

$$\text{Densidad \%} = \frac{\text{cantidad de cada tipo de falla}}{\text{area total de unidad de muestra}} \times 100$$

Ecuación N° 3. Densidad del daño expresada en porcentaje

- Determinar el valor deducido para cada combinación de tipo de falla y nivel de severidad haciendo uso de las curvas de valor deducido que se encuentran en el Anexo A

**Paso 8:** Si ninguno o solamente un valor deducido individual es mayor que dos, el valor total es usado en lugar del máximo CDV para determinar el PCI; de otro modo, el máximo CDV debe ser determinado usando el procedimiento descrito posteriormente.

- Crear una lista de valores deducidos individuales en orden descendente.
- Determinar el número de deducciones permisibles, “m”, empleando la siguiente fórmula

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) 100 - HDV < 10$$

Ecuación N° 4. Numero de deducciones permisibles

Donde:

m = número máximo admisible de valores deducidos incluyendo fracciones (debe ser menor o igual a diez). Si contamos con un número de valores deducidos menor a “m”, todos los valores deducidos deben ser usados.

HDV = el mayor valor deducido individual para la unidad de muestra.

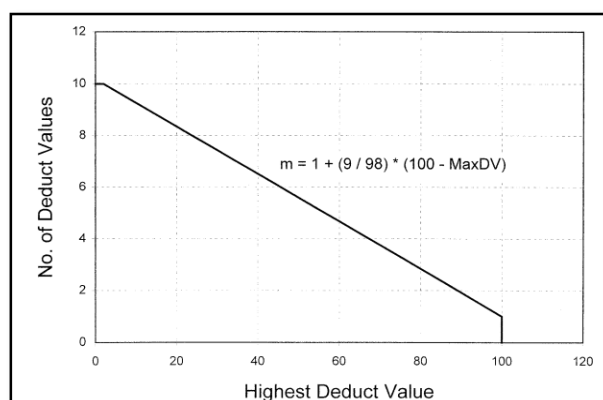


Figura 6: Ajuste del número del valor deducido

Fuente: (ASTM, 2003)

- Determinar el “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV en forma iterativa utilizando el siguiente formato

Tabla 22:

Formato para las iteraciones del cálculo del CDV

Nº	Valor Deducido								Total	q	CDV
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											

- Determine el número de valores deducidos, q, mayores que 2.0.
- Determinar el valor de CDV a partir del valor deducido total (CDT) y del valor de “q” utilizando las curvas apropiadas de corrección para pavimentos flexibles de la figura siguiente:

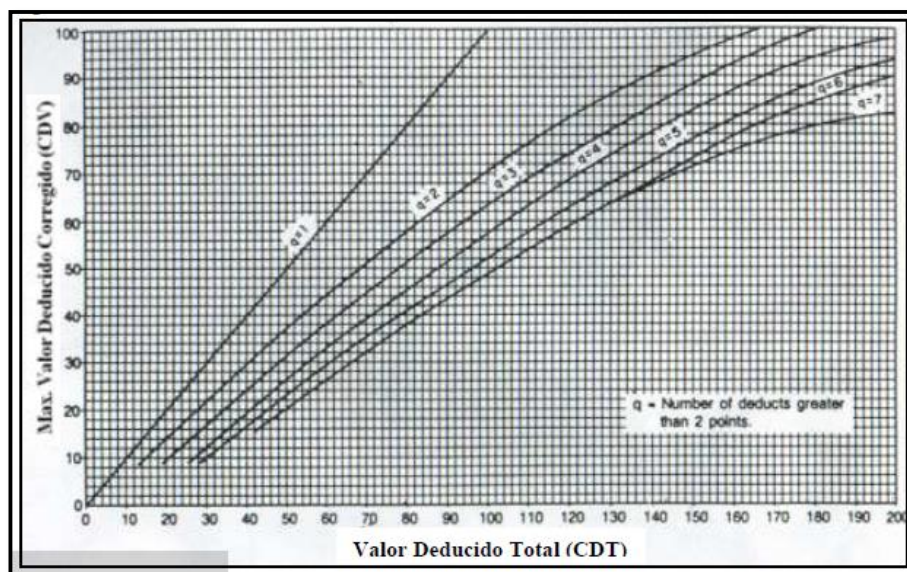


Figura 7: Valor Deducido Corregido para pavimentos asfálticos  
Fuente: (ASTM, 2003)

- Determine el “Valor Deducido Total” (CDT) sumando todos los valores deducidos individuales.
- Reducir a 2 el menor valor deducido individual mayor que 2 y repetir el procedimiento anterior hasta que “q” sea igual a 1.
- El máximo CDV es el mayor de todos los CDVs.



**Paso 9:** Calcular el PCI restándole a 100 el máximo CDV.

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

Ecuación N°5: PCI de la unidad de muestreo

## 2.2.7 Índice de rugosidad internacional (IRI)

### 2.2.7.1 Regularidad.

La regularidad es la característica que más influye en las sensaciones de confort y seguridad que experimenta un usuario al circular por una carretera. Cabe destacar que la regularidad superficial es mucho más valorada por el conductor que la capacidad portante en sí y que esta última tan sólo le interesa en cuanto incide en la primera por la aparición de baches y otras deformaciones.

La regularidad superficial es un fenómeno que depende primordialmente del perfil longitudinal de la superficie de la carretera, pero también depende de las características mecánicas de los vehículos y de la velocidad de circulación de éstos (Sánchez & de Solminihac, 1989).

Existen bibliografías que desarrollan los términos de regularidad y rugosidad como conceptos diferentes, sin embargo para el desarrollo de la presente tesis, se prefiere utilizar Regularidad, para referirse a las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan la dinámica del vehículo, calidad de manejo, costos de operación, etc.

Conocer la regularidad superficial del pavimento en cualquier momento desde el inicio de su periodo de servicio o de la vida útil, permitirá definir las acciones de conservación o rehabilitación necesarias en el momento pertinente (Badilla, 2009).

### 2.2.7.2 Definición del IRI.

La norma ASTM E 867-06 “*Standard Terminology Relating to Vehicle – Pavement Systems*” indica que el concepto de rugosidad está definido como la desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de

manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal.

La definición teórica del IRI se estableció de la siguiente manera: “El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h”. En tal sentido, podemos señalar que el IRI se estableció a partir de conceptos asociados a la mecánica vibratoria de los sistemas dinámicos, todo ello, en base a un modelo que simuló el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo al circular por una determinada longitud de perfil de la carretera, a una velocidad estándar de 80 km/hr.; esta hipótesis descrita es conocida como el “Modelo de cuarto de carro” (Montoya, 2013).

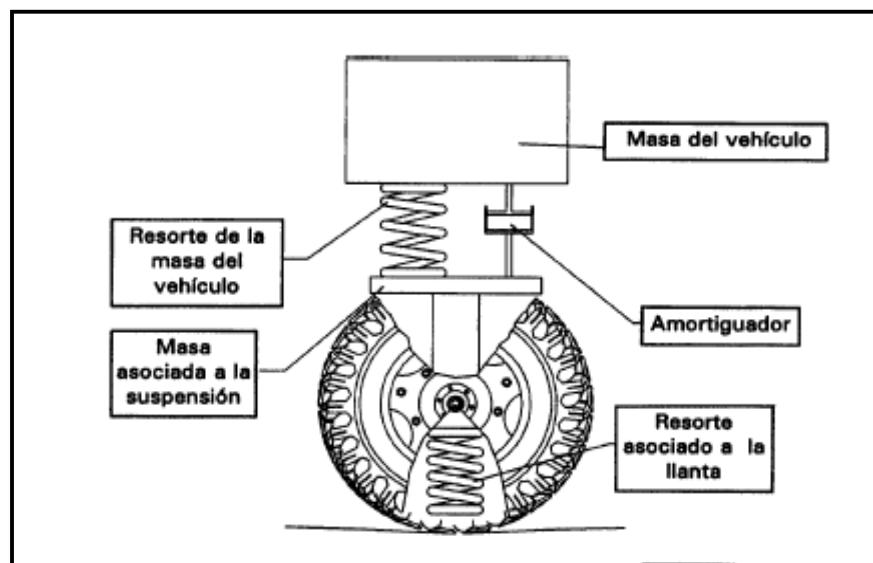


Figura 8: Representación gráfica del modelo “cuarto de carro”  
Fuente: (Romero, 1996)

### 2.2.7.3 Escalas 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.

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 (Arriaga, Garnica, & Rico, 1996).

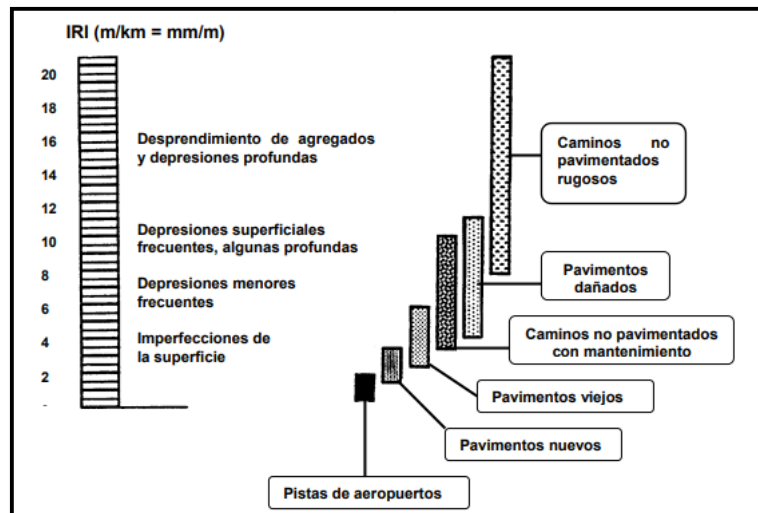


Figura 9: Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos. Fuente: (Corros, Urbaéz, & Corredor, 2009)

Tabla 23: Estado vial según rugosidad

Estado	Pavimentadas	No pavimentadas
	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < IRI \leq 2.8$	$IRI \leq 6$
Regular	$2.8 < IRI \leq 4.0$	$6 < IRI \leq 8$
Malo	$4.0 < IRI \leq 5.0$	$8 < IRI \leq 10$
Muy malo	$5 < IRI$	$10 \leq IRI$

Fuente: (AASHTO, 1993)



#### 2.2.7.4 *Métodos para la medición de la rugosidad superficial de los pavimentos.*

##### 2.2.7.4.1 *Métodos clase 1: Métodos Exactos*

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 (*Transport and Road Research Laboratory*) Beam, y, con mira y nivel de precisión (del Águila, 1999).

##### 2.2.7.4.2 *Métodos clase 2: Perfilómetros estáticos y dinámicos.*

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. 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 (del Águila, 1999).

##### 2.2.7.4.3 *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. Esta clase también incluye métodos que emplean otros tipos de instrumentos para medir la rugosidad, diferentes a un RTRRMS, que sean capaces de generar parámetros razonablemente correlacionados con la escala del IRI. Entonces, un método para medir rugosidad califica como Clase 3 si emplea algún tipo de ecuación de correlación, indistintamente del tipo de instrumentación o vehículo que se utilice para la obtención de la medida de rugosidad básica. Los métodos Clase 3 emplean diversos tipos de equipos, tales como el Mays Meter (Norteamericano), Bump Integrator (Inglés), NAASRA Meter (Australiano), entre otros (del Águila, 1999).

#### 2.2.7.4.4 *Métodos clase 4: Valoraciones Subjetivas y medidas sin calibrar.*

Hay situaciones en las que se requieren datos de rugosidad sin necesidad de una gran precisión o simplemente no es posible obtener datos precisos; Sin embargo se hace deseable relacionar las medidas a la escala del IRI. En tales casos se puede recurrir a una evaluación subjetiva, ya sea mediante experiencia previa recorriendo caminos o basándose en una inspección visual. Otra posibilidad es utilizar las medidas obtenidas con un equipo sin calibrar, tal como un RTRRMS (del Águila, 1999).

#### 2.2.7.4.5 *Métodos utilizados en el Perú.*

Si bien en el Perú existen también equipos tipo respuesta (Bump Integrator), su uso ha sido bastante limitado, debido fundamentalmente a



la falta de exactitud de las calibraciones efectuadas o a la imposibilidad de mantener las condiciones con las que inicialmente fueron calibrados los equipos.

En consecuencia, la mayor experiencia en el Perú está relacionada con el método basado en el uso del rugosímetro denominado Merlín, desarrollado por el TRRL de Gran Bretaña. De acuerdo a la clasificación del Banco Mundial, el método de medición del Merlín califica por la forma como Clase 3, ya que hace uso de una ecuación de correlación para relacionar los valores que determina con la escala del IRI (del Águila, 1999).

#### 2.2.7.5 *Equipos utilizados para la medición del índice de rugosidad internacional (IRI).*

##### 2.2.7.5.1 *Perfilómetro laser*

El perfilómetro láser es un equipo basado en la medida de distancias por medio de láser y acelerómetros inerciales, preparado para registrar los perfiles longitudinales y transversales de las carreteras, así como para tomar simultáneamente datos de textura.

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

Estos equipos, dependiendo del modelo y proveedor permiten:

- Obtener distintos índices de rugosidad superficial de los firmes, haciendo posible la auscultación sistemática de la red de carreteras.
- Detectar problemas relacionados con la regularidad transversal de los firme (ahuellamientos, zonas de posible formación de charcos, etc.).
- Determinar de manera continua la profundidad de textura.
- Obtener el perfil longitudinal del camino.



- Se pueden georreferenciar los resultados, puesto que también dispone de un equipo autónomo de posicionamiento global (GPS).

El perfil y la profundidad de textura se pueden obtener simultáneamente o cada uno por separado (Montoya, 2013).



*Figura 10: Perfilómetro laser*  
Fuente: (Montoya, 2013)

#### 2.2.7.5.2 *Walking Profiler*

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

Estos equipos, dependiendo del modelo y proveedor permiten:

- Obtener distintos índices de rugosidad superficial de los firmes, haciendo posible la auscultación sistemática de la red de carreteras.
- Alta precisión en la obtención del perfil longitudinal de evaluación.

- Se pueden georreferenciar los resultados, puesto que también dispone de un equipo autónomo de posicionamiento global (GPS) (Montoya, 2013).



*Figura 11: Walking Profiler*  
Fuente: (Montoya, 2013)

#### 2.2.7.5.3 Merlín

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

En simples palabras, utiliza el concepto de usar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, como una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento lo cual no es nuevo ni original del TRRL. Varios parámetros de rugosidad precedentes, tal como el conocido Quarter-Car Index (QI), han sido propuestos por otros investigadores basándose en el mismo concepto (Montoya, 2013).



*Figura 12: Rugosímetro Merlín*

#### 2.2.7.5.4 Perfilógrafo California.

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

Las pruebas consisten en medir las irregularidades en la superficie mediante el registro de datos de variaciones entre la rueda principal central respecto a las ruedas de apoyo que forman una línea recta referencial, estas variaciones son registradas dentro de un perfilograma; cabe indicar que los tramos de medición no deben de ser menores a 200 metros. Para calcular el índice de perfil de pavimento, se suman todas las protuberancias mayores de 10 mm dividido sobre la longitud de evaluación y multiplicado por 1000; las unidades con las que se presenta el coeficiente obtenido serán en cm / Km.

La desventaja principal de este equipo es que mediante su utilización no se puede obtener valores IRI de superficies (Montoya, 2013).



Figura 13: Perfilógrafo California  
Fuente: (Montoya, 2013)

#### 2.2.7.5.5 Bump Integrator.

El Bump Integrator es uno de los diversos dispositivos disponibles en el mercado los cuales son conocidos también como dispositivos del tipo respuesta o Response-type Road Roughness Measuring System

(RTRRMS). Estos, van montados sobre la carrocería de un vehículo con un dispositivo adherido al eje posterior y conectado a través de un cable. Las variaciones (movimientos hacia arriba y hacia abajo) entre el eje posterior y la carrocería son cuantificadas para un intervalo de longitud las cuales representan a las variaciones diferenciales de las masas  $m_1$  y  $m_2$  que forman parte de la teoría de la ecuación del cuarto de coche mencionado anteriormente.

Para la recolección de datos, el vehículo se desplaza sobre la superficie a evaluar a una velocidad constante de 40 km/h donde las irregularidades que puedan presentarse producirán movimientos perpendiculares, estos movimientos son interpretados y cuantificados mediante un dispositivo contador, cuyo valor es recolectado para una posterior conversión a unidades de IRI (m/Km) mediante una ecuación de correlación.

Por otro lado, los vehículos dependiendo del modelo y la marca poseen dinámicas particulares, por esta razón el Bump Integrator recolecta la información de las particularidades de cómo se mueve el vehículo y por lo tanto, las lecturas pueden ser contaminadas con otros tipos de movimiento ajenos al desplazamiento en la pista. Es entonces que una desventaja aparece al momento de querer comparar dos sistemas vehículo –dispositivo para una misma pista; puesto que por las características anteriormente descritas, no pueden ser reproducibles (no son iguales). Asimismo y por esta razón, las medidas realizadas con equipos del tipo respuesta no pueden ser comparadas con los realizados años anteriores (Montoya, 2013).



*Figura 14: Bump Integrator.*  
Fuente: (Montoya, 2013)

#### 2.2.7.5.6 *Roughometer II.*

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

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

La bondad de este dispositivo, es que posterior al procesamiento de los datos en un ordenador, entrega los resultados en escala IRI; sin embargo estos resultados deberán ser ajustados a una curva de ajuste mediante una ecuación de correlación, debido a que por norma todo resultado obtenido por un equipo de clase III, deberá ser correlacionado con los resultados de un dispositivo de clase mayor (Montoya, 2013).



*Figura 15: Roughometer II.*  
Fuente: (Montoya, 2013)

### 2.2.7.6 Uso del rugosímetro de merlín.

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

El MERLÍN es un equipo de diseño simple. La figura 16; presentan un esquema ilustrativo del instrumento. Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla (Del Águila, 1999).

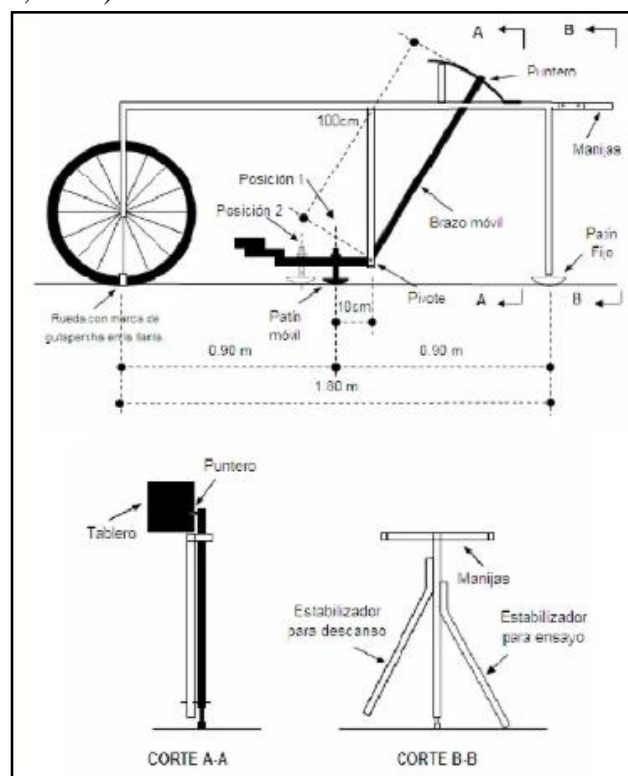


Figura 16: Rugosímetro Merlín

Fuente: (Del Águila, 1999)

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

El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el cual se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento (Del Águila, 1999).

Para registrar el valor que adopta el puntero, se utiliza una escala gráfica mostrada en el tablero del equipo que cuenta con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una como se muestra en la Figura 17.

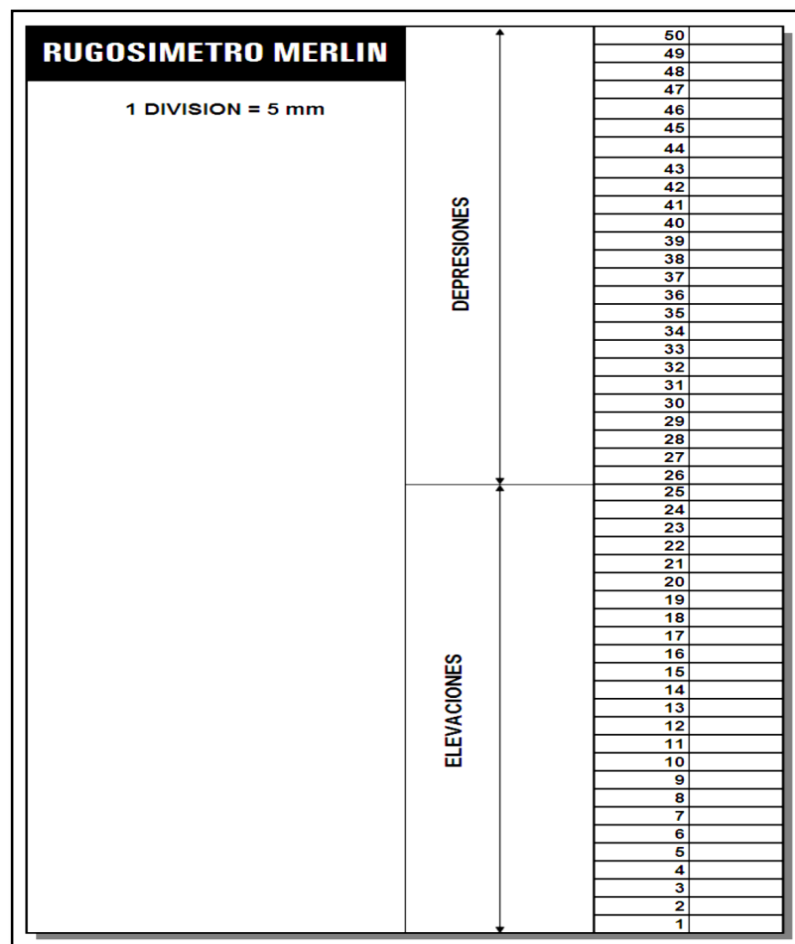
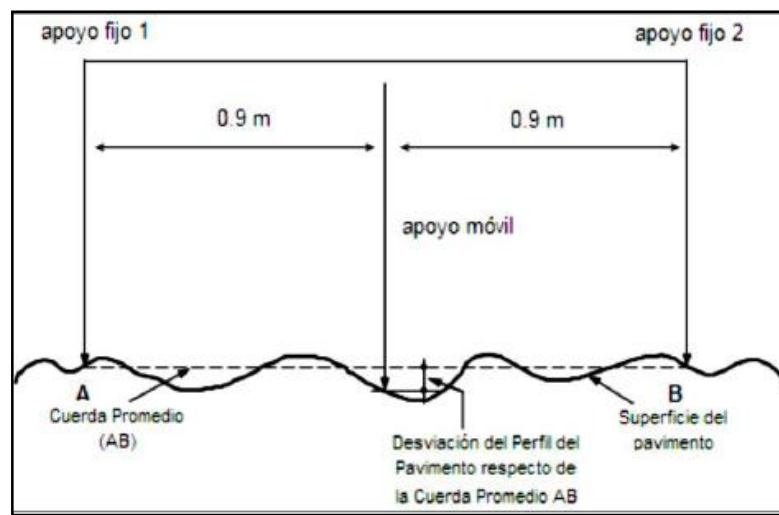


Figura 17: Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie de pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio

Fuente: (Del Águila, 1999)

## Fundamentos Teóricos

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. La Figura N° 18 ilustra como el Merlín mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio” (Del Águila, 1999).



*Figura 18:* Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio

Fuente: (Del Águila, 1999)

La longitud de la cuerda promedio es 1.80m, por ser la distancia que proporciona los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos. Si se define el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad (Ver Figura 19). El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “Unidades Merlín” (Del Águila, 1999).



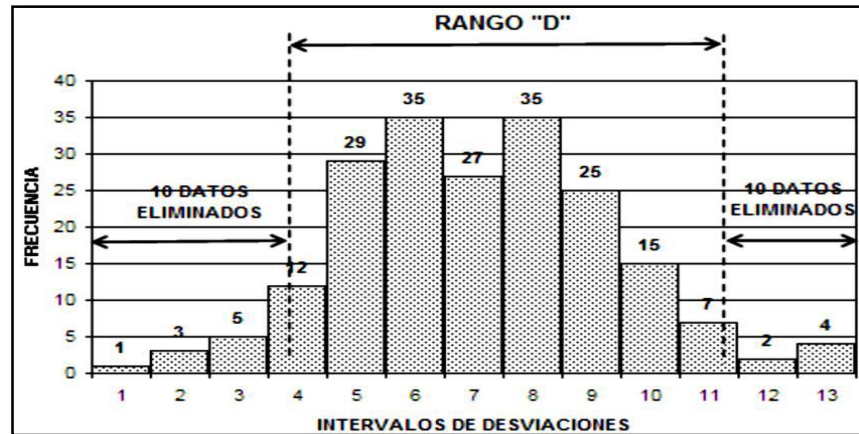


Figura 19: Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva  
Fuente: (Del Águila, 1999)

### 2.2.7.7 Correlaciones D versus IRI.

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

- a. Cuando  $2.4 < IRI < 15.9$ , entonces  $IRI = 0.593 + 0.0471 D$  (1)
- b. Cuando  $IRI < 2.4$ , entonces  $IRI = 0.0485 D$  (2)

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

La expresión 2 es la ecuación de correlación establecida de acuerdo a la experiencia peruana y luego de comprobarse, después de ser evaluados más de 3,000 km de pavimentos, que la ecuación original del TRRL no era aplicable para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o poco deformados. Se desarrolló entonces, siguiendo la misma metodología que la utilizada por el laboratorio británico, una ecuación que se emplea para el control de calidad de pavimentos recién construidos (Jaime, 2016).



#### 2.2.7.8 Pasos para la determinación del IRI

**Paso 1:** Calibración del equipo sobre una superficie horizontal y lisa, si el puntero adopta una posición en el tablero marcando el número 25 se da como lectura inicial (LI) a este valor, caso contrario se ajusta el patín móvil para calibrar el equipo.

**Paso 2:** Se realiza la medición del espesor de la pastilla de calibración (EP) promediando los 4 valores diametralmente opuestos de esta.

**Paso 3:** Se coloca la pastilla debajo del patín móvil y se da lectura al tablero como lectura final (LF)

**Paso 4:** Se calcula del factor de corrección (F.C) mediante la siguiente ecuación

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

Ecuación N°6: Cálculo del factor de corrección

**Paso 5:** Se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento”. Estas observaciones debe realizarse estacionando el equipo cada 2m de distancia es decir cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda, este paso se repite hasta culminar con todo el tramo en estudio

**Paso 6:** Elaborar histograma de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones

**Paso 7:** Se calcula el rango D como el ancho del histograma después del descarte del 5 % de los datos de cada extremo inferior y superior considerando las fracciones derivadas del descarte

**Paso 8:** El rugosímetro admite dos posiciones para el patín del brazo pivotante:

- a. Si la ubicación del patín móvil está ubicada a 10 cm del punto de pivote la relación de brazos utilizada será 1 a 10.



b. Si la ubicación del patín móvil está ubicada a 20 cm del punto de pivote la relación de brazos será 1 a 5. De usar esta posición, el valor determinado deberá multiplicarse por un factor de 2.

**Paso 9** Se calcula el rango corregido “D corregido” el cual deberá modificarse considerando Factor de Corrección F.C. y la Relación de Brazos. Este valor llevado a condiciones estándar es la rugosidad en “Unidades Merlín”.

$$D \text{ corr} = RB * FC * D$$

Ecuación N°7: Cálculo del valor D corregido

**Paso 10:** Se calcula el IRI

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

a. Cuando  $2.4 < IRI < 15.9$  o  $D \geq 50\text{mm}$  entonces:

$$IRI = 0.593 + 0.0471 D$$

Ecuación N°8: Cálculo Valor IRI

b. Cuando  $IRI < 2.4$  o  $D < 50\text{mm}$ , entonces

$$IRI = 0.0485 D$$

Ecuación N°9: Cálculo Valor IRI

Dónde:

IRI: Índice de Rugosidad Internacional (m/km)

D: Rugosidad en Unidades Merlín, mm

**Paso 11:** Se calcula el IRI característico con la siguiente formula:

$$IRI_c = IRI_{prom} + 1.645 \sigma$$

Ecuación N°10: Cálculo del IRI característico

Donde:

IRI<sub>c</sub>: IRI característico

IRI<sub>prom</sub>: IRI promedio

$\sigma$ : Desviación Estándar

### 2.2.7.9 Relación entre IRI y PSI

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.

$$IRI = 5.5 \ln \left( \frac{5.0}{PSI} \right)$$

Ecuación N°11: Cálculo del IRI con respecto al PSI

$$PSI = \frac{5.0}{\exp \left( \frac{IRI}{5.5} \right)}$$

Ecuación N°12: Cálculo del PSI con respecto al IRI

Donde:

IRI: International Roughness Índice

PSI: Present Serviciability Índice

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, 1999).

Tabla 24:  
*Escala de serviciabilidad*

Índice de Serviciabilidad ( <i>PSI</i> )	Calificación
5 – 4	Muy buena
4 – 3	Buena
3 – 2	Regular
2 – 1	Mala
1 – 0	Muy mala

Fuente: (AASHTO, 1993)

## 2.3 Hipótesis

### 2.3.1 Hipótesis general

El estado actual del pavimento mediante la medición del índice de condición de pavimento (PCI) y el índice de rugosidad internacional (IRI) determinan que la vía Izcuchaca – Huarcocondo no está en condiciones óptimas y necesitan mantenimiento.

### 2.3.2 Sub hipótesis

#### *Sub hipótesis N° 01*

El Índice de Condición de Pavimento (PCI) de la vía Izcuchaca – Huarcocondo está dentro del rango **40 – 55** de calificación **regular**.

#### *Sub hipótesis N° 02*

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la vía Izcuchaca – Huarcocondo está dentro del rango **4.0 – 4.6** de calificación **regular**.

#### *Sub hipótesis N° 03*

El tipo de falla predominante en la vía Izcuchaca – Huarcocondo es la **falla estructural**.

#### *Sub hipótesis N° 04*

El tipo de falla predominante en la variación del resultado del Índice de Condición de Pavimento (PCI) en la vía Izcuchaca – Huarcocondo es la **falla estructural**.



*Sub hipótesis N° 05*

La regularidad superficial de ambos carriles en la vía Izcuchaca – Huarcocondo son diferentes.

## **2.4 Definición de Variables**

### **2.4.1 Variables independientes**

#### **Variable**

- Índice de condición del pavimento (PCI)
- Índice de regularidad internacional (IRI)

#### **Indicadores**

- Magnitud de la falla
- Severidad de fallas
- Elevaciones en longitud
- Depresiones en longitud

### **2.4.2 Variables dependientes**

#### **Variable**

- Estado actual de la vía

#### **Indicadores**

- Grado de deterioro



2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 25:

*Operacionalización de variables*

Tipo de Variable	Variables	Definición Conceptual	Dimensión	Indicadores	Instrumentos	Escala
<b>Variable Dependiente</b>	Y : Estado Actual de la Vía	La condición actual de la estructura y de la superficie de rodadura del pavimento.	Carpeta de rodadura	- Grado de deterioro	Guía metodológica de recolección de datos	Nominal
<b>Variable Independiente</b>	X <sub>1</sub> : Índice de condición del pavimento (PCI)	Procedimiento Metodológico para la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales.	Tipo de falla de superficie de la rodadura	- Magnitud de Fallas - Severidad de Fallas	Ficha técnica de observación	Nominal
	X <sub>2</sub> : Índice de Rugosidad internacional	Homogeneidad horizontal de la vía para proporcionar un manejo confortable para el usuario.	Regularidad superficial	- Elevaciones en longitud - Depresiones en longitud.	Rugosímetro de Merlín	Nominal



### Capítulo III. Metodología

#### 3.1 Metodología de la tesis

##### 3.1.1 Enfoque de la investigación

El presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación según su enfoque cuantitativo, ya que para la elaboración de este trabajo se requerirá una serie de pasos, como el planteamiento del problema e hipótesis las cuales por medio de una recolección de datos reales, en este caso a la clase, severidad, cantidad de fallas encontradas y la rugosidad del pavimento, busca probar la hipótesis y generar conclusiones sobre los datos numéricos obtenidos que serán procesados estadísticamente.

Esta investigación es de tipo aplicada, ya que se fundamenta en los resultados de una investigación básica la cual requiere de un marco teórico. Además, el presente estudio hace énfasis en la aplicación del método del PCI e IRI, con los cuales obtendremos la condición del pavimento, datos que servirán para proponer el tipo de intervención que necesitará la vía Izcuchaca – Huarocondo

##### 3.1.2 Nivel o alcance de la investigación

Esta investigación reúne las características de un estudio de tipo descriptivo debido a que se requiere describir fenómenos o aspectos de la realidad como fallas en el pavimento flexible, regularidad superficial de la vía, confort y seguridad para los usuarios.

##### 3.1.3 Método de investigación

El método seleccionado para la elaboración de esta investigación fue hipotético-deductivo, ya que se propusieron hipótesis a partir de la observación de un problema objeto de estudio, para posteriormente ser comprobadas experimentalmente.

#### 3.2 Diseño de la investigación

##### 3.2.1 Diseño metodológico

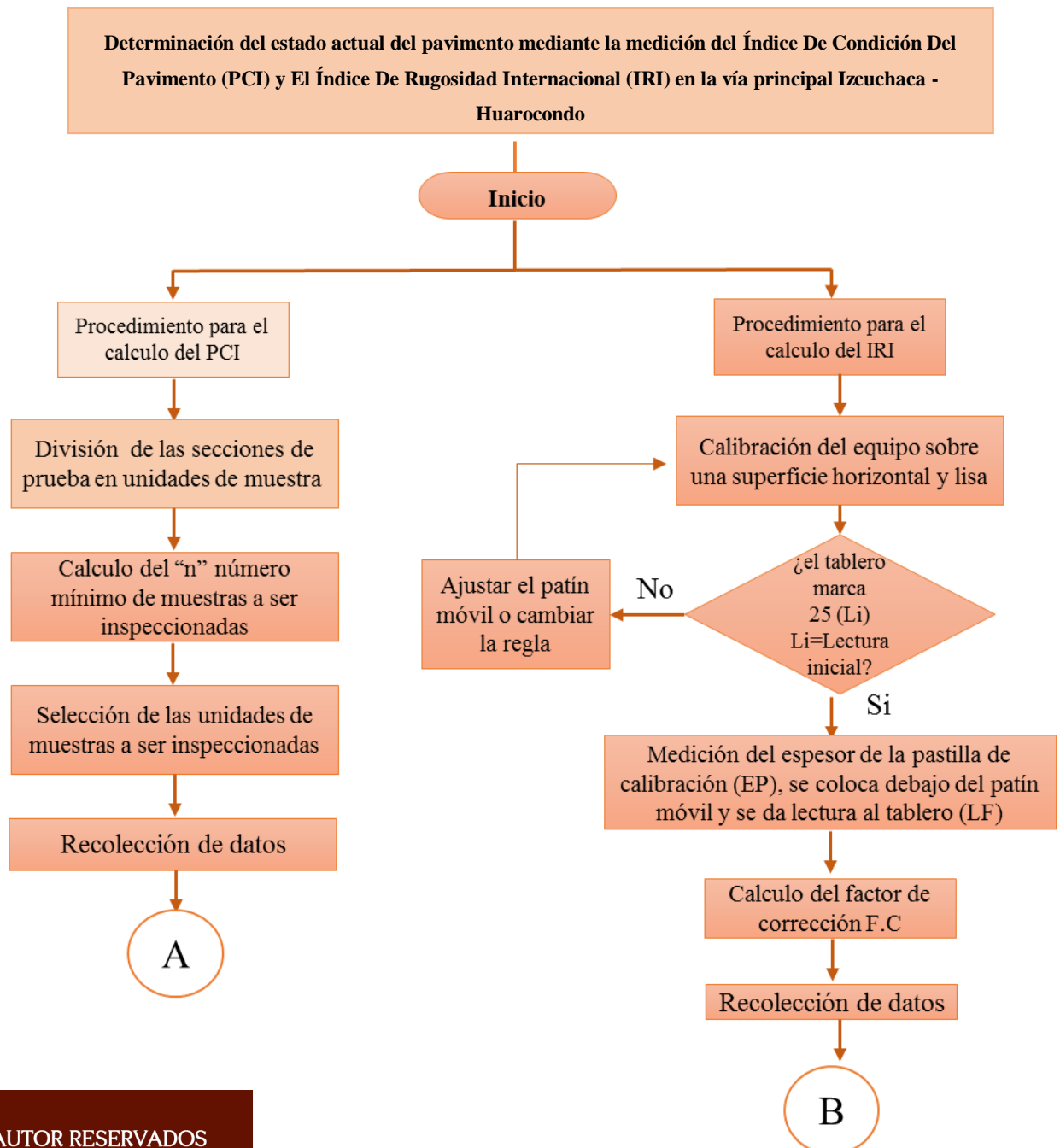
En la literatura sobre la investigación es posible encontrar diferentes clasificaciones de los tipos de diseño. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2006) Consideran

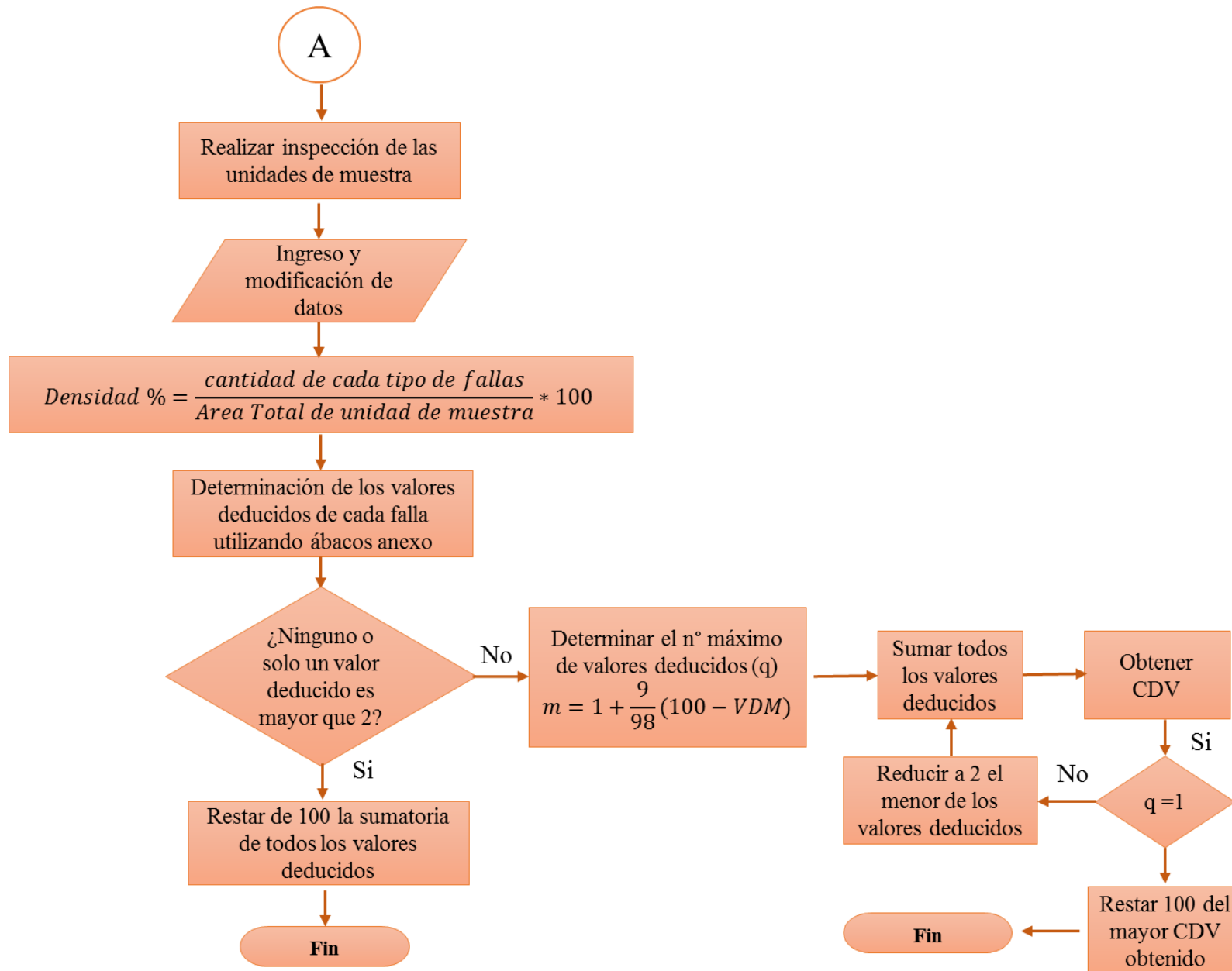


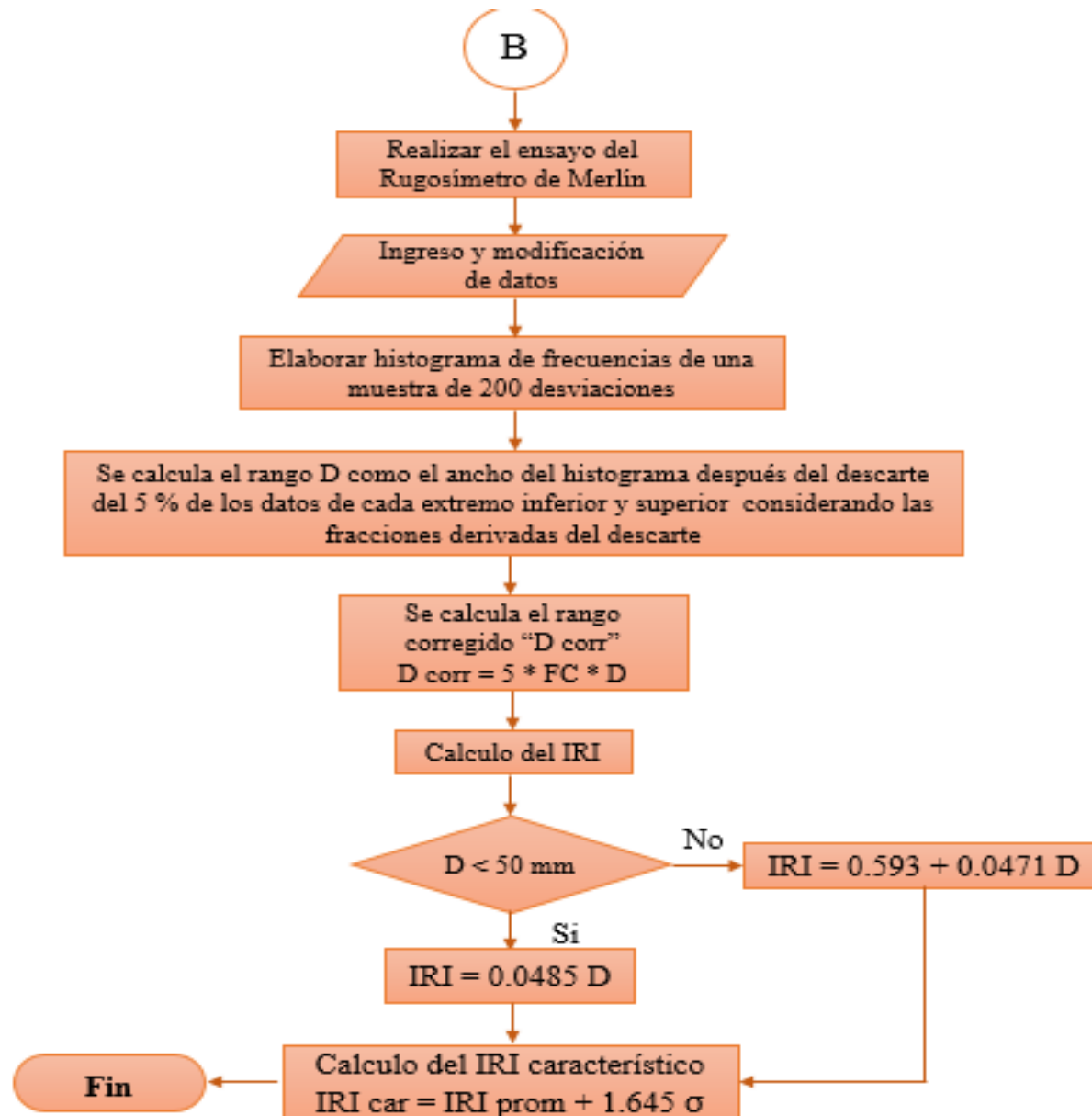
vigente la siguiente clasificación “investigación experimental e investigación no experimental”.

En un estudio del tipo no experimental podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular variables. Es decir, se trata de investigaciones donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables, por lo tanto, el diseño metodológico de la presente investigación es de tipo no experimental ya que es una investigación basada en la observación, evaluación de las fallas en el pavimento flexible y medición de la rugosidad del pavimento, sin alterar en lo más mínimo ni el entorno ni el fenómeno estudiado y también porque no se tiene control de esta variable independiente.

### 3.2.2 Diseño de Ingeniería









### 3.3 Población y Muestra

#### 3.3.1 Población

##### 3.3.1.1 Descripción de la población.

Para la presente investigación la población está dada por el pavimento flexible de la vía Izcuchaca – Huarrocondo, la cual comprende el distrito de Anta y de Huarrocondo respectivamente.

##### 3.3.1.2 Cuantificación de la población.

En la presente investigación la población es el pavimento flexible y comprende 10k m de estudio.

#### 3.3.2 Muestra

##### 3.3.2.1 Descripción de la muestra.

➤ **Para el índice de condición del pavimento (PCI)**

Para la presente investigación la muestra a evaluar para determinar el PCI son unidades representativas de la vía Izcuchaca – Huarrocondo las cuales son de pavimento flexible y serán estudiadas tal como se presentan en el lugar.

➤ **Para el índice de rugosidad internacional (IRI)**

Para la presente investigación la muestra a evaluar para determinar el IRI, está dada por el pavimento flexible de la vía Izcuchaca – Huarrocondo

##### 3.3.2.2 Cuantificación de la muestra.

➤ **Para el índice de condición del pavimento (PCI)**

Para la presente investigación las unidades de muestreo consideradas fueron 13 por cada carril de acuerdo al cálculo realizado según la fórmula establecida en la norma ASTM D6433 (Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys), cada una de las unidades de muestreo tienen una longitud de  $L=206.55$  m y un ancho de  $A= 3.05$  m.



➤ **Para el índice de rugosidad internacional (IRI)**

Para la presente investigación la muestra es el pavimento flexible y comprende 10 km de estudio.

3.3.2.3 *Método de muestreo.*

➤ **Para el índice de condición del pavimento (PCI)**

El método de muestreo utilizado para determinar el PCI es Probabilístico, debido a que las muestras serán elegidas, siendo la primera escogida aleatoriamente y las demás escogidas con un intervalo de muestreo.

➤ **Para el índice de rugosidad internacional (IRI)**

El método de muestreo utilizado para determinar el IRI es No Probabilístico, debido a que la muestra a ser evaluada comprende toda la vía de 10 km.

3.3.2.4 *Criterios de evaluación de la muestra.*

Las muestras se analizaron con guías de recolección de datos en campo, con formatos pre diseñados, para el caso del PCI se realizó un inventario de fallas donde se registró el tipo, la cantidad y severidad de estas y para el caso del IRI se realizó un recorrido con el Rugosímetro de Merlín registrando datos de elevaciones o depresiones presentes en el pavimento, dichos datos procesados estadísticamente, darán resultados que nos permitirán demostrar en qué estado se encuentra la vía.

### 3.3.3 **Criterios de Inclusión**

En la evaluación del pavimento se incluirán todas las muestras que sean de pavimento flexible, esta evaluación se realizará sobre la carpeta de rodadura. La información y datos recopilados proceden de la vía Izcuchaca – Huarcoondo estudiada en el año 2019 por lo que el estado de la vía corresponde al evaluado en dicho año.

## 3.4 **Instrumentos**

### 3.4.1 **Instrumentos metodológicos**



a) Formato de Recolección de datos del PCI

Tabla 26:

Formato de recolección de datos PCI

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>													
	<b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b>													
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>													
	<b>HOJA DE REGISTRO DE LA UNIDAD DE MUESTRA</b>													
<b>TESIS: DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE LA MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) Y EL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) EN LA VÍA PRINCIPAL IZCUCHACA - HUAROCONDO</b>						<b>METODO PCI</b>								
						<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE</b>								
						<b>EJECUTORES</b>			MARY CIELO ARANIBAR CENTENO - KIARA CHASKA SAAVEDRA BLANCO					
<b>NOMBRE DE LA VIA</b>		<b>IZCUCHACA - HUAROCONDO</b>				<b>SECCION</b>		<b>UNIDAD DE MUESTRA</b>						
<b>CARRIL</b>						<b>FECHA</b>		<b>AREA</b>		m <sup>2</sup>				
<b>SEVERIDAD DE FALLAS</b>		1. Piel de cocodrilo		6. Depresión		11. Parches y parches de cortes utilitarios		16. Fisura parabolica o por deslizamiento						
<b>ALTO H (HIGH)</b>		2. Exudación		7. Fisura de borde		12. Agregado pulido		17. Hinchamiento						
<b>MEDIO M (MEDIUM)</b>		3. Fisuras en bloque		8. Fisura de reflexión de junta		13. Baches		18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados						
<b>BAJO L (LOW)</b>		4. Abultamientos y hundimientos		9. Desnivel carril-berma		14. Ahuellamiento								
<b>FALLA SEVERIDAD</b>		5. Corrugación		10. Fisuras longitudinales y transversales		15. Desplazamiento								
		<b>CANTIDAD</b>						<b>TOTAL</b>		<b>DENSIDAD</b>		<b>VALOR DEDUCIDO</b>		



b) Formato de Recolección de datos del IRI

Tabla 27:

Formato de recolección de datos del Rugosímetro de Merlín

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO										
	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA										
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL										
	ENSAYO PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN										
NOMBRE DE LA VIA	VIA PRINCIPAL: CARRETERA IZCUCHACA HUAROCONDO					METODO IRI					
						INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL					
FECHA						EJECUTORES	MARY CIELO ARANIBAR CENTENO - KIARA SAAVEDRA BLANCO				
TRAMO						HORA DE INICIO					
CARRIL						HORA DE FINALIZACION					
	N° DE ENSAYO					KM					
Li:											
Lf:											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
Obsrvaciones:											



### 3.4.2 Instrumentos de ingeniería

- **Rugosímetro de Merlín.** Equipo para medir la rugosidad del pavimento
- **Odómetro Manual.** Instrumento utilizado para medir distancias en calles, carreteras, caminos, etc.
- **Regla o Cordel.** Para medir la deformación longitudinal y transversal del pavimento en estudio.
- **Cinta métrica** para medir las grietas y asentamientos.
- **Conos de seguridad vial.** Para aislar el área de calle en estudio, ya que el tráfico representa un peligro para los inspectores que tienen que caminar sobre el pavimento.
- **Plano de Distribución.** Plano donde se esquematiza la red de pavimento que será evaluada.
- **Laptop** para el procesamiento de los datos.
- **Cámara fotográfica** para registrar los daños encontrados.

### 3.5 Procedimiento de recolección de datos

#### 3.5.1 Procedimiento de inspección de fallas según el PCI

##### a) Equipos

El equipo utilizado para realizar la inspección fue:

- Odómetro para medir las distancias de la vía,
- Cinta métrica para medir los asentamientos y grietas existentes
- Regla metálica para medir las fisuras
- Conos de seguridad reflectivos, chalecos de seguridad

##### b) Procedimiento

El procedimiento seguido para la recolección de datos fue:

- i. Se divide la vía en 3 secciones que son: Sección 1: Izcuchaca – Mosocllaqta. Sección 2: Mosocllaqta – Markjo y Sección 3: Markjo – Huarcocondo. Para esto nos basamos en criterios como diseño geométrico de la vía, historial de uso y condiciones uniformes.
- ii. Se selecciona el área de la unidad de muestreo, la misma que según la tabla N° 21 “tamaño de la muestra” el cual considera que para un pavimento flexible el tamaño de muestra como máximo es de 630 m<sup>2</sup>,





valor que será utilizado en la evaluación, es decir la unidad de muestra tendrá una longitud de 206.56 m y un ancho de 3.05 m.

- iii. Como segundo paso se determinó el número mínimo de unidades de muestra a ser evaluadas “n”, mediante la ecuación desarrollada en el paso 3 ítem 2.2.8, cuyos resultados para cada carril de vía son los siguientes:

Teniendo los datos:

- Longitud total = 10 000 m
- Ancho de sección (carril) = 3 .05 m
- Área total de la vía = L \*A = 10 000 \* 3.05 = 30 500 m<sup>2</sup>

Tamaño de la muestra elegida según tabla 21: 630 m<sup>2</sup>

Calculo del número de muestras totales (N):

$$N = A / \text{tamaño de la muestra}$$

$$N = 30\,500 / 630$$

$$N = 48.41 \Rightarrow N = 49$$

Para el cálculo del número mínimo de unidades de muestra a evaluar se utilizó la ecuación 1

$$n = \frac{Ns^2}{\left(\left(\frac{e^2}{4}\right) * (N - 1) + s^2\right)}$$

N: Número total de unidades de muestra = 49

s: Desviación estándar = 10 (se asume una desviación estándar (s) del PCI de 10 para pavimento asfáltico)

e: error admisible =5 % , ya que la ecuación la cual produce un estimado del PCI  $\pm 5$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{49 * 10^2}{\left(\frac{5^2}{4} * (49 - 1)\right) + 10^2}$$

$$n = 12.25$$

$$n = 13$$

El número mínimo de unidades de muestreo resultantes a evaluar, tanto para el carril derecho como izquierdo fue de 13 unidades.

Tabla 28:

*Determinación de número mínimo de unidades de muestreo*

<b>EVALUACION DE LA CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)</b>			
<b>DETERMINACION DE MUESTREO PARA EVALUACION VIA (PCI)</b>			
Nombre de la Via	:	IZCUCHACA - HUAROCONDO	
Longitud total	:	10000.00 m.	
Ancho de seccion	:	3.05 m.	
Area total de via	:	30500.00 m2.	
Tamaño de muestra elegido	:	630.00 m2.	
<b>Tipo de Pavimento</b>		<b>Tamaño de la Muestra</b>	
		<b>Ideal</b>	<b>Mínimo</b>
Rígidos		20 losas	12 losas
Flexible		450 m <sup>2</sup>	270 m <sup>2</sup>
Mixto			630 m <sup>2</sup>
Numero de muestras totales	:	49	
Numero minimo de muestras			
$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$			
Donde: n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar. N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento. e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%) σ: Desviación estándar del PCI entre las unidades.			
N =	49,00		
σ =	10%		
e =	5%	<b>n = 13</b>	

iv. Se selecciona las unidades de muestra a inspeccionar, las cuales se recomienda que deben estar igualmente espaciadas, para lo cual se utilizó la ecuación N° 2 que corresponde al intervalo de muestreo, siendo este valor:

$$i = N/n$$

$$i = 49 / 13$$

$$i = 3.77 \Rightarrow i = 3 \text{ (se redondea al número entero inferior)}$$

Por lo tanto la selección de estas unidades se dio de la siguiente manera: la primera fue de manera aleatoria y las demás fueron delimitadas cada 619.7 ml, cada unidad de muestra de 630 m2 con L =206.56 hasta llegar a los 10 km.



Esquema de la selección de las unidades de muestra a evaluar

SECCIÓN 1: IZCUCHACA - MOSOCLAQTA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
U1-CD				U2-CD				U3-CD					U4-CD		
			U13				U12-CI				U11-CI				U10-CI

SECCIÓN 2: MOSOCLAQTA - MARKJO

17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
U5-CD				U6-CD				U7-CD				U8-CD				U9-CD			
			U9-CI				U8-CI				U7-CI				U6-CI				U5-CI

SECCIÓN 3: MARKJO - HUAROCONDO

37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
U10-CD				U11-CD				U12-CD				U13-CD
			U4-CI				U3-CI				U2-CI	U1-CI



- v. como cuarto paso se inspecciona individualmente cada unidad de muestra seleccionada de 630 m<sup>2</sup>, usando los formatos de recolección de datos, se registra el tipo de falla y la extensión de la misma, también se registra el grado de severidad en la que se encuentran, los daños pueden medirse en área, metro lineal o número según sea el tipo y el método de medición se encuentra incluido en la descripción de cada falla.

Los parámetros considerados en la Toma de datos en campo está acorde a la metodología de evaluación seleccionada, estos parámetros son:

- **Tipo De Falla:** considerando 19 tipos de según la metodología de evaluación del PCI.
- **La severidad o nivel de daño:** considerando tres niveles de daño (baja, media o alta) dependiendo del ancho de la grieta, elevación o profundidad de la falla, disgregación del material, o efecto sobre la calidad de rodaje.
- **La densidad:** se refiere al área que abarca la falla registrada, esta puede estar dada dependiendo del tipo en número de fallas, metros lineales, o metros cuadrados.

- vi. Se repite el paso iv para las demás unidades de muestras a ser inspeccionadas de cada carril.

c) Toma de datos

Se registraron un total de 26 unidades de muestreo, 13 para el carril derecho y 13 para el carril izquierdo. A continuación se presenta la unidad de muestra U9, la cual corresponde a la sección 2 del carril derecho y las siguientes unidades de muestra se encuentran en el Apéndice A



Tabla 29:  
Toma de datos para el PCI

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>											
		<b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b>											
		<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>											
		<b>HOJA DE REGISTRO DE LA UNIDAD DE MUESTRA</b>											
<b>TESIS: DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE LA MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) Y EL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) EN LA VÍA IZCUCHACA - HUAROCONDO</b>						<b>METODO PCI</b>							
						<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE</b>							
						<b>EJECUTORES</b>			MARY CIELO ARANIBAR CENTENO - KIARA CHASKA SAAVEDRA BLANCO				
<b>NOMBRE DE LA VIA</b>		<b>IZCUCHACA - HUAROCONDO</b>				<b>SECCION</b>		2		<b>UNIDAD DE MUESTRA</b>		9	
<b>CARRIL</b>		<b>DERECHO</b>				<b>FECHA</b>		11/09/2019		<b>AREA</b>		630 m2	
<b>SEVERIDAD DE FALLAS</b>		1. Piel de cocodrilo		6. Depresión		11. Parches y parches de cortes utilitarios		16. Fisura parabolica o por deslizamiento					
<b>ALTO H (HIGH)</b>		2. Exudación		7. Fisura de borde		12. Agregado pulido		17. Hinchamiento					
<b>MEDIO M (MEDIUM)</b>		3. Fisuras en bloque		8. Fisura de reflexión de junta		13. Baches		18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados					
<b>BAJO L (LOW)</b>		4. Abultamientos y hundimientos		9. Desnivel carril-berma		14. Ahuellamiento							
		5. Corrugación		10. Fisuras longitudinales y transversales		15. Desplazamiento							
<b>FALLA</b>	<b>SEVERIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>								<b>TOTAL</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>VALOR DEDUCIDO</b>	
1	M (MEDIUM)	25.6*0.5	11.2*1.9	4.7*1.1	5.2*2.05	3.7*1.5	32.35*3.05	7.28*1.3	6.5*3.05				
3	M (MEDIUM)	30*1.5	5.1*3.05	21.2*0.8	9.7*2.1	43.65*3.05	7.28*1.85						
10	M (MEDIUM)	32.00	21.20	118.35									
10	H (HIGH)	5.10											
11	H (HIGH)	3.8*1.7											
18	L (LOW)	0.24*0.16	0.35*0.52	0.16*0.31									

Las fallas más características y representativas registradas en la inspección visual que se realizó en la vía en estudio, se muestran en las siguientes fotografías:



*Figura 20:* Falla piel de cocodrilo de severidad alta  
Fuente: Propia



*Figura 21:* Falla piel de cocodrilo de severidad media  
Fuente: Propia



*Figura 22:* Falla fisura longitudinal de severidad media  
Fuente: Propia



*Figura 23:* Falla peladura severidad media  
Fuente: Propia

### 3.5.2 Procedimiento de recolección de datos con el Rugosímetro de Merlín

#### a) Equipos

El equipo utilizado para realizar el ensayo fue:

- Rugosímetro de Merlín
- Conos de seguridad

#### b) Procedimiento

El procedimiento seguido para la recolección de datos fue:

- i. Se inicia con la calibración del equipo, colocando este sobre una superficie horizontal y lisa para luego ajustar sus puntos de apoyo hasta que el equipo este nivelado y el puntero marque 25.
- ii. Colocar el rugosímetro en el punto de inicio del ensayo y leer la primera lectura ( $L_i$ ), después la otra lectura con la pastilla de calibración colocada ( $L_f$ ), este proceso es para determinar el factor de corrección. Así mismo se debe determinar el espesor de la pastilla en mm el cual viene a ser el promedio de 4 medidas diametralmente opuestas.
- iii. Para llevar a cabo el ensayo se necesita de 2 personas que trabajen conjuntamente un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y otro auxiliar que anota las lecturas, también es necesario 2 personas de apoyo que se encarguen de la seguridad llevando conos reflectivos y chalecos.
- iv. Se inició el ensayo en el carril derecho teniendo como punto inicial Izcuchaca y punto final Huarcoondo, el ensayo consiste en que el operador toma el equipo por las manijas y lo desplaza a una distancia constante, en este caso la vuelta completa que da la rueda (2 m), luego el equipo se apoya en sus 3 puntos fijos y se da lectura a la posición que toma el puntero que corresponderá a un valor entre 1 y 50 como muestra la escala graduada en el tablero del equipo, el dato que muestre será anotado en los formatos de recolección. Así sucesivamente hasta completar las 200 mediciones continuas o lecturas de las irregularidades que presenta el pavimento, en una longitud aproximada de 400m en cada ensayo.
- v. Repetimos el paso iv. hasta completar los 10 km en estudio, dejando una vuelta de rueda para cada ensayo.

vi. Así mismo se realiza el paso iv. para el carril izquierdo teniendo como punto de inicio Huarocondo y punto final Izcuchaca.

c) Toma de datos

El total de ensayos efectuados a lo largo de la vía de 10 km fue de 50 ensayos, 25 para el carril derecho y 25 para el carril izquierdo. A continuación se presenta el ensayo N° 50, el cual corresponde al tramo 09+600 a 10+000 del carril izquierdo y los siguientes ensayos se encuentran en el Apéndice B

Tabla 30:  
Toma de datos para el IRI

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO										
	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA										
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL										
	ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN										
NOMBRE DE LA VÍA	IZCUCHACA HUAROCONDO					MÉTODO IRI					
FECHA	31/07/2019			EJECUTORES		MARY CIELO ARANIBAR - KIARA SAAVEDRA					
Tramo	09+600 + 10+000					Hora de inicio		13:54			
Carril	Izquierdo					Hora de finalización		14:20			
	N° de ensayo		50		km		10+000				
Li:	26										
Lf:	15										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	29	24	26	25	28	20	28	31	33	27	
2	27	31	26	26	24	26	27	26	26	27	
3	27	27	27	24	23	26	24	18	28	26	
4	26	24	24	26	30	26	27	18	27	18	
5	25	26	28	26	26	32	29	24	24	10	
6	27	26	27	26	27	25	27	25	22	21	
7	22	27	26	24	24	26	22	24	26	20	
8	23	27	30	29	23	25	27	28	27	33	
9	29	26	21	14	25	25	25	27	26	29	
10	25	24	24	25	26	27	25	30	30	26	
11	24	28	27	24	28	21	27	28	28	29	
12	23	27	26	26	27	23	24	22	26	22	
13	27	29	27	25	25	29	34	25	25	23	
14	22	24	25	25	29	25	11	27	24	26	
15	26	27	26	20	30	22	27	25	23	27	
16	25	24	27	25	26	25	27	26	24	25	
17	29	33	26	27	20	30	21	26	21	28	
18	25	26	25	27	25	25	17	24	29	28	
19	24	22	26	24	27	22	28	28	26	27	
20	28	30	22	26	16	23	27	27	26	25	
OBSERVACIONES											
		rejilla									



### 3.6 Procedimientos de análisis de datos

#### 3.6.1 Procedimientos de análisis de datos del PCI

a) Procesamiento y Cálculos

A partir de los datos obtenidos en la inspección y registro de fallas se determina el Índice de Condición del Pavimento (PCI) siguiendo el procedimiento de la metodología ASTM D6433 descrita en el ítem 2.2.6.2 Para el desarrollo del procedimiento se tomó como ejemplo la unidad de muestra 9 del carril derecho.

- i. El procedimiento para este análisis comienza sumando la cantidad total de cada tipo de falla para cada nivel de severidad, y registrar esta información en la columna “Total”. Las unidades para las cantidades deben ser en metro cuadrado, metro lineal, o número de ocurrencia, dependiendo del tipo de falla.

Tabla 31:

*Procedimiento para el cálculo de la sumatoria total por cada tipo de falla*

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA											
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL											
		HOJA DE REGISTRO DE LA UNIDAD DE MUESTRA											
TESIS: DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE LA MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) Y EL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) EN LA VÍA PRINCIPAL IZCUCACHA - HUAROCONDO					METODO PCI								
					ÍNDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE								
					EJECUTORES		MARY CIELO ARANIBAR CENTENO - KIARA						
					CHASKA SAAVEDRA BLANCO								
NOMBRE DE LA VIA		IZCUCACHA - HUAROCONDO			SECCION	2		UNIDAD DE MUESTRA	9				
CARRIL		DERECHO			FECHA	11/09/2019		AREA	630 m2				
SEVERIDAD DE FALLAS		1. Piel de cocodrilo		6. Depresión		11. Parches y parches de cortes utilitarios		16. Fisura parabólica o por deslizamiento					
ALTO		2. Exudación		7. Fisura de borde		12. Agregado pulido		17. Hinchamiento					
MEDIO		3. Fisuras en bloque		8. Fisura de reflexión de junta		13. Baches		18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados					
BAJO		4. Abultamientos y hundimientos		9. Desnivel carril-berma		14. Ahuellamiento							
		5. Corrugación		10. Fisuras longitudinales y transversales		15. Desplazamiento							
FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD							TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO		
1	M (MEDIUM)	12.80	21.28	5.17	10.66	5.55	98.67	9.46	19.83	183.42	29.11	60	
3	M (MEDIUM)	45.00	15.56	16.96	20.37	133.13	13.47			244.49	38.81	30	
10	M (MEDIUM)	32.00	21.20	118.35						171.55	27.23	29	
10	H (HIGH)	5.10								5.10	0.81	8	
11	H (HIGH)	6.46								6.46	1.03	20	
18	L (LOW)	0.04	0.18	0.05						0.27	0.04	0	
		Sumatoria											

- ii. Dividir la cantidad total de cada tipo de falla en cada nivel de severidad (columna total de severidades) entre el área total de la unidad de muestra (630 m2) y multiplicar el resultado por 100 para obtener la densidad porcentual.

Tabla 32:  
Procedimiento para el cálculo de la densidad para cada tipo de falla

FALLA		SEVERIDAD		CANTIDAD					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	
1	M (MEDIUM)	12.80	21.28	5.17	10.66	5.55	98.67	9.46	19.83	183.42	29.11	
3	M (MEDIUM)	45.00	15.36	16.96	20.37	133.13	13.47			244.49	38.81	
10	M (MEDIUM)	32.00	21.20	118.35						171.55	27.23	
10	H (HIGH)	5.10								5.10	0.81	
11	H (HIGH)	6.46								6.46	1.03	
18	L (LOW)	0.04	0.18	0.05						0.27	0.04	

iii. Luego se determina el valor deducido (DV) para cada combinación de tipo de falla y nivel de severidad utilizando las curvas de valor deducido de fallas que se encuentran en el anexo A, tal es el caso que para una densidad de 29.11 de la falla piel cocodrilo en una severidad media el valor deducido DV será:

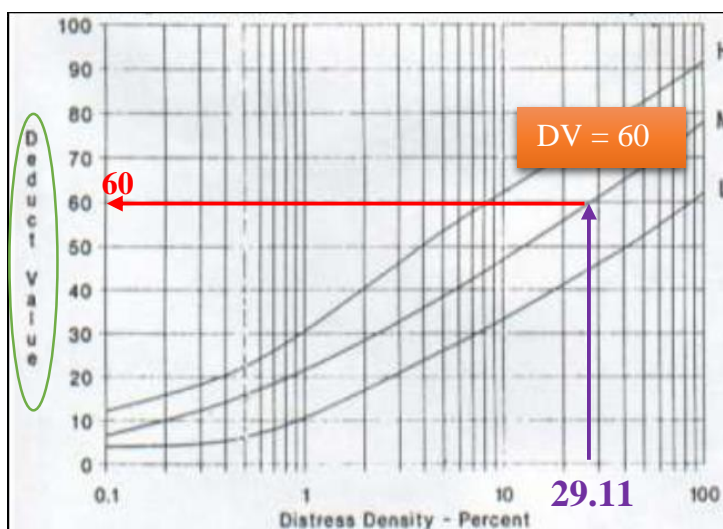


Figura 24: Valores Deducidos para pavimentos Asfálticos. Piel de Cocodrilo

Tabla 33:  
*Cálculo del valor deducido para cada tipo de falla*

FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD								TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1	M (MEDIUM)	12.80	21.28	5.17	10.66	5.55	98.67	9.46	19.83	183.42	29.11	60
3	M (MEDIUM)	45.00	15.56	16.96	20.37	133.13	13.47			244.49	38.81	30
10	M (MEDIUM)	32.00	21.20	118.35						171.55	27.23	29
10	H (HIGH)	5.10								5.10	0.81	8
11	H (HIGH)	6.46								6.46	1.03	20
18	L (LOW)	0.04	0.18	0.05						0.27	0.04	0

- iv. Si ninguno o solamente uno de los Valores Deducidos es mayor que 2, se usa el “Valor Deducido Total” para determinar el PCI como muestra el paso vii; de otro modo, se debe calcular el Valor Deducido Corregido CDV.
- v. Para el cálculo del Valor Deducido Corregido CDV se sigue el procedimiento desarrollado a continuación:
- Listamos los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor Crear una lista de valores deducidos individuales en orden descendente. Por ejemplo, en la tabla N°33 esta lista será 60, 30, 29, 20 y 8.
  - Determinamos el “Número Máximo Admisible de Valores Deducidos” (m), utilizando la siguiente Ecuación:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDVi)$$

Ecuación N°13: Número máximo  
admisible de valores deducidos

Donde:

$m_i$ : número máximo admisible de valores deducidos, incluyendo fracciones, para la unidad de muestreo  $i$ .

$HDVi$ : el mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo

Tabla 34:

Reducción de los valores deducidos individuales al máximo admisible de valores deducidos “m”

N°	m	VALOR DEDUCIDO					TOTAL	q	CDV
		60	30	29	20	8			
1	4.67	60	30	29	20	8			
2		60	30	29	20	5.36	144.36	5	74
3		60	30	29	20	2	141	4	79
4		60	30	29	2	2	123	3	76
5		60	30	2	2	2	96	2	68
6		60	2	2	2	2	68	1	68

$m = 1 + (9 / 98) * (100 - 60) = 4.67 < 10.0$   
 $4.67 - 4.0 = 0.67$        $0.67 \times 8 = 5.36$

El número de valores deducidos individuales es reducido al máximo admisible de valores deducidos “m”, incluyendo su parte fraccionaria. Por ejemplo en la Tabla N°34, los valores son 60, 30, 29, 20 y 5.36 (el valor 5.36 es obtenido multiplicando 8 por 0.67). Si contamos con un número de valores deducidos menor a “m”, todos los valores deducidos deben ser usados.

- vi. Como sexto paso se calcula el “Máximo Valor Deducido Corregido” (CDV) el cual viene a ser al valor final de cada unidad de muestro, el mismo que se utilizará en la fórmula del PCI y obtener este parámetro, para ello debemos seguir el siguiente proceso iterativo:
- Determine el número de valores deducidos, q, mayores que 2.0.
  - Determine el Valor Deducido Total (CDT) 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 a, b y c hasta que q sea igual a 1.

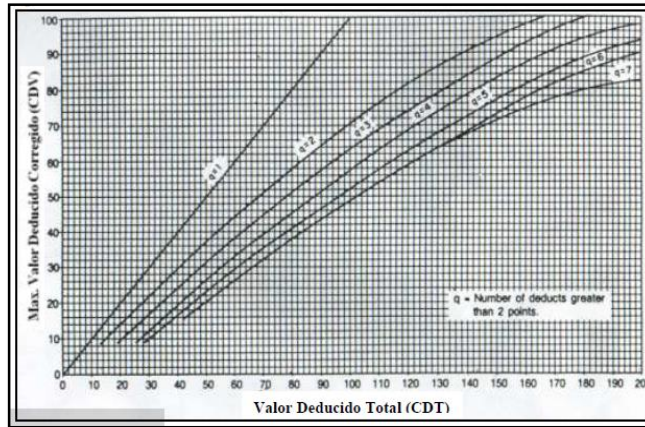


Figura 25: Valor de deducción corregido, pavimentos asfálticos, metodología PCI  
Fuente: (ASTM, 2003)

e. El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.

Tabla 35:  
Máximo valor deducido corregido



Nº	m	VALOR DEDUCIDO					TOTAL	q	CDV
1	4.67	60	30	29	20	8			
2		60	30	29	20	5.36	144.36	5	74
3		60	30	29	20	2	141	4	79
4		60	30	29	2	2	123	3	76
5		60	30	2	2	2	96	2	68
6		60	2	2	2	2	68	1	68

vii. Finalmente se calcula el PCI de la unidad de muestra restando de 100 el máximo CDV obtenido en el paso iv.

$$PCI = 100 - \max CDV$$

Ecuación N°14: Calculo de PCI

Donde:

PCI: índice de condición presente

Max. CDV: Máximo valor corregido deducido

Tabla 36:  
*Estado del pavimento según el PCI*

<b>Max CDV</b>	<b>79</b>
<b>PCI</b>	<b>21</b>
<b>Rating</b>	<b>Muy malo</b>

b) Diagramas y tablas

Para la interpretación del cálculo del PCI, se utilizara la siguiente Tabla:

Tabla 37  
*Escala de calificación del PCI*

Rango del PCI	Color	Estado
86 - 100	Verde	Excelente
71 - 85	Púrpura	Muy Bueno
56 - 70	Azul	Bueno
41 - 55	Amarillo	Regular
26 - 40	Verde oscuro	Malo
11 - 25	Naranja	Muy Malo
0 - 10	Rojo	Fallado

Fuente: (Vasquez, 2002)

c) Análisis de la prueba

A continuación se presenta el procesamiento para hallar el Índice de Condición de Pavimento de la unidad de muestra 9, la cual corresponde a la sección 2 del carril derecho y las siguientes unidades de muestra se encuentran en el apéndice B

En esta unidad de muestra las fallas encontradas fueron:

1: Piel de cocodrilo con severidad Media

3: Fisura en bloque con severidad Media



10: Fisura transversal y longitudinal con severidad Media y Alta

11: Parches y parches de corte utilitario con severidad Alta

18: Peladura por Intemperismo y desprendimiento de agregados con severidad Baja



Tabla 38:  
Procesamiento de datos del PCI

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>											
		<b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b>											
		<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>											
		<b>HOJA DE REGISTRO DE LA UNIDAD DE MUESTRA</b>											
<b>TESIS: DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE LA MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) Y EL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) EN LA VÍA IZCUCHACA - HUAROCONDO</b>						<b>METODO PCI</b>							
						<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE</b>							
<b>EJECUTORES</b>						<b>MARY CIELO ARANIBAR CENTENO - KIARA CHASKA SAAVEDRA BLANCO</b>							
<b>NOMBRE DE LA VIA</b>		<b>IZCUCHACA - HUAROCONDO</b>				<b>SECCION</b>		<b>2</b>		<b>UNIDAD DE MUESTRA</b>		<b>9</b>	
<b>CARRIL</b>		<b>DERECHO</b>				<b>FECHA</b>		<b>11/09/2019</b>		<b>AREA</b>		<b>630 m2</b>	
<b>SEVERIDAD DE FALLAS</b>		1. Piel de cocodrilo		6. Depresión		11. Parches y parches de cortes utilitarios		16. Fisura parabolica o por deslizamiento					
<b>ALTO H (HIGH)</b>		2. Exudación		7. Fisura de borde		12. Agregado pulido		17. Hinchamiento					
<b>MEDIO M (MEDIUM)</b>		3. Fisuras en bloque		8. Fisura de reflexión de junta		13. Baches		18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados					
<b>BAJO L (LOW)</b>		4. Abultamientos y hundimientos		9. Desnivel carril-berma		14. Ahuellamiento							
		5. Corrugación		10. Fisuras longitudinales y transversales		15. Desplazamiento							
<b>FALLA SEVERIDAD</b>		<b>CANTIDAD</b>						<b>TOTAL</b>		<b>DENSIDAD</b>		<b>VALOR DEDUCIDO</b>	
1	M (MEDIUM)	12.80	21.28	5.17	10.66	5.55	98.67	9.46	19.83	183.42	29.11	60	
3	M (MEDIUM)	45.00	15.56	16.96	20.37	133.13	13.47			244.49	38.81	30	
10	M (MEDIUM)	32.00	21.20	118.35						171.55	27.23	29	
10	H (HIGH)	5.10								5.10	0.81	8	
11	H (HIGH)	6.46								6.46	1.03	20	
18	L (LOW)	0.04	0.18	0.05						0.27	0.04	0	
<b>N° m</b>		<b>VALOR DEDUCIDO</b>						<b>TOTAL</b>		<b>q</b>		<b>CDV</b>	
1	4.67	60	30	29	20	8							
2		60	30	29	20	5.36				144.36	5	74	
3		60	30	29	20	2				141	4	79	
4		60	30	29	2	2				123	3	76	
5		60	30	2	2	2				96	2	68	
6		60	2	2	2	2				68	1	68	
		<b>Rango del PCI</b>		<b>Color</b>		<b>Estado</b>				<b>Max CDV</b>		<b>79</b>	
		86 - 100				Excelente				PCI		21	
		71 - 85				Muy bueno				Rating		Muy malo	
		56 - 70				Bueno							
		41 - 55				Regular							
		26 - 40				Malo							
		11 - 25				Muy malo							
		0 - 10				Fallado							

### 3.6.2 Procedimiento de análisis de datos del IRI

a) Procesamiento y cálculos

A partir de los datos obtenidos en los ensayos de rugosidad, se buscó cuantificar el grado de irregularidad longitudinal del pavimento expresándolo a través de un parámetro denominado “D” el cual fue calculado mediante métodos estadísticos por medio del uso de un histograma de distribución de frecuencias. A continuación se detalla el procedimiento usado para el cálculo del parámetro D.

- i. De las 200 mediciones realizadas, contar cuantas veces se repiten los valores del casillero de cada formato de campo.

Tabla 39:  
*Cuadro de repeticiones*

N°	Rep.	N°	Rep.	N°	Rep.	N°	Rep.	N°	Rep.
1	0	11	1	21	5	31	2	41	0
2	0	12	0	22	10	32	1	42	0
3	0	13	0	23	8	33	3	43	0
4	0	14	1	24	23	34	1	44	0
5	0	15	0	25	28	35	0	45	0
6	0	16	1	26	38	36	0	46	0
7	0	17	1	27	37	37	0	47	0
8	0	18	3	28	14	38	0	48	0
9	0	19	0	29	11	39	0	49	0
10	1	20	4	30	7	40	0	50	0

- ii. La dispersión de los datos obtenidos con el Merlín se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual se expresa en forma de histograma.

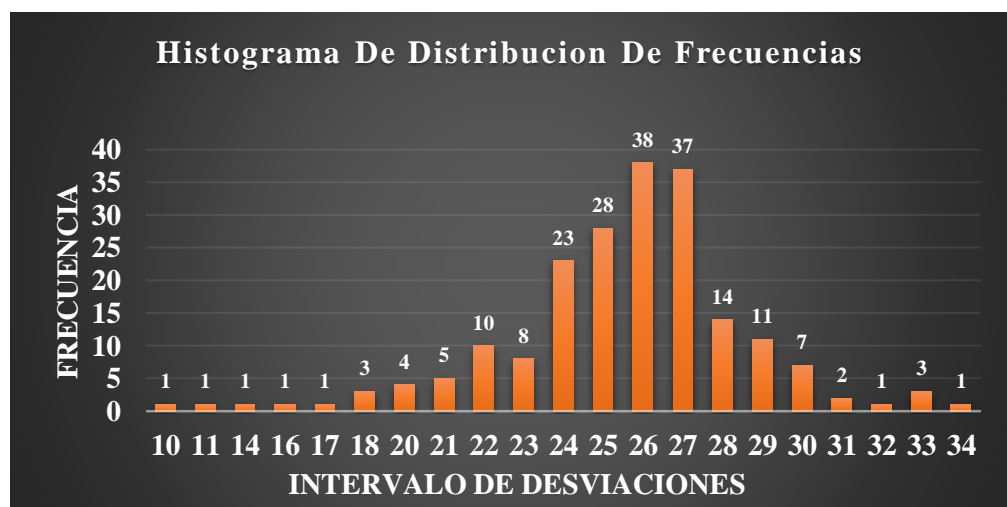


Figura 26: Histograma de Distribución de Frecuencias  
Fuente: Propia



- iii. Posteriormente se establece el rango D de los valores agrupados en intervalos de frecuencia luego de descartarse el 10% de datos que corresponden a posiciones erradas o poco representativas. En el análisis se eliminan el 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior del histograma

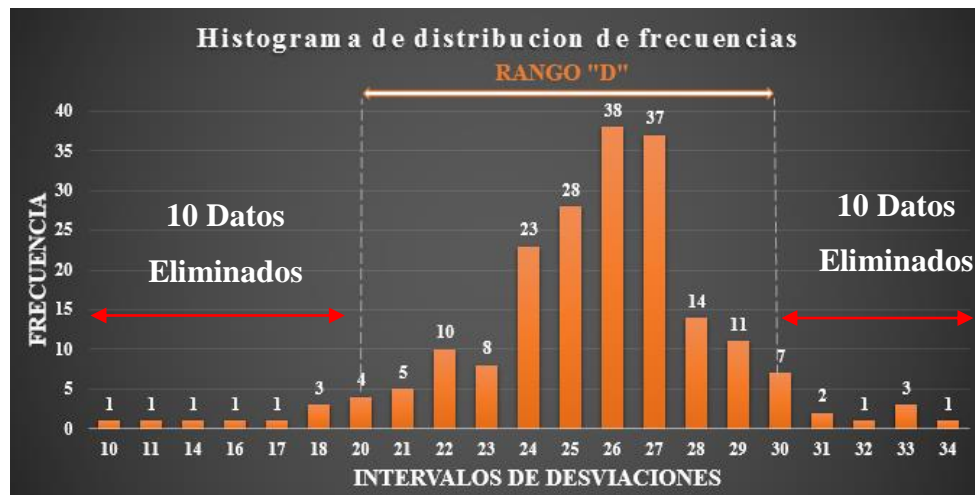


Figura 27: Descarte de datos poco representativos  
Fuente: Propia

- iv. Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia del descarte de datos, el rango D se debe expresar en milímetros, este se obtuvo multiplicando el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros en este caso fue multiplicado por 5.

Para el caso de la figura 27 el Rango D en unidades de merlín viene a ser:

$$\text{Rango D} = 2/4 + 9 + 4/7$$

$$\text{Rango D} = 10.07 \text{ unidades}$$

Y el Rango D expresado en milímetros sería:

$$\text{Rango D} = 10.07 * 5 \text{ mm}$$

$$\text{Rango D} = 50.36 \text{ mm}$$

- v. Este valor de “D” fue corregido, para lo cual previamente se calculó el factor de calibración propio del equipo utilizado mediante la siguiente ecuación:



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

Ecuación N° 15: Factor de Corrección

Donde:

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

Por ejemplo:

Si la posición inicial del puntero fue 26 y la final fue 15 y como dato tenemos que el valor del espesor de la pastillas es de 4.90 mm, entonces el Factor de Corrección será:

$$FC = (4.90 \times 10) / [(26-15) \times 5] = 0.89$$

Para el valor "D" corregido también se consideró la variación de relación de brazos que para el caso de nuestro estudio fue de 1 a 10 ya que el patín móvil está ubicada a 10 cm del punto de pivote. De esta manera el cálculo de D corregido se obtuvo de la siguiente ecuación

$$D_{\text{corregido}} = D * F.C * RB$$

Ecuación N° 16: Valor D corregido

Donde:

D: Rango D en mm

F.C: Factor de corrección

R.B: Relación de Brazos

Para el caso de nuestro ejemplo el rango D corregido sería:

$$D_{\text{corregido}} = 50.36 \text{ mm} * 0.89 * 1$$

$$D_{\text{corregido}} = 44.86 \text{ mm}$$

Al efectuar la ecuación 16 el valor D corregido estará dado en Unidades Merlín

- vi. Como sexto paso este valor D corregido fue introducido en una ecuación específica para así poder determinar el Índice de Rugosidad Internacional. Las ecuaciones utilizadas fueron:

$$\text{Cuando } 2.4 < \text{IRI} < 15.9 \text{ ó } D \geq 50 \text{ mm} ; \quad \text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D$$

$$\text{Cuando } \text{IRI} < 2.4 \text{ ó } D < 50 \text{ mm} \quad ; \quad \text{IRI} = 0.0485 D$$

- vii. Finalmente se halló el IRI característico lo cual es definido por la siguiente ecuación:

$$\text{IRIc} = \text{IRI prom} + 1.645\sigma$$

Ecuación N° 17: Valor D corregido

Donde:

IRIc = IRI característico

IRIprom = IRI promedio

$\sigma$  = desviación estándar

- b) Diagramas y tablas

Para la interpretación del cálculo del IRI se utilizara la siguiente Tabla:

Tabla 40:  
*Estado Vial según Rugosidad*

Pavimentadas	
Estado	Rugosidad
Bueno	$0 < \text{IRI} \leq 2.8$
Regular	$2.8 < \text{IRI} \leq 4.0$
Malo	$4.0 < \text{IRI} \leq 5.0$
Muy malo	$5 < \text{IRI}$

Fuente: (MTC, 2013)

- c) Análisis de la prueba

A continuación se presenta el procesamiento del ensayo N° 50, el cual corresponde al tramo 09+600 – 10+000 del carril derecho y los siguientes ensayos se encuentran en el Apéndice B



Tabla 41:  
Procesamiento de datos de la IRI

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO									
		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA									
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
		ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN									
NOMBRE DE LA VÍA		IZCUCHACA HUAROCONDO		MÉTODO IRI							
FECHA		31/07/2019		EJECUTORES							
Tramo		09+600 + 10+000		Hora de inicio							
Carril		Izquierdo		Hora de finalización							
ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL		MARY CIELO ARANIBAR - KIARA SAAVEDRA									
Lí: 26		N° de ensayo 50		km 10+000							
Lf: 15											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	29	24	26	25	28	20	28	31	33	27	
2	27	31	26	26	24	26	27	26	26	27	
3	27	27	27	24	23	26	24	18	28	26	
4	26	24	24	26	30	26	27	18	27	18	
5	25	26	28	26	26	32	29	24	24	10	
6	27	26	27	26	27	25	27	25	22	21	
7	22	27	26	24	24	26	22	24	26	20	
8	23	27	30	29	23	25	27	28	27	33	
9	29	26	21	14	25	25	25	27	26	29	
10	25	24	24	25	26	27	25	30	30	26	
11	24	28	27	24	28	21	27	28	28	29	
12	23	27	26	26	27	23	24	22	26	22	
13	27	29	27	25	25	29	34	25	25	23	
14	22	24	25	25	29	25	11	27	24	26	
15	26	27	26	20	30	22	27	25	23	27	
16	25	24	27	25	26	25	27	26	24	25	
17	29	33	26	27	20	30	21	26	21	28	
18	25	26	25	27	25	25	17	24	29	28	
19	24	22	26	24	27	22	28	28	26	27	
20	28	30	22	26	16	23	27	27	26	25	
OBSERVACIONES											
rejilla											
N°	Rep.	N°	Rep.	N°	Rep.	N°	Rep.	N°	Rep.	N°	Rep.
1	0	11	1	21	5	31	2	41	0		
2	0	12	0	22	10	32	1	42	0		
3	0	13	0	23	8	33	3	43	0		
4	0	14	1	24	23	34	1	44	0		
5	0	15	0	25	28	35	0	45	0		
6	0	16	1	26	38	36	0	46	0		
7	0	17	1	27	37	37	0	47	0		
8	0	18	3	28	14	38	0	48	0		
9	0	19	0	29	11	39	0	49	0		
10	1	20	4	30	7	40	0	50	0		

		TESIS: DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE LA MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) Y EL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) EN LA VÍA IZCUCHACA - HUAROCONDO			
		HISTOGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS			
		RANGO "D"			
		FRECUCENCIA			
INTERVALOS DE DESVIACIONES					
N° de Datos		200			
10% Datos Eliminados		20			
Daatos Eliminados		10 superiores - 10 inferiores			
Rango "D" (en unidades)		10.07			
Rango "D" (en mm)		50.36			
Espesor de la pastilla (mm.)		4.90			
Lectura Inicial		26.00			
Lectura Final		15.00			
Relación de Brazos: 1:10		01:10			
Factor de Corrección por Brazos: 1.00		1.00			
Factor de Corrección:		0.89			
Rango "D" Corregido (unidades Merlín)		44.86			
IRI (m/km)		2.71			

Capítulo IV. Resultados

4.1 Resumen de resultados de la determinación del Índice de Condición del Pavimento en la vía Izcuchaca – Huarcoondo

Una vez realizado el análisis de datos recolectados en campo, y obtenidos todos los índices de condición respectivos para cada unidad de muestra, el PCI se calculará obteniendo el PCI promedio de todas las muestras para cada carril. En las siguientes tablas se muestra el resumen de los resultados.

Tabla 42:  
Resumen de Resultados del Índice de Condición del Pavimento – PCI carril derecho

Índice De Condición Del Pavimento Izcuchaca - Huarcoondo Carril Derecho																												
Sección	Und. De Muestra	Área (m2)	PCI Und. De Muestra	Descripción	PCI Sección	Descripción	Condición																					
01 Izcuchaca- Mosocllaqta	U1	630	11	Muy malo	21	Muy Malo	<table border="1"> <tr> <td>86 - 100</td> <td style="background-color: #90EE90;"></td> <td>EXCELENTE</td> </tr> <tr> <td>71 - 85</td> <td style="background-color: #FFB6C1;"></td> <td>MUY BUENO</td> </tr> <tr> <td>56 - 70</td> <td style="background-color: #ADD8E6;"></td> <td>BUENO</td> </tr> <tr> <td>41 - 55</td> <td style="background-color: #FFD700;"></td> <td>REGULAR</td> </tr> <tr> <td>26 - 40</td> <td style="background-color: #90EE90;"></td> <td>MALO</td> </tr> <tr> <td>11 - 25</td> <td style="background-color: #FFA07A;"></td> <td>MUY MALO</td> </tr> <tr> <td>0 - 10</td> <td style="background-color: #FF0000;"></td> <td>FALLADO</td> </tr> </table>	86 - 100		EXCELENTE	71 - 85		MUY BUENO	56 - 70		BUENO	41 - 55		REGULAR	26 - 40		MALO	11 - 25		MUY MALO	0 - 10		FALLADO
	86 - 100		EXCELENTE																									
	71 - 85		MUY BUENO																									
	56 - 70		BUENO																									
41 - 55		REGULAR																										
26 - 40		MALO																										
11 - 25		MUY MALO																										
0 - 10		FALLADO																										
U2	630	17	Muy malo																									
U3	630	26	Malo																									
U4	630	29.07	Malo																									
02 Mosocllaqta - Markjo	U5	630	29	Malo	25	Muy Malo																						
	U6	630	52	Regular																								
	U7	630	12	Muy malo																								
	U8	630	11	Muy malo																								
	U9	630	21	Muy malo																								
03 Markjo - Huarcoondo	U10	630	44	Regular	24	Muy Malo																						
	U11	630	18	Muy malo																								
	U12	630	28	Malo																								
	U13	630	5	Fallado																								
Promedio PCI Carril Derecho De La Vía Izcuchaca - Huarcoondo					23	Muy Malo																						

Tabla 43

Resumen de Resultados del Índice de Condición del Pavimento – PCI carril izquierdo

Índice De Condición Del Pavimento Izcuchaca - Huarcoondo Carril Izquierdo																					
Sección	Und. De Muestra	Área (m2)	PCIUnd. De Muestra	Descripción	PCI Sección	Descripción	Condición														
01 Izcuchaca - Mosocllaqta	U1	630	29	Malo	13	Muy Malo	<table border="1"> <tr><td>86 - 100</td><td>EXCELENTE</td></tr> <tr><td>71 - 85</td><td>MUY BUENO</td></tr> <tr><td>56 - 70</td><td>BUENO</td></tr> <tr><td>41 - 55</td><td>REGULAR</td></tr> <tr><td>26 - 40</td><td>MALO</td></tr> <tr><td>11 - 25</td><td>MUY MALO</td></tr> <tr><td>0 - 10</td><td>FALLADO</td></tr> </table>	86 - 100	EXCELENTE	71 - 85	MUY BUENO	56 - 70	BUENO	41 - 55	REGULAR	26 - 40	MALO	11 - 25	MUY MALO	0 - 10	FALLADO
	86 - 100	EXCELENTE																			
	71 - 85	MUY BUENO																			
	56 - 70	BUENO																			
41 - 55	REGULAR																				
26 - 40	MALO																				
11 - 25	MUY MALO																				
0 - 10	FALLADO																				
U2	630	2	Fallado																		
U3	630	9	Fallado																		
U4	630	11	Muy malo																		
02 Mosocllaqta - Markjo	U5	630	41	Regular	25	Muy Malo															
	U6	630	16	Muy malo																	
	U7	630	4	Fallado																	
	U8	630	23	Muy malo																	
	U9	630	41	Regular																	
03 Markjo - Huarcoondo	U10	630	13	Muy malo	11	Muy Malo															
	U11	630	12	Muy malo																	
	U12	630	6	Fallado																	
	U13	630	11	Muy malo																	
Promedio PCI Carril Izquierdo De La Vía Izcuchaca - Huarcoondo					16	Muy Malo															

Luego de obtener el promedio del Índice de Condición del Pavimento - PCI de las 26 muestras, se obtiene un PCI de 19.5 para todo el tramo, que representaría que el estado del pavimento de la vía Izcuchaca – Huarcoondo se encuentra dentro de un rango de calificación “Muy Malo”. Este estado del pavimento se puede interpretar que es a causa por fallas encontradas en un nivel de severidad medio a alto

Tabla 44: Índice de Condición del Pavimento de la vía Izcuchaca Huarcoondo

Índice De Condición De Pavimento De La Vía Izcuchaca - Huarcoondo			
Carril Derecho		Carril Izquierdo	
PCI	23	PCI	16
<b>PCI prom</b>		<b>19.5</b>	

Tabla 45: Calificación del estado de Pavimento

Rango del PCI	Color	Estado
86 - 100	Verde	Excelente
71 - 85	Pink	Muy Bueno
56 - 70	Azul	Bueno
41 - 55	Amarillo	Regular
26 - 40	Verde oscuro	Malo
11 - 25	Naranja	Muy Malo
0 - 10	Rojo	Fallado

PCI = 19.5  
Estado : Muy Malo

**4.2 Resumen de resultados de la determinación de fallas presentes en el pavimento de la vía Izcuchaca – Huarcoondo**

Tabla 46:  
Cantidad de fallas encontradas en el carril derecho

Área Del Carril Derecho De La Vía	8190		100%
Fallas	Und	Cantidad	%
Piel de cocodrilo	m2	2136.50	26.09
Fisura en bloque	m2	2887.01	35.25
Abultamientos y hundimientos	ml	115.18	1.41
Depresión	m2	389.72	4.76
Fisura de borde	ml	404.17	4.93
Desnivel carril-berma	ml	358.70	4.38
Fisuras Longitudinales y Transversales	ml	1725.04	21.06
Parches y Parches de cortes utilitarios	m2	75.90	0.93
Baches	#	1.00	0.01
Ahuellamiento	m2	69.84	0.85
Desplazamiento	m2	0.98	0.01
Hinchamiento	m2	14.18	0.17
Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados	m2	3.51	0.04
<b>Total De Fallas</b>		<b>8181.72</b>	<b>99.90</b>

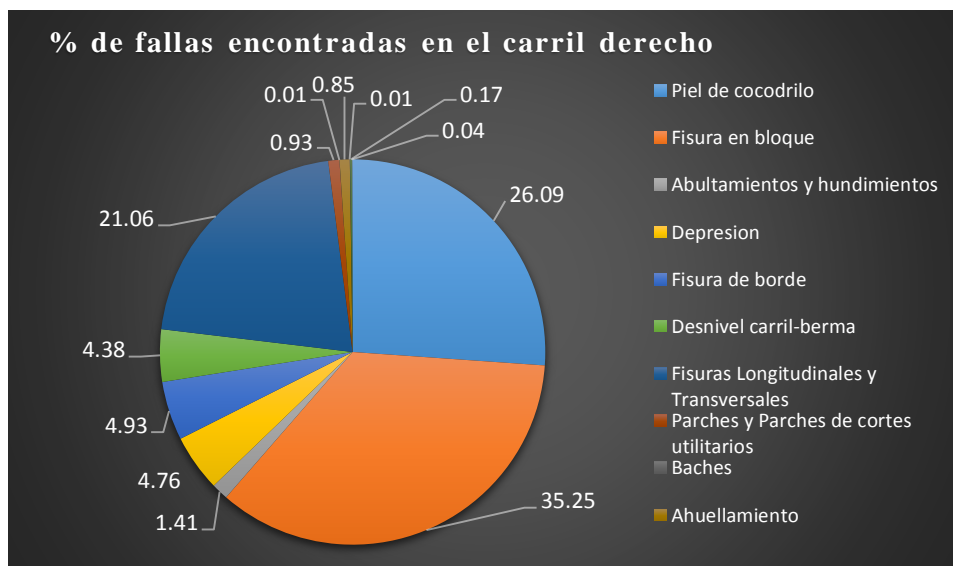


Figura 28 : % De fallas encontradas en el carril derecho  
Fuente: Propia

Según la tabla 46, en el carril derecho, el total de fallas encontradas fue del 99.90% del área en estudio de este carril, en el cual, según la figura 28 las fallas más recurrentes son piel de cocodrilo con 26.09%, fisuras longitudinales y transversales con 21.06 % y fisura en bloque con 35.25%, siendo esta última falla la más predominante en el carril derecho.

Tabla 47  
Cantidad de fallas encontradas en el carril izquierdo

Área del carril izquierdo de la vía	8190		100%
Fallas	Und	Cantidad	%
Piel de cocodrilo	m2	2859.27	34.91
Fisura en bloque	m2	2979.28	36.38
Abultamientos y hundimientos	ml	4.20	0.05
Depresión	m2	146.49	1.79
Fisura de borde	ml	470.44	5.74
Desnivel carril-berma	ml	193.00	2.36
Fisuras Longitudinales y Transversales	ml	1086.20	13.26
Parches y Parches de cortes utilitarios	m2	167.33	2.04
Baches	#	3.00	0.04
Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados	m2	45.03	0.55
<b>Total de fallas</b>		<b>7954.25</b>	<b>97.12</b>

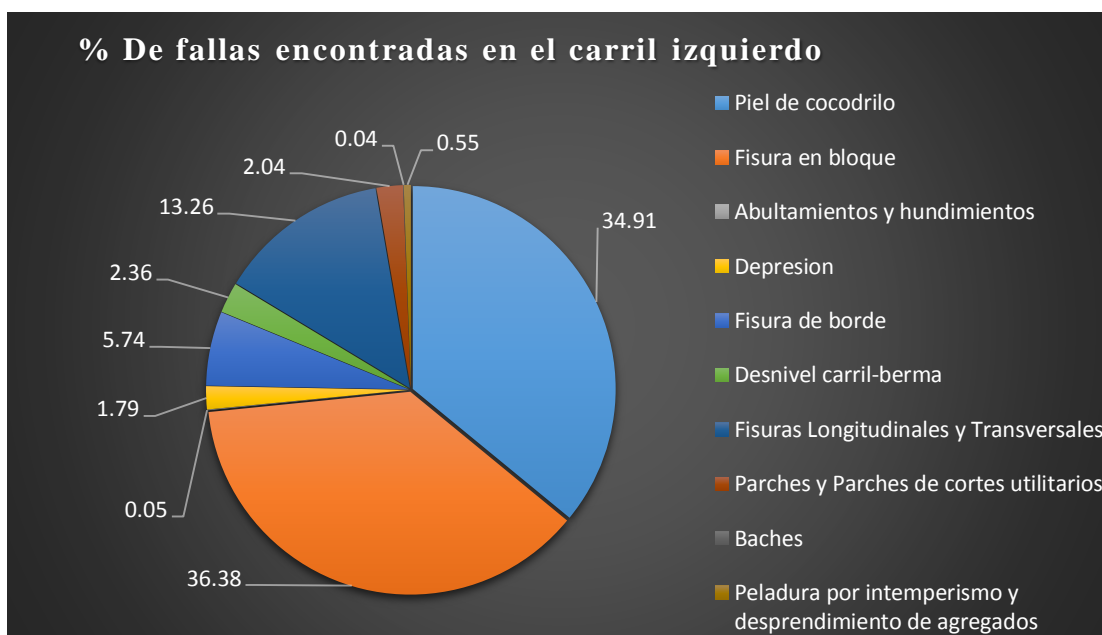


Figura 29: % De fallas encontradas en el carril izquierdo  
Fuente: Propia

Según la tabla 47 en el carril izquierdo, el total de fallas encontradas fue del 97.12% del área en estudio de este carril, en el cual, según la figura 29 las fallas más recurrentes son piel de cocodrilo con 34.91%, fisuras longitudinales y transversales con 13.26 % y fisura en bloque con 36.38%, siendo esta última falla la más predominante en el carril izquierdo.



Tabla 48  
Cantidad de fallas encontradas en la vía

Área de la vía	16380		100%
Fallas	Und	Cantidad	%
Piel de cocodrilo	m2	4995.77	30.50
Fisura en bloque	ml	5866.29	35.81
Abultamientos y hundimientos	ml	119.38	0.73
Depresión	m2	536.21	3.27
Fisura de borde	ml	874.61	5.34
Desnivel carril-berma	ml	551.70	3.37
Fisuras Longitudinales y Transversales	ml	2811.24	17.16
Parches y Parches de cortes utilitarios	m2	243.23	1.48
Baches	#	4.00	0.02
Ahuellamiento	m2	69.84	0.43
Desplazamiento	m2	0.98	0.01
Hinchamiento	m2	14.18	0.09
Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados	m2	48.54	0.30
<b>Total de fallas</b>		<b>16135.96</b>	<b>98.51</b>

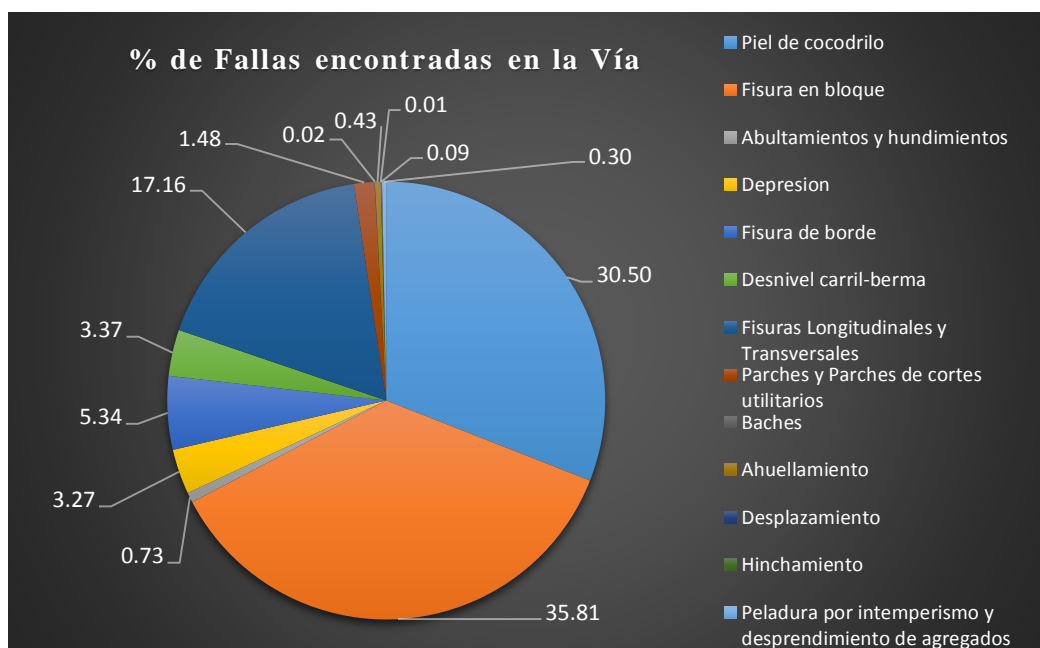


Figura 30: % de fallas encontradas en la vía  
Fuente: propia

Según la tabla 48, el total de fallas encontradas en la vía fue del 98.51%, en el cual, según la figura 30 las fallas más recurrentes son piel de cocodrilo con 30.50%, fisuras longitudinales y transversales con 17.16 % y fisura en bloque con 35.81%, siendo esta última falla la más predominante en la vía.

### 4.3 Resultados del tipo de falla predominante en la variación del resultado del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Tabla 49:

*Resumen del tipo de falla con mayor valor deducido*

Resumen Del Tipo De Falla Con Mayor Valor Deducido En Cada Unidad De Muestreo				
Carril	Und. De Muestreo	Tipo De Falla	Severidad	Valor Deducido
Derecho	U1	Piel De Cocodrilo	Media	50
Derecho	U2	Fisura En Bloque	Alta	53
Derecho	U3	Piel De Cocodrilo	Baja	49
Derecho	U4	Piel De Cocodrilo	Media	64
Derecho	U5	Piel De Cocodrilo	Media	52
Derecho	U6	Piel De Cocodrilo	Media	35
Derecho	U7	Piel De Cocodrilo	Media	57
Derecho	U8	Piel De Cocodrilo	Media	64
Derecho	U9	Piel De Cocodrilo	Media	60
Derecho	U10	Piel De Cocodrilo	Media	45
Derecho	U11	Piel De Cocodrilo	Media	60
Derecho	U12	Piel De Cocodrilo	Alta	40
Derecho	U13	Piel De Cocodrilo	Alta	77
Izquierdo	U1	Piel De Cocodrilo	Media	59
Izquierdo	U2	Piel De Cocodrilo	Alta	68
Izquierdo	U3	Piel De Cocodrilo	Media	63
Izquierdo	U4	Piel De Cocodrilo	Media	56
Izquierdo	U5	Piel De Cocodrilo	Media	50
Izquierdo	U6	Piel De Cocodrilo	Alta	77
Izquierdo	U7	Piel De Cocodrilo	Alta	71
Izquierdo	U8	Piel De Cocodrilo	Media	50
Izquierdo	U9	Piel De Cocodrilo	Media	46
Izquierdo	U10	Piel De Cocodrilo	Alta	68
Izquierdo	U11	Fisura En Bloque	Alta	59
Izquierdo	U12	Piel De Cocodrilo	Alta	76
Izquierdo	U13	Piel De Cocodrilo	Alta	64

En la tabla 49 se presenta la falla más representativa por cada unidad de muestra, de esta tabla se deduce que la falla que más daño causa al pavimento es la de piel de cocodrilo debido a que es la que tiene mayor valor deducido, por lo tanto la que más deterioro causa en el pavimento.

#### 4.4 Resultados de la determinación del Índice De rugosidad Internacional e Índice de Serviciabilidad del pavimento

##### 4.4.1 Resumen de resultados Carril Derecho

Tabla 50:

Resumen de resultados del IRI y PSI del carril derecho

Carril Derecho				
N°	Progresiva		IRI (m/km)	PSI
	Desde	Hasta		
1	00+00	0+400	4.55	2.19
2	0+400	0+800	4.88	2.06
3	0+800	1+200	2.66	3.08
4	1+200	1+600	2.52	3.16
5	1+600	2+000	2.68	3.07
6	2+000	2+400	3.02	2.89
7	2+400	2+800	2.81	3.00
8	2+800	3+200	2.73	3.04
9	3+200	3+600	3.54	2.63
10	3+600	4+000	4.21	2.33
11	4+000	4+400	4.12	2.36
12	4+400	4+800	4.95	2.03
13	4+800	5+200	4.20	2.33
14	5+200	5+600	4.24	2.31
15	5+600	6+000	3.74	2.53
16	6+000	6+400	3.19	2.80
17	6+400	6+800	3.37	2.71
18	6+800	7+200	5.26	1.92
19	7+200	7+600	2.83	2.99
20	7+600	8+000	3.55	2.62
21	8+000	8+400	3.43	2.68
22	8+400	8+800	2.90	2.95
23	8+800	9+200	3.06	2.87
24	9+200	9+600	4.17	2.34
25	9+600	10+000	2.99	2.90
<b>Promedio del IRI</b>			<b>3.58</b>	<b>2.63</b>
<b>Cálculo del IRI Característico Carril Derecho</b>				
<b>IRI<sub>p</sub> = 3.58</b>			<b>σ = 0.80</b>	
<b>IRI c =</b>			<b>4.90 m/km</b>	

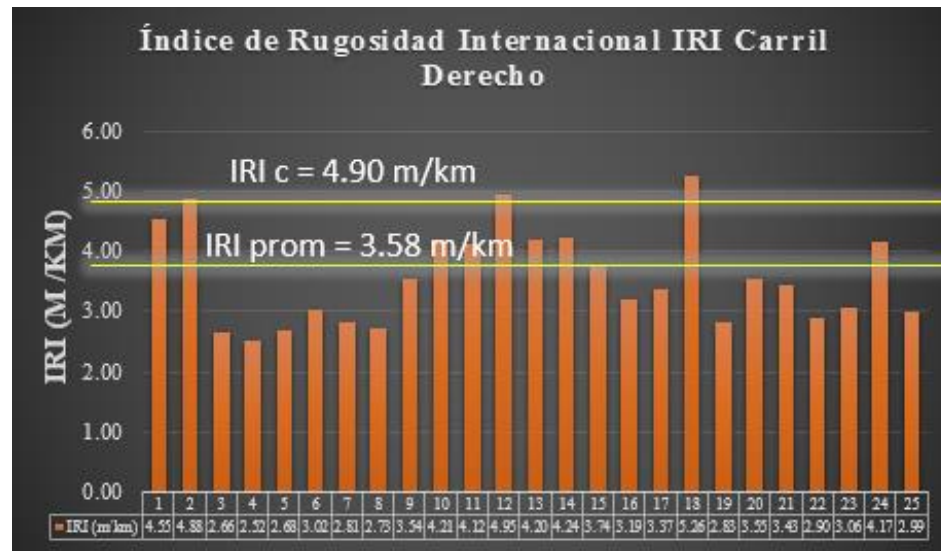


Figura 31: IRI característico e IRI promedio del carril derecho.

Fuente: Propia



4.4.2 Resumen de resultados Carril Izquierdo

Tabla 50:

Resumen de resultados del IRI y PSI del carril izquierdo.

Carril Izquierdo				
N°	Progresiva		IRI (m/km)	PSI
	Desde	Hasta		
1	00+000	00+400	2.39	3.24
2	00+400	00+800	4.31	2.28
3	00+800	1+200	3.01	2.89
4	1+200	1+600	2.61	3.11
5	1+600	2+000	2.08	3.43
6	2+000	2+400	2.09	3.42
7	2+400	2+800	2.34	3.27
8	2+800	3+200	2.15	3.38
9	3+200	3+600	2.75	3.03
10	3+600	4+000	2.39	3.24
11	4+000	4+400	3.41	2.69
12	4+400	4+800	3.73	2.54
13	4+800	5+200	4.40	2.25
14	5+200	5+600	3.09	2.85
15	5+600	6+000	4.90	2.05
16	6+000	6+400	4.73	2.12
17	6+400	6+800	3.06	2.87
18	6+800	7+200	3.27	2.76
19	7+200	7+600	1.85	3.57
20	7+600	8+000	3.71	2.55
21	8+000	8+400	1.86	3.56
22	8+400	8+800	2.21	3.35
23	8+800	9+200	3.29	2.75
24	9+200	9+600	3.32	2.73
25	9+600	10+000	2.71	3.06
Promedio del IRI			3.03	2.92
Cálculo del IRI Característico Carril Izquierdo				
IRI <sub>p</sub> = 3.03		σ = 0.89		
IRI <sub>c</sub> =		4.48 m/km		

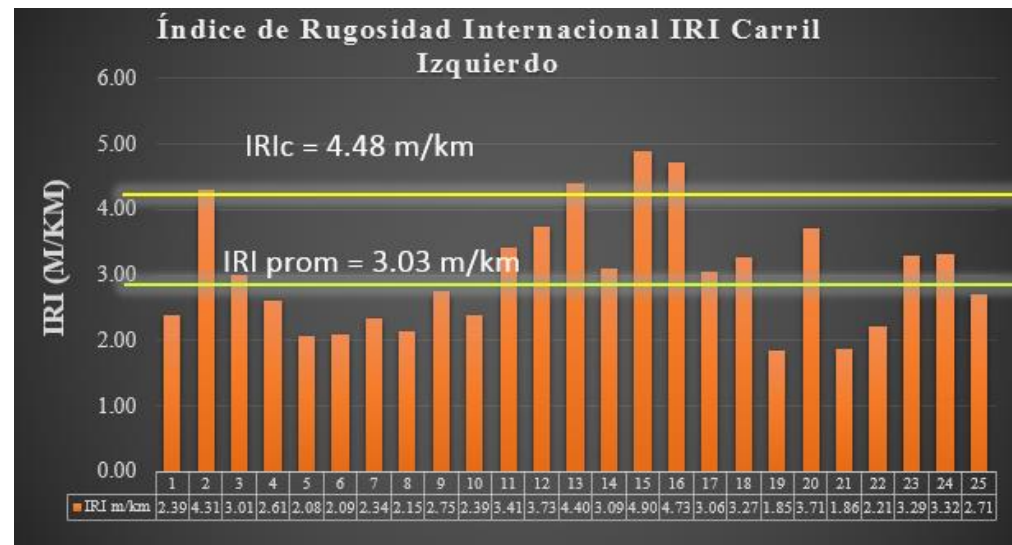


Figura 32: IRI característico e IRI promedio del carril izquierdo.

Fuente: Propia

Para el carril derecho, como se muestra en la figura 31, se obtuvo un IRI característico de 4.90 m/km que representa que el Pavimento está en un Rango de Calificación “Malo”.

Tabla 51:  
*IRI característico del carril derecho*

Pavimentadas	
Estado	Rugosidad
Bueno	$0 < IRI \leq 2.8$
Regular	$2.8 < IRI \leq 4.0$
Malo	$4.0 < IRI \leq 5.0$
Muy malo	$5 < IRI$

IRI<sub>c</sub> = 4.90 m/km  
Estado → Malo

Así mismo, se realizó la determinación analítica del PSI utilizando la ecuación establecida por Sayers:

$$PSI = \frac{5.0}{\exp\left(\frac{IRI}{5.5}\right)}$$

Ecuación N°18: Relación PSI e IRI

Utilizando la ecuación N° 18, en la tabla 50 se muestra el resultado del cálculo del PSI para los 25 ensayos realizados en el carril derecho, del cual se obtuvo como resultado un PSI promedio de 2.63 que representa que el Pavimento está en un Rango calificación “Regular”.

Tabla 52:  
*PSI carril derecho*

Indice de Serviciabilidad (PSI)	Calificación
5 - 4	Muy buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

PSI<sub>prom</sub> = 2.63  
Calificación → Regular

Fuente: (AASHTO, 1993)

Para el carril izquierdo, como se muestra en la figura 32, se obtuvo un IRI característico de 4.48 m/km que representa que el Pavimento está en un Rango de Calificación “Malo”.

Tabla 53:  
*IRI característico del carril izquierdo*

Pavimentadas	
Estado	Rugosidad
Bueno	$0 < \text{IRI} \leq 2.8$
Regular	$2.8 < \text{IRI} \leq 4.0$
Malo	$4.0 < \text{IRI} \leq 5.0$
Muy malo	$5 < \text{IRI}$

IRI = 4.48 m/km  
Estado → Malo

Utilizando la ecuación N° 18, en la tabla 51 se muestra el resultado del cálculo del PSI para los siguientes 25 ensayos realizados en el carril izquierdo, del cual se obtuvo como resultado un PSI promedio de 2.93 que representa que el Pavimento está en un Rango calificación “Regular”.

Tabla 54:  
*PSI carril izquierdo*

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

PSI= 2.92  
Calificación → Regular

Fuente: (AASHTO, 1993)



## Capítulo V. Discusión

### **Discusión N° 1: ¿Qué resultado de índice de condición del pavimento nos da por cada carril?**

De acuerdo a los resultados, se observa que el valor del PCI en el carril derecho es 23, y el valor del PCI en el carril izquierdo es 16, este último valor se debe a que la cantidad de unidades de muestra con calificación de “fallado” en el carril izquierdo son más en comparación al carril derecho. De acuerdo a la tabla 40, el carril derecho tuvo 1 unidad de muestra con calificación “fallado” y el carril izquierdo tuvo 4 unidades de muestra con calificación “fallado”

### **Discusión N° 2: ¿Son las fallas estructurales las que predominan e influyen en el estado del pavimento?**

Sí, las fallas estructurales encontradas (piel de cocodrilo, fisura en bloque y fisura longitudinal y transversal) son las que sumadas tienen mayor porcentaje y las que mayor área de afectación tienen el tramo de estudio. Por ejemplo fisura en bloque tiene 35.81%, seguido por piel de cocodrilo con 30.50% y fisura longitudinal y transversal con 17.16%.

### **Discusión N° 3: ¿Qué interpretación tiene el nivel del valor deducido?**

A mayor valor deducido, mayor es el daño que la falla produce al pavimento, pues este valor indica en qué grado afecta la falla a la condición de pavimento, por el contrario, un valor deducido menor o de 0, quiere decir que el tamaño de la falla dentro de la unidad de muestra es muy pequeña o despreciable como para ejercer un daño significativo al área de estudio.

### **Discusión N° 4: ¿Por qué nos da resultados de IRIC mayores que 4?**

Considerando que el tipo de vía en estudio corresponde a un pavimento viejo y que las fallas inspeccionadas con el método PCI se evidencia que la vía presenta imperfecciones superficiales por el tiempo de servicio, lo que genera irregularidades notables en el pavimento, en consecuencia hace que nos den resultados IRIC mayores que 4

### **Discusión N° 5: ¿Cómo se presenta el PSI en el tramo de estudio?**

Como un aporte adicional de la tesis se evalúa el PSI por sus siglas en inglés (Present Serviceability Index) de un pavimento, el cual establece la condición funcional o capacidad de servicio actual del pavimento; es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo. La escala de valores del



PSI varia de 0 a 5 correspondiendo la condición óptima al máximo valor. Los valores hallados de este índice son: para el carril derecho se obtuvo un PSI promedio de 2.63 y para el carril izquierdo un PSI promedio de 2.92

#### **Discusión N° 6: ¿Qué relación existe entre los valores del IRI y del PSI?**

Existe una relación inversamente proporcional, ya que a medida de que la rugosidad aumenta, la serviciabilidad disminuye; y si la rugosidad disminuye, la serviciabilidad aumenta. Esto se puede evidenciar en los resultados mostrados a continuación.

En el carril derecho el IRIc es alto, con un valor de 4.90 m/km, por lo que el PSI disminuyó en esa zona con un valor de 2.63, que a diferencia del carril izquierdo el IRIc es bajo, con un valor de 4.48 m/km, por lo que el PSI aumenta a un valor de 2.92.

A pesar de que los valores del IRI son diferentes en cada carril, el pavimento se encuentra en un rango de calificación MALO para ambos, en cambio el PSI en ambos carriles, el pavimento se encuentra en el rango de calificación REGULAR.

#### **Discusión N° 7: ¿Cuál es el tipo de intervención que se puede dar al pavimento estudiado?**

Basado en la tabla N°1 de los rangos mostrados del PCI se tiene que tipo de intervención necesita la vía, en nuestro caso para un PCI de 19.5 el tipo de intervención necesario vendría a ser RECONSTRUCCIÓN

#### **Discusión N° 8: ¿Por qué se determinó el IRI?**

El IRI permite especificar rangos o niveles de tolerancia para la aceptación de tramos nuevos de autopistas y carreteras, sirviendo como un parámetro de control de calidad superficial. Para carreteras ya en servicio, el IRI es una herramienta para monitorear (evaluación anual) el comportamiento del camino a través del tiempo y permite fijar umbrales de alerta para proceder a un estudio de los daños o realizar las labores de mantenimiento de acuerdo a la importancia del camino. Es por ello que se determinó el índice de rugosidad internacional IRI pues las carreteras requieren de una adecuada gestión para obtener el máximo beneficio de los recursos humanos y materiales invertidos. Si no se cuenta con una metodología que determine las necesidades, no existen las bases adecuadas para establecer un presupuesto requerido para mantener la red en el nivel deseado de servicio.





## Glosario

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials

**APWA:** American Public Work Association

**BITUMINOSO:** sustancia de color negro, sólidas o viscosas, dúctiles que se ablandan por el calor y comprenden aquellos cuyo origen son los crudos petrolíferos.

**IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA:** Consiste en la incorporación de asfalto a la superficie de una Base, a fin de prepararla para recibir una capa de pavimento asfáltico.

**LIGANTE:** Partículas un compuesto adhesivo que ligan y mantienen unidos dos elementos.

**LIGA POBRE:** Poca adherencia entre la capa superficial y la capa subyacente de la estructura del pavimento

**MACADAN:** Material de construcción que está constituido por un conjunto de áridos, de granulometría discontinua, obtenido extendiendo y compactando un árido grueso cuyos huecos se rellenarán con un árido fino denominado recebo.

**MICROPAVIMENTO:** Es una mezcla de emulsión asfáltica, árido fino, polímeros y agua, que se constituye como una nueva superficie de rodadura.

**PUNZONAMIENTOS:** es un esfuerzo producido por tracciones en una pieza debidas a los esfuerzos tangenciales originados por una carga localizada en una superficie pequeña de un elemento bidireccional.

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

**RIEGO DE LIGA:** Aplicación delgada y uniforme de material asfáltico sobre una superficie existente de asfalto o de concreto hidráulico, con la finalidad de asegurar la adherencia entre la capa de rodadura existente y la de cobertura.

**RUGOSIDAD:** Es el valor que cuantifica el grado de irregularidad longitudinal del pavimento y que influye en los costos de operación y mantenimiento vehicular.

**VALOR DEDUCIDO:** Es aquel valor numérico que se asigna a cada falla del pavimento de acuerdo a su severidad.



## Conclusiones

### Conclusión General:

Se verifica parcialmente la hipótesis general de la investigación: **“El estado actual del pavimento mediante la medición del índice de condición de pavimento (PCI) y el índice de rugosidad internacional (IRI) determinan que la vía Izcuchaca - Huarrocondo no está en condiciones óptimas y necesitan mantenimiento”**.

Según nuestros resultados, se obtuvo que el Índice de Condición del Pavimento (PCI) está dentro de un rango de calificación “Muy Malo” y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) demuestra que el pavimento está dentro un rango de calificación “Malo”; esto significa que el pavimento de la vía Izcuchaca – Huarrocondo no se encuentra en condiciones óptimas. Del mismo modo, según el rango de calificación del PCI de la tabla N° 1, no se ratificó que el tipo de intervención necesario para esta vía sea mantenimiento, por el contrario se necesita una intervención del tipo Reconstrucción.

### Conclusión N° 01:

No se verifica la Sub hipótesis N° 01: **“El índice de condición de pavimento (PCI) de la vía Izcuchaca – Huarrocondo está dentro del rango 40 – 55 de calificación regular”**.

Según los resultados en la Vía Izcuchaca - Huarrocondo, se obtuvo un Índice de Condición del Pavimento - PCI promedio de 19.5 que demuestran que el pavimento de la vía en estudio, según la Escala PCI establecida por la ASTM D6433-07, está dentro de un rango de 25-40 y su calificación del estado del pavimento es “Muy Malo”, lo que significa que el pavimento no es está en óptimas condiciones.

### Conclusión N° 02:

No se verifica la Sub hipótesis N° 02: **“El índice de rugosidad internacional (IRI) de la vía Izcuchaca – Huarrocondo está dentro del rango 4.0 – 4.6 de calificación regular”**.

Se obtuvo un Índice de Rugosidad Internacional - IRI promedio de 4.90 (m/km) en el Carril Derecho de la Vía y un IRI promedio de 4.48 (m/km) en el Carril Izquierdo de la Vía, que demuestran que el pavimento del tramo en estudio es “Malo” según los rangos de rugosidad para una vía pavimentada establecida por el MTC en la tabla N° 23, así mismo en la figura 9 según la Escala de IRI establecida por el Banco Mundial, se observa que los resultados están dentro del rango de un pavimento que presenta algunas imperfecciones en la superficie y se clasifica como un pavimento viejo que no es adecuado para su transitabilidad

**Conclusión N° 03:**

Si se verifica la Sub hipótesis N° 03: **“El tipo de falla predominante en la vía Izcuchaca – Huarcoondo es la falla estructural”**.

Se encontró que las fallas que predominan en la vía Izcuchaca - Huarcoondo según la tabla N°49 son Piel de cocodrilo abarcando un 30.50%, fisura en bloque un 35.81% y fisuras longitudinales y transversales en un 17.16% del área de afectación de la vía en estudio, estas fallas corresponden a la clasificación de tipo falla estructural, por lo tanto esta falla es la predominante en la vía Izcuchaca – Huarcoondo; estas fallas se originan comúnmente por el uso de ligantes (asfalto) muy duros.

**Conclusión N° 04:**

Si se verifica la Sub hipótesis N° 04: **“El tipo de falla predominante en la variación del resultado del índice de condición de pavimento (PCI) en la vía Izcuchaca – Huarcoondo es la falla estructural”**.

En la tabla N° 49 se observa para cada unidad de muestreo el tipo de falla que tiene mayor valor deducido, por lo tanto, la que más deterioro causa en el pavimento; siendo estas fallas piel de cocodrilo y fisura en bloque correspondientes al tipo de falla estructural, se concluye que la falla estructural es la predominante en la variación del resultado del Índice de Condición del Pavimento en la vía en Izcuchaca - Huarcoondo

**Conclusión N° 05:**

Si se verifica la Sub hipótesis N° 05: **“La regularidad superficial de ambos carriles en la vía Izcuchaca – Huarcoondo son diferentes”**.

Debido a que el IRI del carril derecho es de 4.90 m/km y el IRI de carril izquierdo es de 4.48 m/km, existe una diferencia de 0.42 m/km lo que significa que el IRI de ambos carriles son diferentes y que el carril derecho presenta más irregularidades en comparación con el carril izquierdo.



## Recomendaciones

### Recomendación N°1:

La evaluación realizada al pavimento de la vía fue de manera parcial ya que el estudio se enfocó únicamente en la carpeta de rodadura, es por ello que se recomienda realizar otros estudios de evaluación estructural dirigido a las demás capas que conforman el pavimento, de manera que se pueda obtener resultados integrales y poder proponer una intervención objetiva para todo el paquete estructural.

### Recomendación N°2:

A partir de los resultados obtenidos del Índice de condición de Pavimento (PCI) de las unidades de muestra: en el carril derecho en la U13, en el carril izquierdo en la U2, U3, U7, U12, tienen una condición de FALLADO y del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el carril derecho 4.9 m/km, en el carril izquierdo 4.48m/km, ambos tienen una condición de MALO; se recomienda la reconstrucción de la superficie del pavimento asfáltico para la maximización de su vida útil y serviciabilidad.

### Recomendación N°3:

Para mejorar las condiciones de la vía e incrementar el PCI, para el carril derecho en los km: 2+000 al 5+000 y del 7+000 al 8+000, para el carril izquierdo en los km 2+500 al 3+000 y de 6+000 a 6+500 se recomienda la rehabilitación rutinaria inmediata por lo que necesario aplicar las técnicas de reparación tales como bacheo para baches profundos y depresiones, sellado de fisuras, reposición de parches deteriorados; al tratarse de fallas con severidad Alta. Así mismo, para el carril derecho en los km: 0+000 a 2+000, de 5+000 a 7+000 y de 8+000 a 10+000 y para el carril izquierdo en los km: 0+000 al 2+500, del 3+000 al 6+000 y de 6+500 al 10+000 se recomienda reconstrucción.

### Recomendación N°4:

Los resultados obtenidos del IRI y PSI reflejan una baja calidad de servicio, seguridad y confort, prestada a los usuarios, por lo que se recomienda un tratamiento superficial como alternativa de solución el uso de Micropavimento basándose en las guías generales para aplicación de Micropavimentos ISSA A 143. Se opta por esta alternativa ya que el Micropavimento se puede aplicar en capas, con lo cual se corrigen defectos de la superficie, y daños como: baches, hundimientos, desniveles, etc., así mismo este tratamiento ofrece una alternativa económica que utiliza aditivos, químicos y polímeros eficientes para crear una



capa de rodadura delgada de alto rendimiento pero duradera. El rehabilitado de pavimentos con MicroPavimento es una solución rápida, limpia y efectiva en costo.

**Recomendación N°5:**

Se recomienda el uso de geotextiles para la impermeabilización y de geomallas para el refuerzo de la carpeta asfáltica, este último permite distribuir correctamente la carga que transmiten los vehículos.

**Recomendación N°6:**

Se recomienda el uso de los métodos PCI e IRI para el control de calidad de la superficie del pavimento, ya que son métodos ampliamente aceptados y formalmente adoptados como procedimientos estandarizados para monitorear el comportamiento de la vía, así mismo los resultados obtenidos gracias a estos métodos deberían ser tomados como una herramienta indispensable para la toma de decisiones en el mediano y corto plazo y así proyectar estudios de inversión pública,

**Recomendación N°7:**

Se recomienda el uso del Rugosímetro de Merlín como equipo de medición de la regularidad de la vía, ya que es versátil, económico y sencillo de usar. Éste debe estar correctamente calibrado para obtener datos más precisos y resultados más exactos.



## Referencias

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures 1993*.
- Armijos, C. (2009). *Evaluación Superficial de algunas calles de la Ciudad de Loja*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Arriaga, M., Garnica, P., & Rico, A. (1996). *Índice Internacional de Rugosidad en la Red Carretera de Mexico*. Sanfandila.
- ASTM, A. S. (2003). *Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos - ASTM d6433*. Estados Unidos.
- Badilla, G. (2009). *Determinación de la regularidad superficial de pavimentos mediante el cálculo del índice regularidad internacional (IRI): Aspecto y consideraciones importantes*. Costa Rica.
- Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica. (2002). *Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles*.
- Corros, M., Urbaéz, E., & Corredor, G. (2009). *Evaluación de Pavimentos*. Caracas.
- Cote, G., & Villalba, L. (2017). *Índice de Condición del Pavimento Rígido en la Ciudad de Cartagena de indias y medidas de conservación. Caso de estudio: Carrera 1ra del barrio Bocagrande*. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- del Águila, 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*. Sevilla.
- Del Águila, P. (1999). *Metodología para la determinación de la Rugosidad de los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión*. Sevilla.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGraw-Hill.
- Iberoamerica, C. d. (2002). *Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles (Vol. 11)*.
- Jaime, S. (2016). *Estudio del Índice de rugosidad internacional de la Panamericana Norte - Zona Trujillo, para su mantenimiento*. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego.



- Montañez, E. (2016). *Evaluación superficial, funcional y estructural de la repavimentación de la Avenida de la Cultura, en el tramo comprendido entre la Av. Huáscar y la Av. Camino Real*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Montejo, A. (2006). *Ingeniería de Pavimentos*. Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Montoya, J. (2013). *Análisis del IRI para un proyecto de Carretera Sinuosa Concesionada en el Perú*. Lima.
- MTC. (2013). *Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos*. Lima.
- MTC, P. N. (2009). *Elaboración del estudio de mantenimiento periódico de la carretera Pontón Quebrada Seca - Puente Santa, Ruta 1N (Vol. I)*. Provías.
- Onofre, J., Sánchez, J., & Santiago, W. (2008). *Determinación del Índice de Rugosidad Internacional de Pavimento usando el Perfilómetro Romdas Z-250*. San Salvador: Universidad de El Salvador.
- Rodríguez, E. (2009). *Cálculo del Índice de Condición del Pavimento Flexible en la Av. Luis Montero distrito de Castilla*. Piura: Universidad de Piura.
- Romero, J. (1996). *La respuesta dinámica de un cuarto de carro y el índice internacional de rugosidad*. Querétaro.
- Rondon, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimento: Materiales, Construcciones y Diseño*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Sánchez, I., & de Solminihac, H. (Enero-Junio de 1989). EL IRI: un indicador de regularidad superficial. *Revista de Ingeniería de Construcción*(6).
- Vasquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Manizales.
- Yanarico, Y., & Kalinowski, M. (2018). *Propuesta de un plan de gestión anual basado en la metodología del ministerio de transportes y comunicaciones, para la superficie del pavimento en las avenidas: Jorge Chávez y Costanera -Wanchaq - Cusco*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.