32 y 37. De estos valores obtenidos debemos eliminar el 10%, 10 de ambos extremos, del intervalo 1 hasta el 19 tenemos 6 datos y del intervalo 17 deberemos eliminar 1 más, que

origina una fracción $6/7 = 0.857$; del intervalo 50 al 32 tenemos los 7 datos. En consecuencia, tenemos un rango “D” = $11 + 0.857 = 11.857$ unidades. El rango “D” determinado se debe expresar en milímetros de cada unidad ($11.857 \times 5\text{mm} = 59.29$).

TABLA 30:

Muestra 13 carril izquierdo, km 4 + 800 m – km 5 + 080 m.

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	59.29	mm
Factor de corrección	0.871	
Rango D corregido	$51.637 \approx 51.64$	mm
R en valores IRI	3.03	m/km

Valores que se consideraron para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3.3. Resumen de resultados obtenidos con el rugosímetro Merlin

3.3.1. Carril derecho

TABLA 31:

Resumen de resultados obtenidos en el Carril derecho

CARRIL DERECHO							Observaciones
N° ensayo	PROGRESIVA		DETALLES		RUGOSIDAD		
	Inicial (Km)	Final (Km)	Longitud (m)	Fecha (dd/mm/aa)	D (mm)	R (IRI)	
01	0+000	0+400	400	25/05/2018	28.66	1.39	
02	0+400	0+800	400	25/05/2018	33.23	1.61	
03	0+800	1+200	400	25/05/2018	45.95	2.23	
04	1+200	1+600	400	25/05/2018	36.58	1.77	
05	1+600	2+000	400	25/05/2018	40.36	1.96	
06	2+000	2+400	400	25/05/2018	35.23	1.71	
07	2+400	2+800	400	25/05/2018	43.05	2.09	
08	2+800	3+200	400	25/05/2018	42.68	2.07	
09	3+200	3+600	400	25/05/2018	48.45	2.35	
10	3+600	4+000	400	25/05/2018	45.73	2.22	
11	4+000	4+400	400	25/05/2018	33.97	1.65	
12	4+400	4+800	400	25/05/2018	40.42	1.96	
13	4+800	5+080	280	25/05/2018	45.00	2.18	

En esta tabla doce muestras de 400 m y una de 280 m, teniendo en total trece muestras; donde D y R es el rango D y la rugosidad respectivamente los cuales fueron sacados del cuadro de los anexos; obteniendo en este cuadro un IRIp (Índice Rugosidad Internacional promedio)

TABLA 32:

Resumen de PSI cada 400m – Carril Derecho

N° ensayo	PROGRESIVA		DETALLES		SERVICIABILIDAD	
	Inicial (Km)	Final (Km)	Longitud (m)	Fecha (dd/mm/aa)	Valor (PSI)	Escala (--)
01	0+000	0+400	400	25/05/2018	3.88	Buena
02	0+400	0+800	400	25/05/2018	3.73	Buena
03	0+800	1+200	400	25/05/2018	3.33	Buena
04	1+200	1+600	400	25/05/2018	3.62	Buena
05	1+600	2+000	400	25/05/2018	3.50	Buena
06	2+000	2+400	400	25/05/2018	3.66	Buena
07	2+400	2+800	400	25/05/2018	3.43	Buena
08	2+800	3+200	400	25/05/2018	3.43	Buena
09	3+200	3+600	400	25/05/2018	3.26	Buena
10	3+600	4+000	400	25/05/2018	3.34	Buena
11	4+000	4+400	400	25/05/2018	3.70	Buena
12	4+400	4+800	400	25/05/2018	3.50	Buena
13	4+800	5+080	280	25/05/2018	3.39	Buena

En esta tabla resumen agrupamos los valores de PSI, para 12 tramos de 400 m y uno de 280 m. El PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) resulta de remplazar el R de la tabla 31, para cada tramo, en la ecuación 6.

3.3.2. Carril izquierdo

TABLA 33:

Resumen de resultados obtenidos en el Carril izquierdo

N° ensayo	CARRIL IZQUIERDO						Observaciones
	PROGRESIVA		DETALLES		RUGOSIDAD		
	Inicial (Km)	Final (Km)	Longitud (m)	Fecha (dd/mm/aa)	D (mm)	R (IRI)	
01	0+000	0+400	400	25/05/2018	38.19	1.85	
02	0+400	0+800	400	25/05/2018	37.33	1.81	
03	0+800	1+200	400	25/05/2018	38.45	1.86	
04	1+200	1+600	400	25/05/2018	39.99	1.94	
05	1+600	2+000	400	25/05/2018	44.69	2.17	
06	2+000	2+400	400	25/05/2018	40.94	1.99	
07	2+400	2+800	400	25/05/2018	54.08	3.14	
08	2+800	3+200	400	25/05/2018	47.91	2.32	
09	3+200	3+600	400	25/05/2018	53.35	3.48	
10	3+600	4+000	400	25/05/2018	38.76	1.88	
11	4+000	4+400	400	25/05/2018	52.84	3.08	
12	4+400	4+800	400	25/05/2018	40.65	1.97	
13	4+800	5+080	280	25/05/2018	51.64	3.03	

En esta tabla doce muestras de 400 m y una de 280 m, teniendo en total trece muestras; donde D y R es el rango D y la rugosidad respectivamente los cuales fueron sacados del cuadro de los anexos; obteniendo en este cuadro un IRIp (Índice Rugosidad Internacional promedio)

TABLA 34:

Resumen de PSI cada 400m. – Carril Izquierdo

N° ensayo	PROGRESIVA		DETALLES		SERVICIABILIDAD	
	Inicial	Final	Longitud	Fecha	Valor	Escala
	(Km)	(Km)	(m)	(dd/mm/aa)	(PSI)	(--)
01	0+000	0+400	400	26/05/2018	3.57	Buena
02	0+400	0+800	400	26/05/2018	3.43	Buena
03	0+800	1+200	400	26/05/2018	3.56	Buena
04	1+200	1+600	400	26/05/2018	3.51	Buena
05	1+600	2+000	400	26/05/2018	3.37	Buena
06	2+000	2+400	400	26/05/2018	3.48	Buena
07	2+400	2+800	400	26/05/2018	2.83	Regular
08	2+800	3+200	400	26/05/2018	3.31	Buena
09	3+200	3+600	400	26/05/2018	2.66	Regular
10	3+600	4+000	400	26/05/2018	3.55	Buena
11	4+000	4+400	400	26/05/2018	2.86	Regular
12	4+400	4+800	400	26/05/2018	3.49	Buena
13	4+800	5+080	280	26/05/2018	2.88	Regular

En esta tabla resumen agrupamos los valores de PSI, para 12 tramos de 400 m y uno de 280 m. El PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) resulta de remplazar el R de la tabla 33, para cada tramo, en la ecuación 6.

3.3.3. Carril derecho + izquierdo

De las tablas 29 y 31 obtendremos el IRI_p y la desviación estándar, para el carril derecho e izquierdo, estos datos serán remplazados en la ecuación 5. Según del Águila, (1999) en su manual de usuario Merlin, el IRI_c para pavimentos en condiciones de recapeo asfáltico o rehabilitado debe ser máximo 2.5 m/km.

TABLA 35:

Cuadro resumen de resultados *obtenidos con el rugosímetro Merlin*

RESUMEN					
CARRIL	Ensayo	IRI _p	Desviación Estándar	IRI _c	PSI
DERECHO (DER.)	13	1.94	0.289	2.415	3.51
IZQUIERDO (IZQ.)	13	2.35	0.604	3.344	3.26
DER. + IZQ.	26	2.14	0.29	2.617	3.39
ESPECIFICACIÓN			2.5		

En la tabla: IRI_p = IRI promedio, IRI_c = IRI característico y PSI = Índice de serviciabilidad presente

3.4. Resultados obtenidos con la aplicación Roadroid

3.4.1. Viaje 1

3.4.1.1. Ensayo N° 1 Carril derecho Km 0+000 hasta el Km 5+040

TABLA 36:

Resumen de resultados obtenidos en el Carril derecho – Viaje 1

N° Tramos	CARRIL DERECHO							
	PROGRESIVA		DETALLES		RUGOSIDAD		SINGULARIDADES	
	Inicial (Km)	Final (Km)	Longitud (m)	Velocidad (km/h)	R (eIRI)	Desv. R (eIRI)	Giba	Buzón
01	0+000	0+400	400	45.85	3.25	2.052	1	2
02	0+400	0+800	400	46.16	3.08	2.184	2	2
03	0+800	1+200	400	54.21	5.73	4.330	1	3
04	1+200	1+600	400	51.19	4.09	3.514	1	1
05	1+600	2+000	400	50.30	2.49	0.441	1	2
06	2+000	2+400	400	44.65	2.72	1.519	4	0
07	2+400	2+800	400	56.23	2.75	1.686	0	0
08	2+800	3+200	400	55.98	3.31	2.245	0	0
09	3+200	3+600	400	49.10	3.03	1.916	0	0
10	3+600	4+000	400	53.68	2.34	0.733	0	0
11	4+000	4+400	400	52.26	2.35	0.914	1	0
12	4+400	4+800	400	46.68	4.87	6.175	1	0
13	4+800	5+040	240	49.07	2.54	1.285	0	0

En esta tabla, doce muestras de 400 m y una de 240 m, teniendo en total trece muestras; donde R y Desv. R es la rugosidad y la desviación estándar de la rugosidad respectivamente. Ver anexo 5.

3.4.1.2. Ensayo N° 2 Carril izquierdo Km 0+000 hasta el Km 5+060

TABLA 37:

Resumen de resultados obtenidos en el carril izquierdo – Viaje 1

CARRIL IZQUIERDO								
N° Tramos	PROGRESIVA		DETALLES		RUGOSIDAD		SINGULARIDADES	
	Inicial	Final	Longitud	Velocidad	R	Desv. R	Giba	Buzón
	(Km)	(Km)	(m)	(km/h)	(eIRI)	(--)		
01	0+000	0+400	400	53.56	2.52	0.747	0	0
02	0+400	0+800	400	51.48	3.30	2.943	2	0
03	0+800	1+200	400	49.35	3.07	2.910	2	0
04	1+200	1+600	400	55.00	2.37	0.768	0	3
05	1+600	2+000	400	50.71	5.12	4.325	1	6
06	2+000	2+400	400	50.49	4.07	2.588	0	5
07	2+400	2+800	400	51.93	2.76	1.480	0	8
08	2+800	3+200	400	39.26	3.13	1.670	2	7
09	3+200	3+600	400	42.76	4.60	3.909	1	4
10	3+600	4+000	400	42.60	2.93	2.220	2	1
11	4+000	4+400	400	42.39	3.19	1.990	1	4
12	4+400	4+800	400	39.05	2.68	1.050	1	5
13	4+800	5+060	260	34.24	3.98	3.132	1	3

En esta tabla, doce muestras de 400 m y una de 260 m, teniendo en total trece tramos; donde R y Desv. R es la rugosidad y la desviación estándar de la rugosidad respectivamente. Ver anexo 5.

3.4.2. Viaje 2

3.4.2.1. Ensayo N° 1 Carril Derecho Km 0+000 hasta el Km 5+060

TABLA 38:

Resumen de resultados obtenidos en el carril derecho – Viaje 2

CARRIL DERECHO								
N° Tramos	PROGRESIVA		DETALLES		RUGOSIDAD		SINGULARIDADES	
	Inicial	Final	Longitud	Velocidad	R	Desv. R	Giba	Buzón
	(Km)	(Km)	(m)	(km/h)	(eIRI)	(eIRI)		
01	0+000	0+400	400	40.41	2.26	1.159	1	2
02	0+400	0+800	400	40.36	2.44	0.910	2	2
03	0+800	1+200	400	40.13	3.55	3.488	1	3
04	1+200	1+600	400	41.89	2.10	0.619	1	1
05	1+600	2+000	400	39.65	2.59	1.660	1	2
06	2+000	2+400	400	35.57	2.57	1.501	4	0
07	2+400	2+800	400	42.55	2.41	1.669	0	0
08	2+800	3+200	400	43.15	2.12	0.692	0	0
09	3+200	3+600	400	40.50	2.35	1.443	0	0
10	3+600	4+000	400	43.69	2.61	1.571	0	0
11	4+000	4+400	400	41.19	1.96	0.590	1	0
12	4+400	4+800	400	38.27	2.41	2.309	1	0
13	4+800	5+060	260	41.77	1.79	0.265	0	0

En esta tabla doce muestras de 400 m y una de 260 m, teniendo en total trece tramos; donde R y Desv. R es la rugosidad y la desviación estándar de la rugosidad respectivamente. Ver anexo 5.

3.4.2.2. Ensayo N° 2 Carril Izquierdo Km 0+000 hasta el Km 5+060

TABLA 39:

Resumen de resultados obtenidos en el carril izquierdo – Viaje 2

CARRIL IZQUIERDO								
N° Tramos	PROGRESIVA		DETALLES		RUGOSIDAD		SINGULARIDADES	
	Inicial	Final	Longitud	Velocidad	R	Desv. R	Giba	Buzón
	(Km)	(Km)	(m)	(km/h)	(eIRI)	(--)		
01	0+000	0+400	400	47.00	2.14	0.546	0	0
02	0+400	0+800	400	37.97	2.52	0.744	2	0
03	0+800	1+200	400	35.06	2.43	0.933	2	0
04	1+200	1+600	400	41.22	2.47	0.892	0	3
05	1+600	2+000	400	40.41	3.02	1.518	1	6
06	2+000	2+400	400	42.83	2.57	0.990	0	5
07	2+400	2+800	400	41.22	2.41	0.855	0	8
08	2+800	3+200	400	35.78	2.58	0.814	2	7
09	3+200	3+600	400	38.37	3.64	3.030	1	4
10	3+600	4+000	400	35.55	3.18	2.248	2	1
11	4+000	4+400	400	38.21	2.52	0.998	1	4
12	4+400	4+800	400	35.07	2.99	1.645	1	5
13	4+800	5+060	260	34.78	2.98	1.976	1	3

En esta tabla, doce muestras de 400 m y una de 260 m, teniendo en total trece tramos; donde R y Desv. R es la rugosidad y la desviación estándar de la rugosidad respectivamente. Ver anexo 5.

3.4.3. Viaje 3

3.4.3.1. Ensayo N° 1 Carril Derecho Km 0+000 hasta el Km 5+050

TABLA 40:

Resumen de resultados obtenidos en el carril derecho – Viaje 3

CARRIL DERECHO								
N° Tramos	PROGRESIVA		DETALLES		RUGOSIDAD		SINGULARIDADES	
	Inicial	Final	Longitud	Velocidad	R	Desv. R	Giba	Buzón
	(Km)	(Km)	(m)	(km/h)	(eIRI)	(eIRI)		
01	0+000	0+400	400	31.38	2.69	1.618	1	2
02	0+400	0+800	400	33.48	2.58	1.535	2	2
03	0+800	1+200	400	32.24	2.71	1.365	1	3
04	1+200	1+600	400	31.14	2.83	2.072	1	1
05	1+600	2+000	400	31.26	2.47	1.192	1	2
06	2+000	2+400	400	30.40	2.55	1.101	4	0
07	2+400	2+800	400	33.07	2.79	1.460	0	0
08	2+800	3+200	400	32.53	2.51	1.181	1	0
09	3+200	3+600	400	30.85	4.05	3.424	0	0
10	3+600	4+000	400	34.78	2.51	1.043	0	0
11	4+000	4+400	400	34.27	1.89	0.470	1	0
12	4+400	4+800	400	32.33	2.15	0.867	1	0
13	4+800	5+050	250	33.92	2.97	1.848	0	0

En esta tabla, doce muestras de 400 m y una de 250 m, teniendo en total trece tramos; donde R y Desv. R es la rugosidad y la desviación estándar de la rugosidad respectivamente. Ver anexo 5.

3.4.3.2. Ensayo N° 2 Carril izquierdo Km 0+000 hasta el Km 5+060

TABLA 41:

Resumen de resultados obtenidos en el carril izquierdo – Viaje 3

N° Tramos	CARRIL IZQUIERDO							
	PROGRESIVA		DETALLES		RUGOSIDAD		SINGULARIDADES	
	Inicial (Km)	Final (Km)	Longitud (m)	Velocidad (km/h)	R (eIRI)	Desv. R (--)	Giba	Buzón
01	0+000	0+400	400	42.23	2.39	0.792	0	0
02	0+400	0+800	400	35.56	2.46	0.954	2	0
03	0+800	1+200	400	36.72	2.44	1.228	2	0
04	1+200	1+600	400	41.27	2.35	0.648	0	3
05	1+600	2+000	400	37.57	2.98	1.348	1	6
06	2+000	2+400	400	41.14	2.92	1.035	0	5
07	2+400	2+800	400	38.15	2.88	2.024	0	8
08	2+800	3+200	400	33.36	3.14	1.337	2	7
09	3+200	3+600	400	34.71	2.94	1.407	1	4
10	3+600	4+000	400	34.08	2.23	0.673	2	1
11	4+000	4+400	400	38.09	2.80	1.706	1	4
12	4+400	4+800	400	35.15	2.60	1.111	1	5
13	4+800	5+060	260	36.20	3.26	2.817	1	3

En la tabla, doce muestras de 400 m y una de 260 m, teniendo en total trece tramos; donde R y Desv. R es la rugosidad y la desviación estándar de la rugosidad respectivamente. Ver anexo 5.

3.4.4. Resumen de resultados con aplicación Roadroid

TABLA 42:

Cuadro resumen de resultados obtenidos con la aplicación Roadroid para cada viaje

RESUMEN						
	CARRIL	Tramos	eIRI _P	Desviación eIRI	V _p	Desviación V
VIAJE 1	DERECHO (DER.)	13	3.27	1.033	50.41	9.447
	IZQUIERDO (IZQ.)	13	3.36	0.836	46.37	8.747
	DER. + IZQ.	26	3.31	0.056	48.39	2.856
VIAJE 2	DERECHO (DER.)	13	2.40	0.427	40.70	5.874
	IZQUIERDO (IZQ.)	13	2.73	0.407	38.73	5.678
	DER. + IZQ.	26	2.56	0.226	39.72	1.393
VIAJE 3	DERECHO (DER.)	13	2.67	0.502	32.43	3.507
	IZQUIERDO (IZQ.)	13	2.72	0.329	37.25	5.795
	DER. + IZQ.	26	2.68	0.042	34.85	3.408

En la tabla se presenta el eIRI_P (Índice de rugosidad internacional estimado promedio), desviación estándar del eIRI, V_p (velocidad promedio) y desviación estándar de la velocidad por cada carril en su respectivo viaje.

3.4.5. Gráficos comparativos

3.4.5.1. Velocidad de recorrido

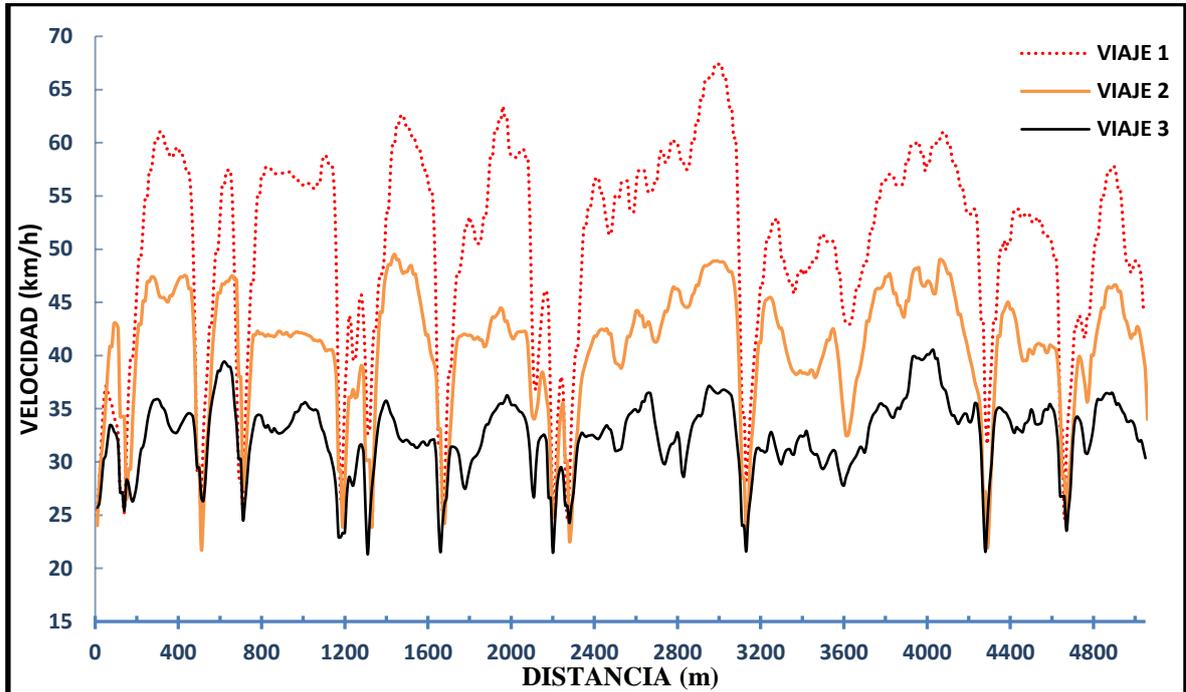


GRÁFICO 27: Gráfico de dispersión Distancia vs Velocidad en los tres viajes, carril derecho

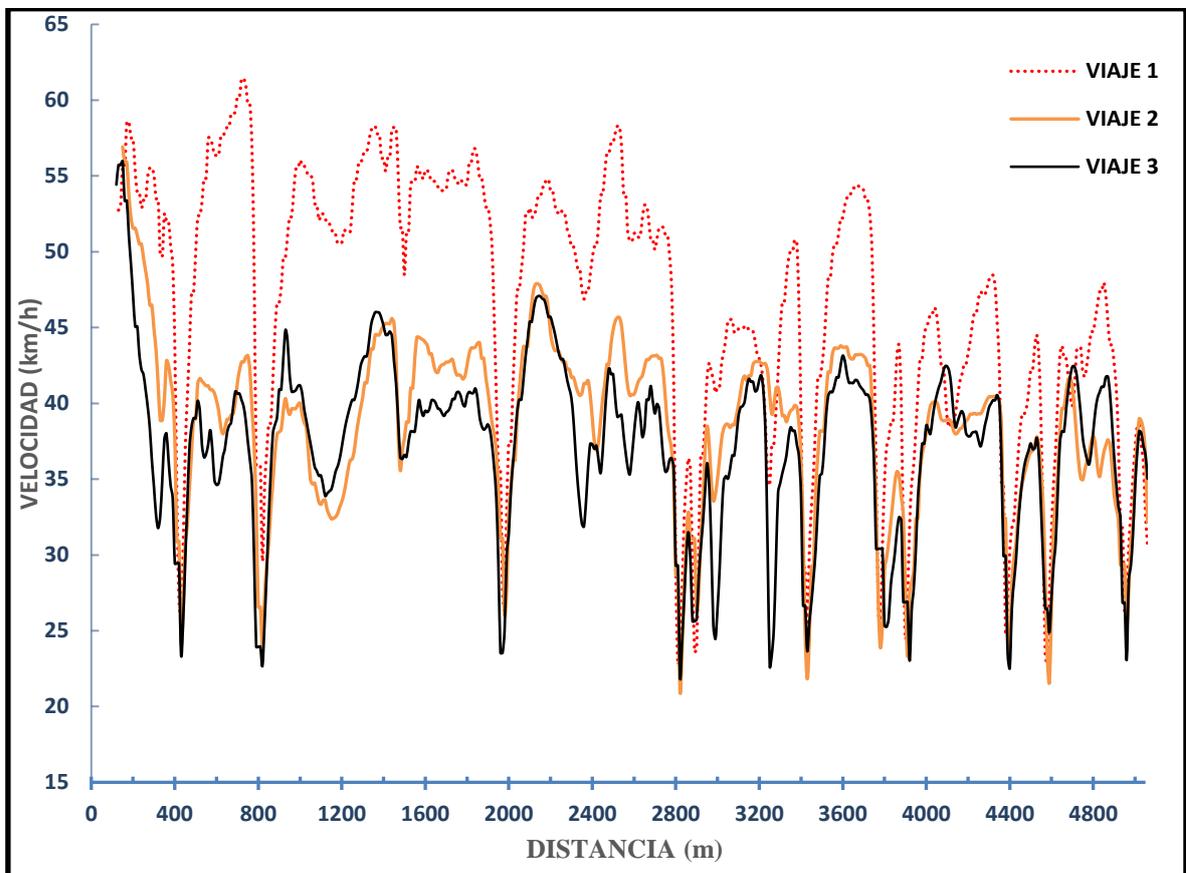


GRÁFICO 28: Gráfico de dispersión Distancia vs Velocidad en los tres viajes, carril izquierdo

En los gráficos 27 y 28 se representa la dispersión de la velocidad a lo largo de la carretera, para cada viaje realizado en el carril derecho e izquierdo respectivamente. Donde podemos apreciar que en el viaje 1 se realizó el recorrido a una mayor velocidad y el viaje 3 tiene la menor velocidad de recorrido; se aprecia que aunque las velocidades sean diferentes siguen el mismo patrón, es decir, ascienden y descienden en el mismo punto, siendo fácil identificar las singularidades (gibas) inmersas en la carretera. También apreciamos que en estos puntos donde descienden las velocidades se generan las mayores variaciones, en distancias muy cortas, sobretodo en el viaje 1 (ver la Desviación V, en la tabla 42) donde se presenta las mayores desviaciones referidas a la velocidad. Por otro lado muestra que en ningún tramo se obtuvo una velocidad óptima para trabajar con el cIRI (80 km/h), pero que si se cumplió la condición de velocidad mínima (20 km/h) para poder trabajar con el eIRI.

3.4.5.2. eIRI (Índice de rugosidad internacional estimado)

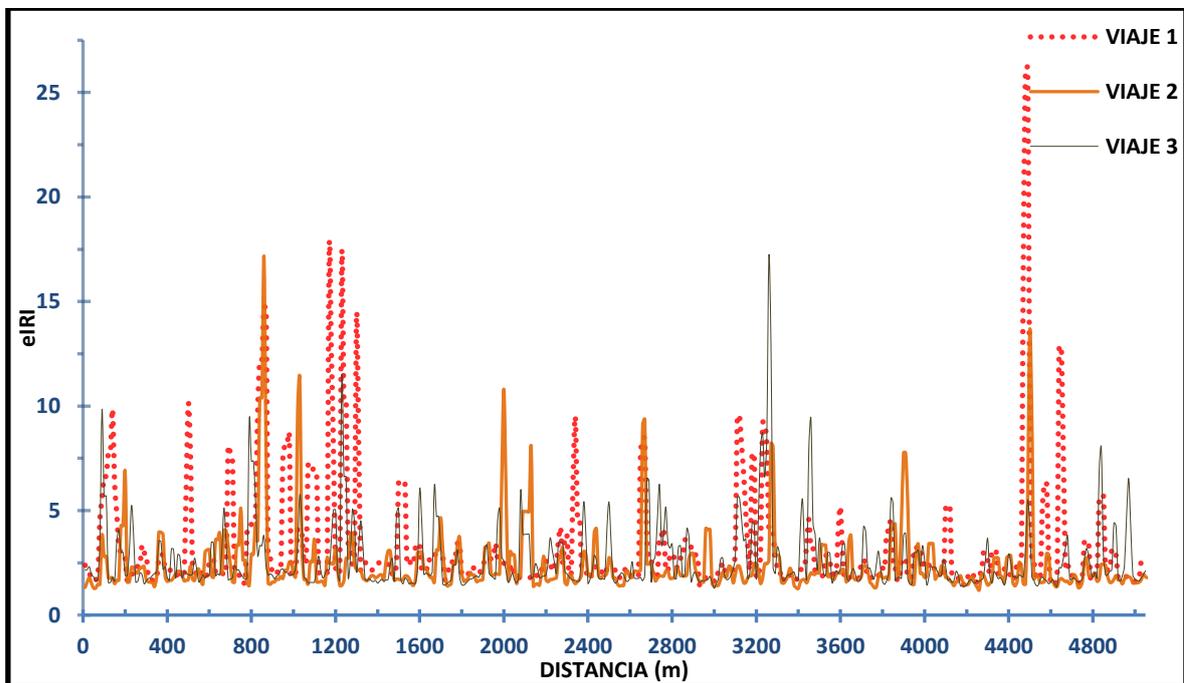


GRÁFICO 29: Gráfico de dispersión distancia vs eIRI, de cada viaje para el carril derecho

Teniendo el gráfico de dispersión (gráfico 29) de los 3 viajes realizados en el carril derecho, podemos observar de mejor manera los datos recolectados en cada uno de ellos. Así,

observamos que en el viaje 1 existe gran cantidad de picos altos, representando a valores de eIRI muy elevados. Esta variabilidad representada del eIRI, que van desde 1.44 hasta 26.2, está directamente relacionada con: las variaciones de velocidad debido a gibas, curvas y tráfico presente en la carretera. En los viajes 2 y 3 podemos observar una disminución de picos elevados y por ende se aprecia mayor regularidad en los datos eIRI. Aunque se mantuvo una velocidad de recorrido más constante que en el primer viaje aún tenemos factores que condiciona los resultados como son: las gibas, buzones, vehículos estacionados y tráfico.

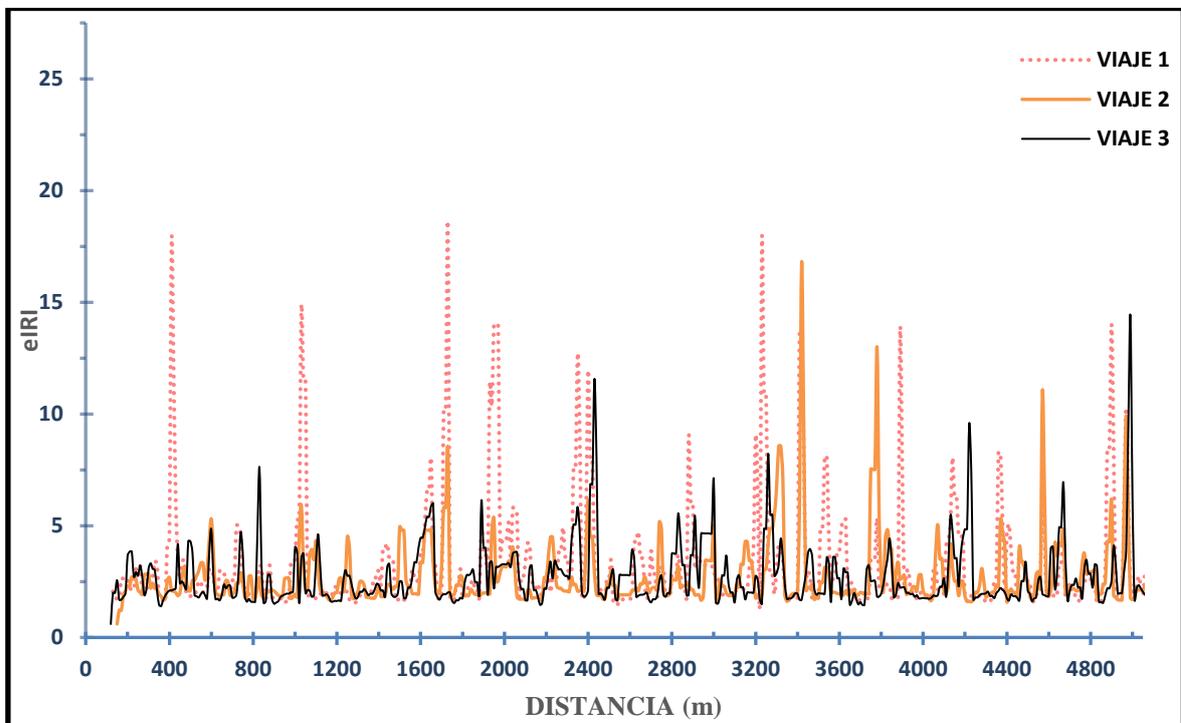


GRÁFICO 30: Gráfico de dispersión distancia vs eIRI, de cada viaje para el carril izquierdo

En el gráfico 30 observamos que, al igual que en el carril derecho, el viaje 1 presenta los valores más elevados. Mientras que en los viajes 2 y 3 se conserva una mayor regularidad en los datos del eIRI, cabe resaltar que para este carril tenemos una mayor presencia de buzones, sumando en total 46 y que la condición del pavimento es más baja que la del carril derecho.

3.5. Comparación de ambos métodos

3.5.1. Carril derecho

TABLA 43:

Cuadro comparativo entre los resultados del IRI con ambos equipos – Carril Derecho

PROGRESIVA		MERLIN	VIAJE 1			VIAJE 2		VIAJE 3	
INICIO	FIN	IRI	eIRI	VARIACIÓN	eIRI	VARIACIÓN	eIRI	VARIACIÓN	
(Km)	(Km)	(m/km)	(m/km)	(%)	(m/km)	(%)	(m/km)	(%)	
0 + 000	0 + 400	1.39	3.25	133.81	2.26	62.59	2.69	93.53	
0 + 400	0 + 800	1.61	3.08	91.30	2.44	51.55	2.58	60.25	
0 + 800	1 + 200	2.23	5.73	156.95	3.55	59.19	2.71	21.52	
1 + 200	1 + 600	1.77	4.09	131.07	2.10	18.64	2.83	59.89	
1 + 600	2 + 000	1.96	2.49	27.04	2.59	32.14	2.47	26.02	
2 + 000	2 + 400	1.71	2.72	59.06	2.57	50.29	2.55	49.12	
2 + 400	2 + 800	2.09	2.75	31.58	2.41	15.31	2.79	33.49	
2 + 800	3 + 200	2.07	3.31	59.90	2.12	2.42	2.51	21.26	
3 + 200	3 + 600	2.35	3.03	28.94	2.35	0.00	4.05	72.34	
3 + 600	4 + 000	2.22	2.34	5.41	2.61	17.57	2.51	13.06	
4 + 000	4 + 400	1.65	2.35	42.42	1.96	18.79	1.89	14.55	
4 + 400	4 + 800	1.96	4.87	148.47	2.41	22.96	2.15	9.69	
4 + 800	5 + 080	2.18	2.54	16.51	1.79	17.89	2.97	36.24	

En la tabla, se obtiene la variación expresada en %. Esta variación es obtenida comparando el valor eIRI de cada viaje respecto al IRI obtenido con el rugosímetro Merlin. Para el tramo 0+000 – 0+400 la variación es 133.81%, el cual es resultado de: $|(eIRI - IRI)/IRI| * 100$, reemplazando los valores $|(3.25 - 1.39)/1.39| * 100$.

De la tabla 43 observamos las variaciones en porcentaje para cada tramo de la carretera en estudio. Tenemos que en los primeros tramos de este carril es donde se dan las mayores variaciones entre IRI y eIRI, tramos en los cuales tenemos la mayor acumulación de singularidades (ver Tabla 36) sumando 4 gibas y 7 buzones. Así mismo observamos que para el viaje 1 las variaciones en estos mismos tramos son extremadamente altos, esto se encuentra directamente relacionado con la velocidad de recorrido. Como podemos observar en el gráfico 27 la velocidad en el viaje 1 es mayor que la de los otros recorrido, siendo esto desfavorable pues al pasar las singularidades reducimos considerablemente la velocidad en distancias cortas. Estos cambios de velocidades bruscas aumentan la vibración del vehículo siendo reconocidas por la aplicación como irregularidades en el pavimento.

Para tener una mejor percepción de la variabilidad entre el IRI y eIRI realizamos los siguientes gráficos de dispersión:

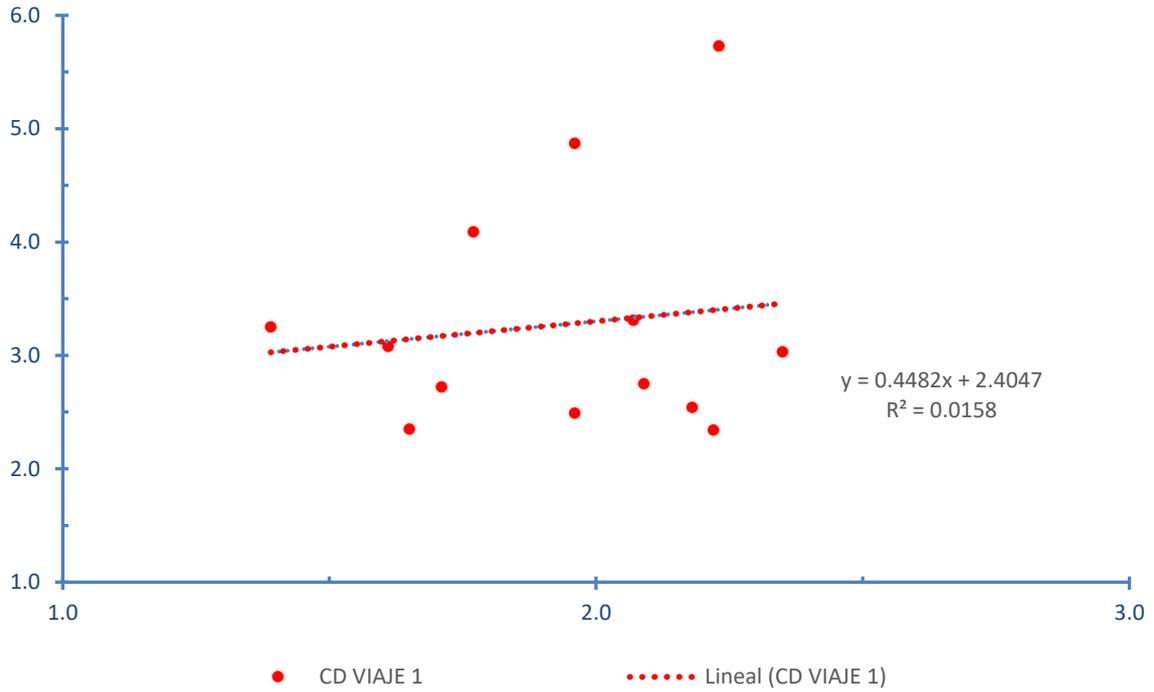


GRÁFICO 31: Grafico de dispersión IRI vs eIRI, Carril derecho - Viaje 1

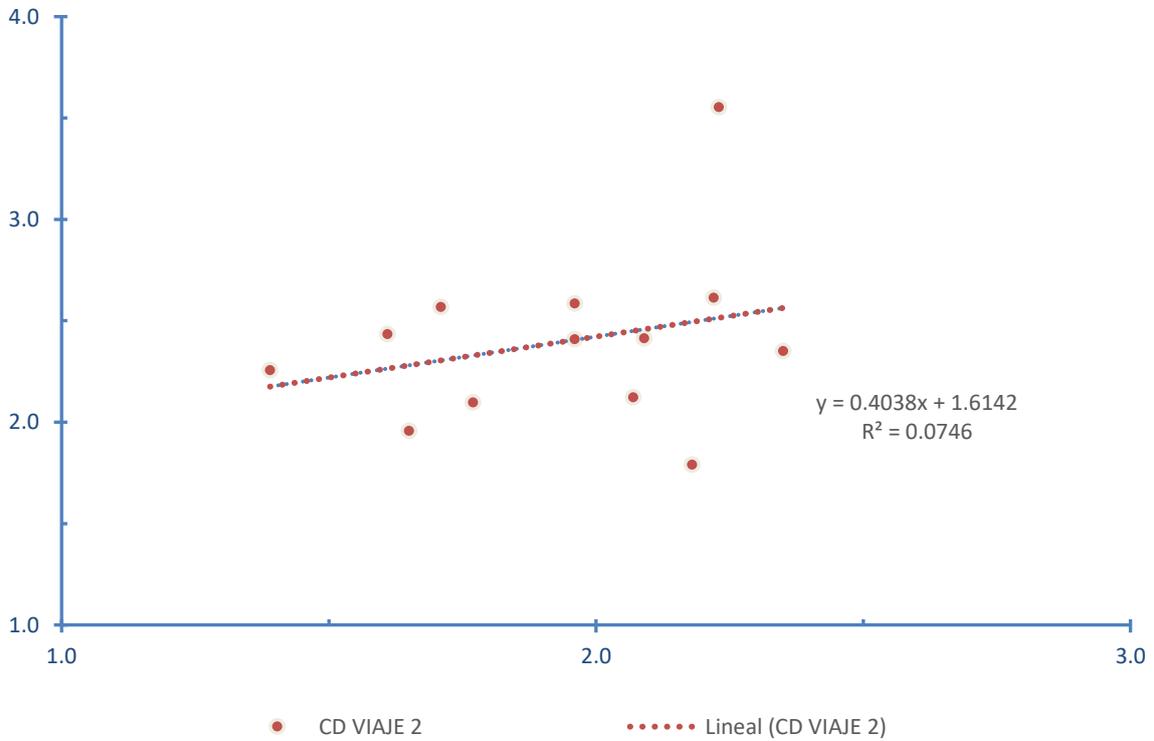


GRÁFICO 32: Grafico de dispersión IRI vs eIRI, Carril derecho - Viaje 2

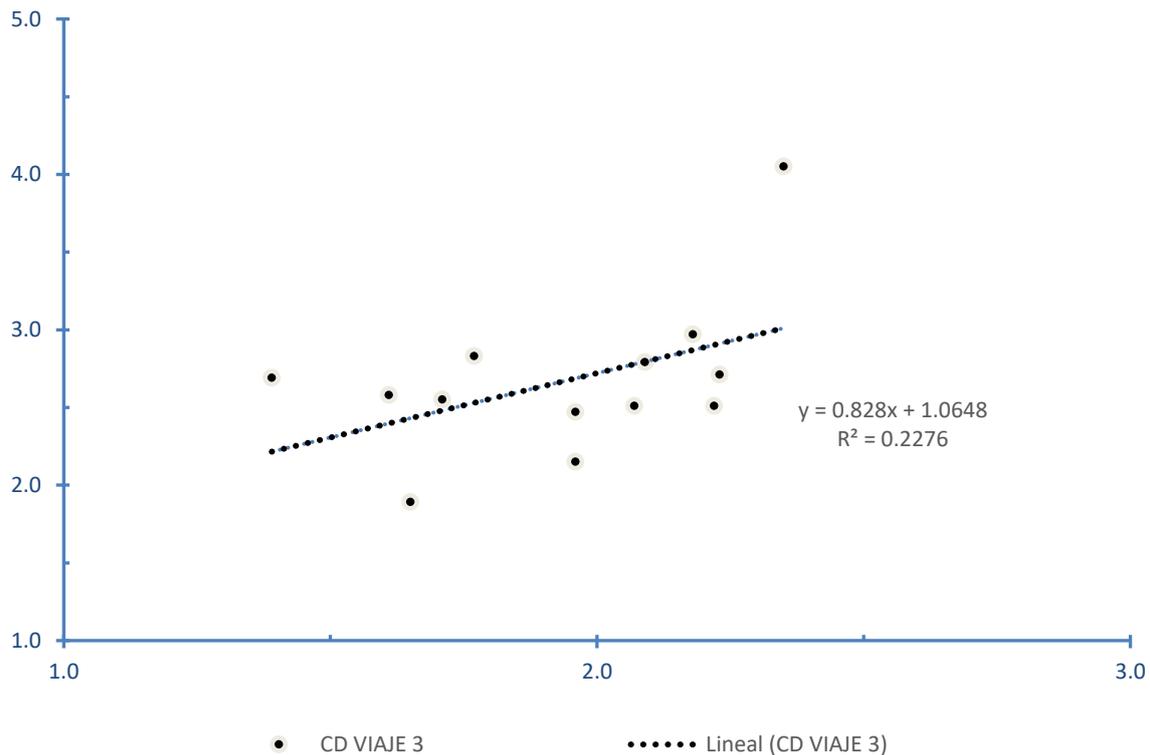


GRÁFICO 33: Grafico de dispersión IRI vs eIRI, Carril derecho – Viaje 1

En los gráficos 31, 32 y 33, aplicamos la regresión lineal para poder representar la recta que más se ajusta a la nube de puntos y obtener el coeficiente de determinación (R^2). Así mismo, podemos observar que la inclinación de la recta nos indica una relación positiva y que los valores del IRI (eje x) están poco relacionados con los valores del eIRI (eje Y), esto se ve reflejado en los valores que toma el coeficiente de determinación (R^2) para cada gráfico. Siendo estos valores: 0.0158, 0.0746 y 0.2276; teniendo en cuenta que mientras más cerca a 1 sea el valor de R^2 , más relación guardarán el IRI con el eIRI. Esto nos lleva a interpretar que: para el gráfico 31 sólo el 1.58% de la variabilidad en el eIRI (eje Y) es representada por la variabilidad en el IRI (eje X), para el gráfico 32 sólo el 7.46% de la variabilidad en el eIRI (eje Y) es representada por la variabilidad en el IRI (eje X) y para el gráfico 33 sólo el 22.76% de la variabilidad en el eIRI (eje Y) es representada por la variabilidad en el IRI (eje X).

3.5.2. Carril izquierdo

TABLA 44:

Cuadro comparativo entre los resultados del IRI con ambos equipos – Carril Izquierdo

PROGRESIVA		MERLIN	VIAJE 1			VIAJE 2		VIAJE 3	
INICIO	FIN	IRI	eIRI	VARIACIÓN	eIRI	VARIACIÓN	eIRI	VARIACIÓN	
(Km)	(Km)	(m/km)	(m/km)	(%)	(m/km)	(%)	(m/km)	(%)	
0 + 000	0 + 400	1.85	2.52	36.22	2.14	15.68	2.39	29.19	
0 + 400	0 + 800	1.81	3.30	82.32	2.52	39.23	2.46	35.91	
0 + 800	1 + 200	1.86	3.06	64.52	2.43	30.65	2.44	31.18	
1 + 200	1 + 600	1.94	2.37	22.16	2.47	27.32	2.35	21.13	
1 + 600	2 + 000	2.17	5.12	135.94	3.02	39.17	2.98	37.33	
2 + 000	2 + 400	1.99	4.07	104.52	2.57	29.15	2.92	46.73	
2 + 400	2 + 800	3.14	2.76	12.10	2.41	23.25	2.88	8.28	
2 + 800	3 + 200	2.27	3.13	34.91	2.58	11.21	3.14	35.34	
3 + 200	3 + 600	3.48	4.60	32.18	3.64	4.60	2.94	15.52	
3 + 600	4 + 000	1.88	2.93	55.85	3.18	69.15	2.23	18.62	
4 + 000	4 + 400	3.08	3.19	3.57	2.52	18.18	2.80	9.09	
4 + 400	4 + 800	1.97	2.68	36.04	2.99	51.78	2.60	31.98	
4 + 800	5 + 080	3.03	3.98	31.35	2.98	1.65	3.26	7.59	

En la tabla, se obtiene la variación expresada en %. Esta variación es obtenida comparando el valor eIRI de cada viaje respecto al IRI obtenido con el rugosímetro Merlin. Para el tramo 0+000 – 0+400 la variación es 36.22%, el cual es resultado de: $|(eIRI - IRI)/IRI| * 100$, reemplazando los valores $|(2.52 - 1.85)/1.85| * 100$.

De la tabla 44 observamos las variaciones en porcentaje para cada tramo de la carretera en estudio. Tenemos que desde la progresiva km 1+600 hasta km 2+400 se dan las mayores variaciones entre IRI y eIRI, tramos en los cuales tenemos la mayor acumulación de singularidades (ver Tabla 37) sumando 1 gibas y 11 buzones. Así mismo observamos que, al igual que en el carril derecho, para el viaje 1 las variaciones en estos mismos tramos son extremadamente altos, estando directamente relacionado con la velocidad de recorrido. Como podemos observar en el gráfico 28 la velocidad en el viaje 1 es mayor que la de los otros recorridos, siendo esto desfavorable pues al pasar las singularidades reducimos considerablemente la velocidad en distancias cortas. Estos cambios de velocidades bruscas aumentan la vibración del vehículo siendo reconocidas por la aplicación como irregularidades en el pavimento.

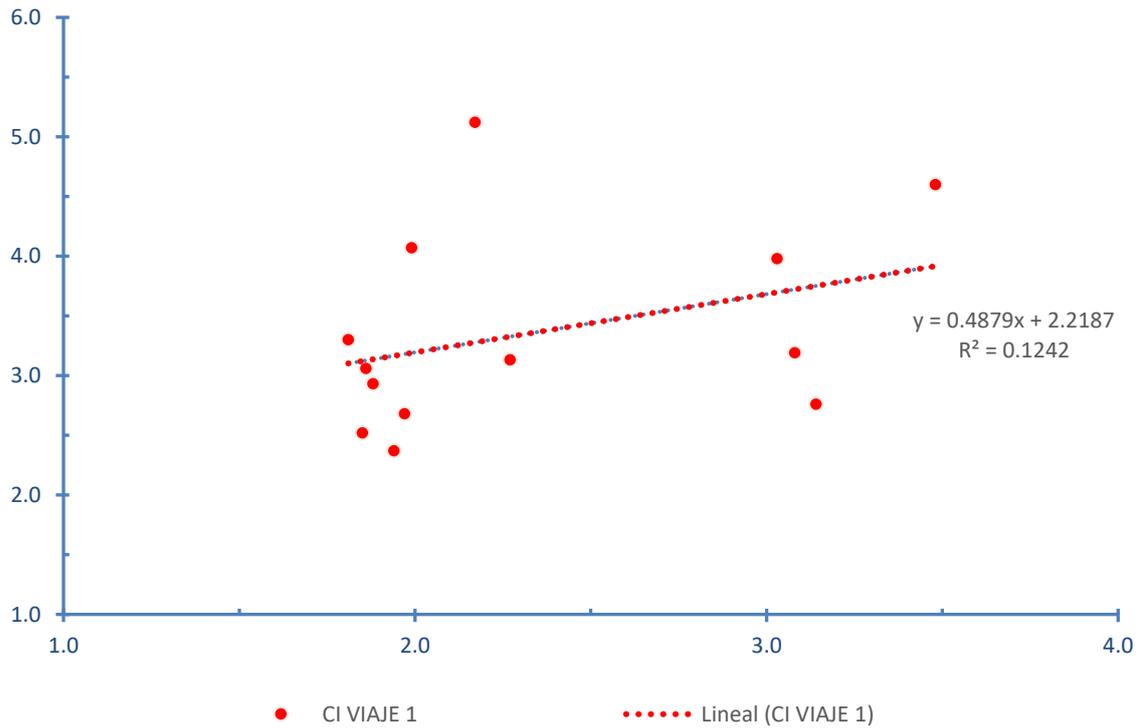


GRÁFICO 34: Gráfico de dispersión IRI vs eIRI, Carril derecho – Viaje 1

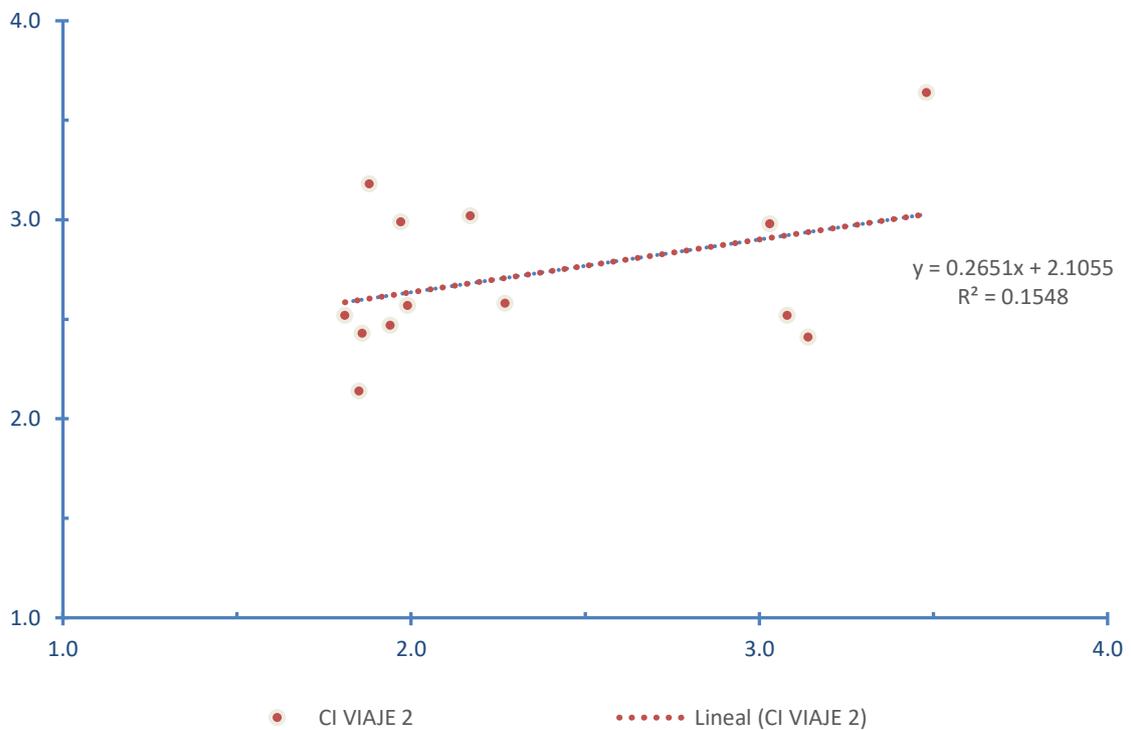


GRÁFICO 35: Gráfico de dispersión IRI vs eIRI, Carril izquierdo – Viaje 2

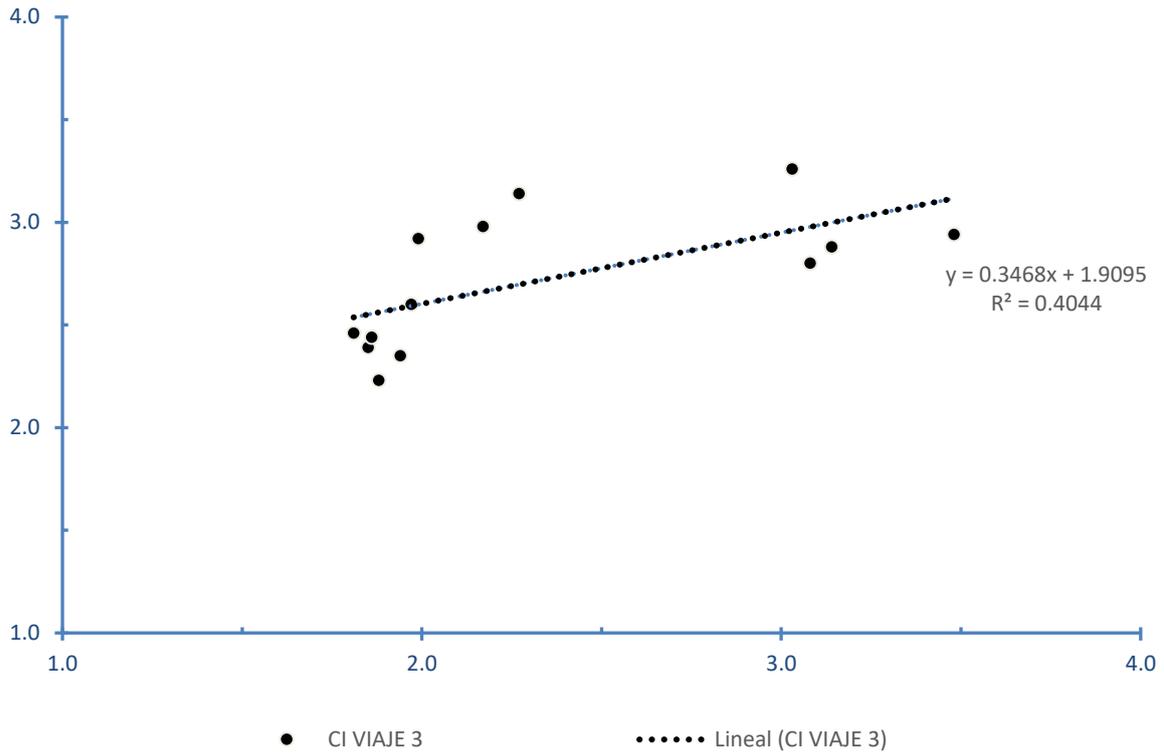


GRÁFICO 36: Grafico de dispersión IRI vs eIRI, Carril izquierdo – Viaje 3

En los gráficos 34, 35 y 36, aplicamos la regresión lineal para poder representar la recta que más se ajusta a la nube de puntos y obtener el coeficiente de determinación (R^2). Así mismo, podemos observar que la inclinación de la recta nos indica una relación positiva y que los valores del IRI (eje x) están poco relacionados con los valores del eIRI (eje Y), esto se ve reflejado en los valores que toma el coeficiente de determinación (R^2) para cada gráfico. Siendo estos valores: 0.1242, 0.1548 y 0.4044; teniendo en cuenta que mientras más cerca a 1 sea el valor de R^2 , más relación guardarán el IRI con el eIRI. Esto nos lleva a interpretar que: para el gráfico 34 sólo el 12.42% de la variabilidad en el eIRI (eje Y) es representada por la variabilidad en el IRI (eje X), para el gráfico 35 sólo el 15.48% de la variabilidad en el eIRI (eje Y) es representada por la variabilidad en el IRI (eje X) y para el gráfico 36 sólo el 40.44% de la variabilidad en el eIRI (eje Y) es representada por la variabilidad en el IRI (eje X).

3.5.3. Resumen de comparación

TABLA 45:

Cuadro resumen de comparación entre IRI vs eIRI

CARRIL	MERLIN		VIAJE 1		VIAJE 2			VIAJE 3		
	IRI p	eIRI p	%	R ²	eIRI p	%	R ²	eIRI p	%	R ²
DERECHO	1.94	3.27	68.56	0.0158	2.40	23.37	0.0718	2.67	37.62	0.2276
IZQUIERDO	2.35	3.36	42.98	0.1242	2.73	16.17	0.1548	2.72	15.57	0.4044

En el cuadro, IRIp = Índice de rugosidad internacional promedio, eIRIp = Índice de rugosidad internacional estimado promedio, % = variación porcentual y R² = coeficiente de determinación.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Para la presente investigación se analizó el pavimento flexible de la Carretera Baños del Inca – Llacanora. Se cuenta con dos carriles, siendo 5.08 km la longitud de cada uno de los carriles; realizando un total de 26 ensayos con el rugosímetro Merlin y 3 recorridos utilizando la aplicación Roadroid.

Laura, D. (2016) analizó un carril perteneciente al pavimento flexible Cusco – Urcos, realizando 78 ensayos con el rugosímetro Merlin y compararlos con los datos obtenidos de la aplicación Roadroid. Se tiene para este pavimento un IRI promedio de 1.69 m/km y un eIRI promedio de 1.50 m/km. Al realizar las comparaciones de ambos métodos se obtuvo variaciones en el rango de 0% y 36%; además, determinó el coeficiente de determinación, siendo este 0.828, es decir, ambos métodos guardan una relación positiva muy fuerte. Mientras que en esta investigación se analizó un pavimento flexible de la Provincia de Cajamarca, analizando una longitud total de 10.16 km y realizando 26 ensayos con el rugosímetro MERLIN, para el carril derecho tenemos un IRI promedio de 1.94 m/km y un eIRI promedio de 2.34 m/km.; mientras que para el carril izquierdo tenemos un IRI promedio de 2.35 m/km y un eIRI de 2.72 m/km. Al realizar las comparaciones de ambos métodos encontramos porcentajes de variaciones en el rango de 0.00% y 156.98%; además, para el carril derecho tenemos un coeficiente de determinación 0.2276 y para el carril izquierdo este coeficiente es 0.4044, es decir, en ambos carriles los datos obtenidos guardan una relación positiva débil. Esto nos da la idea clara que el pavimento estudiado en la ciudad de Cusco se encuentra en mejores condiciones que el pavimento de la carretera Baños del Inca – Llacanora; las comparaciones realizadas de ambos métodos tienen menos variación porcentual en el pavimento de Cusco – Urcos, esto debido a diferentes factores, la velocidad a la que se pudo recorrer dicha carretera es de 80 km/h mientras que en esta investigación

pudimos mantener a 45 km/h promedio, las 46 tapas de buzones que ocasionan un desnivel con el pavimento, los residuos de mezcla de concreto en el pavimento y las 13 gibas presentes en el pavimento que también influyen en el perfil del pavimento.

Ramírez, B. (2017) enfoca su investigación en comparar resultados del IRI de un perfilómetro láser tomados por la concesionaria de la Red Vial 4 y el software Roadroid, el sector escogido fue el tramo de Huarney – Casma. Se obtuvo los datos eIRI y cIRI cada 100 metros para compararlos directamente con los resultados del perfilómetro láser. Al comparar el IRI obtenido con el perfilómetro laser y el eIRI se obtuvo un R^2 de 0.0598 para el carril derecho, considerándolo muy bajo y no adecuado. El tramo en estudio logra recorrerlo a velocidades entre 65 a 95 km/h, permitiendo así la correlación entre el eIRI y el cIRI en los tramos homogéneos, encontrando así que a velocidades de 75 - 90 km/h se encuentra una alta correlación entre el IRI estimado y calculado. En esta investigación optamos por obtener el eIRI cada 10 metros para luego agruparlos cada 400 metros, pudiendo así detectar los valores que representan las singularidades presentes en la carretera; nuestra velocidad de recorrido oscilo entre 20 y 65 km/h, impidiendo así trabajar con el cIRI y establecer alguna correlación entre eIRI y cIRI.

La Torre, F. (2018) enfoca su investigación en diagnosticar la uniformidad del pavimento en el centro urbano de Chiclayo, teniendo como muestra de estudio 38 avenidas pavimentadas. Ubicando valores de IRI entre 3.29 m/km, en la Av. Tumbes, siendo esta la más baja y 28.53m/km, en la Av. José Rivadeneira y Tejada, como el valor más alto. En esta investigación tenemos 13 tramos de estudio por cada carril, es decir, en los 3 viajes tenemos un total de 78 tramos. Teniendo promedios de eIRI que van desde 1.79 m/km, ubicado en la progresiva Km 4+800 – 5+080 del carril derecho - Viaje 2, hasta 5.73 m/km, ubicado en la progresiva Km 0+800 – 1+200 del carril derecho – Viaje 1. Esto nos da una referencia clara que el pavimento en estudio, carretera Baños del Inca – Llacanora, se encuentra en mejores

condiciones que los pavimentos del centro del centro urbano en la ciudad de Chiclayo, además, presentan una mayor variabilidad entre sus resultados.

Debido a las constantes actividades de construcción en las viviendas colindantes a la carretera estudiada, se pudo detectar variaciones en la superficie del pavimento debido a los residuos de preparación de concreto en ambos carriles pertenecientes a la carretera, tal como se puede apreciar en la fotografía 15 del anexo 6. Relacionado a este factor encontramos la presencia de agregados (fino y grueso) en la calzada, que utilizan los pobladores para la construcción de sus viviendas, lo cual hizo que la vibración se amplificara en el vehículo simulando así un mal estado de la carretera e incidiendo directamente en los resultados obtenidos por la aplicación Roadroid, esta situación queda descrita en la fotografía 13 del anexo 6.

4.2 Conclusión

La variabilidad del IRI, reflejado en los resultados obtenidos con la aplicación Roadroid y el rugosímetro Merlin, se debe a que mientras en un método se obtiene lecturas directas del pavimento en estudio en el otro se obtienen lecturas basadas en las vibraciones del chasis de un vehículo. Esto conlleva a que los resultados de la aplicación Roadroid dependa de factores externos como: Velocidad de recorrido, tráfico, número de singularidades, distancias entre singularidades, geometría de la carretera en estudio y elementos no pertenecientes a la superficie del pavimento pero que aumentan las vibraciones en el chasis del vehículo.

La comparación de ambos métodos nos dio variaciones que oscilan desde 0.00% como mínimo y 156.95% como máximo. En el viaje 2 se obtuvo resultados con mayor similitud, teniendo variaciones desde 0.00% hasta 62.59% para el carril derecho y 1.65% hasta 69.15% para el carril izquierdo. Por otro, al realizar la regresión lineal y hallar el R^2 , los resultados del viaje 3 obtuvieron una mayor relación entre el IRI y eIRI, obteniendo valores 0.2276 y 0.4044 para el carril derecho e izquierdo respectivamente; pudiendo concluir que existe una relación positiva baja entre el IRI y eIRI.

Se determinó los rangos de índice de rugosidad internacional obteniendo los siguientes valores:

- IRI promedio (Carril derecho) : 1.94 m/km
- IRI característico (Carril derecho) : 2.42 m/km
- eIRI promedio (Carril derecho) : 2.40 m/km
- IRI promedio (Carril izquierdo) : 2.35 m/km
- IRI característico (Carril izquierdo): 3.34 m/km
- eIRI promedio (Carril izquierdo) : 2.73 m/km

La Serviciabilidad presente en la carretera Baños del Inca – Llacanora para el CARRIL DERECHO obtuvo un valor cuantitativo de 3.51, encontrándose en la escala cualitativa de BUENA, mientras que para el CARRIL IZQUIERDO se obtuvo un valor cuantitativo de 3.26, encontrándose en la escala cualitativa de BUENA. Pese a ello, en el carril izquierdo tenemos 4 tramos dentro de la escala cualitativa REGULAR, es decir, están fuera del rango óptimo y necesitan mantenimiento.

La aplicación Roadroid es una buena alternativa para la medición del IRI por su alto rendimiento y fácil dominio, pero se ve muy limitada para su uso en la provincia de Cajamarca, puesto que depende de velocidades elevadas y constantes, las cuales son difíciles de cumplir debido a las características geométricas propias de las carreteras en esta zona.

REFERENCIAS

- Almenara, C., (2015). *Aplicación del Teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima* (Tesis de Título). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Arriaga, M., Garnica, P. y Rico, A. (1998), Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México. *Instituto Mexicano del Transporte*, 1 (108). 4-9.
- Badilla, G. (2009), *Determinación de la regularidad superficial de pavimentos mediante el cálculo del índice regularidad internacional (IRI): Aspectos y consideraciones importantes*. San José, Costa Rica.
- Caro F. y Peña G. (2012). *Análisis y criterios para el cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI) en vías urbanas colombianas que orienten la elaboración de una especificación técnica*, 7(1), 60-60. Recuperado de <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/intekhnia/article/viewFile/461/749>
- Del Águila, P. (1999). *Manual del usuario MERLINER*. Lima - Perú
- Del Águila, P. (1999). *Experiencias y resultados obtenidos en la evaluación de la rugosidad de más de 3000 km de pavimentos en el Perú y otros países*. Sevilla, España.
- Jones, H. y Forslof, L. (2014). *Roadroid continuous road condition monitoring whit smartphones*. Ljusdal, Suecia.
- La Torre, F., (2018). *Aplicación del sistema Roadroid utilizando smartphone para diagnosticar la uniformidad superficial del pavimento en el centro urbano de Chiclayo* (Tesis de Título). Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo.
- Laura, D., (2016). *Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco – Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN* (Tesis de Título). Universidad Andina del Cusco, Cusco.

Lavaud, P. (2011), *Importancia de la regularidad superficial (IRI) en la construcción de pavimentos asfálticos en caliente*, Lima – Perú, ROADTEC, INC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2007). *Reductores de velocidad tipo resalto* Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos y Pavimentos*, Lima, Perú.

Vidal, D. (2016). *Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Huánuco: mediante Smartphone y un método tradicional* (Tesis de Título). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

ANEXOS

Anexo 1: Formato de presentación de datos, Rugosímetro MERLIN

	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA										
	PROTOCOLO										
	ENSAYO:	IRI – RUGOSÍMETRO MERLIN							CÓDIGO DEL DOCUMENTO:		
	NORMA:	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127							MC-PV-UPNC:		
CARRETERA											
SECTOR								ENSAYO Nº			
FECHA								KM			
HORA								PROGRESIVA INICIO			
CARRIL								PROGRESIVA FIN			

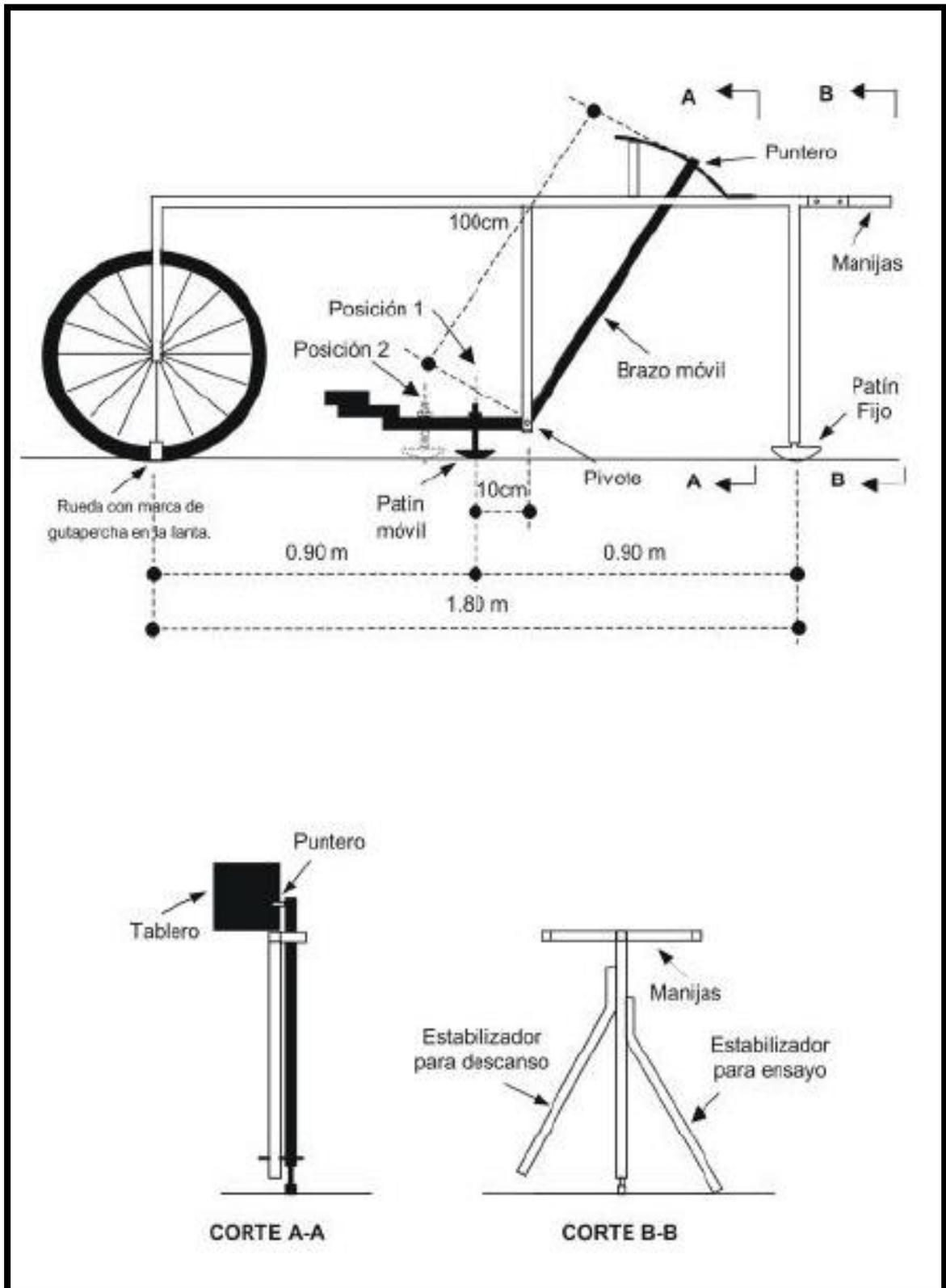
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

TIPO DE PAVIMENTOS	
Afirmado	
Base granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en frío	
Carpeta en caliente	
Bocaco asfáltico	
Sello	

$IRI = 0.593 + 0.0471 D$ Cuando $2.4 < IRI < 1.59$ $D > 50mm$
 $IRI = 0.0485 D$ Cuando $2.4 < IRI < 1.59$ $D < 50mm$

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	AUXILIAR DE ENSAYO	ASESOR
<small>NOMBRE:</small>	<small>NOMBRE:</small>	<small>NOMBRE:</small>
<small>FECHA:</small>	<small>FECHA:</small>	<small>FECHA:</small>

Anexo 3: Equipo MERLIN



Fuente: Manual de uso MERLINER, equipo para rugosidad.

Anexo 4: Panel fotográfico



FOTOGRAFÍA 2: Pavimento en mal estado, relleno con material de desmonte, 2018.



FOTOGRAFÍA 3: Ausencia de carpeta asfáltica, Vía de evitamiento norte, 2018.



FOTOGRAFÍA 4: Inicio de toma de datos con el rugosímetro MERLIN, Carril Derecho.



FOTOGRAFÍA 5: Fin de toma de datos con el rugosímetro MERLIN, Carril Derecho.



FOTOGRAFÍA 6: Inicio de toma de datos con el rugosímetro MERLIN, Carril Izquierdo.



FOTOGRAFÍA 7: Toma de datos con el rugosímetro MERLIN, Carril Izquierdo. Zona del parqueo



FOTOGRAFÍA 8: Fin de Toma de datos con el rugosímetro MERLIN, Carril Izquierdo.



FOTOGRAFÍA 9: Vehículo seleccionado para la recolección de datos con aplicación



FOTOGRAFÍA 10: Vehículo a baja velocidad, tomando iniciativa para sobrepasarlo



FOTOGRAFÍA 11: Moto torito estacionada, desplazándonos del carril para sobrepasar.



FOTOGRAFÍA 12: Recorrido de la carretera sin presencia de tráfico



FOTOGRAFÍA 13: Agregado fino y grueso, utilizados para construcción, dentro del carril izquierdo y derecho



FOTOGRAFÍA 14: Desnivel entre el pavimento y buzón presente en la carretera



FOTOGRAFA 15: Irregularidad superficial causada por residuos de mezcla de concreto