

CAPITULO I

DISEÑO METODOLÓGICO

1.1 Introducción

Se presenta la tecnología (desarrollada desde el año 2012) para la recolección de datos de pavimentos a bajo costo. Tiene su plataforma de medición en los “teléfonos inteligentes” (Smartphone), un procesamiento remoto, y una visualización de los resultados en entorno web en instantes.

Surge así el cuestionamiento acerca de la confiabilidad que arroja la aplicación de esta nueva tecnología, si la comparamos con las técnicas de medición de precisión comúnmente aceptadas por los colegiados de la ingeniería y las buenas prácticas en esta materia.

La publicación en el NCR Research Press con el artículo “La evaluación de la tecnología de telefonía móvil de bajo costo para medir el IRI” en la universidad de New Brunswick-Canadá, así también países vecinos como Perú está implementado esta tecnología para evaluar el estado de sus carreteras.

Lo que el autor propone es la aplicación de esta nueva tecnología para evaluar los pavimentos flexibles de la ciudad de Tarija a través del cálculo del indicador de estado, como es el índice de rugosidad internacional (IRI).

La presente tesis brindará la teoría y la metodología adecuada para la aplicación de Roadroid en la determinación del índice de rugosidad internacional (IRI), que puede ser aplicado a cualquier pavimento flexible de la ciudad de Tarija, y así reducir tiempo y costo en los ensayos correspondientes para la determinación del estado actual de una carretera, para dar un mantenimiento oportuno.

1.2 Justificación

Siendo el mantenimiento de las carreteras uno de los principales problemas debido al rápido deterioro de la capa de rodadura sin importar el tipo de pavimento, sea este: flexible, rígido o mixto, es frecuente encontrar en ellos fisuras, depresiones y baches que dificultan el tránsito normal de los vehículos que circulan.

No se puede hablar de una causa única del deterioro de las carreteras. Las fallas que afectan al pavimento se producen por múltiples factores: podría ser el resultado de un mal diseño del paquete estructural, de la mala calidad de los materiales, del efecto de solicitaciones extremas como carga vehicular y agentes climáticos, entre otros.

Pero el principal problema consiste en que no se lleva a cabo un mantenimiento adecuado ni se toma en cuenta el plan de vida de la vía, es decir, no se evalúa el compartimiento del pavimento con el paso del tiempo y solo interviene cuando el deterioro del pavimento es grave.

Lo ideal es detectar y evaluar los daños de los pavimentos con la suficiente anticipación, de manera que las reparaciones resultantes correspondan a trabajos de conservación o reparación menor, y no de reconstrucción. De esta forma se ahorra dinero y recursos, ya que el costo por reparar un pavimento es mucho más elevado que el costo por mantenimiento.

Por lo antes mencionado, en la presente investigación, se pretende aplicar un nuevo método desarrollado para celulares de alta gama (Smartphone) para determinar el índice de rugosidad internacional y evaluar el estado de la carreta.

1.3 Diseño teórico

1.3.1 Situación problemática

- **Conceptualización puntual del objeto de estudio.**

“El método Roadroid para la determinación del índice de rugosidad en pavimentos”
Hay una necesidad de aplicar consistentemente tecnologías nuevas y en evolución para la evaluación de pavimentos y que la tecnología a nivel de consumidor puede ser una plataforma adecuada para satisfacer las necesidades de los usuarios, si el costo es un factor.

- **Descripción del fenómeno ocurrido.**

El método Roadroid tiene el potencial para aplicaciones de gestión de pavimentos en un “Smartphone”. Los teléfonos inteligentes permiten la recopilación de datos de aceleración (similares a RTRRMS) y la localización GPS del dispositivo a una velocidad de decenas de veces por segundo, con la posibilidad de comunicarlos de forma inalámbrica a un sitio remoto central donde se puede procesar para determinar en tiempo real la condición de la superficie de la carretera, aprovechando también los datos del acelerómetro para explorar la comodidad de conducción de los usuarios en el contexto de los límites de vibración de cuerpo entero.

- **Breve explicación de la perspectiva de solución.**

La perspectiva “aplicar” fue seleccionada como la solución a la propuesta de un nuevo método Roadroid en la gestión de evaluación del estado de carreteras, ya que solo aplicando dicho método se podrá realizar un análisis comparativo con las metodologías PCI (Índice de Condición del Pavimento) y el IRI obtenido con el método tradicional de Estación Total y ProVAL.

1.3.2 Problema

¿Cómo determinar si los resultados obtenidos con el método Roadroid son aplicables y confiables en la determinación del IRI (Índice de Rugosidad Internacional)?.

1.3.3 Objetivos

1.3.3.1 Objetivo general

Aplicar teléfonos inteligentes en el método Roadroid para determinar y comparar los resultados de la regularidad superficial del pavimento flexible La Pintada – Cruce Calamuchita, de tal manera que se pueda verificar la confiabilidad que tiene el método Roadroid.

1.3.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar un marco teórico resaltando las ventajas que presenta la aplicación de este método frente a las metodologías más comunes usadas para calcular el IRI.
- Establecer los tramos de estudio donde se determine el IRI con las metodologías propuestas, que nos sirvan para verificar la confiabilidad método Roadroid.
- Determinar la regularidad superficial del pavimento de la carretera La Pintada – Cruce Calamuchita.
- Determinar el IRI a través de programas computarizados.
- Analizar la diferencia de los resultados obtenidos de la medición de la regularidad superficial del pavimento La Pintada – Cruce Calamuchita usando la aplicación Roadroid, Estación Total (ProVAL).

1.4 Hipótesis

Realizando una medición de la regularidad superficial del pavimento de la carretera La Pintada - Cruce Calamuchita, se podrá establecer índices de calificación del estado actual de la superficie de la vía, y poder verificar la confiabilidad que tiene el método Roadroid (IR) respecto a métodos tradicionales como la Estación Total (ProVAL).

1.5 Variables

Tenemos establecido en nuestro estudio dos variables independiente y dependiente.

1.5.1 Variable independiente

- La regularidad superficial existente en el pavimento de tramo carretero en estudio.

1.5.2 Variable dependiente

- Índice de Condición de pavimento PCI
- Índice de rugosidad Internacional IRI
- Índice Roadroid IR

1.5.3 Conceptualizaciones y operacionalización de las variables

Tabla 1. Variables independientes y dependientes.

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Independiente				
La regularidad superficial existente en el pavimento del tramo carretero en estudio.	Es la desviación de una determinada superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo y la calidad de manejo.	Fallas	Tipo de fallas	Superficial.
			Nivel de severidad	Índice de deterioro.
			Evaluación	Métodos y técnicas de medición.
Dependiente				
Índice de Condición de Pavimento PCI.	Es la medición de cada una de las fallas o deterioros	norma americana ASTM D6433-07	Tipo de falla	Nombre de la falla y su respectivo código.
			Severidad	Bajo, medio, alto.
			Área de influencia	De acuerdo al tipo de falla puede ser metros lineales o cuadrados.

<p>Índice de Rugosidad Internacional IRI.</p>	<p>Evalúa el estado de la superficie del pavimento, en qué condiciones se encuentra, el IRI es el número de irregularidades, dividido por la longitud del intervalo.</p>	<p>Utilización de mira y nivel de ingeniero más un programa ProVAL.</p>	<p>Unidad de medida del indicador de estado será m/km.</p>	<p>Se realizará el levantamiento de puntos cada 0.2 metros con su respectiva cuota, para luego introducirlo al programa Proval y obtener el valor de IRI.</p>
<p>Índice Roadroid IR.</p>	<p>Es el índice de rugosidad que será calculado por la aplicación Roadroid.</p>	<p>Tipo de equipo a usar.</p>	<p>* Smartphone * vehículo * montaje</p>	<p>* Se seleccionará un Smartphone de alta gama disponible en el mercado regional. * Se seleccionará un vehículo de características mecánicas óptimas de tamaño mediano se debe mantener una velocidad entre 50 m/s a 80m/s. * Se usará un montaje de ventana ya que brinda más estabilidad al Smartphone.</p>

Fuente: Elaboración propia

1.6 Metodología de la investigación

1.6.1 Tipo de investigación

Considerando que el procedimiento de la presente tesis es medir la regularidad superficial del pavimento de la carretera La Pintada - Cruce Calamuchita, con tres equipos distintos y luego comparar los resultados obtenidos, se establece que el proyecto se encuentra enmarcado dentro de un tipo de Investigación Cuantitativa, porque se emplean índices de medición en función al índice de rugosidad internacional y cualitativa ya que observamos las cualidades de la carretera.

1.6.2 Nivel de la investigación

Esta investigación alcanza un nivel de Investigación Descriptiva del tipo cuantitativo –cualitativo, porque cuantifica la regularidad superficial del pavimento de la carretera La Pintada - Cruce Calamuchita; y luego describe el estado de la carretera de la manera más precisa posible, además esta investigación sigue los criterios de (Tamayo y Tamayo, 2003), que define la investigación descriptiva como la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos.

El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre como una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente.

1.6.3 Método de la investigación

El método considerado para esta investigación es el Método Hipotético, porque se han formulado hipótesis o alternativas de solución a cada uno de los problemas planteados, para después de concluir la investigación; ratificar o no dichas hipótesis a través de deducciones.

1.7 Diseño de la investigación

1.7.1 Diseño metodológico

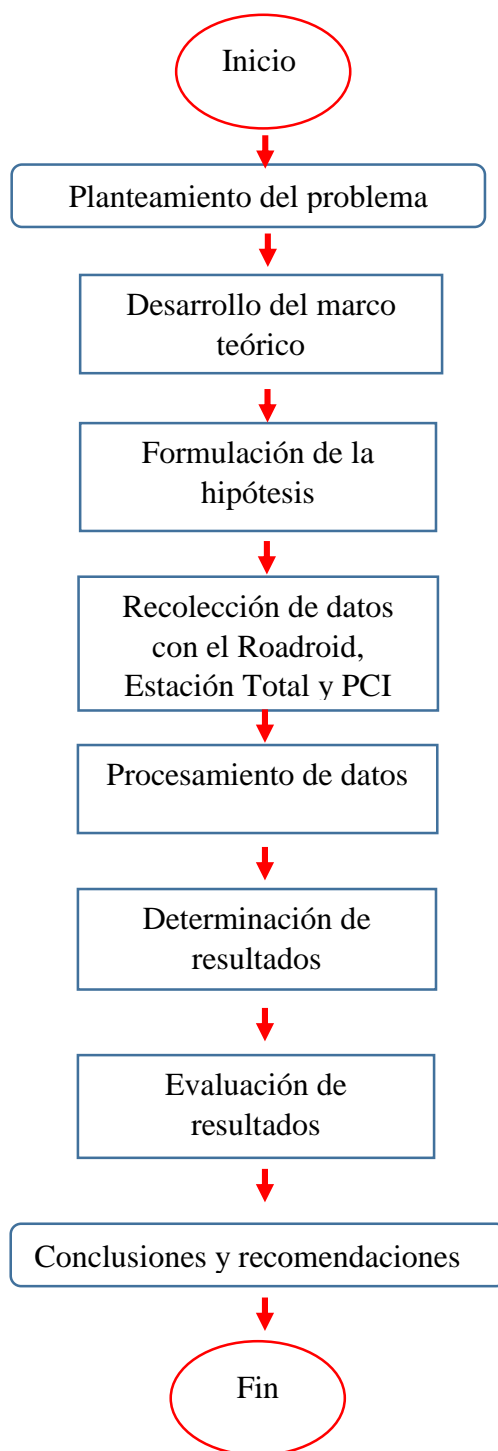
En esta investigación las variables sólo han sido observadas en su contexto real sin alterarlas intencionalmente, por lo tanto esta investigación se enmarca dentro de una investigación No Experimental del tipo Transversal, además según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006), define la investigación no experimental como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables; es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables.

Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

Por otro lado, también se ha considerado, que es del tipo Transversal; porque la recolección de datos se ha realizado en un solo momento; es decir entre marzo y mayo de 2018.

1.7.2 Diseño de ingeniería

Cuadro 1 Diagrama de flujo de desarrollo de la tesis



Fuente: Elaboración propia

1.7.3 Unidad de estudio

Consideramos como unidad de estudio las Fallas Superficiales del Pavimento a objeto de establecer indicadores de estado de un pavimento.

1.7.4 Población

Para la presente investigación la población está dada por la delimitación geográfica del tramo de carretera “Pintada – Cruce de Calamuchita” de pavimento flexible

1.7.5 Muestra

Una unidad de muestra es convenientemente definida por una porción de un pavimento de sección elegida solamente para la inspección del pavimento. De acuerdo al tipo de pavimento que cuenta la vía a evaluar se tiene:

1. Pavimentos de Asfalto: Con un ancho menor a 7.30 m. el área de muestreo debe estar entre $230 \pm 93 \text{ m}^2$. En el siguiente cuadro se presentan algunas relaciones longitud ancho de calzada pavimentada (ver anexos cuadro 1).

Para el número total de muestras, se divide la longitud total de la vía entre la longitud de la muestra, dando como resultado el número de muestras necesarias.

$$N = \frac{\text{longitud total del tramo}}{\text{longitud mínima de muestra}}$$

En el presente caso se tiene una longitud de 12.2 km o 12200 m de tramo La Pintada-Angostura con un ancho de vía de 7.3 m de tabla y por interpolación se saca una longitud de muestreo de **31.5 m.**

$$A = (7.3 * 31.5)$$

$$A = 230 \text{ m}^2$$

Por lo tanto cumple la condición

Para la obtención del número de muestras empleamos la formula anterior

$$N = \frac{12200}{31.5}$$

N = 388 unidades de muestra

1.7.6 Muestreo

En la evaluación del Índice de Condición Presente (PCI) de pavimentos de acuerdo al tamaño de la muestra y con el fin de optimizar el método, se puede tener la evaluación de un proyecto y la evaluación de una red. En la cual se deberán inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible el número mínimo de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 1, la cual se produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2}$$

Donde:

n= Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N= Número total de unidades de muestreo en la selección del pavimento.

e= Error admisible en el estimado del PCI de la sección (e= $\pm 5\%$).

σ =Desviación estándar del PCI entre unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimento asfáltico y de 15 para pavimentos de concreto, estos valores son basados en datos de campo obtenidos de muchas encuestas; sin embargo, si la experiencia local es diferente el promedio de la desviación estándar reflejará la condición local; esta deberá ser usada para la inspección inicial.

$$n = \frac{388 * 10^2}{\frac{5^2}{4} * (388 - 1) + 10^2} = 15.4$$

$n \approx 16$ unidades a evaluar

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar. Esta técnica se la conoce como “sistema aleatorio” descrito en los siguientes tres pasos:

a. El intervalo de muestreo (i), es determinado por:

$$i = \frac{N}{n}$$

Donde:

N = Número total de unidades de muestreo disponible

n = Número mínimo de unidades para evaluar

i =Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior

b. El inicio al azar es o son seleccionados entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i . Por ejemplo, si $i = 3$, la unidad de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3.

c. Las unidades de muestreo para la evaluación se identifican como “ s ”, “ $s + i$ ”, “ $s + 2i$ ”, etc. Si la unidad seleccionada es 3, y el intervalo de muestreo es 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 6, 9, 12, 15, etc.

$$i = \frac{388}{16} = 24.25$$

$i \approx 24$ espacios que tengo que recorrer

Tabla 2. Muestras a ser evaluadas y sus respectivas progresivas.

Muestra	Abcisa Inicial	Abcisa Final
16	0+472,5	0+504
40	1+228,5	1+260
64	1+984,5	2+016
88	2+740,5	2+772
112	3+496,5	3+528
136	4+252,5	4+284
160	5+008,5	5+040
184	5+764,5	5+796
208	6+520,5	6+552
232	7+276,5	7+308
256	8+032,5	8+064
280	8+788,5	8+820
304	9+544,5	9+576
328	10+300,5	10+332
352	11+056,5	11+088
376	11+812,5	11+844

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2 Fundamentación teórica

2.1 Marco situacional

La zona a estudiar es el tramo de carretera de la Pintada –Cruce Calamuchita, de la ciudad de Tarija, Provincia Cercado, del departamento de Tarija.

Este tramo es de los más transitados, por ella circulan todo tipo de vehículos desde autos pequeños hasta flotas y camiones de alto tonelaje.

Como la carretera es de doble sentido, se analizaran muestras al azar para cada vía.

2.1.1 Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicado en la ciudad de Tarija perteneciente a la provincia Cercado, esta carretera nos comunica con la provincia del gran del chaco, el departamento de Santa Cruz y el país vecino de Argentina.

Este tramo de carretera inicia en la comunidad de la Pintada y finaliza en el cruce a la comunidad de Calamuchita.

Figura 1. Inicio del tramo en estudio “La Pintada”



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Final del tramo en estudio “Calamuchita”



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Vista aérea en su totalidad del tramo en estudio



Fuente: Elaboración propia

2.2 Marco histórico

2.2.1 Antecedentes

- **“Presentación de nueva tecnología para medir los valores de índice de rugosidad (IRI) mediante Smartphone”**, realizado por Kolomi M., Síntesis de la evaluación por la Universidad de NEW BRUNSWICK-CANADA., en el 2017.
- **“Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima”**, realizado por Carlos Ignacio Almenara Cueto, de la Pontificia Universidad Católica del Perú, en la ciudad de Lima, en el 2015.

- **“Evaluación y diagnóstico del estado actual de la superficie del pavimento avenida circunvalación de la ciudad de Tarija”**. realizado por Yhordan Wilfredo Torrez B., de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Facultad de Ciencias y Tecnología, en la ciudad de Tarija en el 2015.

2.3 Marco teórico

2.3.1 Reseña

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

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

La concientización sobre la necesidad de mejorar la geometría de las superficies del pavimento y hacer que esta situación se mantenga en el tiempo de uso de la carretera, es tan reciente, que aún no se exige en todos los proyectos.

Pero el poco conocimiento del tema, tampoco permite que los ingenieros se preparen en el asunto y no se logra aún, que las empresas adopten los equipos tradicionales y los procedimientos de construcción a esta exigencia que, dicho de una vez, no es de fácil cumplimiento. Por lo tanto, ni la formación de los técnicos, ni los equipos de producción de mezclas y de colocación de las mismas, ni las especificaciones vigentes, están

actualmente adecuadas para la mejora de esta característica fundamental en el desarrollo vial. (Martínez Naranjo & Tobón García, 2012).

2.3.2 Pavimento

Definición

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub-rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

2.3.2.1 Características que debe reunir un pavimento

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, que permita una adecuada comodidad a los usuarios, en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- Debe ser económico.

- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

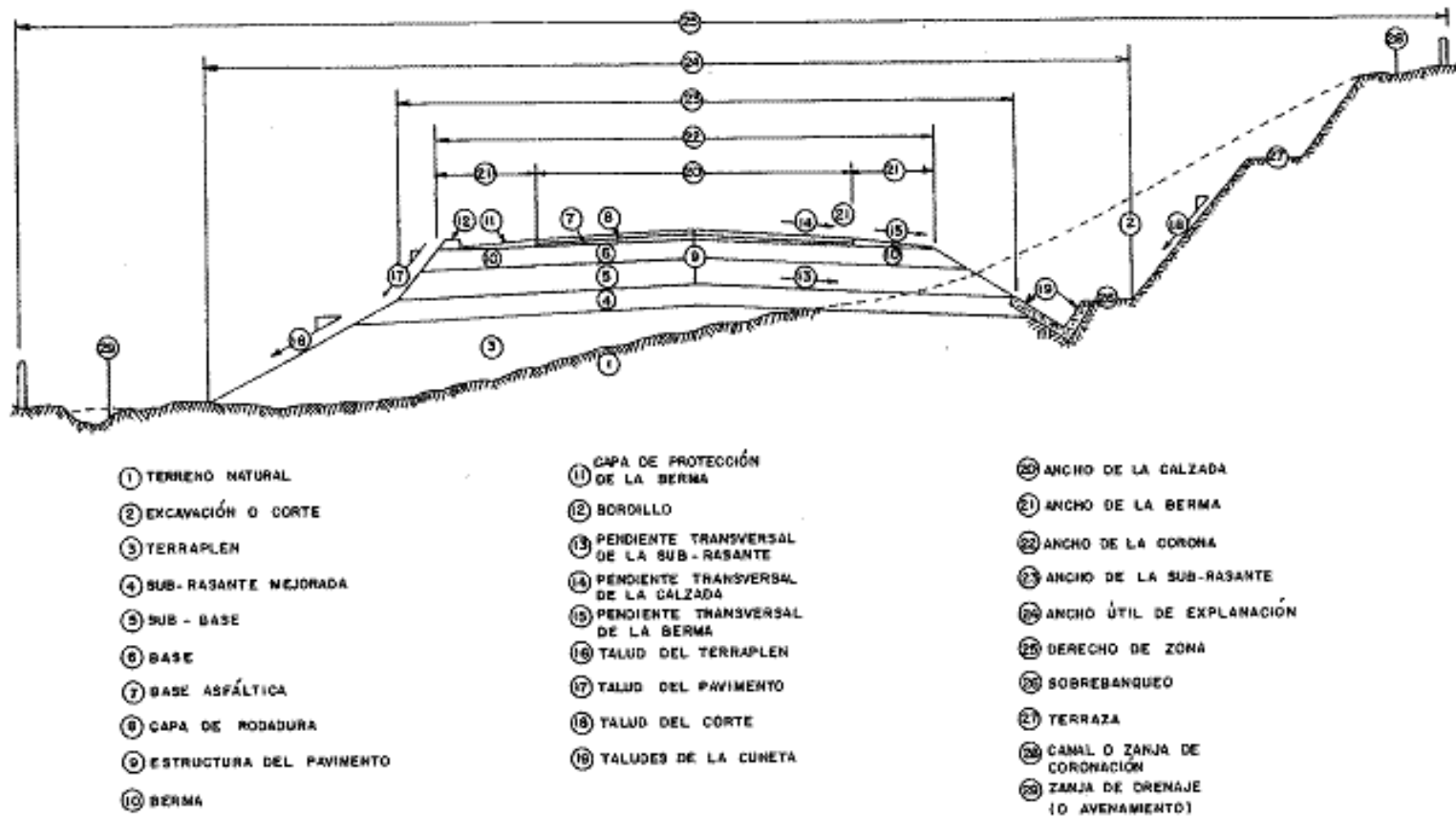
2.3.2.2 Clasificación de pavimentos y características

Los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados.

a) Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra. (Montejo Fonseca, 2008).

Figura 4. Sección típica de un pavimento



Fuente: Montejo Fonseca, 2008

Funciones de las capas de un pavimento flexible

La sub-base granular

- **Función económica.** Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica; en efecto, el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con materiales de alta calidad; sin embargo, es preferible distribuir las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad la cual es frecuentemente la más barata. Esta solución puede traer consigo un aumento en el espesor total del pavimento y no obstante, resultar más económica.
- **Capa de transición.** La sub base bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad.
- **Disminución de las deformaciones.** Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperatura (heladas), pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.
- **Resistencia.** La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitirlos a un nivel adecuado a la subrasante.
- **Drenaje.** En muchos casos la subbase debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

La base granular

- **Resistencia.** La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.
- **Función económica.** Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase respecto a la base.

Carpeta

- **Superficie de rodamiento.** La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
- **Impermeabilidad.** Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.
- **Resistencia.** Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

b) Pavimentos rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub-base del pavimento rígido.

Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante.

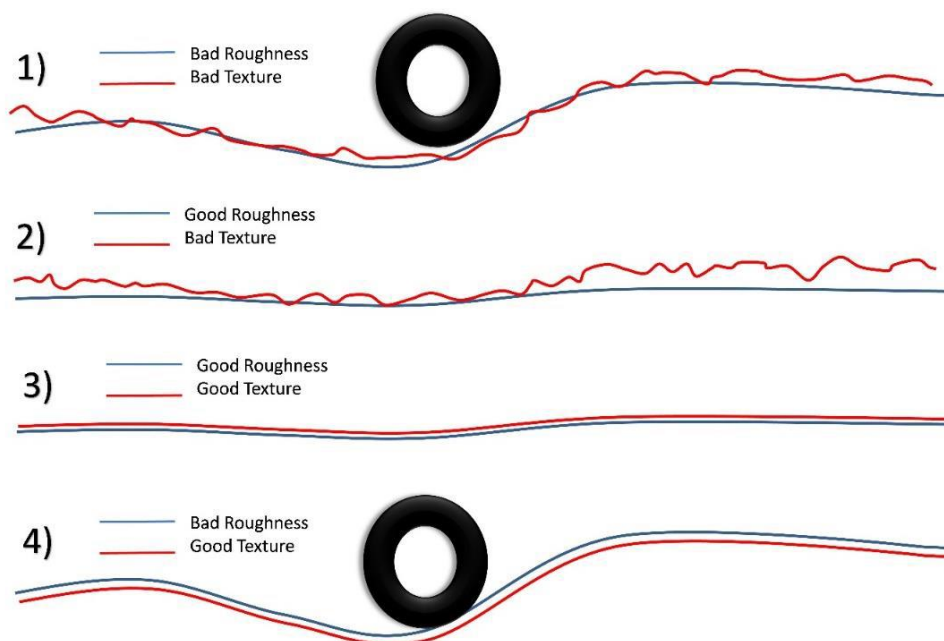
c) Pavimentos articulados

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento. (Montejo Fonseca, 2008).

2.3.3 Rugosidad y textura

La rugosidad de los caminos es uno de los parámetros más usados para evaluar la calidad en una vía y ver el estado del pavimento. Según lo detallado por el ingeniero Forslöp en su artículo académico sobre Rugosidad y Textura (Forslöp,2014), muchos confunden los conceptos de rugosidad y textura, pero estos no son sinónimos como muchos piensan. A continuación se puede apreciar en la **Figura 5** claros ejemplos de la diferencia entre rugosidad y textura de un pavimento.

Figura 5. Comparativa rugosidad y textura en pavimentos



Fuente: Forslöp, 2014

Las unidades de medida de la rugosidad es el índice internacional de rugosidad (IRI) y la textura es referida como macro (también llamada mega) o micro texturas. Las micro texturas, por definición una muy pequeña corrugación en la capa de rodadura del pavimento, son comúnmente referidas en términos de fricción para su gestión.

La expresión buena o mala textura son nombres adoptados por convención, mas no por temas asociados a la calidad. Las macro texturas son llamadas malas por el hecho que son más gruesas mientras que por buenas nos referimos a micro texturas por el hecho de ser muy finas. Para observar un claro ejemplo de te de Estados Unidos. Nosotros construimos pavimentos con micro texturas, buscando que sean lo más lisas posibles como

se puede observar en la **Figura 6** mientras que por temas de adherencia ante situaciones climáticas como lluvias torrenciales y heladas, en Estados Unidos se utilizan acabos macro para que los neumáticos no resbalen, como podemos observar en las **Figuras 7 y 8** textura en pavimentos podemos presentar el caso de nuestro país a diferencia

Figura 6. Micro textura en Tarija



Fuente: Forslöf, 2014

Figura 7. Macro textura para lluvias en Florida EEUU



Fuente: Forslöf, 2014

Figura 8. Macro textura usada para heladas en Colorado EEUU



Fuente: Forslöf, 2014

A menudo la rugosidad y la textura van de la mano, lo que nos dice que si el IRI aumenta es porque la textura empeora. Existen excepciones como el caso 4 de la figura anterior donde pavimentos lisos de concreto o asfalto en caliente con acabados liso pueden tener un alto IRI y pavimentos con gavilla o pérdida de superficie de rodadura pueden tener un IRI bajo pero una textura muy pobre. Los caminos de grava (caso 2 de la figura) tienen una textura extremadamente pobre pero si no existen muchos desniveles verticales puede tener una buena rugosidad, pese a que no se pueda manejar a más de 20 o 30 km/h.

2.3.4 Índice de rugosidad internacional (IRI)

2.3.4.1 Definición

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. (Caro Rivera, Fernando; Peña Castro, Germán A., 2012).

El Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como IRI (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino.

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 7), 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/h.

Así, el IRI es la medición de la respuesta de un vehículo a las condiciones de un camino.

2.3.4.2 Antecedentes

EL Banco Mundial patrocinó varios programas de investigación en los años setentas para conocer los problemas en los países en vías de desarrollo.

Algunos de ellos arrojaron que los caminos con poca inversión en infraestructura resultan costosos a estos países, debido a los costos que los usuarios pagan al circular por esos caminos.

La rugosidad de las carreteras fue identificada como un factor primario en los análisis que involucran la calidad del camino, en función de los costos de los usuarios. Se vio que los datos de la rugosidad de las diferentes partes del mundo no podían ser comparados, debido a que los datos, aun de un mismo país, eran poco confiables, ya que las mediciones estaban basadas en métodos diferentes.

La gran variedad de equipos utilizados para medir la regularidad superficial y los numerosos índices y escalas existentes para establecer los criterios de aceptación de la funcionalidad de una carretera, llevaron a considerar la conveniencia de adoptar un "índice único". Debido a que cada país contaba con un equipo propio, no se podía imponer un solo equipo a todos y tampoco se podía coartar las futuras mejoras de los equipos existentes o el desarrollo de nuevos equipos.

En 1982, el Banco Mundial inició un experimento en Brasil para establecer correlaciones y un estándar de calibración para las mediciones de rugosidad. Se observó que los valores de los equipos de medición de la rugosidad superficial existentes eran correlacionables. Una vez establecido este punto, uno de los objetivos de las investigaciones fue encontrar un índice de referencia al que posteriormente se denominó "Índice Internacional de Rugosidad".

EL Índice Internacional de Rugosidad es el primer índice de perfil ampliamente utilizado, donde el método de análisis está adaptado para trabajar con diferentes tipos de equipos de medición de rugosidad y se puede decir que es una propiedad del perfil de un camino.

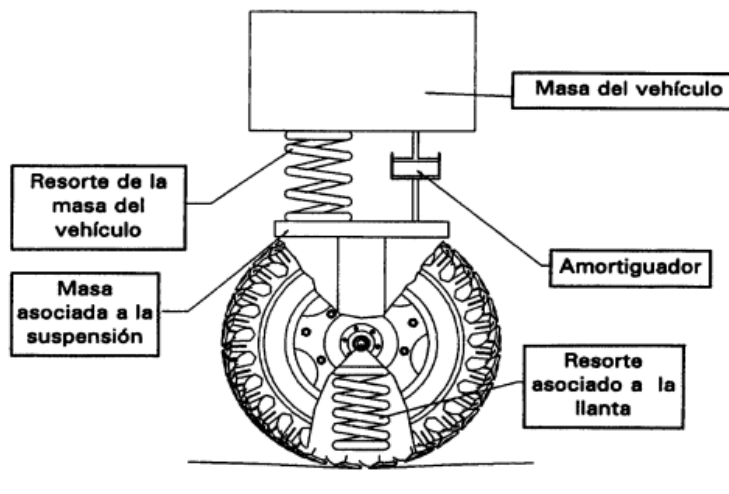
El cálculo del Índice Internacional de Rugosidad se basa en un modelo matemático llamado cuarto de carro (Quarter-Car). El sistema del cuarto de carro calcula la deflexión

de la suspensión de un sistema mecánico simulado como una respuesta similar a la que tuviera el pasajero. Los desplazamientos de la suspensión del modelo son acumulados y divididos entre la distancia recorrida para dar el Índice Internacional de Rugosidad, en unidades de m/km., mm/m, in/mi, etc.

2.3.4.3 El modelo de cuarto de carro

El modelo de cuarto de carro utilizado en el algoritmo del IRI debe su nombre a que implica la cuarta parte de un vehículo. El modelo se muestra en la Figura 9; que incluye una rueda representada por un resorte vertical, la masa del eje soportada por la llanta, un resorte de la suspensión, un amortiguador, y la masa del vehículo soportada por la suspensión de dicha rueda. (Instituto Mexicano del Transporte, 1998).

Figura 9. Representación gráfica del modelo de “cuarto de carro”



Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 1998.

EL modelo cuarto de carro fue ajustado para poder establecer una correlación con los sistemas de medición de rugosidad del tipo respuesta.

2.3.4.4 Escala y características del IRI

La escala y características involucradas en el IRI son las siguientes:

- Las unidades están en mm/m, m/km o in/mi
- El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable.
- Para una superficie con pendiente constante sin deformaciones (plano inclinado perfecto), el IRI es igual a cero. Por lo que la pendiente, como tal, no influye en el valor del IRI, no así los cambios de pendiente.

Tabla 3. Valores del IRI

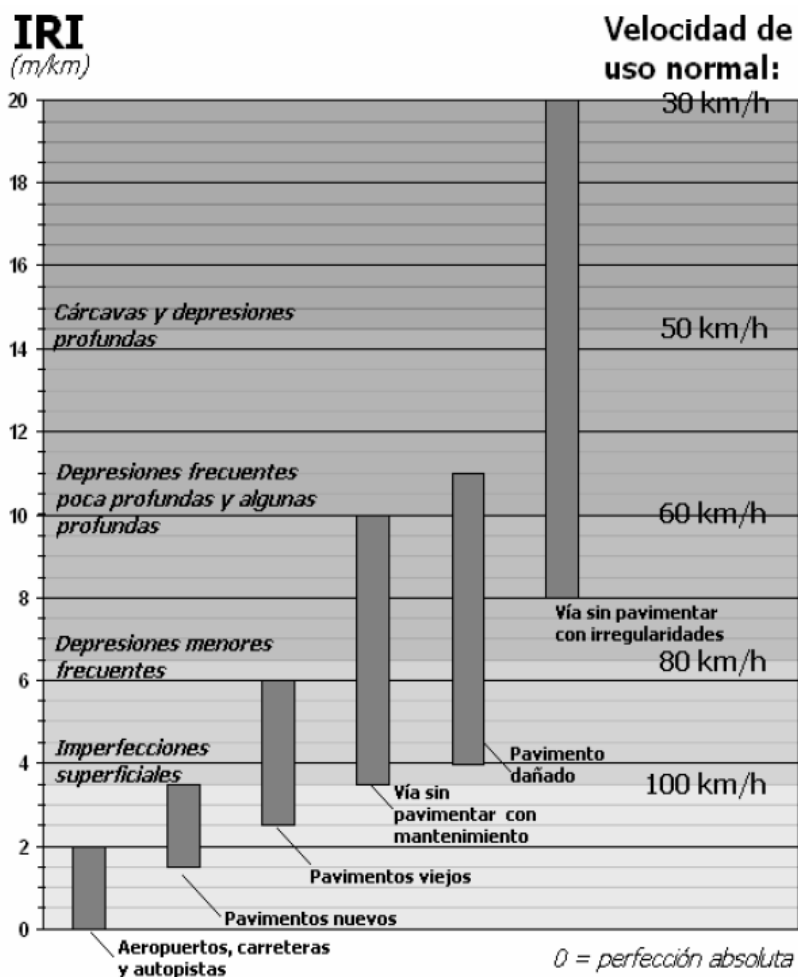
IRI	
Categoría	Rango (m/km)
Bueno	0 - 3,6
Regular	3,6 - 6,4
Malo	6,4 - 10
Muy malo	10 en adelante

Fuente: Ingeniería de pavimentos (ingepav)

La capa de rodadura de una carretera posee una serie de características técnicas y funcionales, obtenidas a partir de criterios y especificaciones de construcción. Su estado depende de la calidad inicial y del desgaste o deterioro producido por el tránsito y los factores climáticos, entre otros.

A nivel de red, partiendo de las mediciones de rugosidad de un camino, se puede definir el estado de los pavimentos mediante el índice de rugosidad; si se realiza un programa de evaluación anual en esos mismos caminos se puede llegar a conocer el comportamiento del deterioro a través del tiempo.

Figura 10. Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías



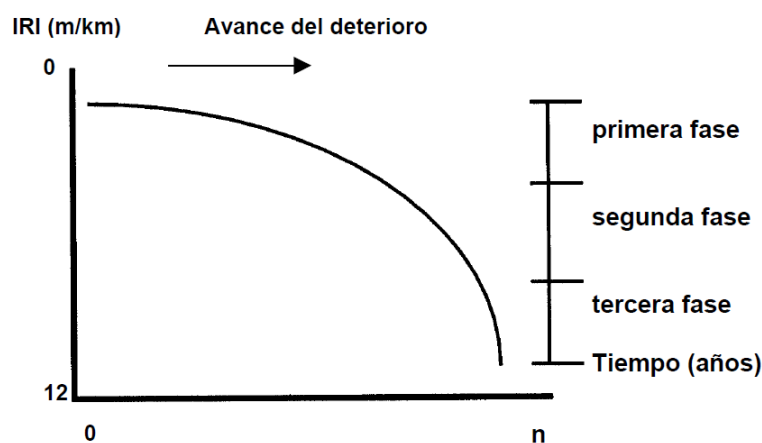
Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 1998.

El comportamiento típico de la condición superficial respecto al tiempo se puede representar en la Figura 10; en la que se observa que a partir de un cierto nivel de rugosidad del camino, los factores que afectan al mismo son el tránsito, el medio ambiente, etc., que ocasionan la disminución de la calidad superficial.

Esta disminución no es lineal sino que se puede dividir en tres etapas, donde la primera tiene un deterioro poco significativo en los primeros años; la segunda presenta un deterioro más acusado que en la primera, y requiere comenzar a programar un

mantenimiento para no dejar avanzar el deterioro, la tercera significa una etapa de deterioro acelerado, ya que en pocos años el nivel de servicio cae de forma importante, con lo que va a llegar a un costo significativo de mantenimiento del camino y, como límite, puede ser necesaria una reconstrucción total del mismo. (Instituto Mexicano del Transporte, 1998).

Figura 11. Gráfico típico del avance del deterioro de un camino respecto al tiempo.



Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 1998.

Los sistemas de gestión deben tratar de que gran parte de las carreteras por las que pasa la mayor riqueza del país, se mantengan con una buena calidad de servicio, a base de programar su rehabilitación a tiempo y con recursos suficientes. (Instituto Mexicano del Transporte, 1998).

2.3.5 Métodos para la medición de la rugosidad

2.3.5.1 Clasificación de los métodos

Los diversos métodos para medir la rugosidad que existe en el mundo pueden agruparse, de acuerdo a la clasificación dada por el Banco Mundial, en cuatro clases genéricas, con relación a cuán directa sea la correlación que emplean para relacionar sus medidas con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

Métodos Clase 1.- Perfiles de alta precisión

Basados en la medición de perfiles topográficos de gran precisión, estos métodos se constituyen como los más exactos que existen para la determinación del IRI. Los métodos de la clase 1 establecen la rugosidad a través de la determinación muy exacta del perfil longitudinal de un pavimento, con medidas espaciadas cada 0.25 m y cotas con una precisión de 0.5 mm. A esta clase pertenecen los métodos basados en la medición del perfil del pavimento con el perfilómetro TRRL Beam, y, con mira y nivel de precisión (Rod and Level).

Figura 12. Perfilómetro láser de clase 1.



Fuente: (<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-16699>)

Métodos Clase 2.- Otros métodos perfilométricos

Esta clase incluye todos los otros métodos en los cuales la rugosidad se determina sobre la base de la medición del perfil longitudinal, pero con una exactitud menor que los de la Clase 1. Estos métodos recurren al uso de perfilómetros de alta velocidad o mediciones estáticas con equipos similares a los de Clase 1, pero con niveles inferiores de exactitud. Entre los perfilómetros de alta velocidad se tienen, el APL Trailer y GMRtype Inertial Profilometer.

Figura 13. Perfilómetro APL.



Fuente: (Nava, 2007)

Tanto los métodos Clase 1, como los Clase 2, establecen la rugosidad en unidades IRI haciendo uso de programas de cómputo, los cuales se basan en algoritmos matemáticos que simulan la respuesta dinámica que experimenta el sistema de suspensión de un vehículo modelo, al “transitar” por el perfil medido. Dicha respuesta se sintetiza finalmente en la cantidad de movimiento relativo vertical acumulado por unidad de longitud, expresado en m/km y que recibe el nombre de IRI.

Métodos Clase 3.- Estimaciones del IRI mediante correlaciones

En esta clase están los métodos que recurren al uso de una ecuación de correlación para la estimación del IRI. Estos métodos, también denominados “tipo respuesta” (Response-Type Road Roughness Measuring System, o simplemente, RTRRMS), establecen la rugosidad basados en la detección del movimiento relativo que experimenta el sistema de suspensión de un vehículo de pasajeros o de un tráiler remolcado, al transitar sobre el pavimento.

Las mediciones efectuadas mediante los métodos Clase 3 dependen de las características dinámicas de un vehículo, para proporcionar parámetros de rugosidad que puedan correlacionarse con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Sin embargo, las propiedades dinámicas de cada vehículo son particulares y cambian con el tiempo, por lo

que las mediciones directas deben ser correlacionadas con el IRI mediante una ecuación de calibración, que debe ser obtenida experimentalmente y específicamente para el vehículo empleado.

Los métodos Clase 3 emplean diversos tipos de equipos, tales como el Mays Meter (Norteamericano), Bump Integrator (Inglés), NAASRA Meter (Australiano), etc., todos ellos producidos comercialmente.

Métodos Clase 4.-

Hay situaciones en las que se requieren datos de rugosidad sin necesidad de una gran precisión o simplemente no es posible obtener datos precisos. En tales casos se puede recurrir a una evaluación subjetiva, ya sea mediante experiencia previa recorriendo caminos o basándose en una inspección visual. De hecho un equipo tipo respuesta que no está calibrado cae dentro de la categoría de Clase 4. (Del Águila Rodríguez, 1999).

2.3.6 Equipos para evaluar la rugosidad

Existen diferentes equipos para determinar la regularidad superficial de los pavimentos, los cuales han venido evolucionando en el tiempo, variando unos de otros en la precisión y rapidez para la obtención de los resultados.

a) Nivel y mira topográfica

Es la manera más conocida para la medición del perfil longitudinal. El equipo consiste en una mira de precisión graduada con unidades convenientes de elevación (típicamente divisiones de cm o ft), y un nivel topográfico empleado para establecer el dato de la línea horizontal. Debido a que el proceso de recolección de datos es relativamente lento, en comparación con otros equipos, es considerado de bajo rendimiento. Tiene una gran precisión y permite obtener una medida exacta del perfil del pavimento, generalmente utilizado cuando se miden pocos perfiles.

Figura 14. Nivel y mira topográfica.



Fuente: Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008.

b) Dipstick

Los equipos Dipstick pueden usarse para obtener una cantidad relativamente pequeña de medidas del perfil longitudinal del pavimento. El Dipstick consiste en un inclinómetro sostenido entre dos apoyos separados por 300mm o 250mm, los cuales registran la elevación de un apoyo relativo a la elevación del otro.

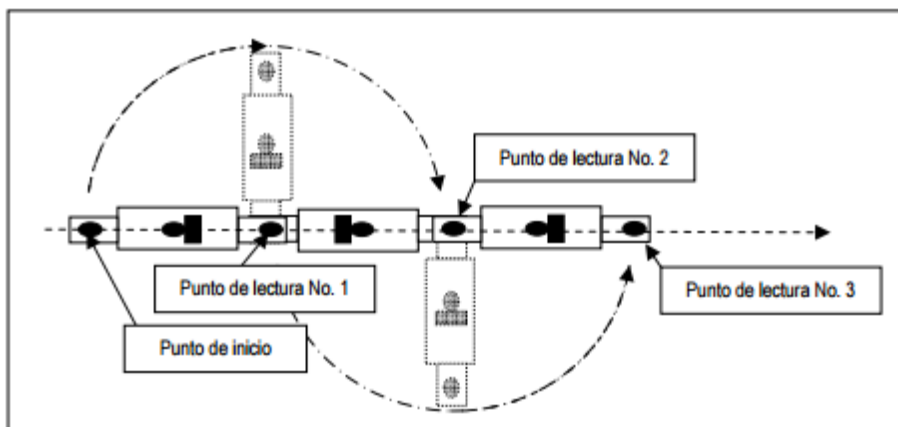
El operador conduce el Dipstick sobre una sección de pavimento premarcada, rotando el instrumento alternadamente sobre cada apoyo (ver Figura 15 y 16). El Dipstick comúnmente es usado para medir un perfil para la calibración de instrumentos más complejos, tal como los equipos tipo respuesta RTRRMS, así mismo para la verificación de resultados obtenidos por los perfilómetros inerciales. (Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008).

Figura 15. Equipo Dipstick.



Fuente: Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008.

Figura 16. Operación del equipo Dipstick



Fuente: Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008.

c) Perfilógrafos

Los Perfilógrafos han estado disponibles durante muchos años y han existido en una variedad de formas, configuraciones y marcas. Dos tipos básicos de perfilógrafos que se

han desarrollado, que difieren en la configuración del sistema de ruedas que los soportan, el funcionamiento y procedimientos de medida de los dispositivos, son el perfilógrafo California y el Rainhart (ver Figura 17 y Figura 18).

Figura 17. Perfilógrafo California



Fuente: Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008.

Figura 18. Perfilógrafo Rainhart



Fuente: Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008.

Los perfilógrafos tienen una rueda sensible, montada al centro del marco para mantener el movimiento vertical libre. La desviación de un plano de referencia, establecido por el marco del perfilógrafo, se registra en papel según el movimiento de la rueda sensible.

Los perfilógrafos pueden calcular desviaciones muy ligeras de la superficie y ondulaciones en aproximadamente 6.0 m (20 pies) en longitud. Los perfilógrafos son aparatos relativamente baratos, simples de manejar y mantener, y proveen un perfil de la superficie analizada que los usuarios fácilmente pueden entender. Ambos son operados manualmente por una sola persona, a la velocidad normal de caminado; por esta razón no

se usan para obtener la regularidad de una red de carreteras, labor que requiere de alta velocidad.

Su principal uso ha sido en el control de calidad de construcciones, en los cuales se realizan re chequeos de los nuevos tramos de pavimentos con defectos y verificar su corrección. Son también muy apropiados para examinar losas de puentes, así como para aquellos trabajos que requieren sólo una distancia corta de perfil.

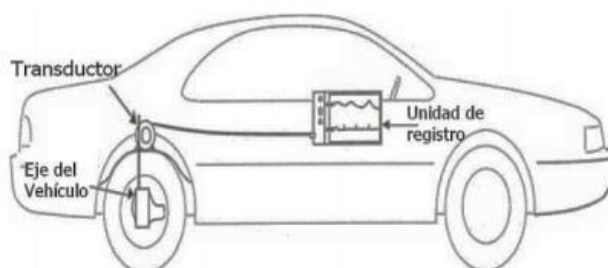
d) Equipos tipo respuesta (RTRRMS)

Por largos años, la mayoría de datos de regularidad de los pavimentos de una red fueron obtenidos con vehículos instrumentados con medidores de las irregularidades de las superficies de rodamiento, llamados sistemas de medición de la regularidad de una carretera tipo respuesta (RTRRMS, por sus siglas del inglés “response-type road roughness measuring system”).

Los equipos RTRRMS operan a la velocidad normal de circulación de una carretera, estos dispositivos están montados en un vehículo liviano, o en un remolque especial. Los equipos RTRRMS miden los movimientos verticales del eje trasero del automóvil o el eje del remolque respecto al marco del vehículo.

De esta manera el equipo mide la respuesta (rebote) del vehículo a la regularidad del camino, por lo que no es realmente una medida verdadera de la lisura de la superficie (ver Figura 19). (Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008).

Figura 19. Componentes de equipos de respuesta



Fuente: Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008.

Por consiguiente, el hecho de que el sistema tipo respuesta dependa de la dinámica del vehículo anfitrión tiene varios efectos no deseados:

- Las medidas de regularidad no son estables en el tiempo.
- Las medidas de regularidad no son transportables.

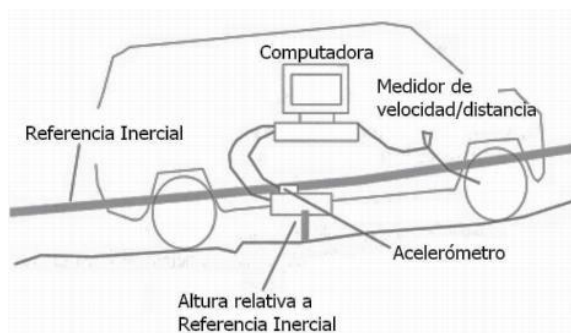
A pesar de estos y otros problemas asociados con medidores tipo respuesta, han estado funcionando durante los últimos 50 años y aún con el advenimiento de otros perfilógrafos, gran cantidad de agencias de carreteras los siguen usando.

e) Perfilómetro inercial

El perfilómetro inercial es un equipo de alto rendimiento que producen medidas automáticas y de alta calidad del perfil del camino; concebidos especialmente para el análisis de la regularidad superficial de la carretera, tanto longitudinal como transversal, superando la calidad y precisión a cualquier equipo tradicional.

Estos equipos producen medidas continuas del perfil longitudinal a altas velocidades a través de la creación de una referencia inercial, integrado por acelerómetros colocados en el vehículo los cuales permiten obtener el movimiento vertical del mismo y sensores de “no contacto” (por ejemplo, dispositivos láser infrarrojos) utilizados para medir el desplazamiento relativo entre el vehículo y la superficie del pavimento (ver Figura 20).

Figura 20. Componentes de equipos con referencia inercial



Fuente: Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008.

Las mediciones son independientes de cualquier variación en el peso y velocidad del vehículo, temperatura, color y textura del pavimento. Generan el perfil longitudinal del camino en tiempo real y sobre todo tienen la ventaja de realizar las mediciones a altas

velocidades, facilitando la obtención de datos en una determinada vía. (Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008).

Tabla 4. Equipos utilizados para la medición de la regularidad superficial del pavimento.

Equipo	Grado de precisión	Implementación	Complejidad del equipo	Observaciones
Nivel y mira topográfica	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Simple	Poco práctico y costos muy elevados para proyectos largos
Dipstick	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	muy simple	Poco práctico y costos muy elevados para proyectos largos
Perfilógrafos	Medio	Control de calidad y recepción de obras	Simple	No son prácticos para evaluar la condición a nivel de red
Equipos tipo respuesta (RTRRMS)	Medio	Monitoreo de carreteras a nivel de red	Compleja	Los resultados no son transportables ni estables en el tiempo, pues dependen de la dinámica particular del vehículo
Perfilómetro inercial	Muy alto	Monitoreo de carreteras a nivel de red y recepción de proyectos viales	Muy compleja	Equipo de alta precisión, cuyos resultados son transportables y estables en el tiempo. Su principal uso es la evaluación de red viales grandes

Fuente: Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008.

La mayor experiencia en el Bolivia está relacionada con métodos tradicionales, recientemente se fueron implementado nuevas tecnologías. La Estación Total es un equipo de alta precisión pero de bajo rendimiento según el banco mundial este equipo es categorizado como un equipo de clase 1 por su alto nivel de precisión.

2.3.6 Especificaciones internacionales de IRI aplicada en otros países

Diferentes países han desarrollado proyectos viales en las cuáles han afinado la metodología de medición del IRI inicial en la construcción de carreteras.

Estas investigaciones apuntan a proponer estrategias de mantenimiento, delimitar valores del IRI para cada tipo y antigüedad de pavimento. Además, presentan distintos procedimientos en la toma de datos para el cálculo del IRI, algunos países obtienen datos cada 1000 metros, otros cada milla, etc.

2.3.7 Índice de condición de pavimento PCI

Introducción

El Índice de Condición del Pavimento (PCI, por su sigla en inglés) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad. La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las que constituyen el sistema y las cuales se presentan a continuación.

Se presentan la totalidad de los daños incluidos en la formulación original del PCI, pero eventualmente se harán las observaciones de rigor sobre las patologías que no deben ser consideradas debido a su génesis o esencia ajenas a las condiciones locales.

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “valores deducidos”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En el Cuadro 1 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 5. Rangos de clasificación del PCI

Rango PCI %	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

Fuente: Elaboración propia

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie.

La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

2.3.7.1 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. Las Figuras 1 y 2 ilustran los formatos para la inspección de pavimentos asfálticos y de concreto, respectivamente. Las figuras son ilustrativas y en la práctica debe proveerse el espacio necesario para consignar toda la información pertinente.

Figura 21. Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica

METODO PCI					ESQUEMA			
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTOS EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE								
HOJA DE REGISTRO								
Nombre de la vía: _____			Sección: _____			Unidad de muestra: _____		
Ejecutor: _____			Fecha: _____			Área: _____		
1. Piel de cocodilo	6. Depresión	11. Parches y parches de cortes utilitarios	16. Fisura parabolica o por deslizamiento					
2. Exudación	7. Fisura de borde	12. Agregado pulido	17. Hinchamiento					
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta	13. Baches	18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados					
4. Abultamientos y hundimientos	9. Desnivel camil-berma	14. Ahuellamiento						
5. Corrugación	10. Fisuras longitudinales y transversales	15. Desplazamiento						
FALLA	CANTIDAD				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	

Fuente: Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

2.3.7.1.1 Unidades de muestreo

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura:

a. Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$. En el Cuadro 2 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla 6. Longitudes de unidades de muestreo método PCI

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5,0	46,0
5,5	41,8
6,0	38,3
6,5	35,4
7,3 (máxima)	31,5

Fuente: Elaboración propia

b. Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Pórtland y losas con longitud inferior a 7.60 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 20 ± 8 losas.

Se recomienda tomar el valor medio de los rangos y en ningún caso definir unidades por fuera de aquellos. Para cada pavimento inspeccionado se sugiere la elaboración de esquemas que muestren el tamaño y la localización de las unidades ya que servirá para referencia futura.

2.3.7.1.2 Determinación de las unidades de muestreo para evaluación

En la “Evaluación de una red” vial puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

En la “Evaluación de un proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 2, la cual produce un estimado del $PCI \pm 5$ del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2}$$

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N = Número total de unidades de muestreo en la selección del pavimento.

e = Error admisible en el estimado del PCI de la sección ($e=\pm 5\%$).

σ = Desviación estándar del PCI entre unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (s) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35) En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ($n < 5$), **todas las unidades deberán evaluarse.**

2.3.7.1.3 Selección de las unidades de muestreo para inspección

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

- El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la Ecuación 3:

$$i = \frac{N}{n}$$

Donde:

N =Número total de unidades de muestreo disponible.

n = Número mínimo de unidades para evaluar.

i = Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3.7 se redondea a 3)

- El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i . Así, si $i = 3$, la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S + 1), (S + 2), etc.

Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc.

Sin embargo, si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación (rehabilitación), todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas.

2.3.7.1.4 Selección de unidades de muestreo adicionales

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez (por ejemplo, “cruce de línea férrea”) queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria.

Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

2.3.7.1.5 Evaluación de la condición

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños de este manual para obtener un valor del PCI confiable.

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

a. Equipo.

- Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
- Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
- Manual de Daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

b. Procedimiento. Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida de daños. Se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la condición” para cada unidad muestreo y en los formatos cada renglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.

c. El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía.

2.3.7.2 Fallas, niveles de severidad y unidad de medida fallas, niveles de severidad y unidad de medida

A continuación se describen los tres niveles de severidad: Low (**L**), Medium (**M**) y High (**H**); correspondiente a cada tipo de falla y que representan los efectos que éstas

tienen sobre la calidad del tránsito. Además, se indica la unidad de medida con la que las fallas deben ser evaluadas durante la inspección visual.

1. Piel de cocodrilo

L – Finas fisuras longitudinales del espesor de un cabello, con recorrido paralelo entre ellas y con algunas o ninguna fisura de interconexión. Las fisuras no están desintegradas. Ver figura 22.a.

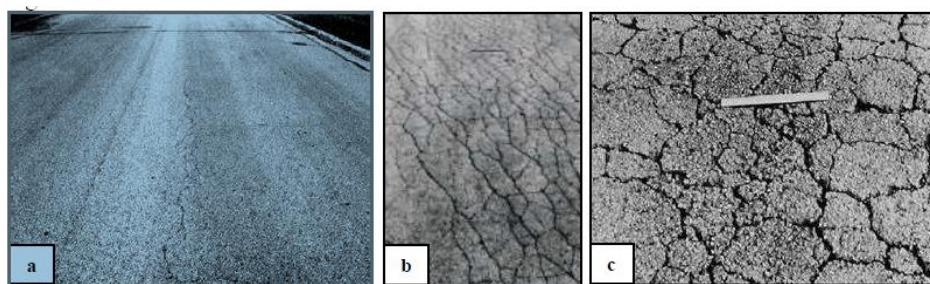
Ver figura 22.a.

M – Continuación del desarrollo de las fisuras de piel de cocodrilo, finas, en un patrón o red de fisuras que podrían estar ligeramente desintegradas. Ver figura 22.b.

H – El patrón o red de fisuras muestra un progreso tal que las piezas que conforman la piel de cocodrilo están bien definidas y descascaradas en los bordes. Algunas de las piezas podrían oscilar o moverse bajo tráfico. Ver figura 22.c.

Unidad de medida – La piel de cocodrilo es medida en metros cuadrados. Si hay presencia de dos o tres niveles de severidad en una misma área de falla éstas porciones deben ser medidas y registradas por separado; sin embargo, si los diferentes niveles de severidad no pueden ser divididos fácilmente, la totalidad del área debe ser calificada con el mayor nivel de severidad presente.

Figura 22. Piel de cocodrilo, severidad bajo (a), medio (b), y alto (c)



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

2. Exudación

L – La exudación sólo ha ocurrido a un nivel muy ligero y es percibida sólo durante algunos días al año. El asfalto no se pega a los zapatos o llantas de los vehículos. Ver figura 23.a.

M – La exudación ha ocurrido llegando al punto en que el asfalto se pega a los zapatos o a las llantas de los vehículos sólo durante algunas semanas en el año Ver figura 23.b.

H – La exudación ha ocurrido en forma extensiva y una cantidad considerable de asfalto se pega a los zapatos y llantas de los vehículos al menos durante varias semanas al año. Ver figura 23.c.

Figura 23. Exudación de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

Unidad de medida – La exudación es medida en metros cuadrados.

3. Fisuras en bloque

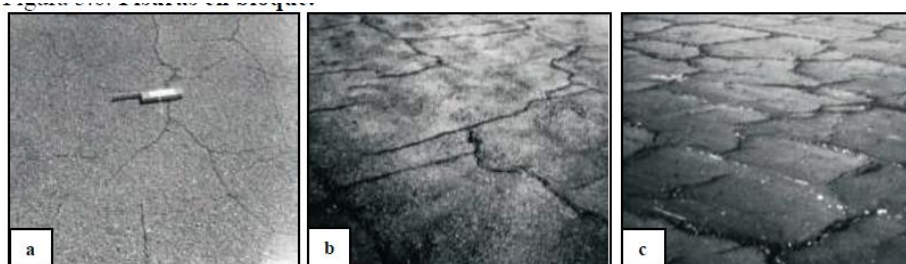
L – Los bloques están definidos por fisuras de baja severidad. Ver figura 24.a.

M – Los bloques están definidos por fisuras de mediana severidad. Ver figura 24.b.

H – Los bloques están definidos por fisuras de alta severidad. Ver figura 24.c.

Unidad de medida – Las fisuras en bloque son medidas en metros cuadrados. Esta falla generalmente ocurre en un sólo nivel de severidad por sección de pavimento; sin embargo, si áreas con distintos niveles de severidad pueden ser distinguidas fácilmente, entonces dichas áreas deben ser medidas y registradas en forma separada.

Figura 24. Fisuras en bloque de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

4. Abultamientos y hundimientos

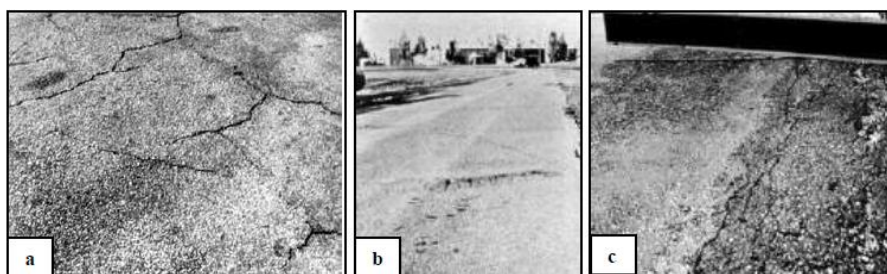
L – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de baja severidad, es decir, que se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo al pasar sobre el área fallada, pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote ligeramente, pero causa poca incomodidad. Ver figura 25.a.

M – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, que se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo al pasar sobre la zona afectada y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad. Los abultamientos hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote significativamente, creando algo de incomodidad. Ver figura 25.b.

H – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de alta severidad. Las vibraciones del vehículo son tan excesivas que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote excesivamente, creando mucha incomodidad, peligrando la seguridad o un alto potencial de daño severo en el vehículo. Ver figura 25.c.

Unidad de medida – Los abultamientos y hundimientos son medidos en metros lineales. Si un abultamiento ocurre en combinación con una fisura, la fisura también es registrada.

Figura 25. Abultamientos y hundimientos de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

5. Corrugación

L – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad, como ya se vio en la falla anterior, se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo de inspección, pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad. Ver figura 26.a.

M – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad. Ver figura 26.b.

H – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad. Se perciben vibraciones excesivas dentro del vehículo, por lo que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad. Ver figura 26.c.

Unidad de medida – La corrugación es medida en metros cuadrados.

Figura 26. Corrugación de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

6. Depresión

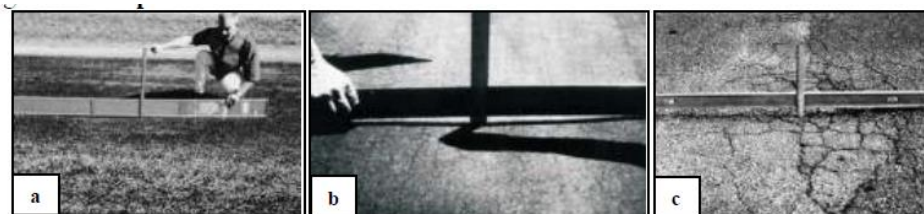
L – La depresión tiene una altura que varía de 13 a 25 mm. Ver figura 27.a.

M – La altura deprimida tiene un rango de 25 a 50 mm. Ver figura 27.b.

H – La depresión tiene más de 50 mm. Ver figura 27.c.

Unidad de medida – Las depresiones son medidas en metros cuadrados.

Figura 27. Depresión de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

7. Fisura de borde

L – Se da un bajo o mediano fisuramiento sin fragmentación o desprendimiento. Ver figura 28.a.

M – Se aprecia un mediano fisuramiento con alguna fragmentación o desprendimiento. Ver figura 28.b.

H – Existe una desintegración considerable a lo largo del borde. Ver figura 28.c.

Unidad de medida – Las fisuras de borde son medidas en metros lineales.

Figura 28. Fisura de borde de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

8. Fisura de reflexión de junta (de losas de concreto longitudinales o transversales)

L – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10

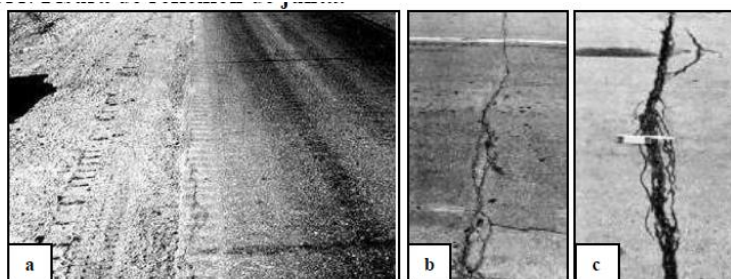
mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno se encuentra en buenas condiciones). Ver figura 29.a.

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad. Ver figura 29.b.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno rodeada de fisuras de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está desprendido o fracturado. Ver figura 29.c.

Unidad de medida – Las fisuras de reflexión de junta son medidas en metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura debe ser identificada y registrada por separado. Si se presenta un abultamiento en la fisura de reflexión, éste también debe ser registrado.

Figura 29. Fisura de reflexión de junta de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

9. Desnivel carril - berma

L – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 25mm y menor a 50 mm. Ver figura 30.a.

M – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 50mm y menor a 100 mm. Ver figura 30.b.

H – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 100 mm. Ver figura 30.c.

Unidad de medida – El desnivel carril-berma es medido en metros lineales.

Figura 30. Desnivel carril - berma de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

10. Fisuras longitudinales y transversales

L – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno está en buenas condiciones). Ver figura 31.a.

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75 mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras en forma aleatoria, de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad y en forma aleatoria. Ver figura 31.b.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno, rodeada de fisuras en forma aleatoria, de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está severamente fracturado. Ver figura 31.c.

Unidad de medida – Las fisuras longitudinales y transversales con medidas en metros lineales. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su longitud, cada porción de la fisura con distinto nivel de severidad debe ser registrada por separado.

Figura 31. Fisuras de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

11. Parches y parches de cortes utilitarios

L – El parche se encuentra en buenas condiciones y la calidad de tránsito es de baja severidad. Ver figura 32.a.

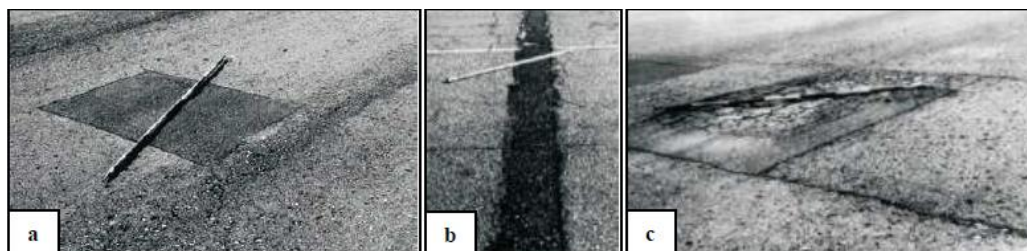
M – El parche está deteriorado en forma moderada, la calidad de tránsito es calificada como de mediana severidad. Ver figura 32.b.

H – El parche se encuentra muy deteriorado y la calidad de tránsito es de alta severidad. Ver figura 32.c.

Unidad de medida – Los parches son medidos en metros cuadrados. Si un mismo parche tiene áreas con diferentes niveles de severidad, éstas áreas deben ser medidas y registradas por separado.

Cualquier tipo de falla encontrada en el parche no debe ser registrada; sin embargo, su efecto en el parche será considerado para determinar su nivel de severidad.

Figura 32. Parches de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

12. Agregado pulido

No hay niveles de severidad definidos para este tipo de falla. El agregado pulido debe ser claramente notable en la unidad de muestra, y la superficie de agregado debe ser suave al tacto. Ver figura 33.

Unidad de medida – El agregado pulido es medido en metros cuadrados. Si se registra exudación, entonces el agregado pulido ya no debe ser registrado.

Figura 33. El agregado pulido no tiene niveles de severidad definidos.



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

13. Baches

Los niveles de severidad para baches menores a 750 mm de diámetro están determinados de acuerdo a la tabla 3.4. En la figura 3.16.a se puede apreciar un bache de severidad baja.

Tabla 7. Niveles de severidad para baches de diámetro menor a 750 mm.

Profundidad máxima del hueco	Diámetros medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12,7 a 25,4 mm	B	B	M
> 25,4 a 50,8 mm	B	M	A
> 50,8 mm	M	M	A

Fuente: Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

Si el bache tiene un diámetro mayor a 750 mm, el área debe ser determinada en metros cuadrados y dividida entre 0.5 m² para hallar el número equivalente de baches. Si la profundidad es menor o igual a 25 mm los baches son considerados de mediana severidad (ver figura 34.b); en cambio, si la profundidad es mayor a 25 mm, los baches son de alta severidad (ver figura 34.c).

Unidad de medida – Los baches no son medidos sino contados y registrados por separado de acuerdo a su nivel de severidad bajo, mediano o alto.

Figura 34. Baches de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

14. Ahuellamiento

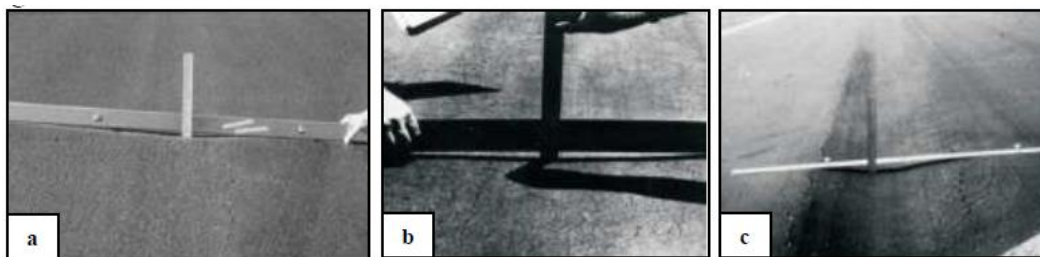
L – La depresión superficial, causada por las ruedas de los vehículos, varía entre 6 y 13 mm. Ver figura 35.a.

M – La depresión va entre 13 y 25 mm. Ver figura 35.b.

H – La depresión es mayor a 25 mm. Ver figura 35.c.

Unidad de medida – El ahuellamiento es medido en metros cuadrados.

Figura 35. Ahuellamiento de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

16. Fisura parabólica o por deslizamiento

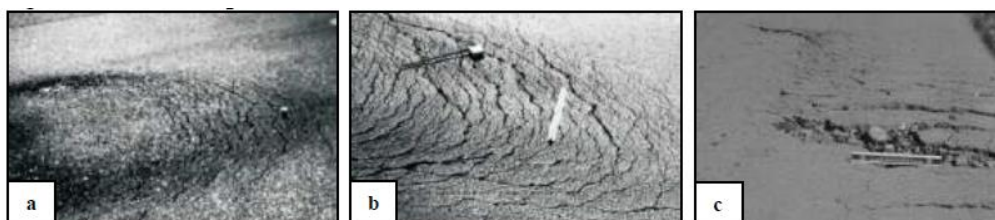
L – El ancho promedio de la fisura es menor a 10 mm. Ver figura 36.a.

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es ≥ 10 y < 40 mm; b) el área que rodea la fisura está descascarada en forma moderada, o rodeada de otras fisuras. Ver figura 36.b.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es > 40 mm; b) el área que rodea la fisura está fracturada en pequeñas piezas removidas. Ver figura 36.c.

Unidad de medida – Las fisuras parabólicas o por deslizamiento son medidas en metros cuadrados y calificadas de acuerdo al mayor nivel de severidad presente en el área.

Figura 36. Fisura parabólica de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

17. Hinchamiento

L – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad baja.

M – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad mediana.

H – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad alta.

Ver figura 37.

Unidad de medida –El área de hinchamiento es medido en metros cuadrados.

Figura 37. Hinchamiento de alta severidad.



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados

L – El agregado o el ligante ha comenzado a desprenderse. En algunas áreas de la pista se aprecian huecos. En el caso de derrames, las manchas de aceite son visibles, pero la superficie está dura y no puede ser penetrada con una moneda. Ver figura 38.a.

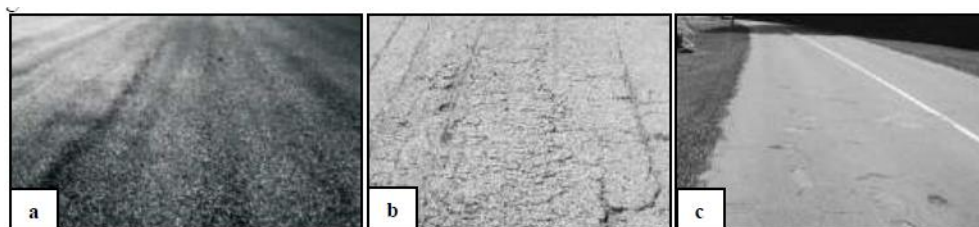
M – Se han desprendido los agregados o el ligante. La textura en la superficie es moderadamente rugosa y presenta pequeños huecos. En el caso de derrames de aceite, la superficie es suave y puede ser penetrada con una moneda. Ver figura 38.b.

H – El desprendimiento del ligante y el agregado es considerable. La textura de la superficie es muy rugosa y está severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas son menores a 10 mm en diámetro y menores a 13mm en profundidad; las áreas ahuecadas mayores que éstas son consideradas como fallas tipo baches. Para el caso de los derrames de aceite,

el ligante asfáltico ha perdido su efecto de liga y el agregado ha comenzado a perderse. Ver figura 38.c.

Unidad de medida –Las peladuras y desprendimientos son medidos en metros cuadrados.

Figura 38. Peladura de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

2.3.7.3 Cálculo del PCI de las unidades de muestreo

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los “Valores Deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

Cálculo para carreteras con capa de rodadura asfáltica:

Etapas 1. Cálculo de los Valores Deducidos:

- Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna TOTAL del formato PCI-01. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.
- Divida la CANTIDAD de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el ÁREA TOTAL de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje. Esta es la DENSIDAD del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.

- Determine el VALOR DEDUCIDO para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas “Valor deducido del daño” que se adjuntan al final de este documento, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

Etapa 2. Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m)

- Si ninguno o tan sólo uno de los “Valores Deducidos” es mayor que 2, se usa el “Valor deducido total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”, CDV, obtenido en la Etapa 4. De lo contrario, deben seguirse los pasos 2.b. y 2.c.
- Liste los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.
- Determine el “Número máximo admisible de valores deducidos” (m), utilizando la ecuación 3:

$$m_i = 1,00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$$

Donde:

m_i = Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo i.

HDV_i = El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i.

- El número de valores individuales deducidos se reduce a m, inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que m se utilizan todos los que se tengan.

Etapa 3. Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV.

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

- Determine el número de valores deducidos, q , mayores que 2.0.
- Determine el “Valor Deducido Total” sumando TODOS los valores deducidos individuales.

- Determine el CDV con q y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
- Reduzca a 2.0 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repita las etapas 3.a. a 3.c. hasta que q sea igual a 1.
- El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.

Etapla 4. Calcule el PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV obtenido en la Etapa 3.

En la Figura 3 se presenta un formato para el desarrollo del proceso iterativo de obtención del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV.

Figura 39. Formato para iteraciones del cálculo del CDV

No.	Valores Deducidos									Total	q	CDV
1												
2												
3												
4												

Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel

Rodríguez Velásquez.

2.3.7.4 Calculo del PCI de una sección de pavimento

Una sección de pavimento abarca varias unidades de muestreo. Si todas las unidades de muestreo son inventariadas, el PCI de la sección será el promedio de los PCI calculados en las unidades de muestreo.

Si se utilizó la técnica del muestreo, se emplea otro procedimiento. Si la selección de las unidades de muestreo para inspección se hizo mediante la técnica aleatoria sistemática o con base en la representatividad de la sección, el PCI será el promedio de los PCI de las unidades de muestreo inspeccionadas. Si se usaron unidades de muestreo adicionales se usa un promedio ponderado calculado de la siguiente forma:

$$PCI_S = \frac{[(N - A) * PCI_R] + (A * PCI_A)}{N}$$

Donde:

PCI_S = PCI de la sección del pavimento.

PCI_R = PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCI_A = PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N = Número total de unidades de muestreo en la sección.

A = Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

2.3.8 Estación total

Definición

Se denomina estación total a un aparato electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, trackeador (seguidor de trayectoria) y en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz, y cálculo de acimuts y distancias

Funcionamiento

Vista como un teodolito, una estación total se compone de las mismas partes y funciones. El estacionamiento y virtualización son idénticos, aunque para la estación total se cuenta con niveles electrónicos que facilitan la tarea. Los tres ejes y sus errores asociados también están presentes: el de verticalidad, que con la doble compensación ve

reducida su influencia sobre las lecturas horizontales, y los de colimación e inclinación del eje secundario, con el mismo comportamiento que en un teodolito clásico, salvo que el primero puede ser corregido por software, mientras que en el segundo la corrección debe realizarse por métodos mecánicos.

Las lecturas de distancia se realizan mediante una onda electromagnética portadora (generalmente microondas o infrarrojos) con distintas frecuencias que rebota en un prisma ubicado en el punto a medir y regresa, tomando el instrumento el desfase entre las ondas. Este instrumento permite la obtención de coordenadas de puntos respecto a un sistema local o arbitrario, como también a sistemas definidos y materializados. Para la obtención de estas coordenadas el instrumento realiza una serie de lecturas y cálculos sobre ellas y demás datos suministrados por el operador. Las lecturas que se obtienen con este instrumento son las de ángulos verticales, horizontales y distancias. Otra particularidad de este instrumento es la posibilidad de incorporarle datos como coordenadas de puntos, códigos, correcciones de presión y temperatura, etc.

La precisión de las medidas es del orden de la diezmilésima de grado en ángulos y de milímetros en distancias, pudiendo realizar medidas en puntos situados entre 2 y 5 kilómetros según el aparato y la cantidad de prismas usada. Para el óptimo desempeño de las estaciones totales es necesario que el equipo esté calibrado; para ello se debe dar mantenimiento y ajustes mediante el uso de un colimador.

Figura 40. Estación Total Sokkia



Fuente: Elaboración propia

La obtención de los puntos para la determinación de la condición del pavimento se realizara con el equipo de estación total, en las muestras ya determinadas por el método PCI en intervalo de 50 cm, pero el cálculo del IRI se realizara mediante el programa ProVAL detallando el mismo a continuación.

2.3.8.1 ProVAL

ProVAL es un software de ingeniería que permite analizar perfiles. Este software fue aprobado por el FWHA (Federal Highway Administration), el programa de desempeño de pavimentos a largo plazo (LTPP) y el departamento de transportes de los Estados Unidos. De igual manera, fue utilizado para demostrar la semejanza que existe entre el IRI calculado (cIRI) proporcionado con el Roadroid y el IRI.

Asimismo, dispone de los filtros necesarios para eliminar los datos muy por encima de la media o innecesarios (low pass y high pass), y el filtro del cuarto de carro, que nos permite simular el movimiento de un automóvil.

2.3.8.1.1 Filtros del ProVAL

Como se mencionó anteriormente, existen dos filtros que son necesarios para la obtención del IRI. El primero descarta aquellos valores muy por encima de la media y suaviza el perfil, mientras el otro se encarga de simular el movimiento de un automóvil a 80 Km/h sobre el perfil analizado.

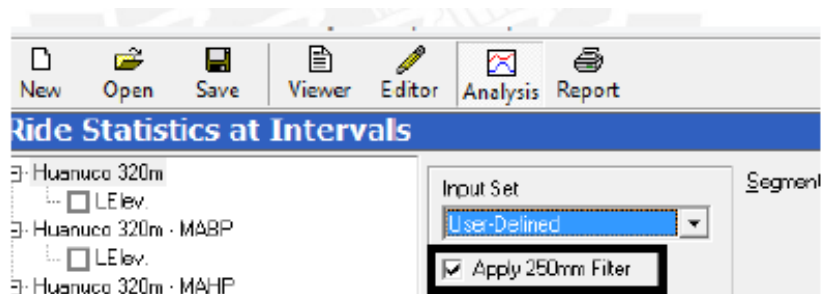
Estos filtros en el programa ProVAL son denominados “250mm filter” (primer filtro), y el “IRI filter” (segundo filtro), explicados a detalle a continuación.

- **Primer filtro**

En el Programa ProVAL existe una opción al momento de calcular el IRI que es la aplicación del filtro de 25 cm, la cual se debe de realizar si es que los datos recolectados por el equipo (mayormente perfilómetros) fueron obtenidos en un rango menor a 25 cm (por ejemplo, 5, 10, 15 cm). Si es que las cotas del perfil fueron obtenidas en un intervalo mayor o igual al de 25 cm, ya no es necesario aplicar el “250mm filter” (figura 22).

Asimismo, cabe recalcar el este filtro promedia los valores de las cotas adyacentes en el rango de 25 cm, como lo muestran las ecuaciones 2 y 3.

Figura 41. 250 mm filter



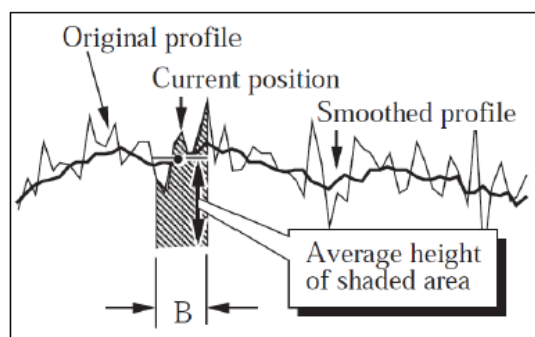
Fuente: Elaboración propia

De igual manera, en el programa ProVAL se encuentran en los filtros Low Pass y High Pass. El primero sirve para suavizar las irregularidades que se presentan en el perfil, eliminando de esta manera el efecto de las ondas pequeñas mediante la determinación de una cota que sea igual al promedio de todas las cotas de las irregularidades adyacentes en un rango “B”.

En la siguiente figura se puede observar el funcionamiento del low pass filter sobre el perfil estudiado.

En la figura 42 se ve un área sombrada y una recta horizontal con un ancho B. Si nos encontramos en cualquier punto de nuestro perfil y nos ubicamos en el perfil suavizado, la altura de este tiene que ser tal que al multiplicarlo por el ancho B, el área obtenida debe de ser igual al área del perfil original en un intervalo “B”, tal como lo muestra la figura 42.

Figura 42. Filtro low pass



Fuente: Montoya, 2013

El high pass filter funciona de manera parecida al low pass, sin embargo, en este caso el filtro se encarga de eliminar aquellas longitudes de onda que debido a su gran longitud, ya no son perceptibles por el vehículo al momento de desplazarse, por lo que no se toma en cuenta en el cálculo del IRI.

La unión de ambos filtros se conoce como el “Band pass filter”, que restringe ondas menores y mayores a un intervalo escogido.

Cabe recalcar que los métodos de clase 1 captan en sus perfiles ondas con longitudes menores a 1.3 m y mayores a 30 m. Esto no es muy beneficioso al momento de calcular el IRI pues, según el Banco Mundial, valores fuera de este rango (1.3-30 m) no son perceptibles por el vehículo a 80 Km/h.

Los filtros ya mencionados (Low, high y band pass) se encuentran agrupados en los Butterworth y Moving Average filters. Los primeros son filtros de sexto orden, aprobados por un estudio efectuado el año 2004 por el FHWA. Los otros filtros (moving average) están basados en un algoritmo realizado para una vía en ambos sentidos.

- **Segundo filtro**

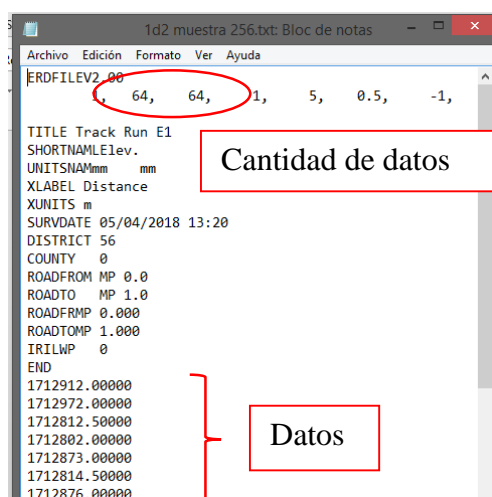
De igual manera existe otro filtro, denominado el IRI filter, el cual sirve para simular el modelo del cuarto de carro. Este se aplica automáticamente al momento de calcular el IRI.

2.3.8.1.2 Archivos aceptados por el ProVAL

Algunos de los tipos de archivo aceptados por el ProVAL son los de terminación ERD, KjLaw, ppf (profile pavement profile), rsp (Dynatest RSP file), etc. Como se puede observar, la mayoría de las terminaciones indica que los datos aceptados son aquellos recolectados por equipos dinámicos, y algunos del tipo estático, como el face dipstick.

Esto quiere decir que si recolectamos los datos con el uso de la Estación Total, las cotas obtenidas y transcritas al Excel no podrán ser aceptadas por ProVAL, a menos que se realice una modificación. Para ello se tiene que realizar una conversión del archivo excel a un archivo .ERD a partir del programa bloc de notas.

Figura 43. Archivo en bloc de notas



Fuente: Elaboración propia

2.3.8.1.3 Formas de exportación del ProVAL

Este programa puede exportar los resultados de los perfiles analizados en tres formatos: PDF, Excel, y en un archivo de texto. Asimismo, los resultados obtenidos se muestran a cabalidad en un cuadro o en una gráfica proporcionada por el programa.

2.3.9 Roadroid

2.3.9.1 Definición

Roadroid es 1) un "app" para medir la calidad de las carreteras, y 2) un sitio web para ver la calidad de las carreteras. La "aplicación" está diseñado para teléfonos inteligentes Android. Se puede medir y controlar fácilmente la calidad de las carreteras y también utilizar la cámara de fotos con etiquetas GPS.

La aplicación se basa en varios años de investigación para la Administración de Carreteras de Suecia en cooperación con Roadroid Inventor and Engineers.

Por un inicio de sesión en la página de Roadroid, puede supervisar los datos, planificar, ejecutar y hacer seguimiento del mantenimiento de carreteras.

Roadroid se correlaciona con la norma internacional IRI y puede proporcionar a los usuarios una imagen diaria de la calidad de las carreteras y ser una ayuda poderosa en los seguimientos operativos. No es un sustituto de los métodos avanzados o encuestas oculares, pero es un gran complemento, al ser capaz de generar grandes cantidades de datos, Roadroid crea estadísticas que ninguno de los otros métodos permite. (Forslof, Lars, 2012).

El índice de rugosidad Internacional (IRI) es un índice de rugosidad de carreteras comúnmente obtenida a partir de las mediciones de perfiles longitudinales de carreteras. Desde su introducción en 1986, el IRI se ha convertido en un parámetro comúnmente usado en todo el mundo para evaluar y gestionar sistemas de carreteras, sin embargo la medición de la rugosidad en carreteras ha sido utilizada desde principios de 1960 para expresar las condiciones de la carretera y la calidad de rodado. Desde finales de la década de 1960, sin embargo la mayoría de perfiles de carreteras se miden con instrumentos de alta velocidad.

Las modernas técnicas tradicionales para la medición de la rugosidad pueden ser categorizadas como construcciones especiales de vagones con escáneres láser, pero estos equipos especialmente construidos son muy costosas, debido al hardware complejo y pesado que llevan, su baja producción y la necesidad de sofisticados sistemas y accesorios.

La recopilación y análisis de datos quitan a menudo mucho tiempo. En el hemisferio norte, la recolección de datos se realiza normalmente durante el verano, luego analizar y entregar los resultados a los sistemas de gestión de mantenimiento lo realizan a finales de otoño.

Durante el invierno y la primavera el camino generalmente se enfrenta a un continuo cambio (con períodos muy dramáticos para la vida del camino y con cambios extremos de su rugosidad), por lo que los valores del IRI que eran "exactos" hace casi un año ahora pueden no ser las mismas. Además, dado que es muy costoso recoger y analizar datos, en muchas carreteras se analizan solamente un carril cada tercer o cuarto año.

Usando un Smartphone para la recopilación de datos de la rugosidad de la carretera, que esencialmente es de tipo respuesta (RTRRMS) se puede realizar a un bajo costo, supervisar los cambios diarios de la rugosidad, además se puede saber cuándo y dónde está sucediendo y si la situación es peor que en años anteriores.

Pueden ser utilizados en los contratos basados en el rendimiento o en investigaciones sobre el deterioro de las carreteras.

Cabe mencionar que los sistemas basados en teléfonos inteligentes como Roadroid pueden desafiar el conocimiento antiguo en lo que respecta a las normas, los procedimientos y las formas existentes para obtener la rugosidad:

Las organizaciones han invertido tiempo, prestigio y enormes cantidades de dinero para recolectar datos complejos y el uso adecuado para lograr el resultado exacto.

Es necesario entender la diferencia entre las cuatro clases de métodos de medición de la rugosidad de la carretera:

Clase 1 - Perfiles de precisión

Clase 2 - Otros métodos de perfilómetros

Clase 3 - El IRI se calcula a partir de ecuaciones de correlación

Clase 4 - Valoraciones subjetivas y medidas no calibrados

Es natural que el escepticismo aparezca cuando un equipo de clase 2/3 es comparado con equipos de clase 1 o clase 2, sin embargo, un teléfono inteligente puede ofrecer datos actualizados de rugosidad de buena calidad en una página web en cuestión de horas, en contraste con un costoso software de clase 1 o clase 2.

En el otro extremo de la escala, muchos inventarios de carreteras y evaluaciones son hechos por seres humanos (clase 4 valoraciones subjetivas) en grandes áreas usando sólo lápiz y papel.

La recopilación de datos de la rugosidad de carreteras usando teléfonos inteligentes viene a llenar un vacío entre las mediciones de clase 1 y mediciones de clase 4 (inspecciones visuales). A continuación daremos las etapas de desarrollo de esta tecnología. (Forslof, Lars; Jones, Hans, 2014).

Los primeros prototipos 2002-2006

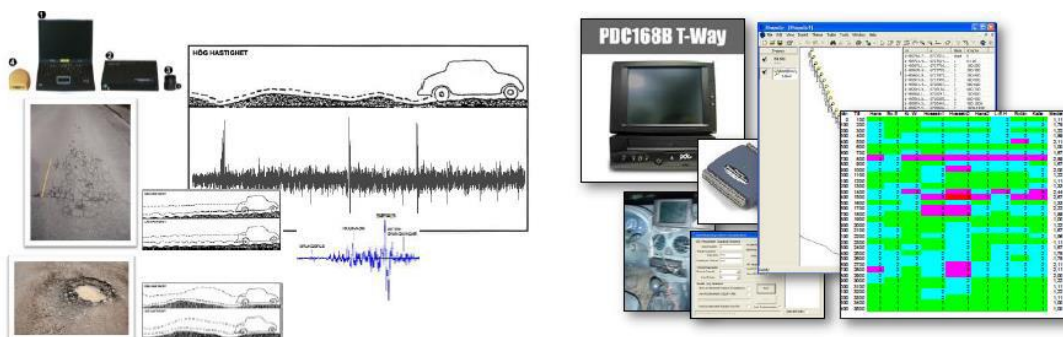
El equipo Roadroid ha estado trabajando en un lenguaje de programación para móviles mobile ITS desde mediados de la década de 1990, particularmente en la recolección de datos como la información del clima en vías y datos del tráfico.

En la Junta de Investigaciones del transporte (TRB) en Washington 2001, se presentó un proyecto canadiense basado en el estudio de la velocidad de los camiones de acarreo de madera, donde concluyeron que si la velocidad es baja, la carretera era de mala calidad y viceversa.

Por lo que el equipo Roadroid tuvo la idea de añadir la lectura de vibraciones a este estudio para obtener mejores resultados a lo largo del rastreo.

Junto con el Instituto Real de Tecnología, un primer sistema experimental fue construido entre el 2002-2003 (Figura 44). En ese momento se utilizó un acelerómetro de alta resolución en el eje trasero de un vehículo de tracción delantera conectado por cable a una PC portátil a través de un acondicionador de señal en la que dos estudiantes de maestría construyeron un primer prototipo utilizando un sistema de software industrial para el análisis de señales (Figura 44).

Figura 44. Izquierda, 1er prototipo 2002-2003 y a la derecha 2do prototipo desarrollado en el período 2004-2006.



Fuente: Forslöf, Lars; Jones, Hans, 2014

Los resultados iniciales fueron prometedores y la Administración Nacional de Carreteras Sueca (SNRA) financió el proyecto R&d para desarrollar y validar el prototipo, con un enfoque en caminos de grava. El sistema fue desarrollado para un sistema Windows acoplado a un vehículo, implementado con conexión externa para GPS y un acelerómetro, asimismo se implementó una herramienta web para visualizar la calidad del pavimento de las carreteras a través de diferentes colores, según la intensidad de las vibraciones. Una validación de las inspecciones visuales y mediciones del sistema fue realizado y presentado en el Foro sobre el transporte en Linköping, 2005.

Dicha investigación se basó en 35 segmentos de 100m que fueron evaluados para 4 clases de condiciones de carreteras. Un módulo de Matlab realizó el análisis de las muestras de referencia de las 4 secciones de carreteras.

Un análisis de regresión se llevó a cabo con reglas basadas en:

- 1) Niveles de amplitud del acelerómetro
- 2) Algoritmos basados en la raíz cuadrada media (RMS)
- 3) La velocidad del vehículo
- 4) Longitud de los datos de la muestra

El análisis mostró que con una sola prueba, se puede obtener hasta un 70% de respuestas correctas en comparación al promedio de inspecciones visuales subjetivas hecha por expertos.

El método se consideró objetivo con muy buena repetitividad, pero en el 2006 el desarrollo se estancó. El sistema se consideraba relativamente barato (7000 dólares) y sencillo de manejar. En retrospectiva, había varias limitaciones; especialmente el montaje del sensor y los cables expuestos al duro ambiente húmedo a menudo bajo el chasis del vehículo, así como lo difícil que era conseguir los componentes en aquel entonces como Windows 98, la Pc para el vehículo, los cables, sus respectivas conexiones, etc. (Forslof, Lars; Jones, Hans, 2014).

Nuevos avances 2010-2011

Los problemas del anterior prototipo pudieron solucionarse a través de la creación del Smartphone o teléfono inteligente, el cual tenía instalado casi todos los componentes (acelerómetro, memoria de almacenamiento, procesador interno) que en el año 2006 sólo se podían añadir al vehículo a través de cables y conexiones.

Sin embargo, ahora habían otros problemas a solucionar, tales como:

- ¿Existe la posibilidad de recoger las señales filtradas en el chasis del vehículo?
- Sabíamos que los diferentes modelos de coches darían señales diferentes, ¿cómo podríamos hacer frente?
- ¿La sensibilidad de los acelerómetros de los teléfonos inteligentes eran suficientes?
- ¿Los diferentes modelos de teléfonos inteligentes pueden proporcionar diferentes valores de medición?

Se desarrolló una aplicación para Android basado en algunos algoritmos de prueba utilizando la señal del acelerómetro integrado.

En el 2011, se empezaron a recolectar datos de ejemplo en caminos con diferentes tipos de vehículos pasando por diferentes obstáculos construidos.

Figura 45. Prueba del tercer prototipo, usando el Galaxy Tab GT P1000.



Fuente: Forslöf, Lars; Jones, Hans, 2014.

Se eligió el mejor hardware de referencia de ese momento (dispositivo Samsung Galaxy Tab P1000 GT). Los obstáculos fueron recorridos por diferentes tipos de vehículos (desde coches pequeños hasta jeep 4WD) a 6 diferentes velocidades: 20, 40, 60, 80, 100 y 120 km/h.

Los datos fueron muestreados con diferentes dispositivos basado en algoritmos y usando la señal del acelerómetro. Durante el análisis de los datos, se obtuvo lo siguiente:

- Se presentaron diferencias entre los distintos tipos de vehículos, especialmente cuando estos recorrían las rutas a velocidades bajas, sin embargo, se encontró que en un rango de velocidades de entre 40 a 80 km/h, estas diferencias disminuían.
- Se encontraron modelos que permiten calcular la influencia de las velocidades en los tres distintos tipos de vehículos (pequeños, medianos y grandes). También, las diferencias entre los distintos dispositivos, especialmente en sus frecuencias y en la sensibilidad de sus acelerómetros. Esto requiere que se realice un proceso de calibración que permita unir y estandarizar los parámetros de cada dispositivo en uno solo.
- Se demostró que los datos recolectados pueden ser transferidos y su confiabilidad depende fundamentalmente de que la base del celular sea rígida y estable para que los datos recolectados sean tomados en cuenta.

Lo más importante es que los ensayos realizados durante el 2011 demostraron que sí podían ser utilizables.



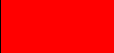
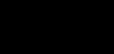
Visualización de datos

Faltaba contar con un dispositivo de suministro de datos, por lo que se necesitaba un visor adecuado de la información. Entonces, se creó en el internet un lenguaje de programación (HTML5) que consiste en un mapa que permite mostrar el estado de la carretera.

Los datos (que están codificados) son comprimidos y enviados desde el dispositivo a través de un servicio de transferencia de archivos a un servidor de web Amazon en la nube.

Los archivos de datos cargados desde diferentes unidades son importados y posiblemente coinciden con la geometría de las carreteras del Open Street Maps (OSM) o Google Maps. Los datos de la condición de carretera están divididos en 4 diferentes niveles para la visualización: verde para buenos, amarillo para satisfactorios, rojo para insatisfactorios y negro para pobres. (Forslof, Lars; Jones, Hans, 2014).

Tabla 8. Condición de la carretera mediante colores

Condición de la carretera	eIRI	Color
Bueno	< 2.2	
Satisfactorio	2.2 – 3.8	
No Satisfactorio	3.8 – 5.4	
Pobre	> 5.4	

Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Imagen de las carreteras de Suecia y sus respectivas calidades de pavimento



Fuente: Forslöf, Lars; Jones, Hans, 2014

La app móvil almacena un gran número de valores de datos cada segundo en un archivo CSV, pero para obtener una visión general en una escala mayor es más conveniente utilizar conexiones con datos agregados y promedios de puntos muestreados. Dependiendo de la base de datos del camino, habrá muchas oportunidades para perfeccionar los datos y agregar información de atributos tales como el ancho de la carretera, los volúmenes de tráfico, etc. En Suecia han estado utilizando la base de datos de la Carretera Nacional Sueca (NVDB).

A nivel mundial en su mayoría se utiliza las geometrías del Open Street Maps (OSM) o Google Maps, además los datos de la condición de carretera pueden exportarse en formato shapefile a otros sistemas.

Uso de datos y el índice Roadroid

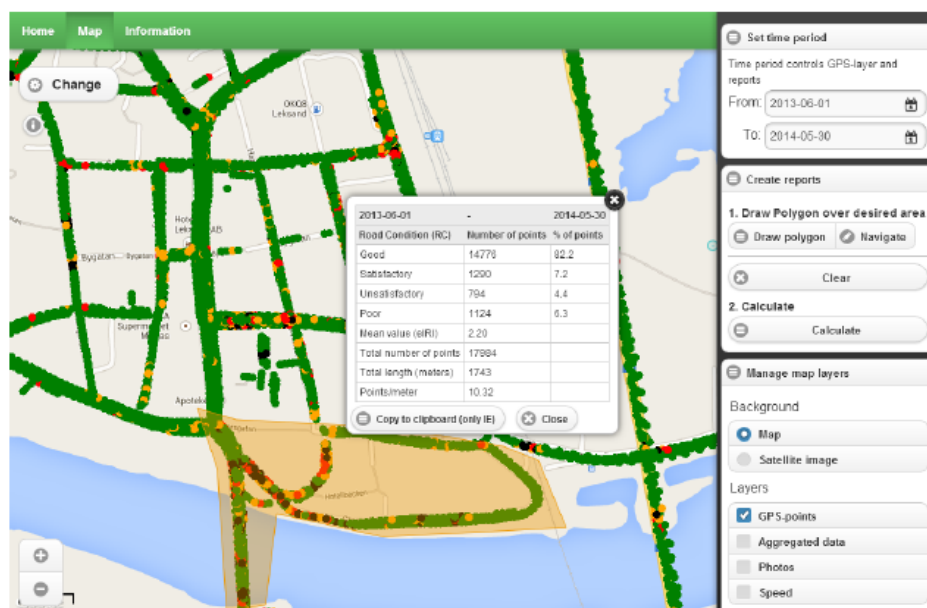
Se llevaron a cabo estudios sobre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI); usando el sistema cuarto de coche (QCS) para obtener el valor del cIRI, pero utilizar el medio más complejo como es el modelo de cuarto de coche tiene beneficios limitados, pero valores casi idénticos.

Agregaron datos de varias mediciones a lo largo del tiempo y compararon los resultados de manera flexible, también generaron automáticamente informes para un camino específico y comparar los caminos con cada uno de ellos y así hacer comparaciones dentro de regiones enteras.

La solución fue utilizar el porcentaje de cada clase de carretera para los distintos puntos de muestreo que se han recogido dentro de un área.

Llamamos a esto el Roadroid Índice (IR), el IR es un parámetro que puede ser usado para una parte del camino, un camino entero, una ciudad, una región o incluso el mundo entero (Forslof, Lars; Jones, Hans, 2014).

Figura 47. Filtro, selección y análisis de datos en la web utilizando el índice Roadroid (IR).



Fuente: Forslöf, Lars; Jones, Hans, 2014

Para hacer un seguimiento continuo de la vía a lo largo del tiempo, también se necesitaba una manera de producir informes. La recolección de datos puede hacerse mediante los oficiales o guardias de carretera que están realizando inspecciones visuales de 1-3 veces por semana, o por operadores como un distribuidor de periódicos. El IR es muy adecuado para hacer informes a partir de los datos de la condición de carretera.

2.3.9.2 IRI estimado (eIRI)

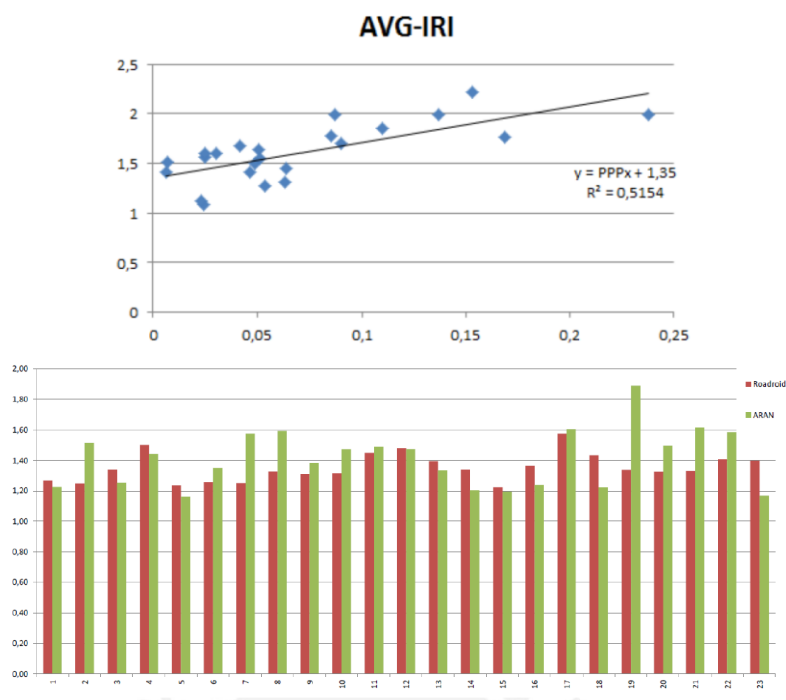
El índice Roadroid (IR) es escalable y prometedor, pero necesitan correlacionarlo con el IRI. Para encontrar la correlación se ha reunido lo siguiente:

- 1) Se realizaron mediciones del IRI en las carreteras de la NVDB con los equipos de la clase 1 (alta precisión) cada 20 metros de longitud y los datos fueron promediados en los distintos tramos de la carretera.
- 2) Los valores promedio muestran la condición de carretera.

Mediante la comparación de cientos de carreteras se estableció un factor de correlación que podría estimar un valor para el eIRI. El coeficiente inicial de determinación (R^2) fue de 0,5 (75 %) que se considera satisfactorio. Se percataron de las limitaciones en la adaptación de la velocidad, especialmente en superficies de pavimento en mal estado por los mini coches (bastante más sensibles que nuestra referencia coche pequeño).

La investigación realizada por diferentes instituciones de todo el mundo, como el Banco Mundial, las Naciones Unidas, universidades y empresas de ingeniería de carreteras a lo largo de 2014 han presentado diferentes informes que muestran en su mayor parte el mismo resultado, alcanzando una correlación de hasta un 80 % entre el eIRI y el IRI. (Forslof, Lars; Jones, Hans, 2014).

Figura 48. Superior: Base de estudio de correlación con eIRI. Inferior: Comparaciones del cIRI (rojo) vs. IRI de la carretera en sub-secciones.



Fuente: Forsl f, Lars; Jones, Hans, 2014.

- En una investigación de la Universidad de Pretoria – 2013, se concentraron en la búsqueda del eIRI, si eran coherentes los estudios realizados con diferentes condiciones del vehículo como la velocidad, la ruta, carga y presión de los neumáticos, etc. llegando a la conclusión de que Roadroid era capaz de producir buenos resultados si los mencionados indicadores estaban estandarizados.
- La investigación por la Universidad de Auckland - 2013, se centr  en si el eIRI podría representar a la rugosidad sentida por los automovilistas a un cierto nivel. En ambos informes se constató que la aplicación Roadroid respondió a las diversas características de la red de carreteras de Auckland de manera similar a los sistemas aceptados en el sector. Para ser precisos Roadroid tenía un 81% de correlación con los sistemas de medición láser.
- Nuevas investigaciones realizadas por el Banco Mundial en cooperación con la Universidad de Pretoria - 2014 (SATC - Sr. Schlotjes, Visser, C Bennett), evaluaron

la rugosidad usando un teléfono inteligente llegando a la conclusión de que el rendimiento fue satisfactorio para un método de medición de clase 3/4.

2.3.9.3 IRI calculado (cIRI)

Con la información obtenida de las organizaciones y de la investigación interna, se desarrolló un nuevo parámetro denominado IRI calculado (cIRI). Las pruebas confirman que si se calibra correctamente, el cIRI puede satisfacer las demandas de la condición de carreteras para un método de medición de clase 2/3.

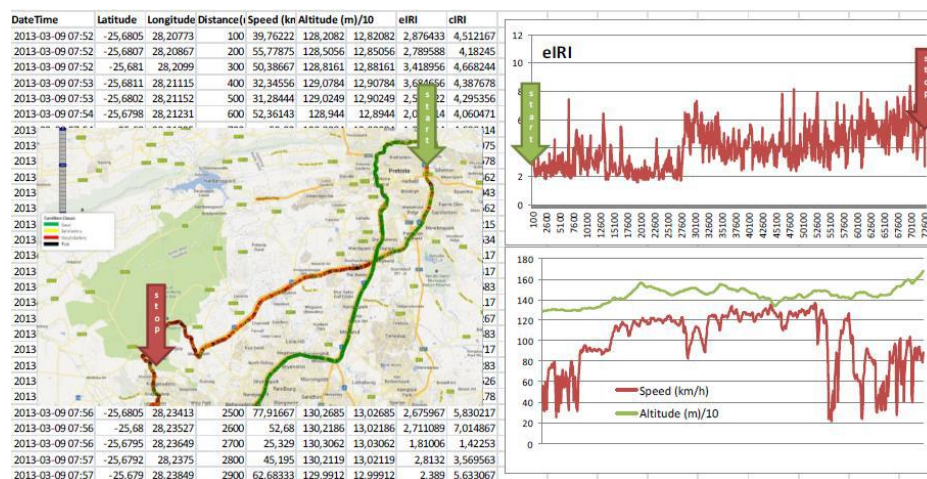
Sin embargo se necesita una velocidad estable de 60 - 80 km/h. El modelo del cuarto de carro junto con los dos pesos (el amortiguado y el no amortiguado) y el movimiento del vehículo son simulados como datos de entrada. Asimismo, se estima el comportamiento que va a tener el marco y el cuerpo del vehículo en los datos recolectados por el acelerómetro, así como la calibración, que puede ser realizada fácilmente por el usuario.

La validación de los datos de salida del IRI ha sido realizada con el software ProVAL (Visualización de perfiles y análisis). ProVAL es la herramienta más ampliamente utilizado, validada y fiable para el análisis de perfil del pavimento, según estudios desarrolladores por el Grupo Transtec y sus clientes en estados unidos, por la Administración Federal de Carreteras (FHWA) y por el Programa de rendimiento a largo plazo del pavimento (LTPP), se observó que el cIRI no era exacta en carreteras con superficies rugosas (carreteras adoquinadas), pero al mismo tiempo los resultados fueron prometedores en carreteras de grava en Afganistán y Suecia. A partir de lo que hemos visto, es principalmente una cuestión de filtrar correctamente los datos para obtener resultados correctos.

Datos agregados

El mapa en el internet es una buena herramienta para ver y analizar rápidamente los datos, además es necesario para obtener datos en secciones de 100 metros para producir gráficos. (Forslof, Lars; Jones, Hans, 2014)

Figura 49. 72 km de prueba en Sudáfrica - una parcela agregada de eIRI, velocidad y altitud.



Fuente: Forslöf, Lars; Jones, Hans, 2014.

Así, en la herramienta web, se pueden agregar datos al archivo como eIRI, cIRI, velocidad y altitud (grado) en secciones seleccionables de 25-200m, también añade la fecha y hora, las coordenadas (latitud, longitud) para cada fila. Los datos pueden importarse a hojas de cálculo o sistemas de gestión de mantenimiento de carreteras (RMMS).

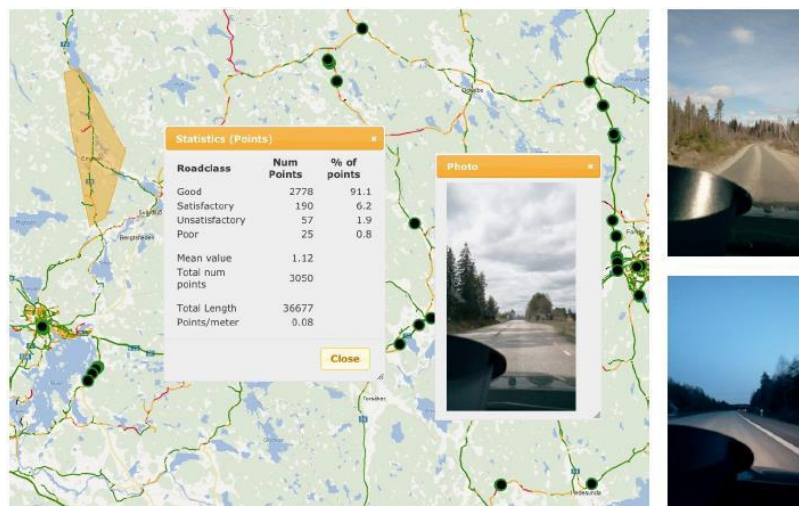
Uso profesional 2013-2014

Durante el 2014 una encuesta a gran escala con 12 coches fue realizada por la asociación automovilística sueca (Motormännén). La organización realizó un estudio de más de 100.000 kilómetros de la red de carreteras de Suecia para identificar y señalar los defectos de la carretera. Se preparó un informe para vigilar las peores carreteras en Suecia. El proyecto fue parcialmente financiado por el Organismo Sueco de Administración del Transporte (Trafikverket).

Uso de la cámara incorporada

Como hoy en día la mayoría de los smartphones tienen incorporados una cámara y GPS de alta calidad, Roadroid desarrolló una función para tomar fácilmente las fotos etiquetadas con GPS y la posición en el mapa. Las imágenes son a menudo de calidad aceptable, pero están sujetas a condiciones de luz y de montaje. (Forslof, Lars; Jones, Hans, 2014).

Figura 50. Ejemplos de fotos tomadas con los smartphones con cámara incorporada y el apoyo de la herramienta web.



Fuente: Forsl f, Lars; Jones, Hans, 2014.

Esto puede ser un apoyo valioso para inspecciones visuales, y también puede ser usado para capturar eventos dinámicos, tales como nieve, hielo u otras cuestiones de contrato de mantenimiento.

Tipos de vehículos

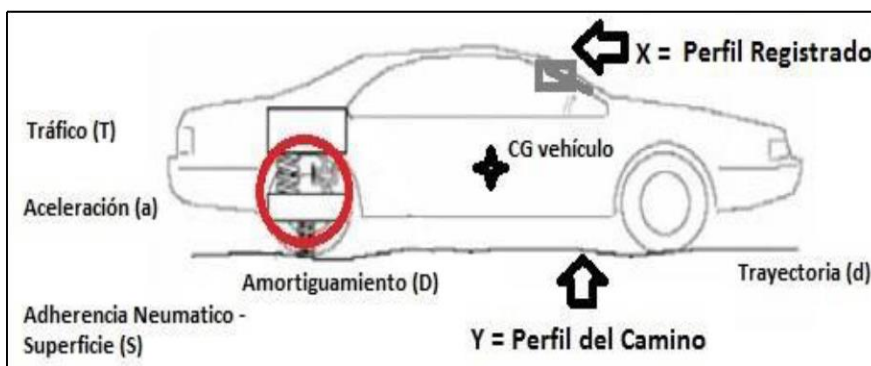
Los tipos de vehículos estipulados en la configuración del programa antes de iniciar el ensayo son:

- Vehículo pequeño/ furgoneta comercial
- Sedan grande/ Station wagon
- Camioneta Jeep 4WD/Hilux

2.3.9.4 Variables de corrección

Muchas dudas surgen sobre la confiabilidad de los resultados, sabiendo que entre el perfil real del camino (Y) y el perfil registrado para el análisis de rugosidad con la aplicación Roadroid (X) existen diversos factores que pueden alterar los resultados. Estas condiciones externas son tratadas con las diferentes configuraciones solicitadas por el programa, a continuación se detalla en un esquema las condiciones a las que se ve expuesta el programa y se explica cómo corrige el programa cada una de ellas:

Figura 51. Esquema de factores que afectan al programa.



Fuente: Forslöf, Lars; Jones, Hans, 2014.

- La trayectoria (d) seguida por el vehículo no afectará los resultados gracias a la calibración de la posición del equipo que solicita la aplicación, la cual nos permite solo leer la variación en el eje Z o eje vertical.
- El amortiguamiento (D) será corregido según el tipo de vehículo a utilizar, una configuración previa que también exige el programa.
- Si bien la adherencia neumático – superficie (S) se da por la textura del pavimento, las pequeñas vibraciones podrán desviar el cálculo certero, es por ello que el programa solicita mantener altas velocidades constantes además de existir una configuración de sensibilidad capaz de contrarrestarlas.
- Las aceleraciones (a) generan una fuerza de arranque en el punto de contacto neumático – superficie, estas fuerzas por acción y reacción afectarán al vehículo respecto a su Centro de Gravedad (CG), este vector fuerza trasladado al CG del vehículo contendrá una componente vertical y una horizontal. Es la componente vertical la que genera alteraciones en la medición pues genera vibraciones en el eje Z percibidas por el programa, es por ello que el programa exige mantener velocidades constantes.
- El tráfico (T), más allá de los cambios de velocidad que representa, genera vibraciones en el vehículo donde se realiza la medición debido a factores externos como ruidos, motores de otros vehículos y más que serán registradas por el programa alterando las mediciones. (Forslof, Lars; Jones, Hans, 2014).

2.3.9.5 Configuración de Roadroid

Para recolectar los datos con la aplicación Roadroid se puede seguir las indicaciones de configuración que se presentan en el manual de uso del mismo, pero a continuación se presenta el procedimiento del ensayo en esta investigación.

- a) En primer lugar, se debe instalar la aplicación Roadroid en el Smartphone que debe tener el sistema operativo Android. El software se puede descargar sin ninguna restricción de la página web www.roadroid.com en formato “apk”.
- b) Luego, se registra el número IMEI del celular y la empresa Roadroid proporcionará al cliente el usuario y contraseña para acceder a la página web de la aplicación y visualizar los datos que se obtendrán en campo previo pago por los servicios del software. En este caso de estudio, la licencia fue obtenida gratuitamente por la universidad (UAJMS) con fines educativos.
- c) Instalar el sujetador del celular en la ventana delantera (parabrisas) del vehículo, de modo que se encuentre fija, estable y fácil de alcanzar con las manos.

Figura 52. Sujetador del teléfono.



Fuente: Elaboración propia

- d) Colocar el teléfono de manera horizontal (esta es la posición más adecuada para el uso de la función GPS). Antes de todo debe estar habilitada el GPS.

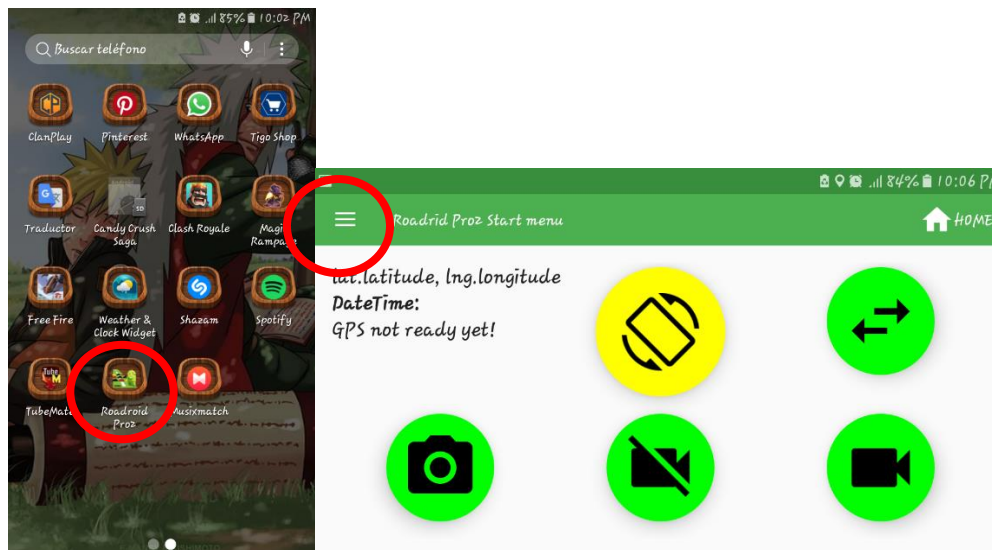
Figura 53. Posición del celular en el parabrisas del vehículo.



Fuente: Elaboración propia

- e) Abrir la aplicación Roadroid pulsando el ícono del programa (izquierda) y mostrará la pantalla (derecha):

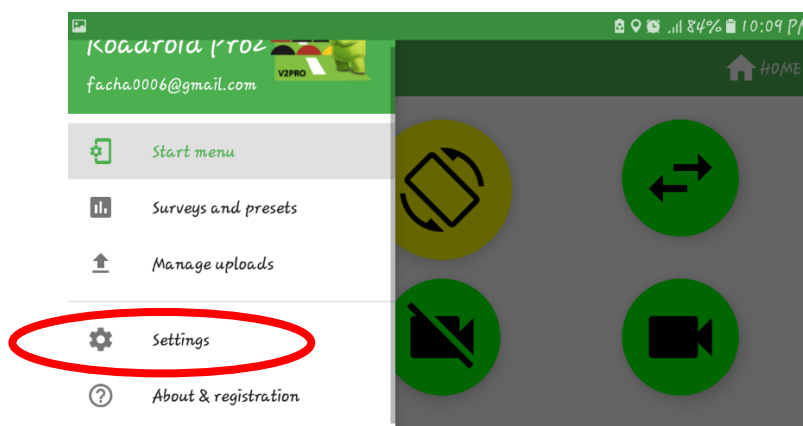
Figura 54. Izquierda, ícono a presionar para iniciar el programa. Derecha, pantalla mostrada.



Fuente: Elaboración propia

- f) En primer lugar, se selecciona las tres rayitas parte superior izquierda se despliega el menú, luego vamos a settings. Se podrá observar una lista de opciones para un adecuado uso del software.

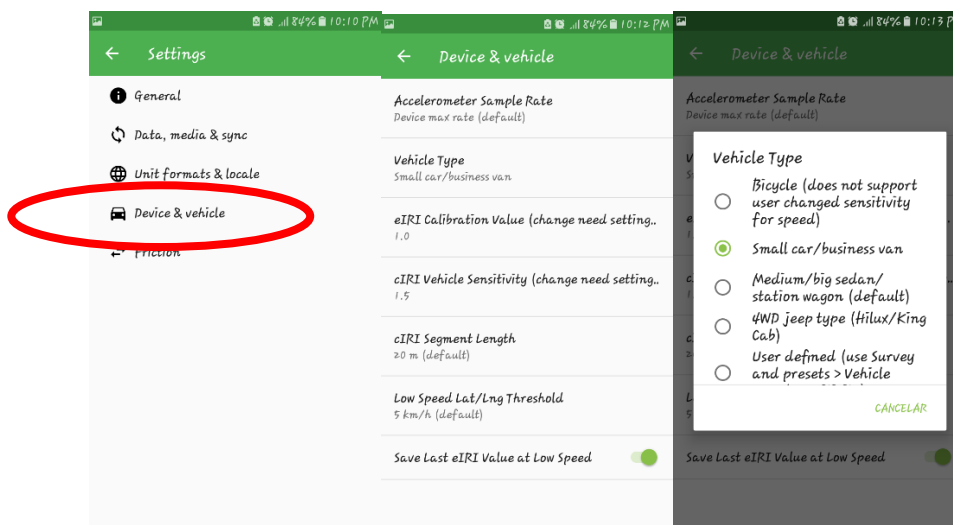
Figura 55. Menú de aplicación



Fuente: Elaboración propia

- g) Se abre la siguiente pantalla, donde se busca “Device&Vehicle”, asimismo se puede elegir la opción “Auto Photo Capture Segment Length” para tomar fotos instantáneos durante el recorrido.
- h) Pulsando en “vehicle type” aparecerá la siguiente pantalla, donde se la opción “Small car/business van”, debido a que en esta tesis se usó un auto pequeño. También se puede escoger la longitud para configurar la toma de fotos.

Figura 56. Configuración para el tipo de vehículo.



Fuente: Elaboración propia

- i) Luego volver con el botón de regreso del celular y aparecerá la siguiente pantalla, donde se pulsa el icono amarillo.

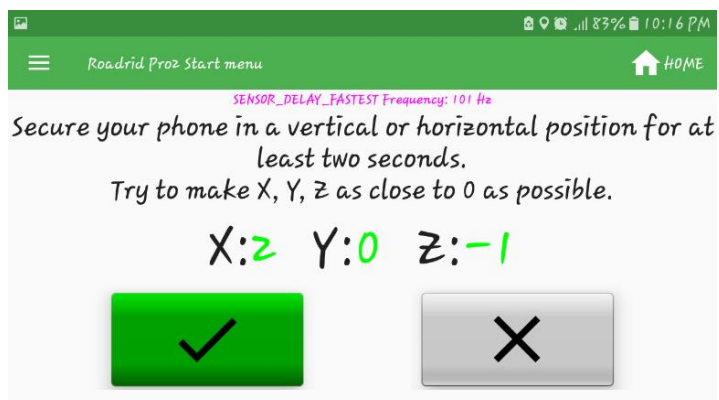
Figura 57. Procedimiento de calibración de móvil.



Fuente: Elaboración propia

- j) Coloque su vehículo en una superficie plana para hacer el ajuste. Ajuste el teléfono a X, Y y Z lo más cerca posible de = 0 como sea posible. El botón OK se pondrá verde cuando se encuentre dentro de las tolerancias. Presione el botón verde OK. Este procedimiento es para asegurarse de seleccionar las aceleraciones verticales (Y) que excluyen la influencia del frenado (X) o el giro (Z). Se observa que el icono cambió de color amarillo a verde.

Figura 58. Calibración de la posición del móvil.



Fuente: Elaboración propia

- k) El sistema se inicia solo si hay una señal de GPS disponible. Quédese quieto para recibir el GPS (puede tomar un minuto).

- l) A menos de 20 km / h la aplicación mostrará "baja velocidad" y no se capturan los datos de rugosidad a más de 100 km / h mostrará "alta velocidad" y los datos de rugosidad tampoco se capturan.
- m) El vehículo debe estar a una velocidad mínima de 50km/h antes de pulsar el icono de la cámara de foto.
- n) Iniciar la encuesta: presione el botón de grabación (círculo redondo rojo sobre fondo verde) para comenzar la toma de datos.

Figura 59. Procedimiento para tomar datos.

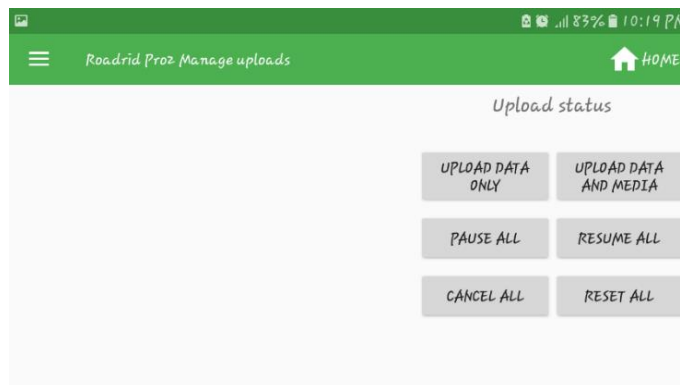


Fuente: Elaboración propia

- o) Puede ingresar un comentario opcional o una identificación de camino al comenzar la encuesta. Es un buen apoyo más adelante en el Sistema de gestión de datos de carreteras, tal como aparece en la lista de historial de importaciones.
- p) Detener encuesta: presione el mismo botón (ahora un cuadrado negro sobre fondo rojo) para detener la encuesta.
- q) Después de presionar detener, puede decidir si desea guardar o eliminar la encuesta.

- r) Para proceder a cargar los datos se necesita tener conexión a internet.
- s) Luego, pulsar la opción “Manage Uploads” aparecerá la siguiente ventana, donde se elige la opción “UPLOAD DATA ONLY” para subir los datos del IRI; y “UPLOAD DATA AND MEDIA” para subir las fotos de la carretera.

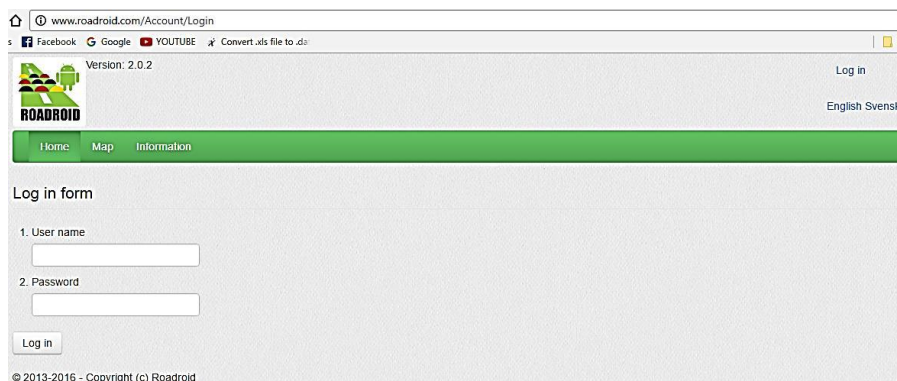
Figura 60. Subir datos.



Fuente: Elaboración propia

- t) Los datos tomados se subirán a la página www.roadroid.com, el cual puede demorar 1 hora aproximadamente dependiendo del tamaño del archivo.
- u) Para descargar los datos; se ingresa a la página www.roadriod.com, con la cuenta y contraseña respectiva.

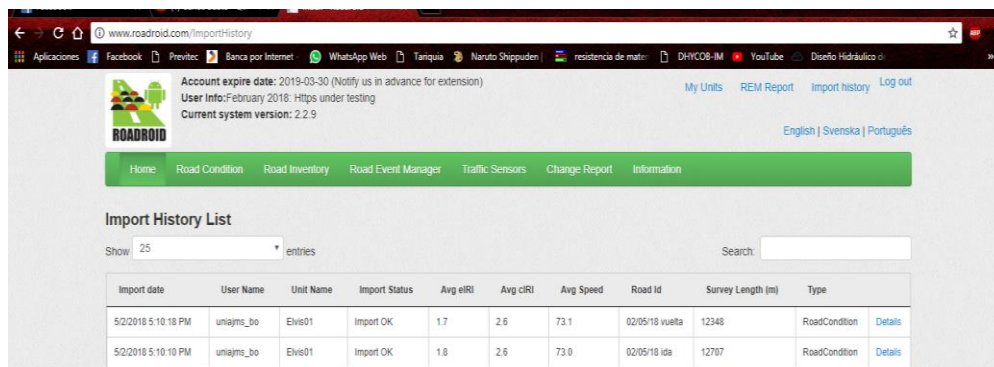
Figura 61. Descarga de datos.



Fuente: Elaboración propia

- v) Vamos a la opción “Import History”, donde se observa los datos cargados de la carretera ensayada.

Figura 62. Descarga de datos.

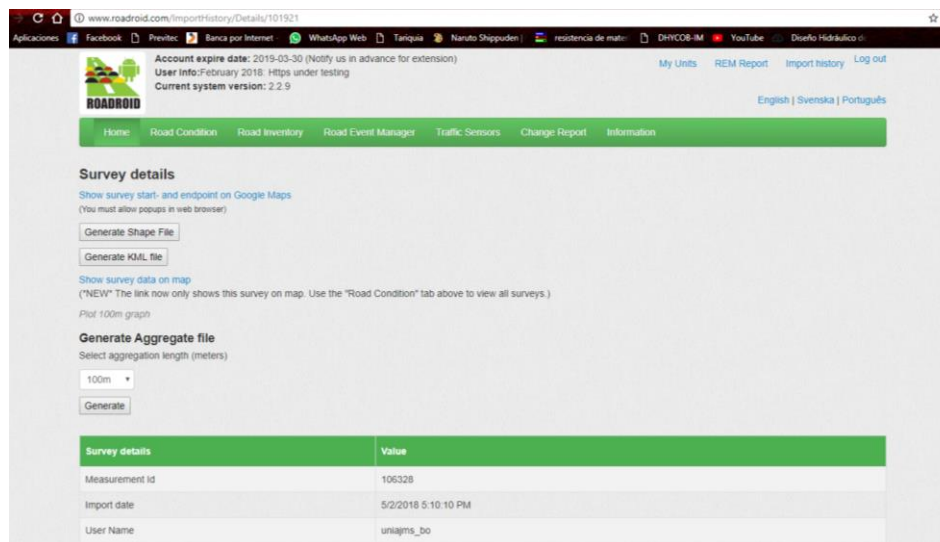


Import date	User Name	Unit Name	Import Status	Avg eIRI	Avg cIRI	Avg Speed	Road Id	Survey Length (m)	Type
5/2/2018 5:10:18 PM	unajms_bo	Elvis01	Import OK	1.7	2.6	73.1	02/05/18 vuelta	12348	RoadCondition
5/2/2018 5:10:10 PM	unajms_bo	Elvis01	Import OK	1.8	2.6	73.0	02/05/18 ida	12707	RoadCondition

Fuente: Elaboración propia

- w) Luego de hacer clic en “Details”, aparecerá la siguiente imagen, donde se hace clic en la opción “Generate”, y automáticamente se descargará el archivo en formato .txt.

Figura 63. Descarga de datos

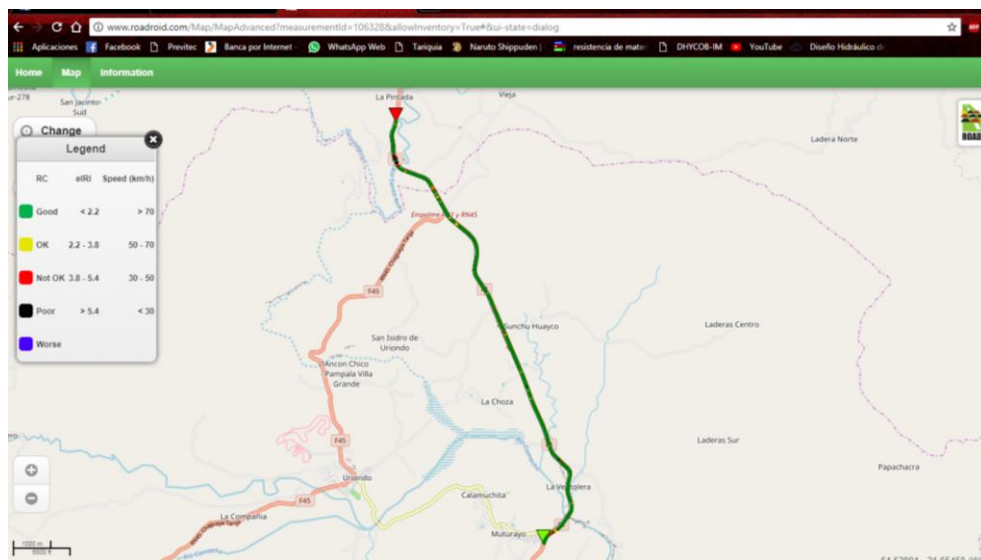


Survey details	Value
Measurement Id	106328
Import date	5/2/2018 5:10:10 PM
User Name	unajms_bo

Fuente: Elaboración propia

- x) Por otro lado, se puede visualizar en el mapa, la condición de la carretera en estudio, haciendo clic en “Show survey data on map” de la figura anterior; y aparecerá la siguiente figura.

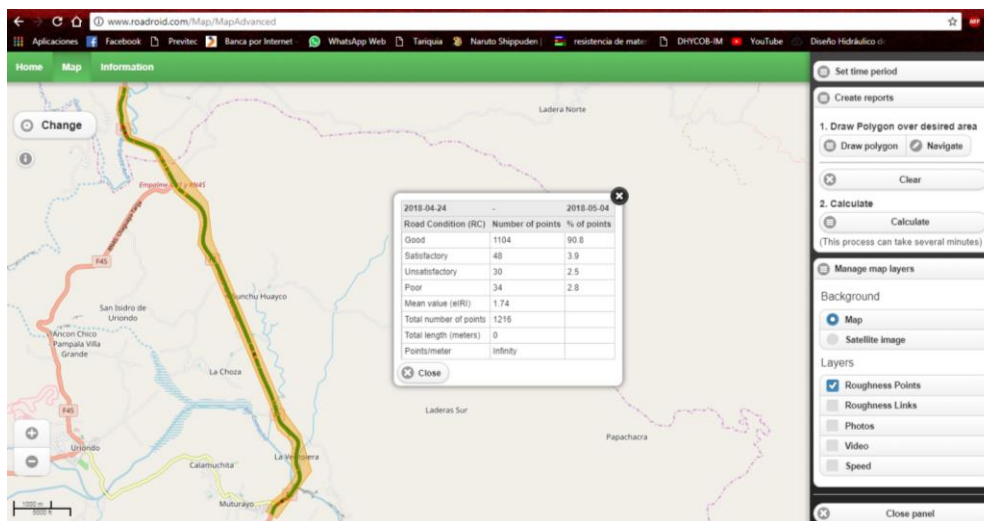
Figura 64. Visualización del estado de la carretera.



Fuente: Elaboración propia

- y) Además de otras funciones, en este caso haciendo clic en “Road Condition” luego “Change” pulsamos “Create reports”, luego “draw polygon” dibujar el polígono y hacer clic en “calculate”, se obtendrá los resultados de la carretera.

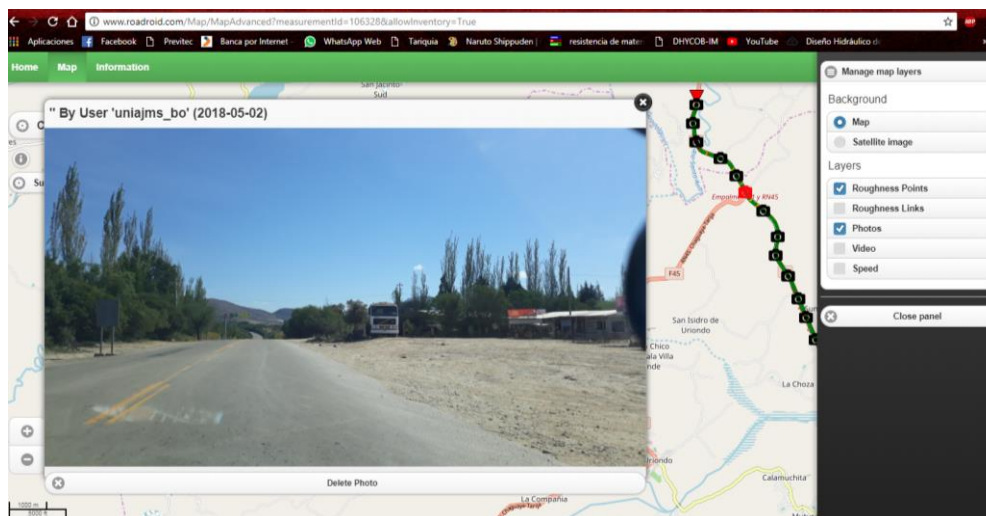
Figura 65. Visualización de resultados del eIRI.



Fuente: Elaboración propia

Finalmente esta aplicación tiene la opción de mostrar fotos instantáneas que realiza en la carretera durante la toma de datos, en este caso hacer clic en “change”, luego en “Manage map layers” y “photos”, como se muestra:

Figura 66. Visualización de las fotos de la carretera tomada por el Roadroid.



Fuente: Elaboración propia

Los datos descargados de la página <http://www.roadroid.com>, automáticamente son:

Figura 67. Datos que proporciona la aplicación Roadroid en formato “.txt”

DateTime	Latitude	Longitude	Distance(m)	Speed (km/h)	Altitude (m)	Grade (%)	eIRI	cIRI	RoadId
5/2/2018 10:35:03 AM	-21.710523	-64.60644	100	24.77	1726.79	0	1.04	0.41	02/05/18 ida
5/2/2018 10:35:16 AM	-21.7096473810405	-64.6061187672447	200	31.13	1727.08	0.29	1.08	0.79	02/05/18 ida
5/2/2018 10:35:28 AM	-21.7089672570368	-64.6056271170004	300	36.53	1723.27	-3.8	1.49	1.2	02/05/18 ida
5/2/2018 10:35:38 AM	-21.7083417986034	-64.6048324485103	400	47.75	1719.12	-4.15	4.06	5.26	02/05/18 ida
5/2/2018 10:35:45 AM	-21.7079070955925	-64.6041181638729	500	48.42	1715	-4.12	4.2	5.9	02/05/18 ida
5/2/2018 10:35:53 AM	-21.70725575592	-64.6030538425422	600	54.12	1714.57	-0.43	3.14	3.92	02/05/18 ida
5/2/2018 10:35:59 AM	-21.706801132169	-64.6024199261369	700	57.13	1715.5	0.93	1.27	2.2	02/05/18 ida
5/2/2018 10:36:04 AM	-21.7063952242735	-64.6020011946402	800	66.55	1711.57	-3.93	1.25	1.95	02/05/18 ida
5/2/2018 10:36:10 AM	-21.7052927063021	-64.6011830759301	900	73.58	1708.4	-3.17	1.27	2.2	02/05/18 ida
5/2/2018 10:36:14 AM	-21.7048060433504	-64.60083801394	1000	70.59	1707.06	-0.54	1.37	2.54	02/05/18 ida
5/2/2018 10:36:20 AM	-21.7037994290504	-64.6001100091019	1100	67.31	1708.33	0.48	1.26	1.89	02/05/18 ida
5/2/2018 10:36:25 AM	-21.7031389172221	-64.599722407412	1200	68.54	1707.67	-0.67	1.34	2.34	02/05/18 ida
5/2/2018 10:36:30 AM	-21.702333778692	-64.5995383511477	1300	69.66	1705.83	-1.83	1.37	2.52	02/05/18 ida
5/2/2018 10:36:35 AM	-21.7014736178099	-64.5996302162003	1400	72.98	1704.5	-1.33	1.86	3.45	02/05/18 ida
5/2/2018 10:36:40 AM	-21.7005724748802	-64.5999479341577	1500	76.15	1704	-0.5	1.43	2.52	02/05/18 ida
5/2/2018 10:36:45 AM	-21.6995973642868	-64.60028940295	1600	77.75	1705	1	1.56	3.26	02/05/18 ida
5/2/2018 10:36:50 AM	-21.6985754528046	-64.6005115393579	1700	75.30	1709.4	4.4	1.62	3.8	02/05/18 ida
5/2/2018 10:36:54 AM	-21.6979722898274	-64.6005171579141	1800	72.65	1716	6.6	1.4	2.26	02/05/18 ida
5/2/2018 10:36:59 AM	-21.6970634302849	-64.6004218910432	1900	71.75	1722.83	6.83	1.49	2.48	02/05/18 ida
5/2/2018 10:37:04 AM	-21.6961753580369	-64.6002588995539	2000	70.87	1728.17	5.33	1.42	3.01	02/05/18 ida
5/2/2018 10:37:09 AM	-21.6953519115684	-64.6000370363345	2100	72.14	1731.83	3.67	1.29	2.45	02/05/18 ida
5/2/2018 10:37:14 AM	-21.6944363746771	-64.5999379331771	2200	67.36	1734.29	2.45	1.24	2.06	02/05/18 ida
5/2/2018 10:37:20 AM	-21.693436528791	-64.6003754937618	2300	66.93	1735.33	1.05	1.2	1.6	02/05/18 ida
5/2/2018 10:37:25 AM	-21.6928737524732	-64.6009717048185	2400	68.99	1732.33	-3	1.41	1.88	02/05/18 ida
5/2/2018 10:37:30 AM	-21.6922796477552	-64.601622325996	2500	76.57	1727.14	-5.19	2.05	3.35	02/05/18 ida
5/2/2018 10:37:36 AM	-21.6915398491294	-64.6024510391042	2600	84.38	1719	-8.14	3.23	3.12	02/05/18 ida
5/2/2018 10:37:40 AM	-21.6909885278901	-64.6030751715108	2700	86.29	1712.2	-6.8	2.68	2.56	02/05/18 ida
5/2/2018 10:37:44 AM	-21.690402836596	-64.6037116686041	2800	84.01	1708.83	-3.37	1.74	2.7	02/05/18 ida
5/2/2018 10:37:49 AM	-21.689450985794	-64.6044773595171	2900	77.06	1709	0.17	1.49	2.26	02/05/18 ida
5/2/2018 10:37:53 AM	-21.6890005480715	-64.6047692596726	3000	75.78	1709.67	0.67	1.41	2.45	02/05/18 ida
5/2/2018 10:37:58 AM	-21.6879409752997	-64.605096351626	3100	79.61	1710.6	0.93	1.79	2.91	02/05/18 ida
5/2/2018 10:38:02 AM	-21.6872523434175	-64.6053121810694	3200	84.54	1712.5	1.9	1.45	2.11	02/05/18 ida
5/2/2018 10:38:07 AM	-21.6860716396706	-64.605657909458	3300	82.97	1719	6.5	1.35	2.14	02/05/18 ida
5/2/2018 10:38:11 AM	-21.6853538118518	-64.6059077062132	3400	79.73	1727.5	8.5	1.36	2.34	02/05/18 ida
5/2/2018 10:38:16 AM	-21.6841340223908	-64.6063567690645	3500	77.27	1734.5	7	1.34	1.95	02/05/18 ida
5/2/2018 10:38:19 AM	-21.6838991597189	-64.6064545057261	3600	76.02	1741	6.5	1.3	2.38	02/05/18 ida
5/2/2018 10:38:24 AM	-21.6827961467737	-64.6069344878095	3700	75.12	1748.67	7.67	1.27	2.16	02/05/18 ida
5/2/2018 10:38:29 AM	-21.681891060401	-64.6073597511551	3800	76.64	1753.2	4.53	1.34	2.52	02/05/18 ida
5/2/2018 10:38:33 AM	-21.6813216664432	-64.607649284484	3900	77.72	1756.5	3.3	1.45	2.38	02/05/18 ida
5/2/2018 10:38:38 AM	-21.6803671723899	-64.6081279138051	4000	80.98	1758.8	2.3	1.47	2.37	02/05/18 ida
5/2/2018 10:38:42 AM	-21.6796850020702	-64.6084676691107	4100	81.72	1760.17	1.37	1.57	2.86	02/05/18 ida
5/2/2018 10:38:47 AM	-21.6786527161511	-64.6089652625238	4200	78.66	1762.6	2.43	1.32	2.34	02/05/18 ida
5/2/2018 10:38:51 AM	-21.6780373606667	-64.6092429935561	4300	79.61	1762.17	-0.43	1.58	2.54	02/05/18 ida
5/2/2018 10:38:56 AM	-21.6770138097045	-64.6096516197446	4400	79.89	1759.8	-2.37	1.68	2.59	02/05/18 ida

Fuente: Elaboración propia

2.3.10 Serviciabilidad de pavimentos

La serviciabilidad se define como la percepción que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento, por tal razón es que la opinión de ellos es la que debe ser medida para calificar la serviciabilidad.

Se definió una escala de evaluación de 0 a 5. En ella una evaluación con nota 5 significa una superficie perfecta, mientras que una nota 0 significa intransitable. La siguiente tabla muestra la escala de evaluación. (Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008).

Tabla 9. Escala de calificaciones de la serviciabilidad según AASHTO 196

Numérica	Verbal	Descripción
5,0 – 4,0	Muy buen	Solo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son los suficientemente suaves y sin deterioro para calificar en su categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasifican como muy buenos.
4,0 – 3,0	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los “Muy Buenos”, entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un nivel de deterioro superficial, como desconches y fisuras menores.
3,0 – 2,0	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en los pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamientos, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamientos, escalonamiento y bombeo
2,0 – 1,0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde puedan afectar la velocidad del tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamiento; y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconche de juntas escalonamiento, parches agrietamientos y bombeo.
1,0 – 0,0	Muy mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

Fuente: Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008.

2.3.11 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

El PSI por sus siglas en inglés (Present Serviciability Índice) de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otras palabras a un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (pésimas condiciones). El índice de serviciabilidad de un pavimento, es un valor de apreciación con el cual se evalúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento; actualmente para medir este deterioro se utiliza el IRI, índice internacional de rugosidad (International Roughness Índice). Y para correlacionar el índice de serviciabilidad y el IRI, se utilizan ecuaciones. (Coronado Iturbide, 2002).

2.3.12 Relaciones entre PSI e IRI

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 AASHO, 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. En el Perú, la determinación analítica del PSI se efectúa utilizando la expresión establecida por Sayers, que relaciona la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad. La expresión, es una correlación desarrollada con la base de datos establecida en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad de Caminos, realizado en Brasil en 1982.

Donde:

$$IRI = 5,5 \ln\left(\frac{5,0}{PSI}\right)$$

IRI= Rugosidad, IRI (International Roughness Índice)

PSI= Índice de Serviciabilidad Presente

La Transitabilidad de la vía, es decir, la adjetivación de la calidad de servicio que brinda en un momento determinado el pavimento, se evalúa en función de los valores de PSI calculados, de acuerdo a los siguientes rangos: (Del Águila Rodríguez, 1999).

Tabla 10. Escala de serviciabilidad

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

Fuente: Del Águila Rodríguez, 1999.

Se pueden establecer rangos para el IRI, cuyos límites van a estar determinados por los correspondientes valores del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), los cuales ya fueron definidos por la AASHO en 1962. (Barrantes Jiménez, 2011).

2.3.13 Evaluación de pavimentos

A evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de reparación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil de los pavimentos, es así que es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva, oportuna y acorde al medio en que se encuentre.

2.3.14 Singularidades

Singularidad es “Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino”. (Caro Rivera & Peña Castro, 2012).

Para el caso de esta investigación, las singularidades que se encontró a lo largo de la vía fueron bandas transversales de alerta, tachas refractivas y puentes. A continuación algunas imágenes.

Figura 68. Puente de Santa Ana



Fuente: Elaboración propia

Figura 69. Bandas transversales de alerta en la carretera



Fuente: Elaboración propia

2.3.15 Análisis de las ventajas

Definición de Ventaja

Una ventaja es una superioridad o una mejoría de algo o alguien respecto de otra cosa o persona. Puede definirse como una condición favorable que algo o alguien tiene. (Pérez Porto & Merino, 2016).

La aplicación Roadroid, el PCI y la Estación total, son equipos con diferentes características, por ello se realizó un análisis a cerca del rendimiento y el costo usando los datos de este proyecto.

a) Rendimiento

La recopilación de datos con la Estación Total de los 12.2 km de longitud de la carretera en estudio se hizo solo en las muestras determinadas; se realizó con el apoyo de 4 personas, 2 personas para el manejo del equipo y levantamiento de los puntos y 2 para la seguridad de todo el personal, ya que en esta zona los vehículos imprimen grandes velocidades, durante 6 días no contínuos, se trabajó 8 horas diarias, lo que hace un total de 48 horas de trabajo contínuo.

Por otro lado, la toma de datos con la aplicación Roadroid de los 12.20km de longitud que tiene la carretera en estudio, se realizó con 2 personas, uno el chofer que lleva el carro a una velocidad alrededor de 80km/h y otro el operador del Smartphone, realizándose el trabajo en 25 minutos (0.42 horas) por cada carril.

A continuación se muestra una tabla comparativa con los datos de este proyecto con respecto al rendimiento de estos equipos.

Tabla 11. Cálculo del rendimiento.

	Aplicación Roadroid	Estación Total
Cuadrilla	1.00	1.00
Número de personas	2.00	4.00
Long. De muestreo (km)	24.4	0.567
Horas de muestreo	0.84	48.00
Rendimiento (km/h)	29.05	0.02

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se observa que con la aplicación Roadroid se pueden ensayar 29.05 km de carretera en una hora, mientras que con la Estación Total 0.02 km/h; es decir 20 m de carretera en una hora.


b) Evaluación Económica

Existen grandes diferencias entre los métodos utilizados hoy en día para calcular la rugosidad en nuestro medio y lo que nos ofrece la aplicación Roadroid. En el presente análisis buscaremos ensayar una tabla comparativa en un proyecto actual en cuanto a precio, operación, mantenimiento, beneficios económicos, beneficios técnicos, otras características.

Para el análisis de precios unitarios, la compañía Roadroid presentó la siguiente cotización para la adquisición del sistema y/o dispositivo. Suponiendo el caso más crítico, que representa la adquisición del *hardware* más el *software*, por doce (12) meses, el costo será de 650 dólares, siendo un aproximado de 4500 Bs, y de 93.75 Bs por una semana.

Figura 70. Precios para el uso de la aplicación Roadroid

Price examples – Roadroid
Cloud based systems for Roughness data and Road inventory's
2014-12-17



Items	Demo RDC+RI app 2 months	Example 1 Inventory 12 months	Example 2 Roughness 12 months	Example 3 RIU+RDCU 12 months	Example 4 Inventory 24 months	Example 5 RIU+RDCU 36 months	Example 6 Roughness 48 months
Road Inventory unit (RIU) For manual/visual assessment. Logging of +100 road parameters with GPS coordinates, altitude and speed. Software: Installed and configured, software updates during the license period.	Download and installation at your own Android.	1	0	1	4	5	10
Road data management system - Inventory (RDMS-I) Login to web tool, viewing of inventory data on map. 100+ layer monitoring. Section aggregation and spatial data creator (make shape files from your data).	Uploads and login to a demo account.	1	0	1	4	5	10
Roughness data collection units (RDCU): Hardware: Android unit, including car mounting devices Software: Installed and configured.	No support!	0	1	1	0	5	0
Road data management system - Roughness (RDMS-R) Login to web tool. Viewing of data on map. Photo and layer monitoring. Polygon analyze tool, section aggregation and spatial data creator (make shape files from your data).	No hardware.	0	1	1	0	5	0
Summary cost per unit/month	FREE	585	650	450	200	175	190

PRICES ARE IN US DOLLAR, EXCLUSIVE OF ANY LOCAL TAXES/FEES

Notes:

- Prices are including data collection units include hardware with installed and configured software. Broken hardware can be replaced at a cost of 500 USD/unit.
- Updates of the data collection software and the web data management service are provided during the binding period.
- Custom support or consulting services, such as special reports or data exports, can be supplied on demand at an hourly rate.
- On-site training and workshops by our professionals can be quoted on demand.
- Prices are based on full payment at delivery. Annual payments in advance are offered at a 10% surcharge. Monthly payments are possible at 15% surcharge.

Lars Forslöf, CEO/Founder

Fuente: Cotización por compañía Roadroid

Para una medición de rugosidad con Perfilómetro laser, la compañía APSA presentó la siguiente cotización para un proyecto.

Figura 71. Propuesta económica de un perfilómetro laser



PROPUESTA ECONOMICA

En la siguiente tabla se muestra el valor de los trabajos requeridos.

PROPUESTA TÉCNICO - ECONOMICA APSA PE 14-059P-02

CLIENTE : CONCAR
CONTRAPARTE : ING. ELVA BENGEOA
PROYECTO : IIRSA SUR TRAMO 1
FECHA : SEPTIEMBRE 2014

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Total \$US
1.000	Evaluación de Rugosidad (IRI)	Km Calzada	657.00	18,550.00
2.000	Evaluación de Retroreflectividad de la señalización Vertical y Horizontal	Km Calzada	71.00	17,700.00
3.000	Evaluación Estructural con Deflectómetro de Impacto FWD	Km Calzada	657.00	112,300.00
SUBTOTAL				\$ USD/. 148,550.00
				(I.G.V : 18%) 26,739.00
TOTAL PRESUPUESTADO				\$ USD/. 175,289.00

Fuente: APSA

Para evaluar los precios unitarios y comparar ambos métodos se debe tener en cuenta la extensión de 657 km que tiene el proyecto.

- Perfilómetro laser: $18550/657=28,23$ dólares por 1km evaluado, o 195,4 Bs por un km examinado.
- Precio por un kilómetro analizado con Roadroid y Estación Total:

Tabla 12. Detalle de equipo y personal necesario para Roadroid y Estación Total

Roadroid

N°	P	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
1	-	Hardware + Licencia Software Roadroid	glb	1,00	4,00	4,00
2	-	Porta celular tipo montaje de ventana	pza	1,00	2,50	2,50
3	-	Especialista	hr	0,50	25,00	12,50
4	-	Vehículo	hr	0,16	35,00	5,60
Total precio unitario						24,60

Estación Total

N°	P	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
1	-	Topógrafo	hr	12,00	50,00	600,00
2	-	Ayudante	hr	36,00	10,00	360,00
3	-	Estación total	hr	12,00	16,00	192,00
Total precio unitario						1152,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Comparación de precios unitarios, Roadroid, Estación Total y Perfilómetro laser

Método	PU (Bs/km)
Roadroid	24,60
Estación Total	1152,00
Perfilómetro laser	195,40

Fuente: Elaboración propia

CAPITULADO III

MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS

3 Materiales y métodos empleados

3.1 Muestreo

Indice de Rugosidad internacional IRI con la aplicación Roadroid

Se evaluara todas las muestras determinas para el tramo en estudio y las muestras adicionales que existieran.

Tabla 14. Muestras a ser evaluadas y sus respectivas progresivas.

Nº	Muestra	Abscisa inicial	Abscisa final
1	16	0+472,5	0+504
2	40	1+228,5	1+260
3	64	1+984,5	2+016
4	88	2+740,5	2+772
5	112	3+496,5	3+528
6	136	4+252,5	4+284
7	160	5+008,5	5+040
8	184	5+764,5	5+796
9	208	6+520,5	6+552
10	232	7+276,5	7+308
11	256	8+032,5	8+064
12	280	8+788,5	8+820
13	304	9+577,5	9+576
14	328	10+300,5	10+332
15	352	11+056,5	11+088
16	376	11+812,5	11+844
E1	84	2+283,5	2+315
E2	187	5+063,0	5+094,5

Fuente: Elaboración propia

Indice de Rugosidad internacional IRI con estación Total

Con la Estación Total se evaluarán las muestras obtenidas y así también las muestras adicionales que existieran.

3.2 Equipo

Equipo empleado en el método Roadroid

Figura 72. Equipo empleado en Roadroid

 <p>Aplicación Roadroid versión 2.3.4 Fuente: Guía de usuaria de Roadroid</p>	 <p>Sujetador empleado en la toma de datos Fuente: Elaboración propia</p>
 <p>Vehículo utilizado para la toma de datos Fuente: Elaboración propia</p>	 <p>Celular Samsung J5 usado para la toma de datos Fuente: Elaboración propia</p>

Equipo empleado en el método Estación Total

Equipo completo de Estación Total, incluye prismas, jalones, flexometro,

Figura 73. Izquierda.- Estación Total Derecha.- jalón, prisma y trípode



Fuente: Elaboración propia

Equipo empleado en el método PCI

Una regla metálica de 2 m figura 77, de longitud para medir los ahuellamientos, depresiones. Un flexometro figura 75, para medir los diferentes tipos de fallas sean longitudinales o por metro cuadrado. Una huincha figura 76, para medir las longitudes de las muestras.

Figura 74. Regla metálica



Fuente: Elaboración propia

Figura 75. Flexometro de 8 metros de longitud



Fuente: Elaboración propia

Figura 76. Huincha plástica de 50 metros de longitud



Fuente: Elaboración propia

Cámara de fotos del celular, para obtener fotografías de cada una de las fallas o deterioros.

Figura 77. Cámara de Samsung J5



Fuente: Elaboración propia

3.3 Procedimientos de aplicación de métodos

3.3.1 Método Estación Total

Para aplicar el método se realizaron medidas con el equipo de Estación Total en las muestras ya determinadas, se ejecutó los siguientes pasos:

- Cada lectura de cota se realizara en subtramos de 500 mm (50cm), se tomara la muestra sobre la huella derecha.
- Siendo la carretera de doble vía, se tomara muestras sobre el carril derecho e izquierdo.
- Se determinara el perfil longitudinal del pavimento y la rugosidad existente en el pavimento mediante el programa ProVAL.
- Se introducirán las cotas obtenidas de cada carril en el programa, el cual nos dará como resultado el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para cada carril.
- El promedio de los dos carriles será el IRI que representa a la unidad de muestra.
- El promedio de todas las unidades de muestra será el IRI que representa al tramo total en estudio.

3.3.2 Método Roadroid

Planificación

La planificación es muy importante antes de realizar la toma de datos, debido a que se debe mantener una velocidad de 20 a 80 km/h, rango recomendado para obtener buenos resultados. Por lo tanto, se tomó la decisión de realizar la toma de datos a media noche. Recorriendo desde La Pintada hasta el cruce de Calamuchita y de regreso, tratando de mantener una velocidad alrededor de 80km/h.

Recopilación de datos

Para recolectar los datos con la aplicación Roadroid se puede seguir las indicaciones que se presentan en el manual de uso del mismo, pero en el Capítulo II subtítulo 2.3.9.5 Configuración de Roadroid se presenta el procedimiento de la configuración de la aplicación Roadroid empleada en esta investigación.

3.4 Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

3.4.1 Calculo del IRI con Roadroid

Los datos que proporciona la aplicación Roadroid son en formato texto, pero para su análisis fueron copiados al Microsoft Excel.

Antes de analizar estos datos, cabe señalar que el programa mide la rugosidad de la carretera en forma continua; es decir incluido las singularidades, pero al tomar datos con los otros dos métodos estos no miden las singularidades, por lo tanto todas las singularidades a lo largo de la carretera fueron identificadas mediante las coordenadas geográficas que proporciona la aplicación Roadroid y cambiados por un promedio de los extremos como se muestra con un ejemplo en la siguiente tabla 15.

Se realizó el levantamiento puntual de datos solo en las muestras designadas y muestras adicionales con la aplicación Roadroid.

Figura 78. Datos obtenidos de la página de Roadroid.

357476080658314-20180502103446-7c1494a4-RCP_aggr (3).txt: Bloc de notas										
Archivo Edición Formato Ver Ayuda										
cIRI-sensitivity: 1,5 eIRI-sensitivity 1										
DateTime	Latitude	Longitude	Distance(m)	Speed (km/h)	Altitude (m)	Grade (%)	eIRI	cIRI	RoadId	
5/2/2018 10:35:03 AM	-21,710523	-64,60644	20	22,02	1726	0	1,13	0,13	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:05 AM	-21,710309131296	-64,6063757588326	40	23,43	1726	0	0,94	0,37	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:08 AM	-21,7101378173176	-64,6063246808039	60	24,92	1726,5	2,5	0,99	0,33	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:11 AM	-21,7099488151399	-64,6062515745022	80	25,88	1727,33	4,17	1,17	0,53	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:13 AM	-21,7098651380138	-64,6062155763862	100	27,08	1728	3,33	1,02	0,68	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:16 AM	-21,7096473810405	-64,6061107672447	120	28,49	1728	0	1,01	0,64	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:18 AM	-21,7095537329786	-64,6060577513055	140	30,36	1727,5	-2,5	1,23	0,67	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:21 AM	-21,7093033014741	-64,6058989392325	160	31,69	1727	-2,5	0,96	1,22	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:23 AM	-21,709185697935	-64,6058153313256	180	32,67	1727	0	1,04	0,85	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:25 AM	-21,7090743394781	-64,6057233489346	200	32,59	1726,25	-3,75	1,07	0,75	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:28 AM	-21,7089672570368	-64,6056271170004	220	31,85	1725	-6,25	1,06	0,83	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:30 AM	-21,7087596706438	-64,6054060894764	240	33,48	1724	-5	1,1	0,8	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:33 AM	-21,7086512294839	-64,6052729864016	260	36,18	1723	-5	1,13	0,99	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:35 AM	-21,7085203260879	-64,6050989273112	280	39,84	1722	-5	1,12	1,44	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:36 AM	-21,7085005759014	-64,60507043071	300	43,43	1721,33	-3,33	2,52	2,05	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:38 AM	-21,7083417986034	-64,6048324485103	320	45,67	1720,5	-4,17	3,07	2,83	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:39 AM	-21,7083130381494	-64,6047855069782	340	47,21	1720	-2,5	3,56	3,61	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:41 AM	-21,7081432531874	-64,6045163112032	360	48,67	1719,5	-2,5	3,19	4,19	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:42 AM	-21,7081067822413	-64,6044566062143	380	49,02	1718,33	-5,83	3,92	6,83	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:44 AM	-21,7079384810647	-64,6041735218927	400	48,35	1717,5	-4,17	5,81	8,27	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:45 AM	-21,7079070955925	-64,6041181638729	420	47,9	1716,33	-5,83	4,82	7,41	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:47 AM	-21,7077484319562	-64,6038429924247	440	48,28	1715,5	-4,17	1,51	5,46	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:48 AM	-21,7077158935359	-64,6037874060833	460	47,94	1714,67	-4,17	4,16	3,59	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:50 AM	-21,7075514883345	-64,6035150117431	480	47,04	1714	-3,33	3,24	5,3	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:51 AM	-21,7075184307223	-64,6034638356024	500	49,4	1714	0	3,61	6,69	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:53 AM	-21,70725575592	-64,6030538425422	520	49,4	1714	0	3,61	6,69	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:53 AM	-21,7072433490251	-64,6030345429279	540	53,32	1714	0	3,1	3,66	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:55 AM	-21,7072304694295	-64,6030146136168	560	53,99	1714,67	3,33	3,77	3,59	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:57 AM	-21,7070166240928	-64,6026947613492	580	54,58	1715	1,67	2,89	5,54	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:58 AM	-21,7069603454228	-64,6026184059502	600	55,35	1715	0	1,42	4,15	02/05/18	ida
5/2/2018 10:35:59 AM	-21,7068011132169	-64,6024199261369	620	56,03	1715,67	3,33	1,32	2,54	02/05/18	ida
5/2/2018 10:36:01 AM	-21,7066322051202	-64,6022262615298	640	56,32	1716	1,67	1,35	2,11	02/05/18	ida
5/2/2018 10:36:02 AM	-21,706442953031	-64,6020455994403	660	56,32	1716	0	1,35	2,11	02/05/18	ida
5/2/2018 10:36:02 AM	-21,7064220628275	-64,6020258539055	680	58,23	1715,33	-3,33	1,22	1,86	02/05/18	ida
5/2/2018 10:36:04 AM	-21,7062503505534	-64,6018857574131	700	58,23	1715,33	0	1,22	1,86	02/05/18	ida
5/2/2018 10:36:04 AM	-21,7062457897365	-64,6018821232961	720	61,74	1713,67	-8,33	1,14	2,02	02/05/18	ida
5/2/2018 10:36:06 AM	-21,7060180081932	-64,6017087805637	740	65,23	1712	-8,33	1,03	1,73	02/05/18	ida
5/2/2018 10:36:07 AM	-21,705748184195	-64,6015147541923	760	68,44	1710,5	-7,5	1,38	1,3	02/05/18	ida
5/2/2018 10:36:08 AM	-21,7056039577966	-64,6014101811763	780	70,36	1710	-2,5	1,54	2,06	02/05/18	ida

Fuente: <http://www.roadroid.com/>

Tabla 15. Valores el eIRI con singularidades en promedios de 20m.

Nº	DateTime	Latitude	Longitude	Distance(m)	Speed (km/h)	Altitude (m)	Grade (%)	eIRI	cIRI	RoadId
10	05/02/2018 10:35	-21,70907434	-64,60572335	200	32,59	1726,25	-3,75	1,07	0,75	02/05/18 ida
11	05/02/2018 10:35	-21,70896726	-64,60562712	220	31,85	1725	-6,25	1,06	0,83	02/05/18 ida
12	05/02/2018 10:35	-21,70875967	-64,60540609	240	33,48	1724	-5	1,1	0,8	02/05/18 ida
13	05/02/2018 10:35	-21,70865123	-64,60527299	260	36,18	1723	-5	1,13	0,99	02/05/18 ida
14	05/02/2018 10:35	-21,70852033	-64,60509893	280	39,84	1722	-5	1,12	1,44	02/05/18 ida
15	05/02/2018 10:35	-21,70850058	-64,60507043	300	43,43	1721,33	-3,33	2,52	2,05	02/05/18 ida
16	05/02/2018 10:35	-21,7083418	-64,60483245	320	45,67	1720,5	-4,17	3,07	2,83	02/05/18 ida
17	05/02/2018 10:35	-21,70831304	-64,60478551	340	47,21	1720	-2,5	3,56	3,61	02/05/18 ida
18	05/02/2018 10:35	-21,70814325	-64,60451631	360	48,67	1719,5	-2,5	3,19	4,19	02/05/18 ida
19	05/02/2018 10:35	-21,70810678	-64,60445661	380	49,02	1718,33	-5,83	3,92	6,83	02/05/18 ida
20	05/02/2018 10:35	-21,70793848	-64,60417352	400	48,35	1717,5	-4,17	5,81	8,27	02/05/18 ida
21	05/02/2018 10:35	-21,7079071	-64,60411816	420	47,9	1716,33	-5,83	4,82	7,41	02/05/18 ida
22	05/02/2018 10:35	-21,70774843	-64,60384299	440	48,28	1715,5	-4,17	1,51	5,46	02/05/18 ida
23	05/02/2018 10:35	-21,70771589	-64,60378741	460	47,94	1714,67	-4,17	4,16	3,59	02/05/18 ida
24	05/02/2018 10:35	-21,70755149	-64,60351501	480	47,04	1714	-3,33	3,24	5,3	02/05/18 ida
25	05/02/2018 10:35	-21,70751843	-64,60346384	500	49,4	1714	0	3,61	6,69	02/05/18 ida
26	05/02/2018 10:35	-21,70725576	-64,60305384	520	49,4	1714	0	3,61	6,69	02/05/18 ida
27	05/02/2018 10:35	-21,70724335	-64,60303454	540	53,32	1714	0	3,1	3,66	02/05/18 ida
28	05/02/2018 10:35	-21,70723047	-64,60301461	560	53,99	1714,67	3,33	3,77	3,59	02/05/18 ida
29	05/02/2018 10:35	-21,70701662	-64,60269476	580	54,58	1715	1,67	2,89	5,54	02/05/18 ida
30	05/02/2018 10:35	-21,70696035	-64,60261841	600	55,35	1715	0	1,42	4,15	02/05/18 ida
31	05/02/2018 10:35	-21,70680111	-64,60241993	620	56,03	1715,67	3,33	1,32	2,54	02/05/18 ida

Bandas
transversales
de alerta

Nº	DateTime	Latitude	Longitude	Distance(m)	Speed (km/h)	Altitude (m)	Grade (%)	eIRI	cIRI	RoadId
572	05/02/2018 10:44	-21,62407126	-64,64210281	11440	74,16	1812,5	-5	1,58	2,56	02/05/18 ida
573	05/02/2018 10:44	-21,6239553	-64,64226877	11460	73,76	1811,5	-5	1,58	3	02/05/18 ida
574	05/02/2018 10:44	-21,62382913	-64,64241395	11480	73,12	1810,5	-5	1,45	3	02/05/18 ida
575	05/02/2018 10:44	-21,62369048	-64,64254321	11500	72,58	1809,5	-5	1,67	3,91	02/05/18 ida
576	05/02/2018 10:44	-21,62354493	-64,64265783	11520	73,06	1808,5	-5	1,6	3,45	02/05/18 ida
577	05/02/2018 10:44	-21,62339205	-64,64276081	11540	72,29	1807,5	-5	2,61	2,31	02/05/18 ida
578	05/02/2018 10:44	-21,62322933	-64,64284565	11560	70,4	1806,5	-5	4,9	2,92	02/05/18 ida
579	05/02/2018 10:44	-21,6230671	-64,64291483	11580	69,1	1805,5	-5	4,22	3,52	02/05/18 ida
580	05/02/2018 10:44	-21,62291548	-64,64297573	11600	67,86	1804,5	-5	3,71	4,65	02/05/18 ida
581	05/02/2018 10:44	-21,62277181	-64,64303247	11620	65,46	1804	-2,5	6,72	6,82	02/05/18 ida
582	05/02/2018 10:44	-21,62234302	-64,64320289	11640	61,78	1804	0	8,95	8,9	02/05/18 ida
583	05/02/2018 10:44	-21,62222816	-64,64324934	11660	60,08	1804,5	2,5	13,38	12,36	02/05/18 ida
584	05/02/2018 10:44	-21,62211905	-64,64329383	11680	59,06	1805	2,5	9,32	15,82	02/05/18 ida
585	05/02/2018 10:44	-21,62201292	-64,64333728	11700	58,68	1805	0	1,87	10,48	02/05/18 ida
586	05/02/2018 10:44	-21,62190448	-64,64338087	11720	58,66	1805	0	4,74	5,77	02/05/18 ida
587	05/02/2018 10:44	-21,62140002	-64,6435894	11740	58,66	1805	0	4,74	5,77	02/05/18 ida
588	05/02/2018 10:44	-21,62138049	-64,64359749	11760	56,18	1805,67	3,33	11,62	7,86	02/05/18 ida
589	05/02/2018 10:44	-21,62134753	-64,64361067	11780	55,81	1806,33	3,33	6,31	8,34	02/05/18 ida
590	05/02/2018 10:44	-21,62098949	-64,6437453	11800	58,14	1807	3,33	6,59	9,86	02/05/18 ida
591	05/02/2018 10:44	-21,62088042	-64,64378208	11820	59,85	1807,5	2,5	6,26	11,5	02/05/18 ida
592	05/02/2018 10:44	-21,62075662	-64,64382038	11840	61,38	1808,5	5	5,17	7,94	02/05/18 ida
593	05/02/2018 10:44	-21,62062509	-64,64385579	11860	62,78	1809,5	5	4,65	4,39	02/05/18 ida
594	05/02/2018 10:44	-21,62048797	-64,64388573	11880	64,04	1810,5	5	3,21	6,75	02/05/18 ida
595	05/02/2018 10:44	-21,62034899	-64,64390684	11900	63,92	1812	7,5	1,22	6,98	02/05/18 ida
596	05/02/2018 10:44	-21,61989046	-64,64392776	11920	62,93	1813	5	1,01	2,69	02/05/18 ida

Bandas
transversales
de alerta

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Valores el eIRI sin singularidades en promedios de 20m.

Nº	DateTime	Latitude	Longitude	Distance(m)	Speed (km/h)	Altitude (m)	Grade (%)	eIRI	cIRI	RoadId
13	05/02/2018 10:35	-21,70865123	-64,60527299	260	36,18	1723	-5	1,13	0,99	02/05/18 ida
14	05/02/2018 10:35	-21,70852033	-64,60509893	280	39,84	1722	-5	1,12	1,44	02/05/18 ida
15	05/02/2018 10:35	-21,70850058	-64,60507043	300	43,43	1721,33	-3,33	1,27	2,05	02/05/18 ida
16	05/02/2018 10:35	-21,7083418	-64,60483245	320	45,67	1720,5	-4,17	1,27	2,83	02/05/18 ida
17	05/02/2018 10:35	-21,70831304	-64,60478551	340	47,21	1720	-2,5	1,27	3,61	02/05/18 ida
18	05/02/2018 10:35	-21,70814325	-64,60451631	360	48,67	1719,5	-2,5	1,27	4,19	02/05/18 ida
19	05/02/2018 10:35	-21,70810678	-64,60445661	380	49,02	1718,33	-5,83	1,27	6,83	02/05/18 ida
20	05/02/2018 10:35	-21,70793848	-64,60417352	400	48,35	1717,5	-4,17	1,27	8,27	02/05/18 ida
21	05/02/2018 10:35	-21,7079071	-64,60411816	420	47,9	1716,33	-5,83	1,27	7,41	02/05/18 ida
22	05/02/2018 10:35	-21,70774843	-64,60384299	440	48,28	1715,5	-4,17	1,27	5,46	02/05/18 ida
23	05/02/2018 10:35	-21,70771589	-64,60378741	460	47,94	1714,67	-4,17	1,27	3,59	02/05/18 ida
24	05/02/2018 10:35	-21,70755149	-64,60351501	480	47,04	1714	-3,33	1,27	5,3	02/05/18 ida
25	05/02/2018 10:35	-21,70751843	-64,60346384	500	49,4	1714	0	1,27	6,69	02/05/18 ida
26	05/02/2018 10:35	-21,70725576	-64,60305384	520	49,4	1714	0	1,27	6,69	02/05/18 ida
27	05/02/2018 10:35	-21,70724335	-64,60303454	540	53,32	1714	0	1,27	3,66	02/05/18 ida
28	05/02/2018 10:35	-21,70723047	-64,60301461	560	53,99	1714,67	3,33	1,27	3,59	02/05/18 ida
29	05/02/2018 10:35	-21,70701662	-64,60269476	580	54,58	1715	1,67	1,27	5,54	02/05/18 ida
30	05/02/2018 10:35	-21,70696035	-64,60261841	600	55,35	1715	0	1,42	4,15	02/05/18 ida
31	05/02/2018 10:35	-21,70680111	-64,60241993	620	56,03	1715,67	3,33	1,32	2,54	02/05/18 ida

Bandas
transversales
de alerta

Nº	DateTime	Latitude	Longitude	Distance(m)	Speed (km/h)	Altitude (m)	Grade (%)	eIRI	cIRI	RoadId
575	05/02/2018 10:44	-21,62369048	-64,64254321	11500	72,58	1809,5	-5	1,67	3,91	02/05/18 ida
576	05/02/2018 10:44	-21,62354493	-64,64265783	11520	73,06	1808,5	-5	1,6	3,45	02/05/18 ida
577	05/02/2018 10:44	-21,62339205	-64,64276081	11540	72,29	1807,5	-5	1,41	2,31	02/05/18 ida
578	05/02/2018 10:44	-21,62322933	-64,64284565	11560	70,4	1806,5	-5	1,41	2,92	02/05/18 ida
579	05/02/2018 10:44	-21,6230671	-64,64291483	11580	69,1	1805,5	-5	1,41	3,52	02/05/18 ida
580	05/02/2018 10:44	-21,62291548	-64,64297573	11600	67,86	1804,5	-5	1,41	4,65	02/05/18 ida
581	05/02/2018 10:44	-21,62277181	-64,64303247	11620	65,46	1804	-2,5	1,41	6,82	02/05/18 ida
582	05/02/2018 10:44	-21,62234302	-64,64320289	11640	61,78	1804	0	1,41	8,9	02/05/18 ida
583	05/02/2018 10:44	-21,62222816	-64,64324934	11660	60,08	1804,5	2,5	1,41	12,36	02/05/18 ida
584	05/02/2018 10:44	-21,62211905	-64,64329383	11680	59,06	1805	2,5	1,41	15,82	02/05/18 ida
585	05/02/2018 10:44	-21,62201292	-64,64333728	11700	58,68	1805	0	1,41	10,48	02/05/18 ida
586	05/02/2018 10:44	-21,62190448	-64,64338087	11720	58,66	1805	0	1,41	5,77	02/05/18 ida
587	05/02/2018 10:44	-21,62140002	-64,6435894	11740	58,66	1805	0	1,41	5,77	02/05/18 ida
588	05/02/2018 10:44	-21,62138049	-64,64359749	11760	56,18	1805,67	3,33	1,41	7,86	02/05/18 ida
589	05/02/2018 10:44	-21,62134753	-64,64361067	11780	55,81	1806,33	3,33	1,41	8,34	02/05/18 ida
590	05/02/2018 10:44	-21,62098949	-64,6437453	11800	58,14	1807	3,33	1,41	9,86	02/05/18 ida
591	05/02/2018 10:44	-21,62088042	-64,64378208	11820	59,85	1807,5	2,5	1,41	11,5	02/05/18 ida
592	05/02/2018 10:44	-21,62075662	-64,64382038	11840	61,38	1808,5	5	1,41	7,94	02/05/18 ida
593	05/02/2018 10:44	-21,62062509	-64,64385579	11860	62,78	1809,5	5	1,41	4,39	02/05/18 ida
594	05/02/2018 10:44	-21,62048797	-64,64388573	11880	64,04	1810,5	5	1,41	6,75	02/05/18 ida
595	05/02/2018 10:44	-21,62034899	-64,64390684	11900	63,92	1812	7,5	1,22	3,98	02/05/18 ida
596	05/02/2018 10:44	-21,61989046	-64,64392776	11920	62,93	1813	5	1,01	2,69	02/05/18 ida

Bandas
transversales
de alerta

Fuente: Elaboración propia

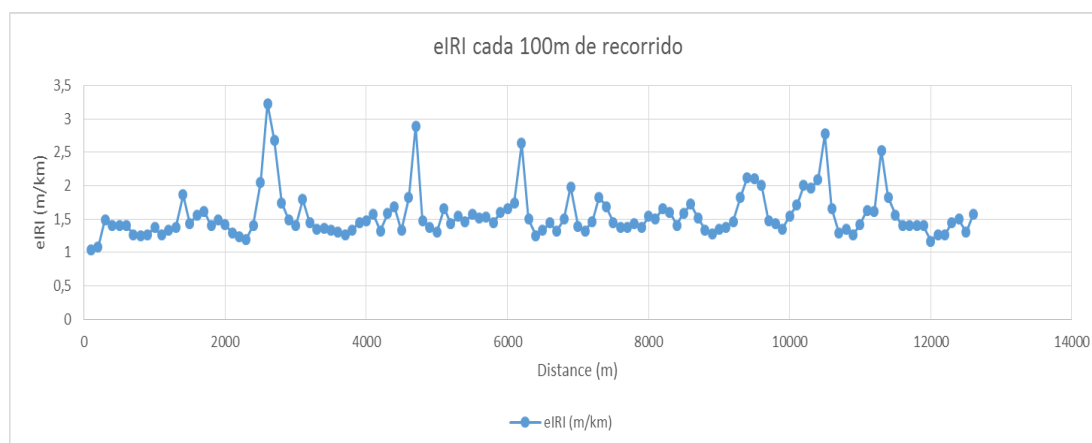
En la tabla 19; se muestra sólo algunos de los datos y para mayor información los datos continúan en **Anexos**.

Asimismo; se observa que la aplicación Roadroid genera dos valores para el IRI como el eIRI y el cIRI por cada 20m de longitud de carretera; pero el cIRI aún se encuentra en estudios; y necesita velocidad constante lo que fue difícil alcanzar en esta tesis; siendo el eIRI el que mejor se ajusta al IRI real del pavimento.

De igual forma, proporciona las coordenadas geográficas de los puntos; el cual facilita la ubicación de cualquier punto para que pueda ser intervenido, asimismo proporciona las velocidades a la que viaja el vehículo, entre otros datos.

Con los datos de la tabla 18 y con los datos que continúan en Anexos, se realizó un gráfico de dispersión para observar de manera más didáctica la variación del eIRI, de tal forma realizar un análisis como se muestra a continuación:

Figura 79. Gráfico de dispersión del eIRI vs Distancia recorrida.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 79; se observa que la rugosidad a lo largo de la carretera es muy variable, existen valores del eIRI que se encuentran entre 1.32 m/km y 1.8m/km lo que significa que el tramo desde La Pintada hasta el Cruce de Calamuchita se encuentra en buenas condiciones; sin muchas imperfecciones entregando un manejo de primera clase; pero

también puede estar empezando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Al ubicar los picos más elevados mediante sus coordenadas geográficas se comprobó que el pico más elevado se trata de un parche debido al mantenimiento, asimismo ubicando las coordenadas de los otros picos elevados se corroboró que se tratan de parches, agrietamientos profundos.

Continuando con el análisis de la tabla 17, la aplicación Roadroid cuenta con su propio índice como es el Roadroid Índice (IR) que proporciona el estado de la carretera mediante colores y según este índice el 90,3% de la carretera tiene una buena condición.

Tabla 17. Porcentajes de la condición de la carretera carril 1 y el eIRI promedio. Con singularidades.

	Condicion de la carrtera	Numero de puntos	Porcentaje (%)	eIRI promedio (m/km)
	Bueno	549	90,3	1,76
	Satisfactorio	24	3,9	
	No satisfactorio	19	3,1	
	Pobre	16	2,6	
	Total	608	100	

Fuente: Elaboración propia

eIRI promedio sin singularidades carril 1

IR= 1.54 m/km

Seguidamente, para demostrar la hipótesis general planteada en esta investigación se procedió a ubicar mediante coordenadas los sectores donde están ubicadas las muestras inspeccionadas por los métodos anteriores y promediar los puntos más cercanos las muestras obtenidas por la aplicación Roadroid.

Figura 80. Localización de las muestras

Distance(m)	Speed (km/h)	Altitude (m)	Grade (%)	eIRI	cIRI	RoadId	
12160	65,82	1817,5	0	1,23	1,91	02/05/18 ida	
12180	69,95	1816,33	-5,83	1,24	2,09	02/05/18 ida	
12200	69,95	1816,33	0	1,24	2,09	02/05/18 ida	muestra 1
12220	73,68	1814,67	-8,33	1,25	2,38	02/05/18 ida	
12240	75,11	1814	-3,33	1,54	2,73	02/05/18 ida	muestra 1

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de todas las muestras se mostraran en el Capítulo IV

Se llevó a cabo el levantamiento solo en las muestras designadas de igual manera, obteniendo la siguiente información:

Figura 81.eIRI y cIRI proporcionados por Roadroid

Import date	User Name	Unit Name	Import Status	Avg eIRI	Avg cIRI	Avg Speed	Road Id	Survey Length (m)	Type
7/8/2018 8:10:06 PM	uniamts_bo	Elvis01	Import OK	1.0	1.4	67.3	cp5	55	RoadCondition
7/8/2018 8:10:05 PM	uniamts_bo	Elvis01	Import OK	1.2	1.5	66.8	pc4	37	RoadCondition
7/8/2018 8:10:05 PM	uniamts_bo	Elvis01	Import OK	1.2	2.8	60.0	cp4	51	RoadCondition
7/8/2018 8:10:04 PM	uniamts_bo	Elvis01	Import OK	1.2	1.9	66.6	pcr1	56	RoadCondition
7/8/2018 8:10:04 PM	uniamts_bo	Elvis01	Import OK	1.3	3.2	63.5	cpe1	54	RoadCondition
7/8/2018 8:10:04 PM	uniamts_bo	Elvis01	Import OK	1.3	1.8	61.5	pc3	52	RoadCondition
7/8/2018 8:10:03 PM	uniamts_bo	Elvis01	Import OK	1.3	2.0	56.6	cp3	48	RoadCondition
7/8/2018 8:10:03 PM	uniamts_bo	Elvis01	Import OK	1.3	2.3	59.8	pc2	50	RoadCondition
7/8/2018 8:10:03 PM	uniamts_bo	Elvis01	Import OK	1.3	1.3	62.5	cp2	53	RoadCondition
7/8/2018 8:10:03 PM	uniamts_bo	Elvis01	Import OK	0.9	1.0	57.0	cp1	48	RoadCondition
7/8/2018 8:10:02 PM	uniamts_bo	Elvis01	Import OK	1.0	0.9	57.4	pc1	84	RoadCondition

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Datos obtenidos de Roadroid por cada muestra

N°	Muestra	Carril Vuelta		Carril Ida	
		eIRI	cIRI	eIRI	cIRI
1	16	0,90	1,00	1,00	0,90
2	40	1,30	2,30	1,30	1,30
3	64	1,30	1,80	1,30	2,00
4	88	1,20	1,50	1,20	2,80
5	112	1,10	1,70	1,00	1,40
6	136	1,10	1,40	1,10	1,40
7	160	1,30	2,00	1,30	1,80
8	184	1,00	1,70	0,90	1,60
9	208	1,20	1,60	1,20	1,60
10	232	1,00	1,00	0,90	0,90
11	256	1,20	1,50	1,30	0,60
12	280	1,00	1,10	1,10	1,90
13	304	1,00	1,00	0,90	0,80
14	328	1,10	1,30	1,00	1,40
15	352	1,30	1,30	1,00	1,70
16	376	1,00	0,80	1,10	1,30
E1	84	1,20	1,90	1,30	3,20
E2	187	1,40	2,00	1,50	2,00

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Cálculo del IRI con Estación Total

Muestra: 16

Nombre del tramo: carretera La Pintada – Cruce Calamuchita

Abscisa Inicial: 0+472,5

Abscisa: Final: 0+504

Tabla 19. Datos obtenidos con la Estación Total.

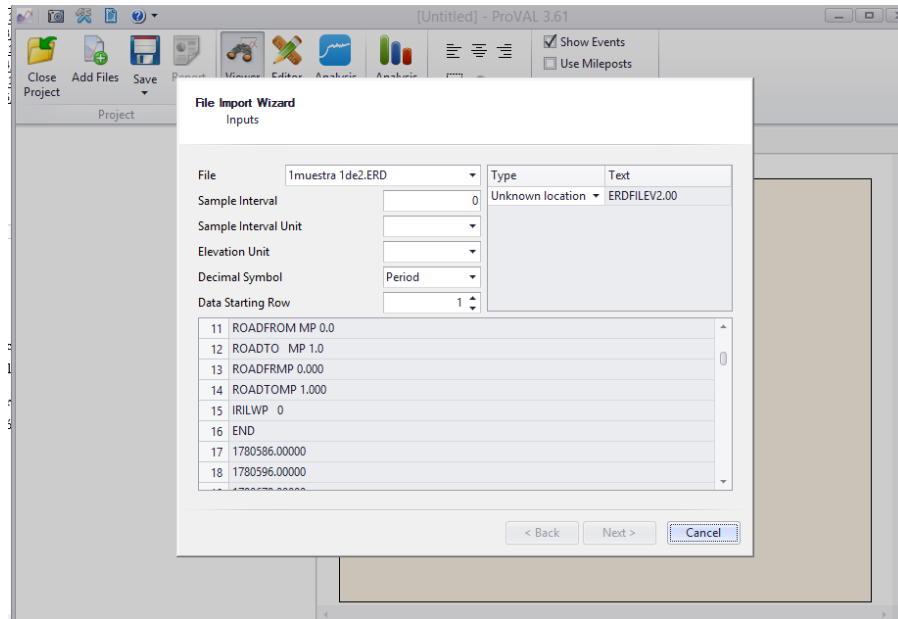
Muestra 1				
#	Carril ida		Carril vuelta	
	Abscisa	Cota	Abscisa	Cota
1	0,00	1780,586	0,00	1780,462
2	0,50	1780,596	0,50	1780,498
3	1,00	1780,678	1,00	1780,505
4	1,50	1780,688	1,50	1780,527
5	2,00	1780,716	2,00	1780,541
6	2,50	1780,706	2,50	1780,586
7	3,00	1780,672	3,00	1780,648
8	3,50	1780,652	3,50	1780,667
9	4,00	1780,647	4,00	1780,684
10	4,50	1780,667	4,50	1780,705
11	5,00	1780,707	5,00	1780,712
12	5,50	1780,735	5,50	1780,732
13	6,00	1780,742	6,00	1780,747
14	6,50	1780,758	6,50	1780,761
15	7,00	1780,780	7,00	1780,785
16	7,50	1780,799	7,50	1780,853
17	8,00	1780,850	8,00	1780,886
18	8,50	1780,853	8,50	1780,891
19	9,00	1780,890	9,00	1780,921
20	9,50	1780,913	9,50	1780,932
21	10,00	1780,926	10,00	1780,948
22	10,50	1780,962	10,50	1780,959
23	11,00	1781,043	11,00	1780,981
24	11,50	1781,063	11,50	1781,031
25	12,00	1781,079	12,00	1781,038
26	12,50	1781,099	12,50	1781,058
27	13,00	1781,117	13,00	1781,087
28	13,50	1781,135	13,50	1781,128
29	14,00	1781,157	14,00	1781,156
30	14,50	1781,189	14,50	1781,162
31	15,00	1781,228	15,00	1781,190
32	15,50	1781,253	15,50	1781,221
33	16,00	1781,266	16,00	1781,231
34	16,50	1781,289	16,50	1781,267
35	17,00	1781,302	17,00	1781,289
36	17,50	1781,322	17,50	1781,300
37	18,00	1781,340	18,00	1781,330
38	18,50	1781,380	18,50	1781,335
39	19,00	1781,414	19,00	1781,350
40	19,50	1781,421	19,50	1781,376
41	20,00	1781,449	20,00	1781,399
42	20,50	1781,458	20,50	1781,452
43	21,00	1781,488	21,00	1781,478
44	21,50	1781,501	21,50	1781,539
45	22,00	1781,526	22,00	1781,608
46	22,50	1781,539	22,50	1781,637
47	23,00	1781,595	23,00	1781,645
48	23,50	1781,605	23,50	1781,669
49	24,00	1781,633	24,00	1781,702
50	24,50	1781,658	24,50	1781,721
51	25,00	1781,675	25,00	1781,726
52	25,50	1781,693	25,50	1781,737
53	26,00	1781,711	26,00	1781,782
54	26,50	1781,754	26,50	1781,833
55	27,00	1781,780	27,00	1781,861
56	27,50	1781,792	27,50	1781,878
57	28,00	1781,820	28,00	1781,900
58	28,50	1781,835	28,50	1781,922
59	29,00	1781,856	29,00	1781,943
60	29,50	1781,875	29,50	1781,942
61	30,00	1781,899	30,00	1781,973
62	30,50	1781,958	30,50	1781,979
63	31,00	1781,994	31,00	1781,990
64	31,50	1782,013	31,50	1782,027

Fuente: Elaboración propia

Estos datos obtenidos en campo introducimos en el Software denominado ProVAL versión 3.61 donde se realiza el cálculo del IRI.

Primero se debe convertir los datos a una extensión que pueda leer el ProVAL en nuestro caso esta extensión será .ERD.

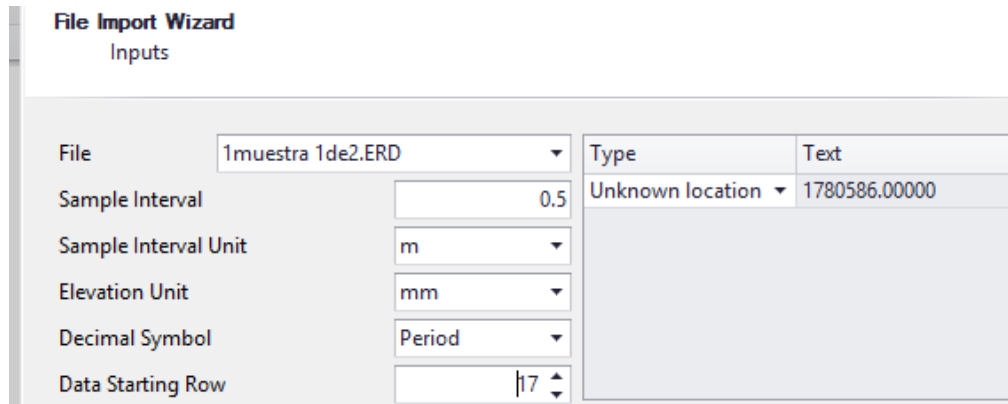
Figura 82. Ingreso de datos ProVAL



Fuente: Elaboración propia

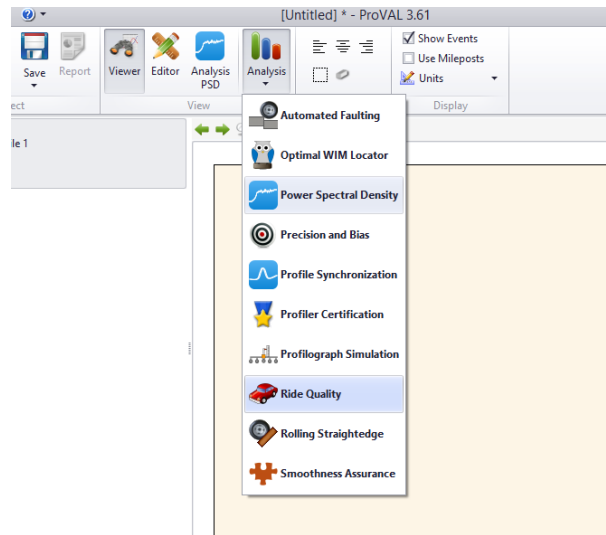
Se configura los parámetros según la siguiente imagen y clic en Next

Figura 83. Configuración de inicial de ProVAL



Fuente: Elaboración propia

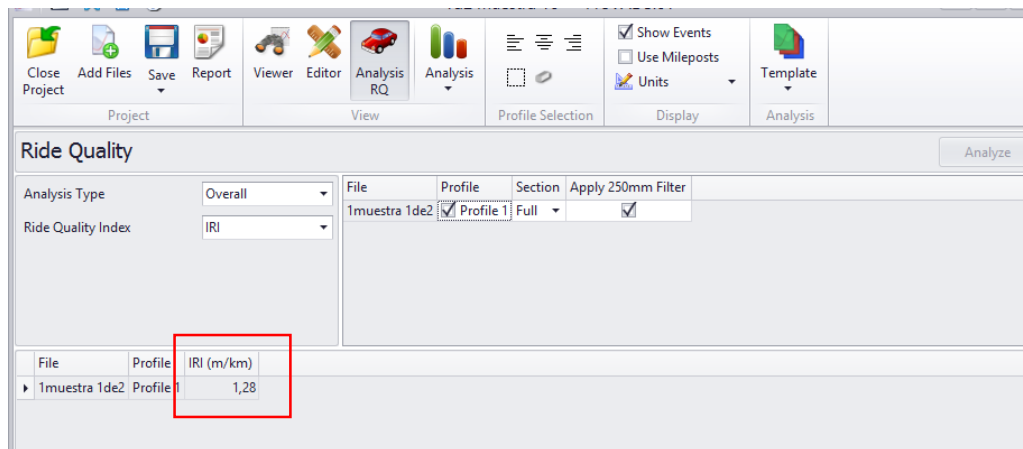
Figura 84. Selección de la herramienta IRI



Fuente: Elaboración propia

Seleccionamos Ride Quality, desactivamos el filtro de 250 mm, y clic en Analyze

Figura 85. Calculo del IRI

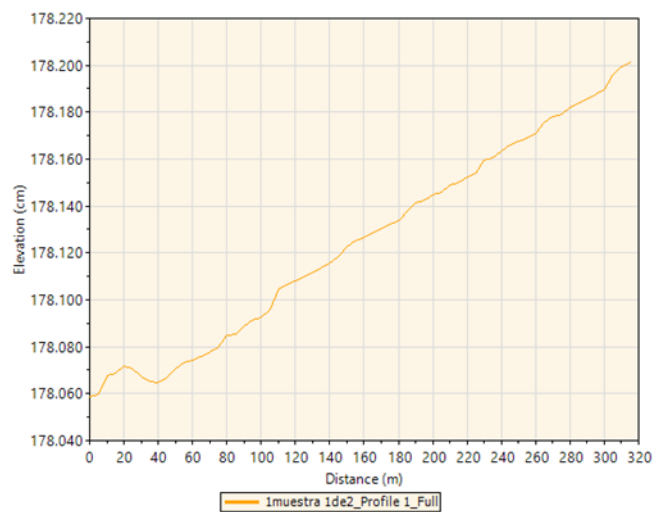


Fuente: Elaboración propia

El Valor del IRI para el carril 1 de muestra 16 es:

$$\mathbf{IRI= 1,28 \text{ m/km}}$$

Figura 86. Perfil longitudinal del carril 1, muestra 16

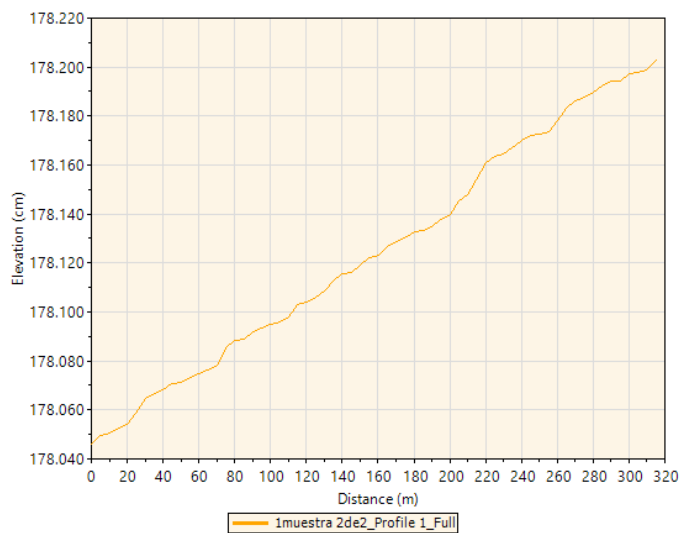


Fuente: ProVAL

Se Realiza el mismo procedimiento para el carril 2 de la muestra 16, y obtenemos un IRI calculado de:

IRI: 1,4 m/km

Figura 87. Perfil longitudinal del carril 2, muestra 16



Fuente: ProVAL

Promediamos ambos valores de IRI para obtener el índice de rugosidad representativo de la unidad de muestra 16:

$$\text{IRI} = (1,4 + 1,28) / 2 = 1,34 \text{ m/km}$$

Tabla 20. Clasificación de la muestra.

IRI	
Categoría	Rango (m/km)
Bueno	0 - 3,6
Regular	3,6 - 6,4
Malo	6,4 - 10
Muy malo	10 en adelante

Fuente: Elaboración propia

Este valor encontrado, según la escala rango del IRI que se muestra en la correspondiente Tabla: **Bueno**

Este proceso es reiterativo para cada una de las unidades de muestras y sus respectivos carriles, el cálculo del IRI de todas las unidades de muestra se detalla en los anexos detalladamente.

Tabla 21. IRI calculado para todas las unidades de muestra.

Nº	Muestra	Estacion Total		IRI
		carril ida	carril vuelta	
1	16	1,28	1,40	1,34
2	40	1,48	1,51	1,50
3	64	1,18	1,29	1,24
4	88	1,23	1,40	1,32
5	112	1,60	1,36	1,48
6	136	1,36	1,42	1,39
7	160	1,58	1,40	1,49
8	184	1,33	1,39	1,36
9	208	1,71	1,31	1,51
10	232	1,53	1,35	1,44
11	256	1,41	1,98	1,70
12	280	1,40	1,23	1,32
13	304	1,27	1,47	1,37
14	328	1,54	1,35	1,45
15	352	1,48	1,73	1,61
16	376	1,08	1,41	1,25
E1	84	1,72	1,49	1,61
E2	187	1,82	1,63	1,73

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Método Índice de condición del pavimento PCI

Para complementar la información se realizó una evaluación de cada una de las muestras por el método PCI, y comparar los resultados obtenidos, si tiene correlación con el IRI obtenido de los métodos de Estación Total y Roadroid.

Medición de fallas o deterioros existentes

La medición de cada una de las fallas o deterioros, se la realiza de acuerdo a su forma individual de medición, y el nivel de su severidad o grado de daño en el pavimento, ambos estarán basados en lo descrito en el Capítulo II.

La cuantificación de cada tipo de falla, se la debe realizar minuciosamente, de esta forma se controle mejor la cuantificación de las fallas. Los datos de la cuantificación se muestran en el anexo.

Tipos de fallas existentes

En el presente estudio existen los siguientes tipos de fallas o deterioros:

- Piel de cocodrilo
- Exudación
- Fisuras en bloque
- Fisuras longitudinales y transversales
- Parches y parches de cortes utilitarios
- Fisura parabólica

Se puede observar visualmente las fallas encontradas en el anexo.

3.4.3.1 Calculo del PCI

Cuadro 2. Cuantificación de fallas muestra 16 PCI

Método PCI							Esquema			
Indice de condición del pavimentos en vías de pavimento flexible										
Hoja de registro										
Nombre de la vía:		Tramo La Pintada - Cruce Calamuchita		Sección:		1		Unidad de muestra:		184
Ejecutor:		Elvis Cayo Soliz		Fecha:		20/03/2018		Área: m2		230
1. Piel de cocodrilo		6. Depresion		11. Parches y parches de cortes utilitarios		16. Fisura parabolica o por deslizamiento				
2. Exudacion		7. Fisura de borde		12. Agregado pulido		17. Hinchamiento				
3. Fisuras en bloque		8. Fisura de reflexion de junta		13. Baches		18. Peladura por interperismo y desprendimiento de agregados				
4. Abultamientos y Hundimientos		9. Desnivel carril-berma		14. Ahuellamiento						
5. Corrugacion		10. Fisuras longitudinales y transversales		15. Desplazamiento						
Falla	Cantidad						Total	Densidad	Valor deducido	
10L	2,94	3,6	4,1	1,1	10,9	19,6	42,24	18,37	11	
10M	14,9	2,5	1,2	11,9	4,58	2,15	37,23	16,19	23	
3L	3,4						3,4	1,48	0	
11L	13,65						13,65	5,93	12	
16M	10,08						10,08	4,38	30	
#	Valor deducido					m= 7,43	Total	q	CDV	
1	30	23	12	11			76	4	43	
2	30	23	12	2			67	3	42	
3	30	23	2	2			57	2	42	
4	30	2	2	2			36	1	37	
5										
6										
7										
8										

Max valor deducido

Max CDV= 43

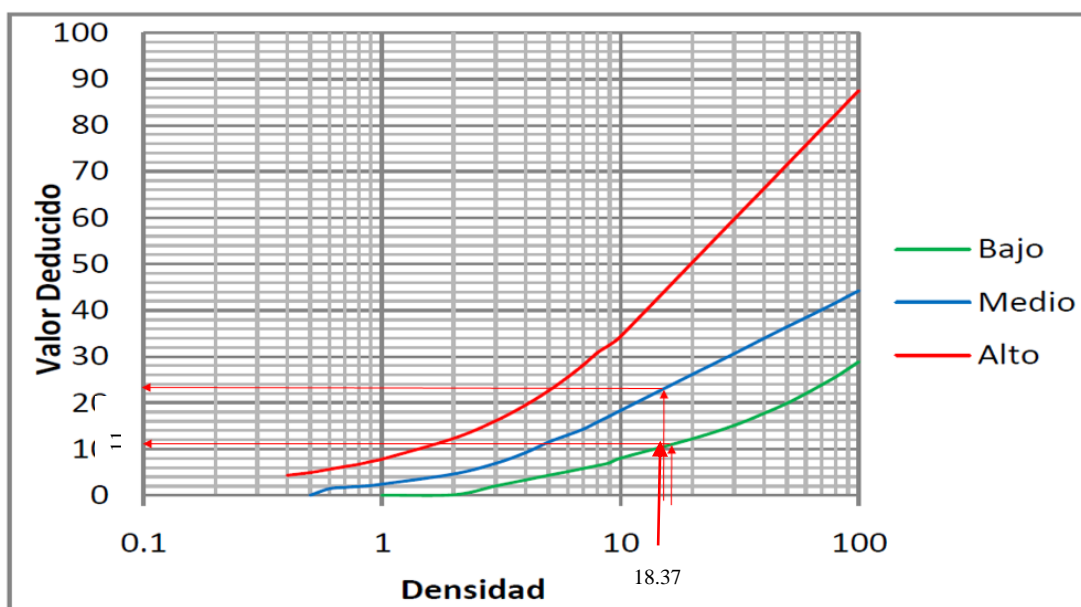
PCI= 57

Rango= Bueno

Fuente: Elaboración propia

Para hallar la densidad sumamos el metrado total de cada tipo de falla y severidad luego la dividimos entre el total del área de la muestra y la multiplicamos por 100 para que el resultado quede en porcentaje. Por ejemplo para la primera falla tenemos un total de metrado de 42,24 ml entre el área 230 m² tenemos 18,37 %. Para hallar el valor deducido de la primera falla hacemos uso de la curva de valor deducido para asfalto correspondiente a la falla fisuras longitudinales y transversales, la cual se encuentra anexada al final de la tesis. Ingresamos a la gráfica con la densidad 18,37 % para el nivel de severidad bajo (L) obteniendo como valor deducido 11.

Figura 88. Valores deducidos para pavimentos asfálticos grietas longitudinal y transversal.



Fuente: Universidad Técnica Particular de Loja.

Repetimos el mismo procedimiento para el resto de fallas, en función a la información registrada. Luego procedemos a calcular el número máximo admisible de valores deducidos “m”, para lo cual podemos hacer uso formula o gráfica.

Posteriormente se procede a seleccionar el máximo valor deducido, el cual para el ejemplo que se viene desarrollando tiene como valor 30 (HDV) correspondiente a la falla fisura parabólica o por deslizamiento en nivel de severidad medio. Por ultimo hacemos

uso de la ecuación obtenemos como resultado $m= 7,43$, tal como se muestra a continuación. Se recomienda hacer uso de la fórmula debido a que al hacer uso de la gráfica se corre el riesgo de obtener un resultado poco preciso. Se procede a ordenar de menor a mayor los 7,43 valores deducidos mayores. El ejemplo solo cuenta con cuatro valores deducidos por lo cual trabajaremos con todos. Si tuviéramos 8 o más se debe escoger 7,43; el octavo valor deducido solo debe colocarse el 43%.

Cuadro 3. Detalle de cálculo de valores deducidos.

Se suman los valores deducido

Mayor ← Menor

#	VALOR DEDUCIDO				m= 7,43	TOTAL	q	CDV
1	30	23	12	11		76	4	43
2	30	23	12	2		67	3	42
3	30	23	2	2		57	2	42
4	30	2	2	2		36	1	37
5								
6								
7								
8								

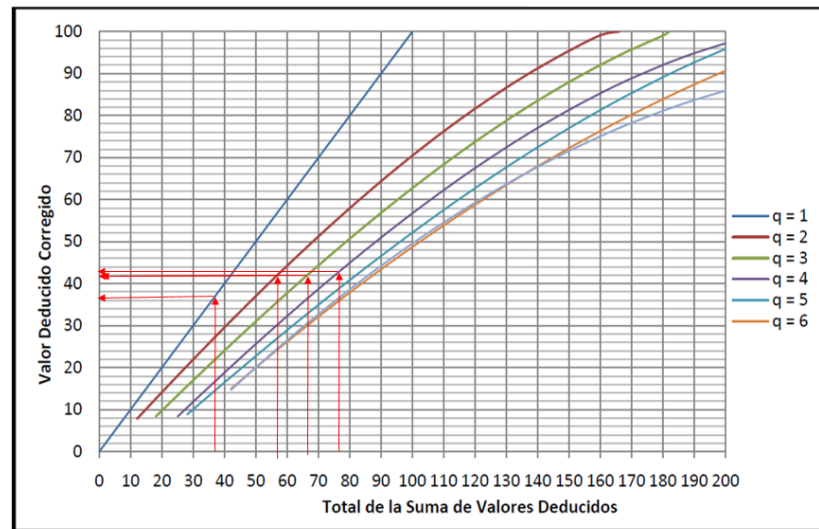
Se disminuye en 1, hasta que sea igual 1

Fuente: Elaboración propia

Luego de ordenar los cuatro primero valores deducidos se sumaran y se ingresaran en la gráfica valores deducidos corregidos para pavimentos asfálticos, para el primer caso $q = 4$, ya que contamos con cuatro valores deducidos en un inicio, obteniendo como valor deducido corregido (CDV) de 43.

Se repetirá lo mismo, reemplazando el último valor reducido por 2 y reduciendo el valor de “q” en una unidad, hasta que “q” sea igual a 1, hallando los valores deducidos corregidos para cada valor de “q”.

Figura 89. Valores deducidos corregidos.



Fuente: Pavement Concition Index, Manizales, Ingepav

Luego de calcular todos los valores deducidos corregidos se escoge el mayor para el cálculo del PCI de la unidad de muestra, haciendo uso de la formula descrita en la teoría, obteniendo como resultado para el ejemplo el siguiente:

$$\text{PCI} = 100 - \max \text{CDV}$$

$$\text{PCI} = 100 - 43$$

$$\text{PCI} = 57\%$$

La clasificación correspondiente para un PCI de 57%, se obtiene de la tabla 5, donde la clasificación de la muestra es:

“Bueno”

El procedimiento es repetitivo para cada una de las muestras el resumen de cálculos de todas las muestras se encuentran en el Capítulo IV

CAPITULO IV

CÁLCULOS Y RESULTADOS

4 Cálculos, resultados y análisis

4.1 Roadroid

Los resultados de la examinación de las unidades de muestra ya determinadas se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Selección Índice Roadroid para representar a la muestra

Nº	Muestra	Carril Vuelta		Carril Ida	
		eIRI	cIRI	eIRI	cIRI
1	16	0,90	1,00	1,00	0,90
2	40	1,30	2,30	1,30	1,30
3	64	1,30	1,80	1,30	2,00
4	88	1,20	1,50	1,20	2,80
5	112	1,10	1,70	1,00	1,40
6	136	1,10	1,40	1,10	1,40
7	160	1,30	2,00	1,30	1,80
8	184	1,00	1,70	0,90	1,60
9	208	1,20	1,60	1,20	1,60
10	232	1,00	1,00	0,90	0,90
11	256	1,20	1,50	1,30	0,60
12	280	1,00	1,10	1,10	1,90
13	304	1,00	1,00	0,90	0,80
14	328	1,10	1,30	1,00	1,40
15	352	1,30	1,30	1,00	1,70
16	376	1,00	0,80	1,10	1,30
E1	84	1,20	1,90	1,30	3,20
E2	187	1,40	2,00	1,50	2,00

Fuente: Elaboración propia

Datos Carril Ida

Tabla 23. Localización de muestras en los datos de Roadroid carril de ida.

Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI
1	1,13	51	1,34	101	1,17	151	2,04	201	1,66
2	0,94	52	1,15	102	1,18	152	2,22	202	1,8
3	0,99	53	1,04	103	1,33	153	1,78	203	1,58
4	1,17	54	1,25	104	1,38	154	1,78	204	1,34
5	1,02	55	1,4	105	1,37	155	1,78	205	1,46
6	1,01	56	1,52	106	1,36	156	1,33	206	1,35
7	1,23	57	1,53	107	1,26	157	1,33	207	1,35
8	0,96	58	1,34	108	1,25	158	1,51	208	1,34
9	1,04	59	1,17	109	1,18	159	1,59	209	1,27
10	1,07	60	1,15	110	1,2	160	1,42	210	1,27
11	1,06	61	1,35	111	1,17	161	1,33	211	1,43
12	1,1	62	1,31	112	1,11	162	1,33	212	1,64
13	1,13	63	1,2	113	1,07	163	1,42	213	1,69
14	1,12	64	1,47	114	1,09	164	1,42	214	1,55
15	1,27	65	1,55	115	1,35	165	1,37	215	1,61
16	1,27	66	1,41	116	1,37	166	1,37	216	2,15
17	1,27	67	2,45	117	1,37	167	1,37	217	1,91
18	1,27	68	2,67	118	1,32	168	1,32	218	1,4
19	1,27	69	1,68	119	1,25	169	1,3	219	1,36
20	1,27	70	1,49	120	1,55	170	1,32	220	1,36
21	1,27	71	1,43	121	1,55	171	1,32	221	1,31
22	1,27	72	1,28	122	1,7	172	1,32	222	1,27
23	1,27	73	1,32	123	1,9	173	1,41	223	1,26
24	1,27	74	1,6	124	1,83	174	1,28	224	1,44
25	1,27	75	1,55	125	2,97	175	1,28	225	1,42
26	1,27	76	1,36	126	2,82	176	1,25	226	1,28
27	1,27	77	1,65	127	1,59	177	1,22	227	2,37
28	1,27	78	1,76	128	1,59	178	1,22	228	2,47
29	1,27	79	1,76	129	1,84	179	1,35	229	1,55
30	1,42	80	1,76	130	4,45	180	1,43	230	1,55
31	1,32	81	1,56	131	4,25	181	1,24	231	1,55
32	1,35	82	1,35	132	1,63	182	1,14	232	1,55
33	1,35	83	1,63	133	1,66	183	1,24	233	5,26
34	1,22	84	1,99	134	1,66	184	1,23	234	5,12
35	1,22	85	1,74	135	1,65	185	1,33	235	1,79
36	1,14	86	1,46	136	1,77	186	1,31	236	1,43
37	1,14	87	1,61	137	2	187	1,21	237	1,24
38	1,14	88	1,39	138	1,74	188	1,2	238	1,56
39	1,14	89	1,22	139	1,44	189	1,43	239	1,61
40	1,3	90	1,36	140	1,71	190	1,43	240	1,61
41	1,3	91	1,33	141	1,71	191	1,43	241	1,59
42	1,38	92	1,42	142	1,84	192	1,43	242	1,59
43	1,38	93	1,44	143	1,47	193	1,38	243	1,29
44	1,17	94	1,63	144	1,24	194	1,43	244	1,23
45	1,17	95	1,69	145	1,27	195	1,39	245	1,25
46	1,13	96	1,53	146	1,2	196	1,49	246	1,19
47	1,41	97	1,43	147	1,21	197	1,52	247	1,16
48	1,49	98	1,46	148	1,31	198	1,32	248	1,18
49	1,5	99	1,45	149	1,54	199	1,48	249	1,37
50	1,43	100	1,26	150	1,73	200	1,48	250	1,52

Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI	
251	1,45	301	1,31	351	1,17	401	1,37	451	1,36	
252	1,45	302	1,31	352	1,46	402	1,45	452	1,3	
253	1,91	303	1,36	353	1,62	403	1,45	453	1,4	
254	2,01	304	2,17	354	1,32	404	1,57	454	1,44	
255	1,46	305	2,17	355	1,13	405	1,56	455	1,44	
256	1,4	306	2,47	356	1,1	406	1,66	456	1,37	
257	1,46	307	1,79	357	1,51	407	1,69	457	1,3	
258	1,46	Muestra 9		358	1,66	408	1,78	458	1,5	
259	1,56	308	1,7	359	1,51	409	1,64	459	1,7	
260	1,43	310	2,34	360	1,62	410	1,64	460	1,7	
261	1,41	311	1,65	361	1,54	411	1,54	461	1,77	
262	1,58	312	1,69	362	2,14	412	1,72	462	1,71	
263	1,67	313	1,45	363	2,14	413	1,81	463	1,79	
264	1,57	314	1,45	364	2,26	414	1,55	464	1,58	
265	1,57	315	1,36	365	1,6	415	1,45	465	1,92	
266	1,44	316	1,36	366	1,64	416	1,38	466	1,92	
267	1,44	317	1,3	367	1,65	417	1,14	467	1,92	
268	1,36	318	1,19	368	1,65	418	1,3	468	2,58	
269	Muestra 10		319	1,14	369	1,7	419	1,52	469	2,39
270	1,63	320	1,25	370	1,79	Muestra 6		470	1,44	
271	1,63	321	1,31	371	1,61	471	1,44	471	1,44	
272	1,53	322	1,31	372	1,61	422	1,47	472	1,5	
273	1,62	323	1,2	373	1,32	423	1,48	473	1,5	
274	1,61	324	1,2	374	1,39	424	1,46	474	1,5	
275	1,61	Muestra E2		375	1,41	425	1,73	475	2,58	
276	1,53	325	1,2	376	1,31	426	1,74	476	2,58	
277	1,47	327	1,21	377	1,45	427	1,36	477	1,71	
278	1,35	328	1,63	378	1,38	428	1,48	478	2,66	
279	1,52	329	1,63	379	1,38	429	1,48	479	2,66	
280	1,67	330	1,59	380	1,35	430	1,9	480	2,3	
281	1,67	331	1,59	381	1,47	431	1,84	481	2,3	
282	1,57	332	1,23	Muestra 7		432	1,56	482	1,41	
283	1,56	333	1,39	383	1,39	433	1,3	483	1,41	
284	1,52	334	1,39	384	1,37	434	1,33	484	1,57	
285	1,43	335	1,39	385	1,51	435	1,18	485	1,59	
286	1,39	336	1,39	386	1,53	436	1,28	486	1,52	
287	1,39	337	1,5	387	1,53	437	1,43	487	1,52	
288	1,4	338	1,59	388	1,66	438	1,33	488	1,52	
289	1,33	339	1,53	389	1,44	439	1,35	489	1,4	
290	1,48	340	1,46	390	1,21	440	1,35	490	1,29	
291	1,47	341	2,63	391	1,27	441	1,37	491	1,2	
292	1,22	342	2,63	392	1,38	442	1,24	492	1,3	
293	1,22	Muestra 8		393	1,39	443	1,23	493	1,4	
294	1,52	343	1,56	394	1,42	444	1,33	Muestra 4		
295	1,9	345	1,56	395	1,45	445	1,24	495	1,78	
296	1,84	346	1,47	396	1,55	446	1,27	496	1,46	
297	1,73	347	1,44	397	1,55	447	1,5	497	1,61	
298	1,73	348	1,53	398	1,52	448	1,5	498	1,72	
299	1,61	349	1,4	399	1,55	449	1,39	499	1,52	
300	1,38	350	1,17	400	1,61	450	1,34	500	1,52	

Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI
501	1,52	551	1,5	601	1,21
502	Muestra E1	552	1,48	602	1,18
503		553	1,54	603	1,3
504	2,18	554	1,76	604	1,33
505	1,52	555	1,84	605	1,28
506	1,76	556	1,84	606	1,32
507	1,76	557	1,71	607	1,23
508	1,88	558	1,64	608	Muestra 1
509	2,01	559	1,61	609	1,24
510	2,4	560	1,56	610	1,24
511	1,87	561	1,5	611	1,25
512	1,87	562	1,5	612	1,54
513	1,46	563	1,48	613	1,54
514	1,99	564	3,2	614	1,67
515	2,19	565	4,1	615	1,55
516	2,19	566	2,31	616	1,53
517	2,06	567	1,44	617	1,37
518	2,13	568	1,54	618	1,37
519	2,11	569	1,54	619	1,24
520	2,11	570	Muestra 2	620	1,57
521	3,17	571	1,42	621	1,5
522	3,62	572	1,58	622	1,11
523	2,5	573	1,58	623	1,24
524	2,29	574	1,45	624	1,2
525	2,29	575	1,67	625	1,16
526	1,94	576	1,6	626	1,53
527	1,52	577	1,41	627	1,75
528	1,71	578	1,41	628	1,66
529	1,57	579	1,41	629	1,63
530	1,33	580	1,41	630	1,51
531	Muestra 3	581	1,41	631	1,51
532	1,55	582	1,41	632	2,02
533	1,25	583	1,41	633	1,95
534	1,24	584	1,41		
535	1,27	585	1,41		
536	1,33	586	1,41		
537	1,28	587	1,41		
538	1,3	588	1,41		
539	1,45	589	1,41		
540	1,42	590	1,41		
541	1,24	591	1,41		
542	1,22	592	1,41		
543	1,29	593	1,41		
544	1,29	594	1,41		
545	1,28	595	1,22		
546	1,29	596	1,01		
547	1,41	597	1,13		
548	1,5	598	1,22		
549	1,5	599	1,25		
550	1,5	600	1,28		

Fuente: Elaboración propia

Datos Carril Vuelta

Tabla 24. Localización de muestras en los datos de Roadroid carril de vuelta.

Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI
1	0,78	52	1,36	103	1,2	154	1,71	205	1,26
2	0,97	53	1,36	104	1,29	155	1,48	206	1,2
3	1,01	54	1,36	105	1,37	156	1,31	207	1,22
4	1,09	55	1,36	106	1,41	157	1,29	208	1,23
5	1,06	56	1,36			158	1,47	209	1,59
6	1,05	57	1,36			159	1,65		
7	1,22	58	1,36	109	3,18	160	1,76		
8	1,48	59	1,36	110	1,94	161	1,61	212	1,18
9	1,36	60	1,36	111	1,94	162	2,61	213	1,13
10	1,13	61	1,36	112	1,94	163	3,21	214	1,13
11	1,26	62	1,36	113	1,94	164	3,88	215	1,22
12	1,31			114	1,73	165	3,88	216	1,31
13	1,37			115	1,92	166	4,72	217	1,34
14	1,76			116	1,93	167	2,97	218	1,45
15	1,62	65	1,47	117	1,93	168	1,66	219	1,7
16	1,43	66	1,62	118	1,55	169	1,59	220	1,64
17	1,36	67	1,37	119	1,54	170	2,02	221	1,45
18	1,36	68	1,52	120	1,86	171	2,7	222	1,27
19	1,44	69	1,47	121	1,89	172	4,68	223	1,24
20	1,7	70	1,61	122	1,89	173	6,71	224	1,48
21	1,72	71	1,5	123	1,71			225	1,39
22	1,6	72	1,29	124	1,53			226	1,23
23	1,67	73	1,4	125	1,51	176	1,76	227	1,29
		74	1,32	126	1,69	177	1,34	228	1,28
		75	1,12	127	1,55	178	1,17	229	1,2
		76	1,1	128	1,5	179	1,31	230	1,13
26	1,75	77	1,17	129	1,46	180	1,46	231	1,3
27	1,64	78	1,19			181	1,45	232	1,5
28	1,25	79	1,17			182	1,39	233	1,61
29	1,34	80	1,16					234	1,62
30	1,81	81	1,25	132	1,13	183	1,39	235	1,76
31	1,74	82	1,18	133	1,19	184	1,4	236	1,76
32	1,35	83	1,12	134	1,31	185	1,38	237	2,04
33	1,55	84	1,25	135	1,22	186	1,4	238	1,69
34	1,5	85	1,28	136	1,46	187	1,26	239	1,35
35	1,5	86	1,28	137	1,4	188	1,31	240	1,43
36	1,27	87	1,14	138	1,27	189	1,33	241	1,37
37	1,64	88	1,07			190	1,35	242	1,35
38	1,7	89	1,07			191	1,43	243	1,37
39	1,27	90	1,07	141	1,3	192	1,28	244	1,31
40	1,16	91	1,24	142	1,2	193	1,36	245	1,22
41	1,28	92	1,41	143	1,11	194	1,44	246	1,28
42	1,42	93	1,31	144	1,13	195	1,22	247	1,27
43	1,56	94	1,24	145	1,64	196	1,05	248	1,27
44	1,63	95	1,45	146	1,6	197	1,16	249	1,36
45	1,49	96	1,46	147	1,12	198	1,38	250	1,36
46	1,36	97	1,33	148	1,2	199	1,34	251	1,36
47	1,36	98	1,43	149	1,16	200	1,21	252	1,39
48	1,36	99	1,5	150	1,25	201	1,52	253	1,3
49	1,36	100	1,46	151	1,35	202	1,52	254	1,32
50	1,36	101	1,36	152	1,53	203	1,61	255	1,33
51	1,36	102	1,3	153	1,89	204			

Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI
256	1,3	Muestra E2		358	1,78	409	5,79	460	1,58
257	1,31			359	1,59	410	2,52	461	1,46
258	1,27	309	1,31	360	1,34	411	2,33	462	1,46
259	1,31	310	1,22	361	1,47	412	4,56	463	1,38
260	1,34	311	1,32	362	1,47	413	3,99	464	1,26
261	1,37	312	1,4	363	1,47	414	3,99	465	1,25
262	1,32	313	1,32	364	1,58	415	1,48	466	1,25
263	1,14	314	1,55	365	1,33	416	1,37	467	1,49
264	1,07	315	1,55	366	1,32	417	1,34	468	1,67
265	1,18	316	1,25	367	1,3	418	1,34	469	1,84
266	1,21	317	1,47	368	1,31	419	1,41	470	2,29
267	1,16	318	1,66	369	1,29	420	1,43	471	2,29
268	1,47	319	1,38	370	1,17	421	1,43	472	2,18
269	1,61	320	1,21	371	1,07	422	1,37	473	1,93
270	1,61	321	1,2	372	1,08	423	1,68	474	2,85
271	1,61	322	1,17	373	1,11	424	2,54	475	2,85
272	1,63	323	1,3	374	1,08	425	2,22	476	2,67
273	1,29	324	1,43	375	1,01	426	1,42	477	1,57
274	1,25	Muestra 9		376	1,01	427	1,69	Muestra 13	
275	1,34			377	1,11	428	1,57		
276	1,21	327	1,19	378	1,61	429	1,11	480	1,77
277	1,44	328	1,3	379	1,56	430	1,09	481	1,72
278	1,48	329	1,3	380	1,32	431	1,22	482	1,6
279	1,27	330	1,24	381	1,35	432	1,31	483	1,6
280	1,18	331	1,55	382	1,19	433	1,45	484	1,55
281	1,01	332	1,64	383	1,39	434	1,45	485	1,76
282	1,05	333	1,56	384	1,44	435	1,54	486	2,18
283	1,04	334	1,61	385	1,44	436	1,38	487	2,18
284	1,09	335	1,23	386	1,4	437	1,19	488	2,21
Muestra 8		336	1,09	387	1,79	438	1,14	489	2,26
286	1,22	337	1,09	388	1,87	439	1,20	490	2,22
287	1,38	338	1,21	389	1,69	Muestra 12		491	2,08
288	1,32	339	1,22	390	2,4	441	1,75	492	1,83
289	1,31	340	1,28	391	2,4	442	1,39	493	1,83
290	1,4	341	1,75	392	2,3	443	1,39	494	1,58
291	1,4	342	1,96	393	1,54	444	1,34	495	1,61
292	1,25	343	1,61	394	1,39	445	1,25	496	1,59
293	1,07	344	1,25	395	1,47	446	1,71	497	1,48
294	1,23	345	1,1	396	1,67	447	1,86	498	1,39
295	1,42	346	1,07	397	1,67	448	1,66	499	1,39
296	1,61	347	1,1	Muestra 11		449	1,85	500	1,53
297	1,65	348	1,22	399	1,5	450	1,85	501	1,66
298	1,47	349	1,2	400	1,81	451	1,85	502	1,43
299	1,33	350	1,21	401	1,81	452	1,54	503	1,19
300	1,25	351	1,21	402	2,14	453	1,4	504	1,24
301	1,31	352	1,18	403	2,37	454	1,41	505	1,24
302	1,27	353	1,16	404	3,92	455	1,45	506	1,31
303	1,13	354	1,23	405	3,92	456	1,45	507	1,3
304	1,27	355	1,37	406	6,07	457	1,6	508	1,48
305	1,28	356	1,37	407	7,48	458	1,53	509	1,76
306	1,38	357	1,51	408	5,79	459	1,55	510	1,54

Nº	eIRI	Nº	eIRI	Nº	eIRI
511	1,22	562	1,58	613	1,18
512	1,21	563	1,21	614	1,18
513	1,55	564	1,21	615	1,18
514	1,64	565	1,62	616	1,18
515	1,54	566	1,85	617	1,18
516	1,34	567	1,85		
517	1,29	568	1,52		
518	1,32	569	1,31		
519	1,36	570	2,08		
520	1,24	571	2,02		
521	1,17	572	1,25		
522	1,16	573	1,34		
523	1,19	574	1,49		
524	1,23	575	1,67		
525	1,24	576	1,45		
526	1,1	577	1,22		
527	1,34	578	1,55		
528	1,36	579	1,57		
529	1,13	580	1,26		
530	1,09	581	1,39		
531	1,25	582	1,36		
532	1,28	583	1,28		
533	1,15	584	1,15		
534	1,19	585	1,12		
535	1,21	586	1,14		
536	1,25	587	1,16		
537	1,27	588	1,17		
538	1,39	589	1,19		
539	1,47	590	1,23		
540	1,23	591	1,23		
541	1,07	592	1,23		
542	1,03	593	1,51		
543	1,12	594	1,55		
544	1,41	595	1,51		
545	1,75	596	1,31		
546	1,76	597	1,4		
547	1,49	598	1,4		
548	1,46	599	1,44		
549	1,4	600	1,59		
550	1,26	601	1,82		
551	1,38	602	1,43		
552	1,6	603	1,29		
553	1,69	604	1,4		
554	1,69	605	1,28		
555	1,69	606	1,25		
556	1,69	607	1,19		
557	1,5	608	1,18		
558	1,9	609	1,18		
559	1,82	610	1,18		
560	1,82	611	1,18		
561	1,76	612	1,18		

Fuentes: Elaboración propia

Tabla 25. Resumen de los datos obtenidos y promediados para cada muestra

Nº	Muestra	Roadroid		indice Roadroid
		carril ida	carril vuelta	
1	16	1,34	1,41	1,38
2	40	1,54	1,5	1,52
3	64	1,28	1,36	1,32
4	88	1,62	1,2	1,41
5	112	1,72	1,27	1,50
6	136	1,56	1,16	1,36
7	160	1,52	1,37	1,45
8	184	1,46	1,34	1,40
9	208	1,89	1,28	1,59
10	232	1,6	1,32	1,46
11	256	1,49	2,11	1,80
12	280	1,44	1,33	1,39
13	304	1,39	1,64	1,52
14	328	1,45	1,32	1,39
15	352	1,52	1,76	1,64
16	376	1,16	1,52	1,34
E1	84	1,82	1,3	1,56
E2	187	1,62	1,28	1,45

Fuente: Elaboración propia

El resultado de la tabla 25 fue obtenido mediante la localización de las muestras de forma aproximada mediante el uso de coordenadas geodésicas. Se tomó la media de los puntos más cercanos a las muestras.

Así también se llevó a cabo el cálculo en cada una de las muestras, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 26. Resultados obtenidos por cada una de las muestras

Nº	Muestra	Promedio		Indice Roadroid (m/km)
		eIRI	cIRI	
1	16	0,95	0,95	0,95
2	40	1,30	1,80	1,30
3	64	1,30	1,90	1,30
4	88	1,20	2,15	1,20
5	112	1,05	1,55	1,55
6	136	1,10	1,40	1,10
7	160	1,30	1,90	1,30
8	184	0,95	1,65	0,95
9	208	1,20	1,60	1,20
10	232	0,95	0,95	0,95
11	256	1,25	1,05	1,25
12	280	1,05	1,50	1,05
13	304	0,95	0,90	0,95
14	328	1,05	1,35	1,35
15	352	1,15	1,50	1,50
16	376	1,05	1,05	1,05
E1	84	1,25	2,55	1,25
E2	187	1,45	2,00	1,45

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo dos resultados de Indice Roadroid:

El resultado de la tabla 26 fue obtenido realizando el levantamiento solo en la muestra predeterminada. Solo se utilizó el cIRI en las muestras donde la velocidad fue continua y no presento variación a lo largo de la toma de datos.

Se optara por trabajar con los resultados obtenidos en la tabla 26 para poder realizar una comparación con los resultados de la estación total. Cuyo promedio es de **1,21 m/km** que según la clasificación de la tabla 3 corresponde a una carretera en **Buen estado**.

4.1.1 Análisis de resultados

Análisis de probabilidades

Para realizar el análisis de probabilidades a través de la curva de Gauss se obtuvo una varianza de 0,19 de todos los resultados que se obtuvo en cada muestra, al obtener la varianza se determinó el valor máximo 1,55 y mínimo 0,95, la desviación estándar de 0,2, con estos valores obtuvimos un $z= 1,51$, ingresamos a la tabla de valores de la función estándar de la distribución normal, donde se puede apreciar que nuestros resultados tienen un 93,45% de confiabilidad.

Tabla 27. Probabilidades de la normal estándar para los datos de Roadroid

z	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,937	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,943	0,9441

Fuente: Elaboración propia

4.2 Método Estación Total (IRI)

Los resultados del índice de rugosidad internacional de todas las unidades de muestra evaluadas se muestran en la siguiente tabla de resumen:

Tabla 28. Resumen de resultados método Estación Total (IRI)

N°	Muestra	Estación Total		IRI (m/km)
		carril ida	carril vuelta	
1	16	1,28	1,40	1,34
2	40	1,48	1,51	1,50
3	64	1,18	1,29	1,24
4	88	1,23	1,40	1,32
5	112	1,60	1,36	1,48
6	136	1,36	1,42	1,39
7	160	1,58	1,40	1,49
8	184	1,33	1,39	1,36
9	208	1,71	1,31	1,51
10	232	1,41	1,35	1,38
11	256	1,32	1,98	1,65
12	280	1,40	1,23	1,32
13	304	1,27	1,47	1,37
14	328	1,54	1,35	1,45
15	352	1,48	1,73	1,61
16	376	1,08	1,41	1,25
E1	84	1,72	1,49	1,61
E2	187	1,82	1,63	1,73
Promedio				1,44

Fuente: Elaboración propia

Con un promedio de **1,44 m/km** y según la tabla 5 se clasifica el estado de la carretera en **Buen estado**.

4.2.1 Análisis de resultados

Análisis de probabilidades

Para realizar el análisis de probabilidades a través de la curva de Gauss se obtuvo una varianza de 0,02 de todos los resultados que se obtuvo en cada muestra, al obtener la varianza se determinó el valor máximo 1,73 y mínimo 1,24, la desviación estándar de 0,14, con estos valores obtuvimos un $z= 2,2$ ingresamos a la tabla de valores de la función estándar de la distribución normal, donde se puede apreciar que nuestros resultados tienen un 98,61 % de confiabilidad.

Tabla 29. Probabilidades de la normal estándar para los datos de la Estación Total.

z	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9865	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916

Fuente: Elaboración propia

4.3 Resumen de los resultados obtenidos

Tabla 30. Resumen comparativo de los resultados obtenidos con el método de Estación Total y Roadroid.

Nº	Muestra	Promedio		Indice Roadroid (m/km)	Condición pavimento	Estación Total		IRI	Condición pavimento (m/km)
		eIRI	cIRI			carril ida	carril vuelta		
1	16	0,95	0,95	0,95	Bueno	1,28	1,40	1,34	Bueno
2	40	1,30	1,80	1,30	Bueno	1,48	1,51	1,50	Bueno
3	64	1,30	1,90	1,30	Bueno	1,18	1,29	1,24	Bueno
4	88	1,20	2,15	1,20	Bueno	1,23	1,40	1,32	Bueno
5	112	1,05	1,55	1,55	Bueno	1,60	1,36	1,48	Bueno
6	136	1,10	1,40	1,10	Bueno	1,36	1,42	1,39	Bueno
7	160	1,30	1,90	1,30	Bueno	1,58	1,40	1,49	Bueno
8	184	0,95	1,65	0,95	Bueno	1,33	1,39	1,36	Bueno
9	208	1,20	1,60	1,20	Bueno	1,71	1,31	1,51	Bueno
10	232	0,95	0,95	0,95	Bueno	1,41	1,35	1,38	Bueno
11	256	1,25	1,05	1,25	Bueno	1,32	1,98	1,65	Bueno
12	280	1,05	1,50	1,05	Bueno	1,40	1,23	1,32	Bueno
13	304	0,95	0,90	0,95	Bueno	1,27	1,47	1,37	Bueno
14	328	1,05	1,35	1,35	Bueno	1,54	1,35	1,45	Bueno
15	352	1,15	1,50	1,50	Bueno	1,48	1,73	1,61	Bueno
16	376	1,05	1,05	1,05	Bueno	1,08	1,41	1,25	Bueno
E1	84	1,25	2,55	1,25	Bueno	1,72	1,49	1,61	Bueno
E2	187	1,45	2,00	1,45	Bueno	1,82	1,63	1,73	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Comparación de los resultados obtenidos

Haciendo uso de correlaciones estadísticas se compararon los resultados obtenidos en las tabla 35.

Tabla 31. Similitud entre métodos

Nº	Muestra	Indice Roadroid	IRI	% de Similitud
1	16	0,95	1,34	58,95
2	40	1,30	1,50	85,00
3	64	1,30	1,24	95,00
4	88	1,20	1,32	90,42
5	112	1,55	1,48	95,48
6	136	1,10	1,39	73,64
7	160	1,30	1,49	85,38
8	184	0,95	1,36	56,84
9	208	1,20	1,51	74,17
10	232	0,95	1,38	54,74
11	256	1,25	1,65	68,00
12	280	1,05	1,32	74,76
13	304	0,95	1,37	55,79
14	328	1,35	1,45	92,96
15	352	1,50	1,61	93,00
16	376	1,05	1,25	81,43
E1	84	1,25	1,61	71,60
E2	187	1,50	1,73	81,03

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 36; se puede apreciar que existen tramos en donde el Indice Roadroid y el IRI son muy similares llegando más de 90%, y en otros está un poco alejado 60% esta diferencia está asociada a la técnica de toma de datos de cada equipo, mientras que la estación total toma los datos directamente midiendo las deformaciones, la aplicación Roadroid toma los datos indirectamente capturando las vibraciones del chasis mediante el acelerómetro del Smartphone.

Del mismo modo, se observa que el promedio del **Indice Roadroid es 1,21 m/km** y el promedio **del IRI de la Estación Total es 1,44 m/km**; y comparando ambos resultados se determina un parecido de **81,21%** de los valores de la aplicación Roadroid con respecto al IRI obtenido con la Estación Total; pero tal aseveración se demuestra mediante un análisis estadístico.

El Coeficiente de correlación de Pearson se define como un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas y que mientras más grande sea la muestra más exacta será la estimación. Y para determinar este coeficiente se usó el paquete estadístico SPSS. (Vila & Sedano, 2010).

Cuadro 4. Correlaciones generadas por el método Pearson, entre la Estación Total y Roadroid

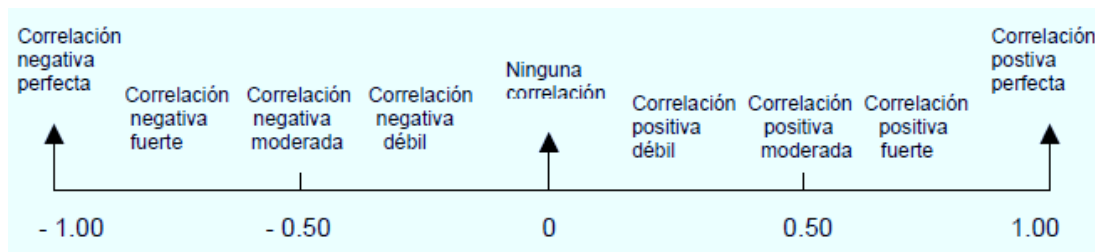
		IR	IRI
IR	Correlación de Pearson	1	0,605**
	Sig. (bilateral)		0,008
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	0,637	0,278
	Covarianza	0,037	0,016
	N	18	18
IRI	Correlación de Pearson	0,605**	1
	Sig. (bilateral)	0,008	
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	0,278	0,331
	Covarianza	0,016	0,019
	N	18	18

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: IBM SPSS Statistics

En consecuencia, el coeficiente de correlación de Pearson es de 0,605; interpretándose este resultado según la figura siguiente:

Figura 90. Correlación de Pearson



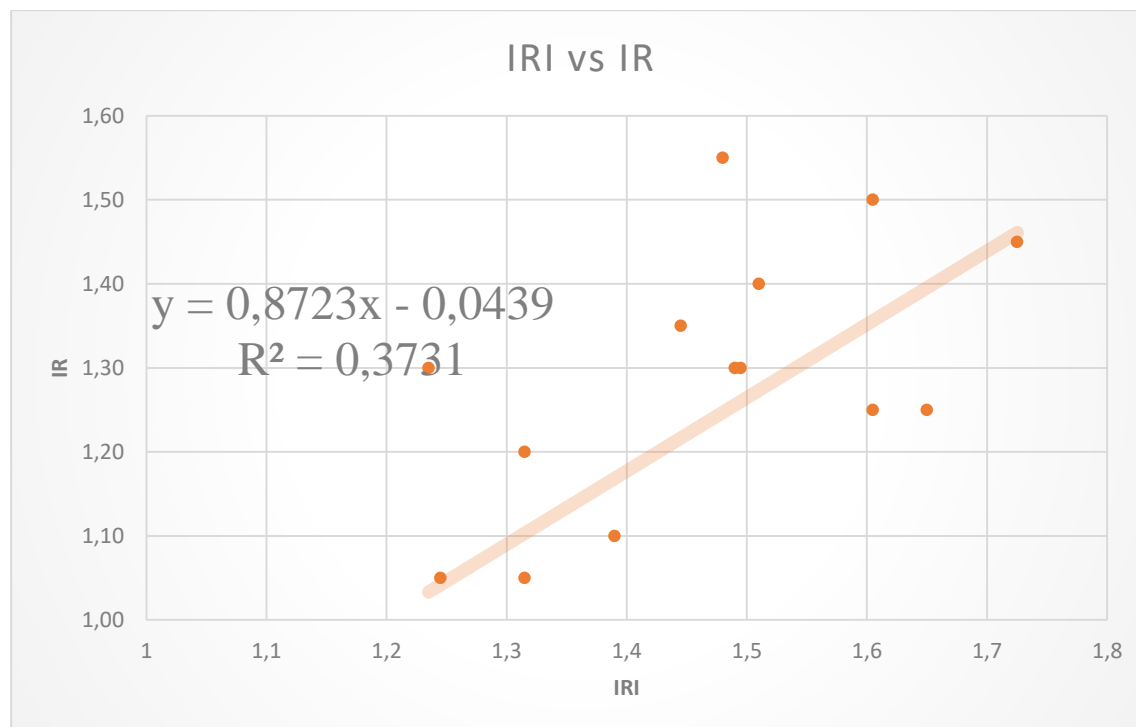
Fuente: IBM SPSS Statistics

De donde se concluye que la relación entre el IR y el IRI es una correlación positiva fuerte; es decir el Índice Roadroid y el IRI se correlacionan en sentido directo.

Se observa una gran similitud entre ambos valores; pero hay algunos puntos en las cuales difieren.

Adicionalmente, se realizó un gráfico de dispersión para obtener una ecuación de correlación que relacione el Índice Roadroid de la aplicación Roadroid con el IRI de la Estación Total.

Grafica 1. Dispersión obtenida entre los datos de la Estación Total y Roadroid



Fuente: Elaboración propia

De manera complementaria se hará una comparación de los resultados obtenidos con el PCI y los obtenidos por Roadroid y Estación Total, utilizando el PSI como punto de comparación.

4.4 Cálculo del PCI

Los resultados de PCI de todas las unidades de muestra evaluadas se muestran en la siguiente tabla de resumen, teniendo en cuenta que se realizó este cálculo de forma completaría:

Cuadro 5. Resumen de resultados PCI

Nº	Muestra	PCI	Condición del pavimento
1	16	75	Muy Bueno
2	40	73	Muy Bueno
3	64	79	Muy Bueno
4	88	75	Muy Bueno
5	112	72	Muy Bueno
6	136	85	Muy Bueno
7	160	84	Muy Bueno
8	184	57	Bueno
9	208	83	Muy Bueno
10	232	84	Muy Bueno
11	256	51	Regular
12	280	75	Muy Bueno
13	304	100	Excelente
14	328	60	Bueno
15	352	64	Bueno
16	376	96	Excelente
E1	84	58	Bueno
E2	187	46	Regular

Fuente: Elaboración propia

A continuación se mostrara como se calcula el PCI del tramo en estudio:

Si la selección de las unidades de muestreo para inspección se hizo mediante la técnica aleatoria sistemática o con base en la representatividad de la sección, el PCI será el promedio de los PCI de las unidades de muestreo inspeccionadas. Si se usaron unidades de muestreo adicionales se usa un promedio ponderado calculado de la siguiente forma:

$$PCI_S = \frac{[(N - A) \times PCI_R] + (A \times PCI_A)}{N}$$

Ya que en esta tesina se usaron unidades de muestra adicionales se usara la ecuación 5

Tabla 32. Detalle de cada una de las muestras inspeccionadas

Nº	Unidad de muestra	Area de muestra	PCI de a muestra
1	16	230	75
2	40	230	73
3	64	230	79
4	88	230	75
5	112	230	72
6	132	230	85
7	160	230	84
8	184	230	57
9	208	230	83
10	232	230	84
11	256	230	51
12	280	230	75
13	304	230	100
14	328	230	60
15	352	230	64
16	376	230	96

Fuente: Elaboración propia

Calculo de $PCI_R = 76\%$

Tabla 33. Detalle de cada una de las muestras inspeccionadas adicionales

Nº	Unidad de muestra adicional	Area de muestra	PCI de a muestra
1	E1	230	58
2	E2	230	46

Fuente: Elaboración propia

Calculo de $PCI_A = 52\%$

Número total de unidades inspeccionadas **N= 18 unidades**

Número total de unidades inspeccionadas adicionales **A= 2 unidades**

Calculo de PCI del Tramo

$PCI_S = 73\%$

Para el resultado del **PCI igual a 73** le corresponde una clasificación **Muy Bueno**. En los anexos se adjuntan las tablas correspondientes al cálculo del PCI para cada unidad de muestra

Análisis de resultados

Análisis de probabilidades

Para realizar el análisis de probabilidades a través de la curva de Gauss se obtuvo una varianza de 219,79 de los resultados que se obtuvo en cada muestra al obtener la varianza se determinó el valor máximo 100 y mínimo 46, la desviación estándar de 14,82 y la media de 73,3; con estos valores obtuvimos un $z= 1,80$, ingresamos a la tabla de valores de la función estándar de la distribución normal, donde se puede apreciar que nuestros resultados tienen un 96,41 % de confiabilidad.

Tabla 34. Probabilidades de la normal estándar para los datos del PCI.

z	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9700	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9762	0,9767

Fuente: Elaboración propia

4.4.1 Análisis de índice de serviciabilidad presente (PSI)

La determinación analítica del PSI se ha efectuado para realizar la comparación del método Roadroid y Estación Total con el método PCI, utilizando la expresión aproximada establecida por Sayers, que relaciona la rugosidad con el Índice de Serviciabilidad.

$$PSI = \frac{5,0}{\exp\left(\frac{IRI}{5,5}\right)}$$

Donde:

IRI= Rugosidad, (International Roughness Índice)

PSI= Índice de Serviciabilidad Presente

Debido a que se tienen los IRI tanto de la aplicación Roadroid y de la estación total; entonces se determinó los PSI con ambos valores para observar su variación.

Para transformar los datos obtenidos de PCI a datos PSI se cuenta con la asistencia técnica que ofreció a Bolivia WILBUR SMITH Y ASOCIADOS, donde se obtuvo la siguiente ecuación

$$PSI = 5 * e^{-0.02291 * QI}$$

QI= Rugosidad determinada con un aparato auscultado

La aplicación de esta fórmula se muestra en el siguiente cuadro, las relaciones existentes entre QI y PSI.

Las relaciones de equivalencia entre PCI, QI y PSI se muestran en el Cuadro 6

Cuadro 6. Relación PCI-QI-PSI

PCI	QI unidades /KM	PSI	Descripción
90-100	0-20	3,0-5,0	El pavimento es nuevo
60-90	20-35	2,5-3,0	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno no existe bache ni corrugaciones
40-60	35-65	1,0-2,5	El pavimento muestra algunos vestigios de deterioro, baches ocasionales (1-3 baches cada 50m, 2% de baches) depresiones (20-40 mm cada 5m o 10-20 mm cada 3m) velocidad normal de conducción 80km/h
20-40			
0-20	65-110	0,4-1,0	El pavimento severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (≥ 20 mm/3m) baches frecuentes (15-20 baches cada 50m, 15% de baches)

Fuente: Elaboración propia

Entonces podemos expresar nuestro resultado obtenido mediante PCI, en PSI utilizando los rangos de relación de equivalencia y la ecuación mostrada anteriormente.

PCI=4, corresponde a un PCI de **Regular**, lo cual nos muestra que estar en los intervalos de (40 – 60) PCI, y (30 – 65) QI, entonces se tiene:

PCI		QI
60	→	35
46	→	X
40	→	65

Por interpolación obtenemos:

$$\text{PCI} = 46 \rightarrow \text{QI} = 56$$

$$\text{PSI} = 1,4$$

La siguiente tabla muestra los valores del PSI en función del Índice Roadroid, del IRI y del PCI

Tabla 35. Resultados comparativos en el método PSI

Nº	Muestra	Indice Roadroid	IRI	PCI	QI de PCI	PSI		
						PCI	IR	IRI
1	16	0,95	1,34	75	20	3,16	4,21	3,92
2	40	1,30	1,50	73	28	2,63	3,95	3,81
3	64	1,30	1,24	79	26	2,76	3,95	3,99
4	88	1,20	1,32	75	20	3,16	4,02	3,94
5	112	1,55	1,48	72	29	2,57	3,77	3,82
6	136	1,10	1,39	85	22	3,02	4,09	3,88
7	160	1,30	1,49	84	23	2,95	3,95	3,81
8	184	0,95	1,36	57	40	2,00	4,21	3,90
9	208	1,40	1,51	83	24	2,89	3,88	3,80
10	232	0,95	1,38	84	23	2,95	4,21	3,89
11	256	1,25	1,65	51	48	1,66	3,98	3,70
12	280	1,05	1,32	75	28	2,63	4,13	3,94
13	304	0,95	1,37	100	8	4,16	4,21	3,90
14	328	1,35	1,45	60	35	2,24	3,91	3,84
15	352	1,50	1,61	64	33	2,35	3,81	3,73
16	376	1,05	1,25	96	8	4,16	4,13	3,99
E1	84	1,25	1,61	58	38	2,09	3,98	3,73
E2	187	1,45	1,73	46	56	1,39	3,84	3,65
						PSI		
						PCI	IR	IRI
Promedio						2,71	4,01	3,85

Fuentes: Elaboración propia

Se puede concluir que la serviciabilidad con el IR (Indice Roadroid) es 4,01 mientras que con el IRI es 3,85 y la del PCI es 2,71 pero los resultados denotan que la serviciabilidad del pavimento se encuentra dentro de la clasificación de un pavimento de **Buena calidad y Transitabilidad.**

Cuadro 7. Correlaciones de resultados del método PSI.

		PSI_PCI	PSI_IR	PSI_IRI
PSI_PCI	Correlación de Pearson	1	0,484*	0,708**
	Sig. (bilateral)		0,042	0,001
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	8,972	0,871	0,863
	Covarianza	0,528	0,051	0,051
	N	18	18	18
PSI_IR	Correlación de Pearson	0,484*	1	0,614**
	Sig. (bilateral)	0,042		0,007
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	0,871	0,361	0,150
	Covarianza	0,051	0,021	0,009
	N	18	18	18
PSI_IRI	Correlación de Pearson	0,708**	0,614**	1
	Sig. (bilateral)	0,001	0,007	
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	0,863	0,150	0,166
	Covarianza	0,051	0,009	0,010
	N	18	18	18

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

**.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: IBM SPSS Statistics

De donde se concluye en base al cuadro 7 que la relación entre el PSI_IR y el PSI_IRI es una Correlación Positiva fuerte de **0,614**; es decir el Indice Roadroid y el IRI se correlacionan en sentido directo.

También en base al cuadro 6 que la relación entre el PSI_IR y el PSI_PCI es una Correlación Positiva moderada de 0,484; es decir el Índice Roadroid y el PCI se correlacionan casi en el mismo sentido.

Se concluye a su vez en base al cuadro 6 que la relación entre el PSI_IRI y el PSI_PCI es una Correlación Positiva fuerte de 0,708; es decir el IRI y el PCI se correlacionan en sentido directo.

4.5 Resultados

Regularidad superficial según la aplicación Roadroid

Se analizó que el tramo La Pintada – Cruce Calamuchita se encuentra en buenas condiciones sin muchas imperfecciones entregando un manejo de primera clase, pero también puede estar empezando a mostrar signos de fisuración y ahuellamientos aleatorios, también existen tramos que presenta una rugosidad muy variable, lo que significa que en este tramo las altas velocidades se ven afectadas, debido a los picos muy elevados de regularidad superficial producto de parches y ahuellamientos.

Adicionalmente el Roadroid índice (IR) indica que el carril de ida tiene 90,3% de la carretera en estudio se encuentra en buenas condiciones y un 3,1% en un estado no satisfactorio. Roadroid índice (IR) a si también indica que el carril de vuelta tiene 91,3% de la carretera en estudio se encuentra en buenas condiciones y un 1,8% en un estado no satisfactorio.

Cuadro 8. Reporte del estado actual de la carretera según Roadroid.

Carril de ida

	Condicion de la carretera	Numero de puntos	Porcentaje (%)	eIRI promedio (m/km)
	Bueno	549	90,3	1,76
	Satisfactorio	24	3,9	
	No satisfactorio	19	3,1	
	Pobre	16	2,6	
	Total	608	100	

Fuente: www.roadroid.com

Carril de vuelta

	Condicion de la carretera	Numero de puntos	Porcentaje (%)	eIRI promedio (m/km)
	Bueno	555	91,3	1,70
	Satisfactorio	24	3,9	
	No satisfactorio	11	1,8	
	Pobre	18	3,0	
	Total	608	100	

Fuente: www. roadroid.com

Cuadro 9. Indice Roadroid con y sin singularidades

Detalle	IR ida	IR vuelta
Con Singularidades	1,76	1,70
Sin Singularidades	1,54	1,54

Fuente: Elaboración propia

IR= 1,54 m/km

Regularidad superficial obtenida de la muestras con Roadroid

Se muestran los valores del IR obtenidos con Roadroid en tabla 28; donde se aprecia que el IR promedio es de:

IR= 1,21 m/km

Regularidad superficial con el equipo de Estación Total y ProVAL

Se muestran los valores del IRI obtenidos con la estación total; donde se aprecia que el IRI promedio es de:

IRI= 1,44 m/km

Lo que denota que el pavimento se encuentra en buenas condiciones.

Tabla 36. Resultados del IRI obtenidos con ProVAL.

N°	Muestra	Estación Total		IRI
		carril ida	carril vuelta	
1	16	1,28	1,40	1,34
2	40	1,48	1,51	1,50
3	64	1,18	1,29	1,24
4	88	1,23	1,40	1,32
5	112	1,60	1,36	1,48
6	136	1,36	1,42	1,39
7	160	1,58	1,40	1,49
8	184	1,33	1,39	1,36
9	208	1,71	1,31	1,51
10	232	1,41	1,35	1,38
11	256	1,32	1,98	1,65
12	280	1,40	1,23	1,32
13	304	1,27	1,47	1,37
14	328	1,54	1,35	1,45
15	352	1,48	1,73	1,61
16	376	1,08	1,41	1,25
E1	84	1,72	1,49	1,61
E2	187	1,82	1,63	1,73
Promedio				1,44

Fuente: Elaboración propia

Comparación entre el IR (Indice Roadroid) y el IRI (Estación Total)

Se aprecia que el promedio del IR es de 1,21 m/km y el IRI de la estación total es de 1,44m/km y al comparar ambos resultados se determinó una similitud del 81,21% entre los valores obtenidos con la aplicación Roadroid y los obtenidos con la estación total están cerca del IRI real del pavimento; es decir la aplicación Roadroid es un equipo que puede ser empleada para determinar la regularidad superficial de pavimentos, ya que proporciona datos en forma eficiente y con grandes beneficios técnicos.

Y para demostrar la relación que tiene el IR con respecto al IRI, se desarrolló los siguientes análisis:

- El coeficiente de correlación de Pearson demostró que la relación de los resultados obtenidos con la aplicación Roadroid con respecto a los resultados obtenidos con la estación total es una Relación Positiva Fuerte.

Cuadro 10. Coeficientes de correlación y determinación.

Pruebas	Resultados
Coeficiente de correlación de Pearson "R"	0,605
Coeficiente de determinación R ² (%)	37,310

Fuente: Elaboración propia

Ventajas de la aplicación Roadroid con respecto a la Estación Total

Tras el análisis con datos de este proyecto, se aprecia que las ventajas que presenta la aplicación Roadroid frente a la estación total son el rendimiento y el costo; como se demostró en el capítulo II. Se observa un significativo ahorro al usar la aplicación Roadroid; es decir que este equipo posee grandes ventajas económicas por cada análisis de regularidad superficial que se realice. De igual forma, la otra gran ventaja que posee es el rendimiento al poder realizar mayores kilómetros de análisis en poco tiempo.

Diferencia entre los resultados del IRI, IR, PCI

Existe una diferencia entre los resultados de IR con el IRI de un 18,79% en la medición de rugosidad con la estación total y la aplicación Roadroid, esta diferencia está asociada a varios factores como la técnica de toma de datos de cada equipo, mientras que la Estación Total toma los datos directamente midiendo las deformaciones, la aplicación Roadroid toma los datos indirectamente mediante el acelerómetro del móvil., la estación total realiza el levantamiento de puntos sobre el carril de la huella derecha; además al momento de realizar el muestreo con la aplicación Roadroid la curvas son un problema; ya que el vehículo tiende a desacelerar, finalmente los errores humanos que siempre se comenten; así mismo al analizar cada muestra por separado con Roadroid las mismas son muy pequeñas y grado de error es mayor.

La diferencia que existe con el método PCI y el IR e IRI, radica en que el PCI es un método enteramente sujeto a la apreciación que tenga la persona o grupo de personas que realicen la medición y lectura de las fallas presentes en el pavimento, además dicho método toma toda el área de la muestra de pavimento para ser examinada lo que no ocurre con los otros dos métodos.

Entre los indicadores de estado se tienen el PCI, PSI y el IRI siendo el de mayor peso o de mayor consideración el índice de rugosidad internacional IRI.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. Conclusiones y recomendaciones

- Los resultados verifican parcialmente la Hipótesis General, que indicaba: “El porcentaje de similitud de los resultados de la medición de la regularidad superficial del pavimento de la carretera La Pintada – Cruce Calamuchita; usando la aplicación Roadroid con respecto a la Estación Total es de 81,21%, siendo el rendimiento y el costo las ventajas más importantes de la aplicación Roadroid frente a la Estación Total”.

Al evaluar el coeficiente de correlación de Pearson, el coeficiente de determinación de la relación entre el IR y el IRI es una relación positiva y fuerte de 0,605; es decir que el IR y el IRI se correlacionan directamente. Se puede usar la Aplicación Roadroid como método alternativo para indicar el estado actual de una carretera de manera fácil y rápida en caso de no contar con equipos de alta precisión o ser el tiempo y el costo un factor principal, sus resultados pueden ser usados para programar mantenimientos oportunos en tramos de carretera.

- No se demostró: “La diferencia entre los resultados obtenidos de la medición de la regularidad superficial del pavimento de la carretera La Pintada – Cruce Calamuchita; usando la aplicación Roadroid y la Estación Total llegaría a ser menor al 10 %”.

Dado que, según los resultados la diferencia es de 18,79% entre ambos métodos, esta diferencia está asociado a varios factores como la técnica de toma de datos de cada equipo, debido a que la Estación Total solo hace el levantamiento sobre la huella derecha del carril, la aplicación Roadroid toma los datos de las vibraciones que produce el automóvil y estos puede ser afectados por música en alto volumen, camiones o flotas que pasan a alta velocidad produciendo vibraciones al automóvil.

- El método PCI fue planteado de manera complementaria y su variación radica en que abarca toda el área de muestra incluyendo fallas en los bordes de la carretera, igualmente el vehículo de ensayo con la aplicación Roadroid en las curvas cerradas tiende a desacelerar.

- Debido a los resultados obtenidos por el método Roadroid y Estación Total, queda claro que la aplicación desarrollada para teléfonos inteligentes Roadroid es un método aceptable para realizar un seguimiento continuo a lo largo del tiempo de una o varias carreteras, contando con datos en tiempo real del estado de la carretera.
- Software, como el ProVAL nos permite realizar el cálculo del IRI y generar perfiles longitudinales del tramo en estudio, pero su uso está limitado a una computadora y no proporciona fotos del tramo en estudio, tampoco brinda coordenadas geodésicas de los datos para ubicar fácilmente tramos o puntos que necesiten mantenimiento.
- Roadroid determinó un IR= 1,21 m/km que sería una carretera en **Buen Estado**, la Estación Total determinó un IRI= 1,44 m/km que sería una carretera en **Buen Estado**, queda definido que el estado de la carretera La Pintada – Cruce Calamuchita se encuentra en buenas condiciones de transitabilidad y confortabilidad de conducción.
- Sobre el diseño de la aplicación, podemos concluir que el programa cuenta con diferentes factores de corrección que puedan alterar los resultados de IRI; como la calibración de la posición del equipo se obtiene cuando X, Y y Z marcan cero, el amortiguamiento que será corregido según el tipo del vehículo a usar para el ensayo, las aceleraciones que se corrigen manteniendo una velocidad constante, el tráfico que genera ruidos y vibraciones se corrigen realizando los ensayos sin tráfico.
- La aplicación Roadroid proporciona las coordenadas geográficas de los puntos en estudio de la carretera, el cual resulta muy favorable; ya que los valores de IRI muy elevados por encima de lo aceptado podrán muy fácilmente ser ubicados y subsanados por la entidad correspondiente.
- La Estación Total se enmarca dentro de la clasificación del método clase 2 por ser un equipo preciso, pero la aplicación Roadroid se encuentra dentro del método clase 3, por lo que esta investigación abarca los métodos de clase 2 y 3.
- Existen varios factores externos que afectan la toma de datos con la aplicación Roadroid como el no poder mantener una velocidad constante alrededor de 80km/h debido a las curvas horizontales cerradas que se presentan en el tramo estudiado, por otro lado la estación total realiza el levantamiento de los puntos sobre la huella derecha de la carretera.

- Roadroid se presenta como una alternativa muy favorable para la gestión vial; pues permite llevar un control de variación de la rugosidad en el tiempo muy dinámico que podrá ayudar a la toma de decisiones de cuándo y dónde intervenir una vía.
- La aplicación Roadroid posee como una gran ventaja; el rendimiento, lo cual lo hace ideal para la evaluación de grandes distancias de carretera, asimismo no requiere de una persona calificada para recoger datos de la regularidad superficial del pavimento.

Recomendaciones

- Debido a que el tráfico vehicular afecta las mediciones con la aplicación Roadroid dificultando al vehículo de ensayo mantener una velocidad constante alrededor de 80km/h, se recomienda cerrar la carretera en estudio durante el tiempo necesario para obtener resultados confiables.
- Es recomendable no poner música en el vehículo de ensayo de la aplicación Roadroid; porque genera vibraciones en el auto que afectan los resultados.
- Se recomienda a las entidades estatales como gobiernos distritales, provinciales, regionales; el empleo de la aplicación Roadroid para determinar la regularidad superficial de sus carreteras y conocer el estado de las mismas y darle el mantenimiento respectivo, debido a que no se requiere de una persona calificada para recoger datos, además que posee un bajo costo y un alto rendimiento.
- Se recomienda continuar y ampliar esta investigación, debido a que la aplicación Roadroid posee muchas más otras funciones que se están actualizando permanentemente.

BIBLIOGRAFÍA

Referencia bibliográfica

- ASTM D6433 - 07. (2012). “Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys”.
- Badilla Vargas, Gustavo. (2009). Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional. LanammeUCR, 30-37.
- Badilla, G., Elizondo, F., & Barrantes, R. (2008). Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI. LanammeUCR, 18-23.
- Barrantes Jiménez, R. (2011). Equipos de evaluación de alto desempeño de redes viales. LanammeUCR, 31-39.
- Rivera, F., & Peña Castro, G. A. (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. Inteknia, 57-72.
- Coronado Iturbide, J. (Noviembre de 2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. Guatemala.
- Del Águila Rodríguez, P. (1999). Experiencias y resultados obtenidos en la evaluación de la rugosidad de más de 3000km de pavimentos en el Perú y otros países. Ponencia presentada al X Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, (págs. 1-2). Sevilla, España.
- Del Águila Rodríguez, Pablo. (1999). Metodología para la determinación de la Rugosidad de los pavimentos con equipos de bajo costo y gran precisión. Ponencia presentada al X Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Sevilla, España, 1999, Lima.
- Forslof, Lars. (2012). Roadroid–smartphone road quality monitoring. In Proceedings of the 19th ITS World Congress., Viena, Austria.
- Forslof, Lars; Jones, Hans. (2014). Monitoreo continuo de la condición del camino con teléfonos inteligentes (Traducido al español de Roadroid continuous road

condition monitoring with smart phones). In Proceedings of the 5th SARF/IRF Regional Conference, Pretoria, South Africa.

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). Metodología de la Investigación, 4ta Edición. México: Interamericana Editores.
- Instituto Mexicano Del Transporte. (1998). Índice Internacional de Rugosidad en la Red de Carreteras de México. Publicación Técnica N° 108, 57. Sanfandila, Querétaro, México.
- Martínez Naranjo, S., & Tobón García, J. A. (2012). Análisis de la problemática actual para el cumplimiento de la regularidad superficial en proyectos viales. L'esprit Ingénieux.
- Montejo Fonseca, A. (2008). Ingeniería de Pavimentos. Fundamentos, estudios básicos y diseño. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- The Trantec Group (2010). ProVal Guia del usuario, 3ra versión. Austin, Texas: Traducido por el Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigon
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). El Proceso de la Investigación Científica. Incluye evaluación y administración de proyectos de investigación, 4ta Edición. México D.F.: Editorial Limusa S.A.
- Vasquez Varela Luis R. (2002). Pavement condition index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras. Manizales, Colombia.