

**CAPITULO I**  
**GENERALIDADES**

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1. Introducción

El pavimento constituye una de las partes más importantes de la ingeniería de carreteras tanto desde el punto de vista técnico, en el proyecto, construcción y conservación, como económico y también desde el punto de vista general de valoración de los usuarios que mayoritariamente califican a la carretera por el estado en el que se encuentra.

La red vial nacional está conformada en su mayoría por pavimentos flexibles y es un componente importante para el desarrollo socio-económico del país, por lo que es necesario hacer un seguimiento a los pavimentos para conocer el estado en el que se encuentran, ya que es importante determinar en qué momento de su vida útil un pavimento necesita intervención, con eso lograríamos una eficiencia en cuanto a funcionalidad y costos ya que muchos de los pavimentos flexibles tienen un deterioro tal que dejan de ser cómodos y seguros.

El efecto económico producto del deterioro de los pavimentos incide en costos de mantenimiento que aumentan con el tiempo y sobrecostos de operación, como son el aumento de los tiempos de recorridos.

En el departamento de Tarija el deterioro de los pavimentos es una constante debido a diversos factores ya sea de diseño o ambientales, tampoco se cuenta con un sistema de gestión de pavimentos, puesto que no se hacen los mantenimientos cuando se lo requiere, esto hace que los recursos se destinen de manera ineficiente.

La evaluación funcional del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente a la comodidad, seguridad y economía del usuario.

Para obtener una proyección a futuro del comportamiento del pavimento y determinar las acciones de mantenimiento y rehabilitación es necesario conocer el estado funcional y

estructural real del pavimento. La importancia de la evaluación del pavimento radica en determinar la severidad de las fallas de manera que se pueda intervenir y tomar las medidas necesarias para prolongar la vida útil de la vía.

Para cuantificar el estado funcional y estructural de un tramo hay muchas metodologías, una más exacta que otra, pero todas con resultados que nos ayudan a determinar las intervenciones más eficientes.

El presente trabajo pretende evaluar el estado funcional a través de su identificación y valoración mediante la metodología de PSI (Índice de serviciabilidad presente), IRI (Índice de regularidad internacional), Péndulo Inglés (Resistencia al deslizamiento), el círculo de arena para una evaluación superficial y posteriormente para una evaluación estructural se empleará el ensayo de la viga Benkelman (Medición de la deflexión del pavimento) con el objetivo principal de determinar de qué manera influirán en el tipo de mantenimiento y rehabilitación que se deberían hacer según el manual de mantenimiento de carreteras de la ABC.

## **1.2. Justificación del proyecto de aplicación**

El deficiente estado del pavimento crea incomodidad en la población ya que hasta la fecha no se intervino en dicho tramo y debido a esto se hará una evaluación del estado funcional y estructural para determinar una alternativa de solución para mejorar las medidas de comodidad y dar seguridad en el trayecto a los vehículos.

Las metodologías a emplear para la evaluación del estado funcional del tramo “Lajas la Merced-Canasmoro” son: PSI (Índice de serviciabilidad presente), IRI (Índice de regularidad internacional), Péndulo Inglés (Resistencia al deslizamiento), junto a la viga Benkelman (Medición de la deflexión del pavimento) para la evaluación estructural, son métodos que nos permitirán evaluar el pavimento del tramo, para la determinación de procedimientos de rehabilitación que brinden recomendaciones prácticas de resoluciones a partir del diagnóstico con observaciones visuales.

Las determinaciones que se establezcan con los resultados de dichas metodologías reducirán costos en comparación a otras intervenciones más rigurosas.

Para el desarrollo de una ciudad, es fundamental el buen funcionamiento de la red vial, porque por medio de ella, se realizan todas las interconexiones sociales, de sus habitantes, se transportan sus productos y demás necesidades requeridas en su cotidianidad.

Para poder mantener en buen estado de las carreteras es necesario evaluarlas, realizarles mantenimientos para conservarlas en buen estado, facilitando su buen servicio y funcionamiento, por ello es necesario llevar a cabo la evaluación del tramo “Lajas la Merced-Canasmoro”, puesto que este tramo comunica a varias regiones que forman parte de la provincia Méndez.

La prioridad de mantener en buen estado de las carreteras, crea la necesidad de aplicar metodologías de evaluación de pavimentos. Estas metodologías serán de apoyo y base en la aplicación de procedimientos de mejoramiento en las redes de comunicación vial entre los diferentes pueblos, regiones o ciudades. El tramo de vía que se evaluará, mostrará el estado actual del pavimento en las zonas de estudio.

### **1.3. Planteamiento del problema**

#### **1.3.1. Situación problemática**

El tramo “Lajas la Merced-Canasmoro”, evidencia un deterioro en casi toda su longitud, presentando fallas en la carpeta de rodadura, por lo que es necesario hacer una evaluación del estado funcional y estructural para luego determinar la mejor alternativa de solución, se puede denotar que tal deterioro se debe por la gran intensidad de tráfico pesado que se genera en el lugar y que además no se realizó un mantenimiento respectivo desde hace ya bastante tiempo prácticamente desde la culminación de su elaboración, por lo que los daños son considerables.

Las actividades de intervención de rehabilitación y mantenimiento de las estructuras de pavimentos flexibles pueden ser de tipo estructural y funcional las cuales representaran beneficios cualitativos una vez que estos permitan realizar desplazamientos de una forma segura y confortable, adicionalmente cuantitativos dado que permitirá evitar los sobrecostos por construcción de una infraestructura nueva en casos innecesarios donde la estructura posea vida residual.

La evaluación de pavimentos está destinada a realizar un diagnóstico actual de la carpeta de rodadura y de las capas base y sub base con el fin de determinar el grado de degradación superficial y estructural que presenta la vía en estudio; para posteriormente dar alternativas de solución ya sea un tratamiento superficial y/o mantenimiento.

No basta con intervenir cuando las vías se vuelven intransitables, es fundamental realizar la evaluación sobre el comportamiento de la vía para saber el momento adecuado del mantenimiento y no tener que llegar a una reparación que acarreen costos elevados.

### **1.3.2. Problema**

¿Cómo influye la evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible del tramo “Lajas la Merced-Canasmoro” en la determinación de soluciones?

## **1.4. Objetivos de proyecto de aplicación**

### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar el estado funcional y estructural del pavimento flexible del tramo “Lajas la Merced-Canasmoro”, para determinar sus posibles fallas o deficiencias y establecer alternativas de solución o mantenimiento que ayude a mejorar las condiciones de seguridad y comodidad del flujo vehicular.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Analizar la base bibliográfica de pavimentos flexibles, sus fallos y deterioros para evaluar su estado.
- Establecer las metodologías adecuadas y su procedimiento para la evaluación funcional del tramo de estudio.
- Aplicar las metodologías de evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible en el tramo a través de los siguientes métodos IRI, PSI, Péndulo Inglés y Viga Benkelman.
- Evaluar los resultados del estado funcional y estructural del tramo en estudio.

- Establecer alternativas de acciones de solución a las condiciones del tramo en lo funcional y estructural.
- Establecer conclusiones y recomendaciones en función a los resultados obtenidos.

## **1.5. Hipótesis**

Si se realiza una evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible del tramo “Lajas la Merced-Canasmoro” permitirá conocer el estado actual de dicho tramo para así poder seleccionar un adecuado plan de rehabilitación o mantenimiento de la carretera.

## **1.6. Identificación de las variables**

### **1.6.1. Variable independiente**

Método del PSI

Método del IRI

Método del Péndulo Ingles

Método de la viga Benkelman

### **1.6.2. Variable dependiente**

Condición superficial y estructural del pavimento flexible

## **1.7. Alcance**

El alcance de la presente tesis es el de conocer el estado actual del pavimento flexible del tramo “Lajas la Merced-Canasmoro”, para lo cual realizaremos una evaluación del estado funcional y una evaluación estructural para conocer los daños de la estructura.

Primero se realizará un recorrido general de todo el tramo que es de 5820 m de largo y 7,50 m de ancho para inspeccionarlo y poder conocer los tramos donde el pavimento este más dañado para así determinar la severidad y cantidad de fallas que presente.

Para su evaluación funcional se procederá a realizar una encuesta a los usuarios de dicho tramo para saber las condiciones en que se encuentra este pavimento.

Para la evaluación estructural se utilizará el método de la viga Benkelman basada en las normas ASTM D-4695 y AASHTO T 256-01 que se caracterizan por medir las deflexiones que se presentan en el pavimento debido a diferentes factores como ser cargas vehiculares.

Para emplear dicho método necesitaremos armar el equipo en medio del par de ruedas del eje trasero de una volqueta con un peso en su eje trasero de 8.2 tn, luego anotaremos las lecturas de dial a 25 cm, 50 cm, 1 m, 1.5 m, 2 m, y 7 m. Se repetirá el mismo procedimiento en todo el tramo cada 200 m.

**CAPITULO II**

**EVALUACIÓN FUNCIONAL Y**

**ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

**FLEXIBLE**



## **CAPITULO II**

### **EVALUACIÓN FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**

#### **2.1. Definición de pavimento**

El pavimento es una estructura constituida por capas superpuestas una sobre otras relativamente horizontales. Estas estructuras son diseñadas y ejecutadas para resistir todos los esfuerzos provocados por el tránsito vehicular durante su periodo de servicio (Rico, 2005, p. 11).

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

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

Según (Rodríguez, 2009), Las diferentes capas de material seleccionado que conforman el paquete estructural, reciben directamente las cargas de tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada. Es por ello que todo pavimento deberá presentar la resistencia adecuada para soportar los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua, así como abrasiones y punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos o la compresión de elementos que se apoyan sobre él.

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

que otorga al usuario, como de la capacidad de resistir las sollicitaciones de cargas durante un periodo de su vida útil, es el paso fundamental para asignar las acciones de conservación más adecuadas que deben ser aplicadas en el pavimento a evaluar.

El diagnóstico de las condiciones del pavimento comprende básicamente una evaluación del estado funcional del pavimento y una evaluación de las condiciones estructurales de este. (Orozco, 2004)

### 2.1.1. Pavimento flexible

Un pavimento comprende un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales que se diseñan y construyen directamente con materiales apropiados y debidamente compactados. Esta estructura estratificada se asienta sobre la subrasante (terreno natural o mejorado), mismo que ha de resistir los esfuerzos dinámicos de los vehículos que transitan durante el periodo para el cual fue diseñada. La figura N° 1 representa una sección transversal de una vía en donde se aprecia la estructura del pavimento flexible. (Espinoza, 2018)

Figura N° 1: Sección transversal de una vía



Fuente: (AASHTO, 1993)

El objetivo del diseño de un pavimento flexible es evitar la flexión excesiva de cualquier capa, si no se logra, se producirá un sobre esfuerzo de una capa, lo que finalmente hará que el pavimento falle.

En pavimentos flexibles, el patrón de distribución de carga cambia de una capa a otra, porque la resistencia de cada capa es diferente.

El material más fuerte (menos flexible) está en la capa superior y el material más débil (el más flexible) está en la capa más baja. La razón de esto es que en la superficie la carga de la rueda se aplica a un área pequeña, el resultado es altos niveles de tensión, más profundo en el pavimento, la carga de la rueda se aplica a un área más grande, el resultado es niveles de estrés más bajos que permiten el uso de materiales más débiles (Thom, 2011, p. 24).

#### **2.1.1.1. Subrasante**

La subrasante es la capa de terreno que soporta el paquete estructural y que se extiende hasta una profundidad en la cual no influyen las cargas de tránsito.

Esta capa puede estar formada en corte o relleno, dependiendo de las características del suelo encontrado. Una vez compactada, debe tener las propiedades, secciones transversales y pendientes especificadas de la vía.

El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de estabilidad, incompresibilidad y resistencia a la expansión y contracción por efectos de la humedad. (Rodríguez, 2009, pág. 8)

#### **2.1.1.2. Capa sub base**

La sub base se localiza en la parte inferior de la base, por encima de la subrasante. Es la capa de la estructura de pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas en la carpeta asfáltica.

Está conformada por materiales granulares, que le permiten trabajar como una capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, evitando fallas producidas por el hinchamiento del agua, causadas por el congelamiento, cuando se tienen bajas temperaturas. La sub base controla los cambios de volumen y elasticidad del material del terreno de fundación, que serían dañinos para el pavimento. (Rodríguez, 2009, pág. 7)

#### **2.1.1.3. Capa base**

Es la capa de pavimento ubicada debajo de la superficie de rodadura y tiene como función primordial soportar, distribuir y transmitir las cargas a la sub base, que se encuentra en la parte inferior.

La base puede estar constituida principalmente por material granular, como piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; pero también puede estar conformada con cemento Portland, cal o materiales bituminosos, recibiendo el nombre de base estabilizada. Éstas deben tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie y transmitirla hacia los niveles inferiores del paquete estructural. (Rodríguez, 2009)

#### **2.1.1.4. Capa de rodadura**

La capa de rodadura es la capa que se coloca en la parte superior del paquete estructural, sobre la base, y es la que le proporciona la superficie de rodamiento a la vía. Cumple la función de impermeabilizar la superficie evitando el ingreso de agua que podría saturar las capas inferiores. También evita la desintegración de las capas subyacentes y contribuye al resto de capas a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos (cuando se construye con espesores mayores a 2,5 cm).

La carpeta es elaborada con material pétreo seleccionado y un aglomerante que es el asfalto. Es de gran importancia conocer el contenido óptimo de asfalto a emplear, para garantizar que la carpeta resista las cargas a la que será sometida. Un exceso de asfalto en la mezcla puede provocar pérdida de estabilidad, e incluso hacer resbalosa la superficie. Esta capa es la más expuesta al intemperismo y a los efectos abrasivos de los vehículos, por lo que necesita de mantenimientos periódicos para garantizar su adecuada performance. (Rodríguez, 2009, pág. 7)

## **2.2. Definición de desempeño del pavimento**

Se conoce como desempeño a la capacidad funcional y estructural, medible a lo largo de su periodo de diseño. Los usuarios beneficiarios de este servicio son aquellos que asignan un valor subjetivo de acuerdo a su calidad de circulación, aspecto, y seguridad. La capacidad funcional comprende: (UMSS, 2012)

- Capacidad aceptada de rodadura
- Adecuada fricción superficial
- Geometría apropiada para la seguridad vial
- Apariencia (estética).

La capacidad estructural del pavimento involucra soportar las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales.

La funcionalidad y capacidad estructural están intrínsecamente relacionadas, esto corresponde a la manifestación de una disminución de su capacidad funcional, dando señales evidentes de un deterioro estructural en el pavimento, produciendo un incremento en rugosidad, ruido y un riesgo para los vehículos y ocupantes que lo transiten. (Cordo, 2006)

### **2.2.1. Indicadores de comportamiento**

Para poder indicar el comportamiento de un pavimento se tienen características medibles de forma cuantitativas y son correlacionarlas por medidas subjetivas de los usuarios. A las características se las considera como indicadores de comportamiento y son:

- Fallas visibles
- Capacidad estructural
- Fricción superficial
- Rugosidad/Serviciabilidad

### **2.3. Evaluación funcional del pavimento flexible**

La evaluación funcional del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente a la serviciabilidad, seguridad y costos del usuario. Entre este tipo de deficiencias se encuentran: Rugosidad, fallas superficiales y pérdidas de fricción. (Thenoux, Gaete, 2010).

Existen varios métodos normados que nos ayudan a evaluar el estado superficial de los pavimentos, los cuales son relativamente sencillos y se pueden hacer a mano o con la ayuda de una hoja de cálculo o algún software.

Dado que cada clase de falla en la superficie del pavimento indica un tipo diferente de problema, algunos más graves y otros menos, a cada falla se le asigna una severidad para

reflejar su importancia en el estado del pavimento. El inspector también califica la calidad del viaje a la velocidad indicada (Tawalare & Vasudeva, 2016, p. 448).

Una evaluación de un pavimento flexible sirve para elaborar un informe técnico donde se describe verbalmente las características de la condición de la superficie del pavimento; de tal modo que se pueda intervenir de ser necesario. La importancia de la evaluación del pavimento radica en determinar la severidad de las fallas de manera que se pueda intervenir y tomar las medidas necesarias para prolongar la vida útil de la vía. Además, se podrá brindar a los usuarios un servicio óptimo, siendo esta la principal función de un pavimento.

### **2.3.1. Seguridad**

La seguridad significa estar libre de todo daño, amenaza, peligro o riesgo, sin embargo, por las múltiples fallas que tienen los pavimentos hace que se corra el riesgo de sufrir múltiples accidentes de tránsito.

La Asociación de Víctimas de Accidentes de Tránsito (Aviactran) indica en un estudio que en zonas urbanas de Lima se encuentra un promedio de ocho baches por cada kilómetro recorrido.

Pooja y Hariharan (2017) dice: “Además del confort de conducción, el otro requisito de un usuario es la seguridad, especialmente en condiciones húmedas ya que puede existir pérdida de fricción entre el vehículo y el pavimento. Por lo tanto, un pavimento debe proporcionar suficiente fricción superficial y textura para garantizar la seguridad del usuario en todas las condiciones” (p. 41).

### **2.3.2. Comodidad**

La comodidad de tránsito que deben tener los usuarios está relacionada al confort que le debe brindar el pavimento. Para que los usuarios se sientan cómodos, la superficie de rodadura debe de estar en perfectas condiciones.

Kordi & Wahab (2012, p. 90), refiere que “una superficie de conducción suave de baja rugosidad, es esencial para la comodidad de conducción, y con los años se ha convertido

en la medida de cómo los usuarios de la carretera perciben un camino; la aspereza puede surgir de una serie de causas, pero la mayoría de las veces se debe al desgaste del pavimento debido a la deformación estructural”.

### **2.3.3. Velocidad de tránsito**

Los deterioros y deformaciones de la capa de rodadura ocasionada por fallas afectan la calidad de rodaje por ende por motivos de las irregularidades de la superficie de rodadura es necesario reducir la velocidad de tránsito para estar seguros.

Existen algunos métodos sencillos de aplicar utilizados para evaluar el estado funcional de los pavimentos sin la necesidad de utilizar equipos costosos.

La herramienta más importante en la evaluación de pavimentos flexibles es la inspección visual ya que al ser toda la evaluación de forma observable es esencial en todo el proceso. El pavimento se evaluará en dos etapas: la primera será la inspección visual inicial y la segunda la inspección visual detallada las cuales están especificadas más adelante (Gutiérrez, 2006, p. 63).

## **2.4. Fallas superficiales**

Las fallas superficiales son aquellas ubicadas en la carpeta asfáltica, por diversos factores, en algunos casos están relacionados con la estructura del pavimento, sin embargo, algunas soluciones a estas fallas se efectúan regularizando la superficie del pavimento y conferirle la rugosidad e impermeabilidad necesaria (Gutiérrez, 2006).

El autor Gamboa (2009, p. 18) define las fallas superficiales del pavimento como el conjunto de daños que reducen su condición funcional y suelen ser de origen diferente, los más comunes son:

- Incremento de cargas vehiculares
- Diseño deficiente
- Construcción deficiente
- Factores climáticos
- Falta de mantenimientos

De acuerdo a Sánchez (2009) las fallas superficiales se clasifican de la siguiente manera:

- Agrietamientos.
- Deformaciones.
- Desprendimientos.
- Otros tipos de deterioros.

#### **2.4.1. Factores de evaluación**

Los factores de evaluación son debidamente detallados en las fichas de colección de datos en el trabajo de campo, estos datos están basados en la clase, severidad y extensión de las fallas (Vásquez, 2006).

##### **2.4.1.1. Clase**

La clase de la falla está vinculada con la naturaleza del deterioro encontrado en la superficie del pavimento flexible, el PCI evalúa mediante 19 fallas en el pavimento flexible entre las que se tiene grietas de borde, desnivel de carril berma, parches, huecos, piel de cocodrilo, entre otros.

##### **2.4.1.2. Severidad**

La severidad de las fallas revela cual es el nivel de daño o deterioro y su progresión, por lo tanto, mientras la severidad sea más alta, es fundamental tomar las acciones necesarias para corregirlo.

Tomando en cuenta lo mencionado se describe tres niveles de severidad que ayudarán a establecer el grado de las fallas (ASTM D6433-16, 2016, p. 10).

- Bajo (B): El usuario percibe pequeñas vibraciones en el vehículo, pero no es necesario reducir la velocidad para un tránsito cómodo y seguro. Además, se percibe un insignificante rebote del vehículo que no genera incomodidad.
- Medio (M): El usuario percibe algunas vibraciones del vehículo importantes y requiere reducir la velocidad por comodidad y seguridad. Además, se percibe un rebote significativo que genera incomodidad.



- Alto (A): El usuario percibe vibraciones excesivas en el vehículo que hace necesaria la reducción significativa de velocidad por comodidad y seguridad. Además, percibe un excesivo rebote del vehículo generando una importante incomodidad o daño al vehículo.

### 2.4.1.3. Extensión

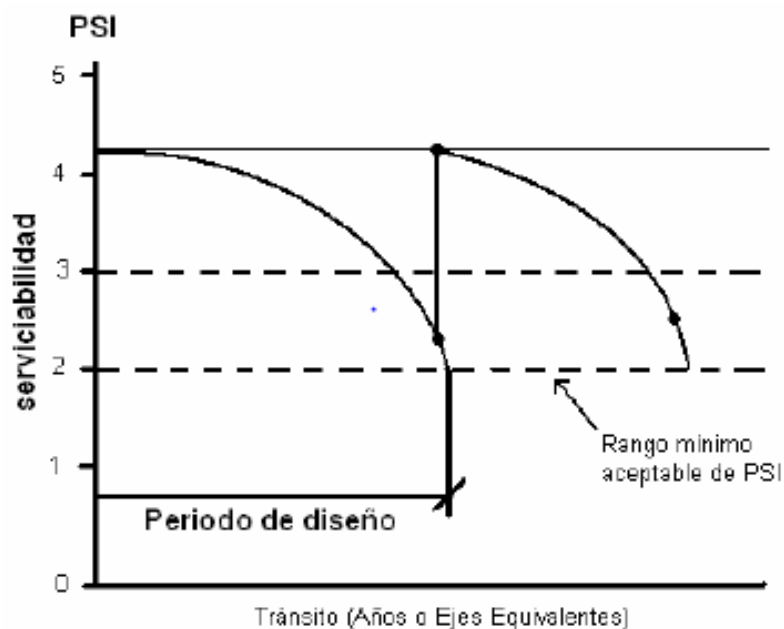
La extensión es la medida del área o longitud de cada una de las fallas; en la evaluación del pavimento flexible esta extensión está relacionada a la cantidad de fallas encontradas del mismo tipo en la misma sección (ASTM D6433-16, 2016, p. 10).

## 2.5. Métodos para la evaluación funcional del pavimento flexible

### 2.5.1. Evaluación de la superficie de ruedo

Para analizar el desempeño de los pavimentos o su comportamiento funcional es necesario contar con la información histórica de la calidad de rodadura en un periodo de análisis y su respectivo tránsito. Esta información puede ser obtenida a través de evaluaciones periódicas.

**Figura N° 2: Curvas típicas de deterioro del pavimento**



Fuente: AASHO "Road Test"

El desempeño del pavimento puede ser determinado a través de su vida de servicio utilizando curvas típicas de deterioro, como se muestra en la Figura N° 2.

La evaluación de la superficie es realizada utilizando el concepto de serviciabilidad, que fue inicialmente propuesto para ser utilizado en las investigaciones de la AASHO "Road Test". La serviciabilidad de un pavimento está relacionada con el propósito para el cual el pavimento fue construido.

Su medición debe considerar la perspectiva del usuario que es influenciada por diversos atributos del pavimento:

- La respuesta o sanción caracterizada por una determinada interacción: pavimento-vehículo-pasajero a una determinada velocidad.
- La respuesta a factores relacionados con la existencia de deterioro, condiciones de acercamiento, etc.

### **2.5.2. Índice de capacidad de servicio actual (PSI)**

El índice de capacidad de servicio actual (PSI) se basa en el PSR original de la prueba de carretera de AASHO. Básicamente, el PSR era una calificación de calidad de conducción que requería que un panel de observadores viajara en un automóvil sobre el pavimento en cuestión. Dado que este tipo de clasificación no es práctico para redes de pavimento a gran escala, se necesitaba una transición a un sistema sin paneles.

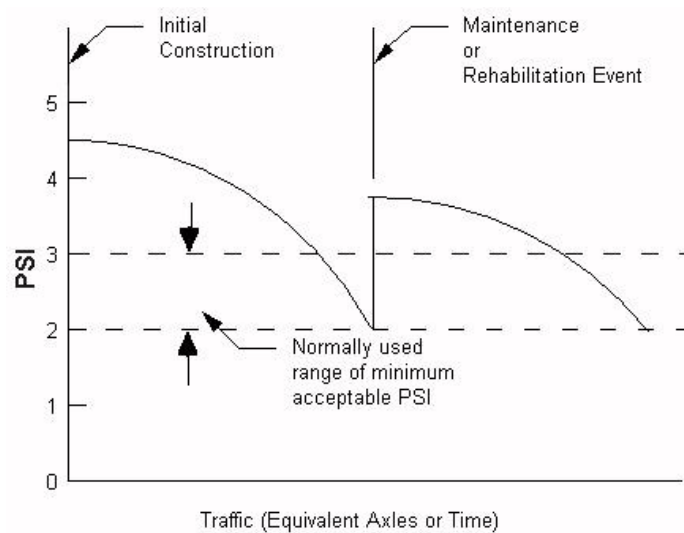
Para pasar de una medida de capacidad de servicio PSR (panel desarrollado) a una medida de capacidad de servicio PSI (no se requiere panel), un panel de evaluadores durante 1958 a 1960 calificó varias carreteras en los estados de Illinois, Minnesota e Indiana para PSR. Luego, esta información se correlacionó con varias mediciones del pavimento (como la variación de pendiente (perfil), grietas, etc.) para desarrollar ecuaciones de PSI.

Además, se pidió a los calificadores que dieran su opinión sobre si un pavimento específico evaluado para PSR era "aceptable" o "inaceptable" como carretera principal. Por lo tanto, aunque PSI se basa en el mismo sistema de calificación de 5 puntos que PSR, va más allá de una simple evaluación de la calidad de conducción. Aproximadamente la mitad del panel de evaluadores encontró un PSR de 3.0 aceptable y un PSR de 2.5

inaceptable. Es interesante notar que las opiniones originales de los evaluadores de la prueba de carretera AASHO se basan en la dinámica de conducción del automóvil; no está claro si esos niveles son aceptables para los camiones.

El rendimiento del pavimento se puede definir como "La tendencia de capacidad de servicio de un segmento de pavimento con un número creciente de aplicaciones de ejes" (Highway Research Board, 1972). La Figura N° 3 demuestra aún más este concepto.

**Figura N° 3: Concepto de rendimiento del pavimento utilizando el índice de capacidad de servicio actual (PSI)**



Fuente: (Hveem y Carmany, 1948)

### 2.5.3. La serviciabilidad

La serviciabilidad se usa como una medida del comportamiento del pavimento, que a la vez se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario (comportamiento funcional), cuando éste circula por la carretera. También se relaciona con las características físicas que puede presentar el pavimento como grietas, fallas, entre otras; que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (comportamiento estructural) (Dujisin y Arroyo, 1995).

El concepto de serviciabilidad está basado en cinco aspectos fundamentales resumidos como sigue (Dujisin y Arroyo, 1995):

- Las carreteras están hechas para el confort y conveniencia del usuario.
- El confort, o calidad de la transitabilidad, es materia de una respuesta subjetiva de la opinión del usuario.
- La serviciabilidad puede ser expresada por medio de la calificación hecha por los usuarios de la carretera y se denomina la calificación de la serviciabilidad (PSR).
- Existen características físicas de un pavimento que pueden ser medidas objetivamente y que pueden relacionarse a las evaluaciones subjetivas. Este procedimiento produce un índice de serviciabilidad objetivo.
- El comportamiento puede representarse por la historia de la serviciabilidad del pavimento.

El principal factor asociado a la seguridad y comodidad del usuario es la calidad de rodamiento que depende de la regularidad superficial del pavimento. Este parámetro define el concepto de Clasificación de Serviciabilidad Presente (PSR, por sus siglas en ingles).

Inicialmente, y como se mencionó anteriormente, esta condición se cuantificó a través de la opinión de los conductores, cuyas respuestas se tabulaban en la escala de 1 a 5, donde 1 representa una condición muy mala y 5 una excelente condición (ver Tabla N° 1).

**Tabla N° 1: Clasificación del índice de serviciabilidad**

<b>Índice de serviciabilidad (PSR)</b>	<b>Calificación</b>
5 - 4	Muy buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

Fuente: AASHTO, 1993

El desarrollo de la ecuación de serviciabilidad consistió primero en la formación de un panel de evaluadores (típicos usuarios) los cuales fueron entrenados y llevados al campo a realizar una valoración del confort (En una escala del 1 al 5, donde uno es muy mal y 5 muy bien) de varias secciones de carretera.

La media de las puntuaciones individuales de los miembros del grupo de personas que actuaron como panel evaluador para calificar el confort de la carretera, logró generar el índice conocido como PSR.

Durante el análisis de los resultados (prueba realizada por la AASHO) se encontró que de acuerdo al percentil 50, la aceptabilidad de la carretera rondaba un valor de PSR de 2,9, mientras que para el rechazo andaba alrededor de 2,5 (Huang, 1998).

La segunda parte del procedimiento consistió en un levantamiento de los deterioros superficiales de la carretera que se utilizó en la evaluación de los usuarios descrita anteriormente, de esta manera se realizaron correlaciones matemáticas de los deterioros de un pavimento asociados a un nivel de confort, con lo cual se derivó el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), el cual es una combinación matemática de valores obtenidos de la evaluación de campo, para predecir el PSR de los pavimentos.

La ecuación que se generó para pavimento flexible a partir de la información recolectada durante el experimento y que es actualmente utilizada para el cálculo del PSI, es la que se muestra a continuación.

$$PSI = 5,03 - 1,91 \log(1 - \overline{SV}) - 1,38\overline{RD}^2 - 0,01\sqrt{C + P} \quad \text{Ecu. (1)}$$

Dónde:

SV = Varianza de la pendiente (rugosidad) en  $10^{-6}$  radianes

RD = Roderas en pulgadas

C = Grietas en pies/1000pies<sup>2</sup>

P = Parches en pies<sup>2</sup>/1000pies<sup>2</sup>

Sin embargo, dicha ecuación sufrió ciertas modificaciones producto de la aplicación de la misma en distintos Departamentos de Transporte de Estados Unidos y países, con el fin

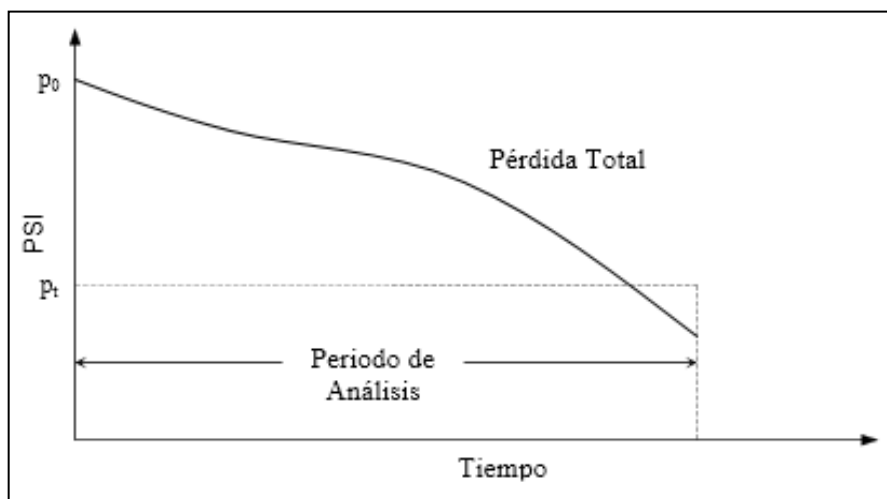
de adaptarla a las condiciones del lugar. En general, se ha demostrado en varios estudios que la rugosidad, que en este caso se midió a través del parámetro SV, es el principal factor en determinar el PSI (AASHTO, 1993).

Debido a que la rugosidad es un factor tan importante para el diseño de pavimentos, el cambio en la rugosidad controla el ciclo de vida funcional de los pavimentos. Adicionalmente, la calidad de la construcción influye fuertemente en el desempeño y el ciclo de vida del pavimento diseñado.

Siendo que la rugosidad y los deterioros superficiales son características físicas de la condición de un pavimento, es común suponer que se correlacionarían muy bien y que esta relación permitiría estimar con confianza una variable con respecto a la otra, sin embargo, esta relación es difícil de establecer si analizamos la base de datos de desempeño de un pavimento (Huang, 1998).

Es por esta razón que resultaría más conveniente no relacionar los deterioros superficiales con el cálculo del PSI, la poca correlación entre los parámetros se debe a que en realidad estos, son atributos físicos distintos de la condición de un pavimento. Como resultado de esto es que algunas agencias han buscado relacionar el PSI solamente con algún indicador de rugosidad. En el siguiente apartado se mencionan algunas de estas correlaciones.

**Figura N° 4: Tendencia en el comportamiento de los pavimentos**



Fuente: Guía AASHTO, 1993

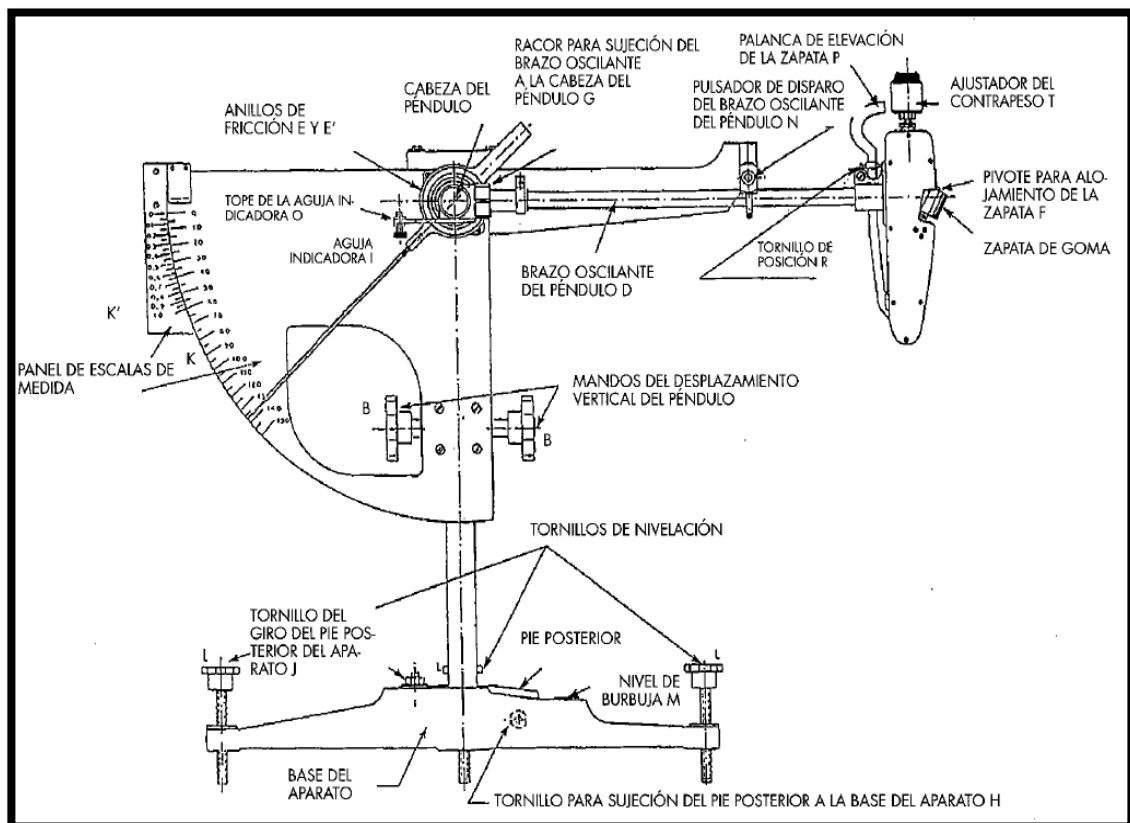
El diseño estructural de pavimentos basado en el concepto de serviciabilidad, considera necesario definir el índice de serviciabilidad inicial ( $P_0$ ) y el índice de serviciabilidad final ( $P_t$ ), para establecer la vida útil o de diseño del pavimento. La pérdida de serviciabilidad se define como la diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y terminal (AASHTO, 1993).

$$\Delta PSI = P_0 - P_t \quad \text{Ecu. (2)}$$

#### 2.5.4. La pérdida de fricción (IFI)

Respecto al Péndulo de Fricción, este es un dispositivo muy difundido internacionalmente, principalmente por su bajo costo en comparación a otros equipos más sofisticados. Este equipo desarrollado por el TRRL, tiene sus mediciones normalizadas según ASTM E-303, el cual se muestra en la Figura N° 5.

**Figura N° 5: Esquema del BPN (British Pendulum Number)**



Fuente: Norma ASTM E-303

Para efectuar la medida, este se ajusta de modo que el patín de goma, fijado en el péndulo, recorra una distancia normalizada en la superficie a medir. El péndulo se balancea desde la vertical hasta el reposo. La pérdida de energía del péndulo debido a la fricción del pavimento se registra en una escala graduada.

Este instrumento es indicativo de la resistencia al deslizamiento a bajas velocidades (< 50 km/hr), por consiguiente, provee medidas para la microtextura. La medición entrega como resultado el valor BPN (British Pendulum Number).

Sin embargo, la gran desventaja de este procedimiento es su bajo rendimiento, requiriendo gran despliegue de seguridad al momento de la medición con la consecuente obstaculización del tránsito lo que limita su aplicación al nivel de red.

El IFI está relacionado a la seguridad, puesto que ha de proporcionar al usuario una superficie de rodadura segura en que en todo momento se consiga una buena adherencia neumático-pavimento.

Es un defecto que tiene relación directa con el usuario, particularmente con los segmentos de alta velocidad, zonas de frenado como un cruce de peatones, en colegios y curvas de radio pequeño o curvas de radio amplio con peraltes menores a 6%. La pérdida de fricción se propone como consecuencia de una disminución combinada o individual de la macrotextura<sup>14</sup> como de la micro-textura<sup>15</sup> superficial del pavimento, lo cual puede originar accidentes, particularmente cuando el pavimento se encuentra mojado.

Para la medición se ha adoptado el índice de fricción internacional (IFI), el cual relaciona la fricción con la velocidad de deslizamiento. Se expresa mediante dos números: el primero representa la fricción valor adimensional, con rango entre cero (deslizamiento perfecto, sin adherencia) y uno (máxima adherencia) y el segundo representa la velocidad, asociada con la macrotextura, su magnitud no tiene rango definido.

Es importante mencionar que el deslizamiento de un vehículo se da en dos direcciones, las cuales se describen a continuación: El deslizamiento en dirección longitudinal o en la dirección de marcha del vehículo ocurre cuando se aplica un esfuerzo de frenado.



En la resistencia al deslizamiento longitudinal intervienen fundamentalmente dos componentes: El rozamiento por adherencia neumático-pavimento y la pérdida de energía debido a la histéresis del neumático, es decir el neumático no absorbe toda la energía aplicada, siempre existe pérdida de energía que se transforma en "calor", esto ocurre con materiales elásticos como el caucho.

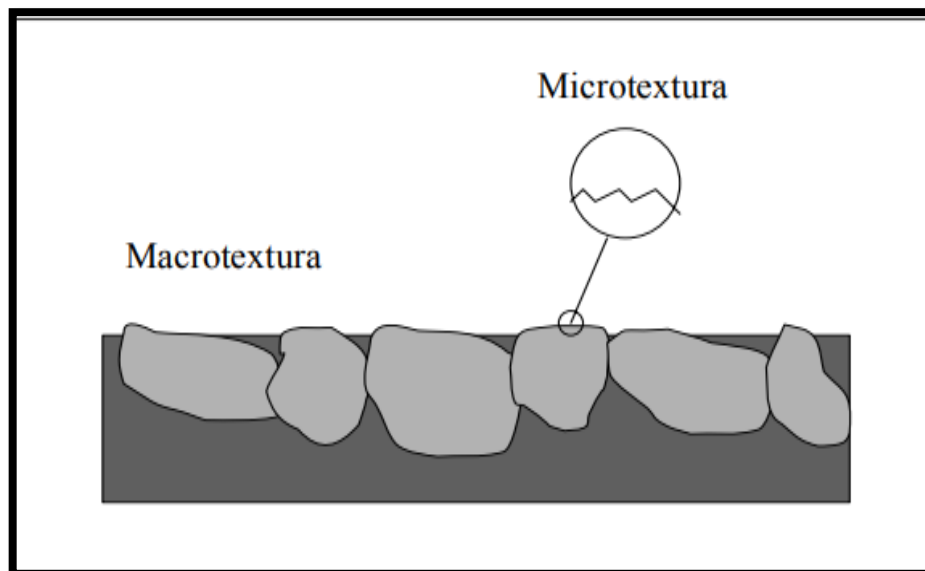
#### **2.5.4.1. Caracterización de la superficie**

Las características de resistencia al deslizamiento de un pavimento, se puede definir considerando que la adherencia superficial está determinada por dos tipos de condiciones: microtextura y macrotextura (Gaete et al, 1988) (Figura N° 6).

La microtextura corresponde a la textura superficial propia de la superficie de los agregados pétreos, las cuales pueden presentar características de tipo áspero o pulida.

La macrotextura en cambio, se refiere a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. En este caso, las propiedades de la macrotextura están dadas por el tipo de mezcla que exista en la superficie.

**Figura N° 6: Diferencia entre microtextura y macrotextura**



Fuente: Gaete et al, 1988

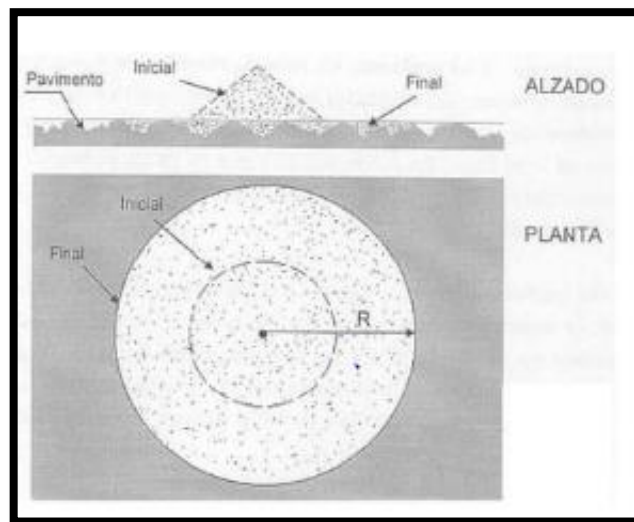
En el caso de mezclas drenantes o tratamientos superficiales, la macrotextura será del tipo grueso, mientras que, en el caso de mezclas densas convencionales, la macrotextura será más bien fina. Por lo tanto, la resistencia al deslizamiento que presente un pavimento, será en general el resultado de la combinación microtextura - macrotextura que presente la superficie.

### 2.5.5. Círculo de arena, método para determinar la textura superficial del pavimento

Conocido con el nombre del método del círculo de arena, sirve para determinar medidas puntuales de la macrotextura. El procedimiento consiste en extender sobre la superficie de un pavimento un volumen determinado ( $50 \text{ cm}^3$ ) de arena fina uniforme (arena que pasa por el tamiz N° 60 y retenida en el N° 80 según la norma ASTM E965-15), de manera que cubra todas las irregularidades de la superficie, quedando enrasada la arena con los picos más salientes.

Macrotextura se denomina a las irregularidades que presenta la superficie del firme en el dominio del tamaño de los áridos que forman la capa de rodadura.

**Figura N° 7: Esquema de la medida de la macrotextura de un pavimento**



Fuente: Manual de ensayos de la ABC

El ensayo "Medición de la profundidad de la macrotextura superficial del pavimento mediante el método volumétrico", es aplicable a cualquier tipo de pavimento tanto

bituminoso como de hormigón, y consiste en extender sobre su superficie un volumen determinado de arena fina, distribuyéndola y enrasándola posteriormente mediante un dispositivo.

A partir del volumen de arena utilizado y del área cubierta por la misma sobre el pavimento, se calcula la profundidad media de los huecos rellenos por la arena, valor que puede utilizarse como medida de la macrotextura de la superficie del pavimento.

#### **2.5.6. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)**

Para establecer criterios de calidad y desempeño de los pavimentos que sean capaces de indicar las condiciones actuales y futuras del estado superficial de un camino, surgió la necesidad de establecer un índice que permitiera evaluar las deformaciones verticales de un camino que afectan la dinámica de los vehículos que transitan sobre él. Se debe tomar en consideración que la superficie de rodamiento de un pavimento se clasifica considerando la naturaleza de las irregularidades superficiales, las cuales afectan la seguridad, la comodidad y el costo que esto implica a los usuarios.

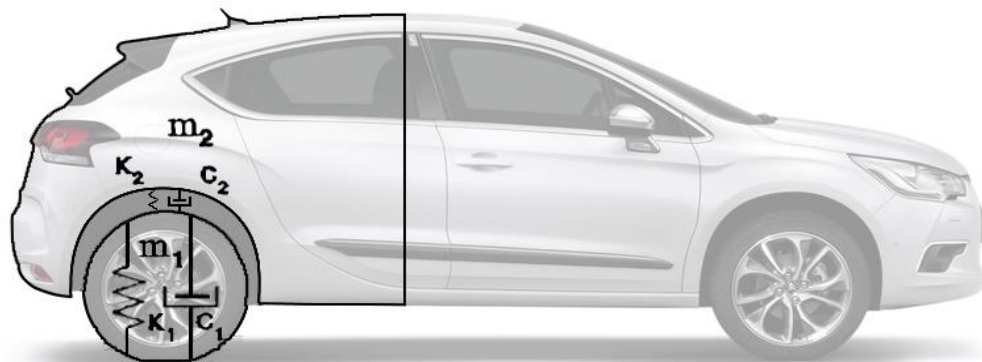
El Índice de Rugosidad Internacional, se define de la siguiente manera: El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h (Badilla, 2009).

En la norma de ensayo ASTM E 867 (2006), se define el concepto de rugosidad como: 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. El perfil longitudinal de un camino es una representación en dos dimensiones de la superficie del mismo, a lo largo de una línea imaginaria. Por lo tanto, la medición del perfil es una serie de números que representan elevaciones relativas respecto a un nivel de referencia.

De esta manera, se tiene que el índice de un perfil es un valor calculado que resume las variaciones en el perfil de la superficie (Badilla, 2009).

Se dice que el IRI es portable y reproducible, ya que este puede ser calculado a partir de un perfil verdadero y por cualquier perfilógrafo válido. Además, es estable en el tiempo, el concepto de perfil verdadero tiene el mismo significado año a año y la subsecuente transformación matemática del perfil verdadero también es estable con el tiempo.

**Figura N° 8: Modelo de cuarto de carro**



Fuente: Tomada de es.wikipedia.com

El IRI corresponde a una acumulación de la simulación del movimiento entre la masa suspendida y la masa no suspendida en el modelo del cuarto de carro (Figura N° 8), y normalizada a la longitud  $L$ , del perfil (Badilla, 2009).

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^{L/V} |\dot{z}_s - \dot{z}_r| dt \quad \text{Ecu. (3)}$$

Dónde:

$L = 100$  / (diferencial de longitud)

$V$  = Velocidad de circulación del vehículo

$Z_s$  = Elevación (coordenada vertical) de la masa suspendida

$Z_r$  = Elevación (coordenada vertical) de la masa no suspendida

Nótese que la ecuación anterior es una ecuación de comportamiento lineal, es decir, si el IRI de una sección de 500 m es 1,0 m/km, y el IRI en la siguiente sección de 500 m es 2,0 m/km, el IRI para el kilómetro completo es el promedio aritmético simple: 1,5 m/km.

El valor reportado de IRI es el resultado de la sumatoria de distancias medidas, en módulo sobre la horizontal, para la distancia considerada. En módulo quiere decir que computan tanto los aumentos como disminuciones de cota sobre la horizontal. Ambos desplazamientos suponen una variación en la vertical de la masa suspendida.

Algunas de las consideraciones más importantes para el cálculo del IRI son (Badilla et al., 2008; Badilla, 2009; Arriaga, 1998):

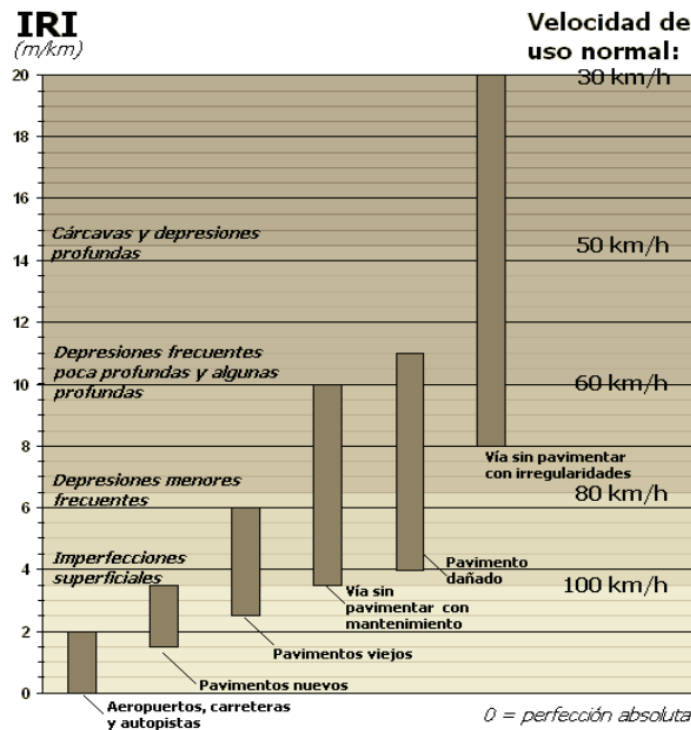
- El IRI es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil. Depende únicamente de la calidad del perfil longitudinal.
- El perfil se filtra empleando la media móvil sobre una base de 250 mm de largo. Este filtrado simula el efecto suavizante de la deformación del neumático.
- El perfil resultante se vuelve a filtrar mediante la simulación del cuarto de auto. Esta simulación registra la respuesta física de un auto “ideal” que transita sobre el perfil a una velocidad de 80 km/h.
- El IRI (m/km) se calcula como el movimiento acumulado (m) de la suspensión del auto “ideal”, dividido por la longitud del perfil transitado (km). La escala de IRI comienza desde cero, para una ruta perfecta sin rugosidad, y cubre números positivos que crecen en forma proporcional a la rugosidad del perfil.
- El cálculo matemático del IRI relaciona la acumulación de desplazamientos del sistema de suspensión de un vehículo modelo, dividida entre la distancia recorrida por el vehículo a una velocidad de 80 km/h, y se expresa en mm/m o m/km. Para caminos pavimentados el rango de la escala del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para vías no pavimentadas la escala se extiende hasta el valor de 20.
- 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.
- En definitiva, el IRI no es más que el valor del movimiento vertical acumulado del asiento del conductor del vehículo a lo largo de una distancia dada.

### 2.5.6.1. El Índice Internacional de Rugosidad en la red nacional carretera

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

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

**Figura N° 9: Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías**



Fuente: Adaptado de UMTRI Research Review, 2002

El IRI tiene unidades de mm/m, m/km o in/mi. Varía de 0 a 20 m/km o 0 a 1260 in/mi (rugosidad 0 m/km es un camino uniforme perfecto y 20 m/km uno ya casi imposible de transitar). En la Figura 10 se muestran las rugosidades para diferentes tipos de pavimentos.

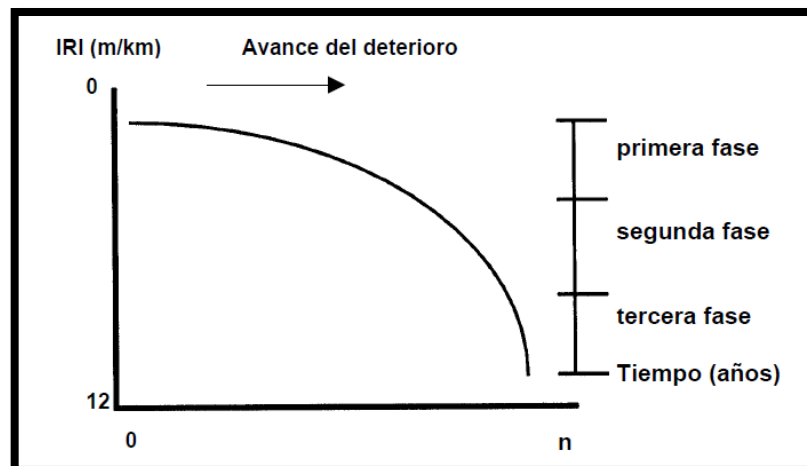
En la figura N° 9 se pueden observar los rangos típicos del IRI y las unidades utilizadas más comúnmente.

### 2.5.6.2. Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos

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

Esta disminución no es lineal sino que se puede dividir en tres etapas, donde la primera tiene un deterioro poco significativo en los primeros años; la segunda presenta un deterioro más acusado que en la primera, y requiere comenzar a programar un mantenimiento para no dejar avanzar el deterioro, la tercera significa una etapa de deterioro acelerado, ya que en pocos años el nivel de servicio cae de forma importante, con lo que va a llegar a un costo significativo de mantenimiento del camino y, como límite, puede ser necesaria una reconstrucción total del mismo.

**Figura N° 10: Avance del deterioro de un camino respecto al tiempo**



Fuente: (IMT, 2002)

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

El papel preponderante que están asumiendo los programas de mantenimiento carretero dentro de la administración de la infraestructura para el transporte, implica la necesidad de aplicar nuevas tecnologías que permitan no solamente la ejecución de los trabajos de mantenimiento en forma eficaz y económica, sino también el manejo oportuno y fidedigno de un gran número de datos sobre la red.

El gran número de datos surge, por una parte, de la extensión de la red y por el deterioro en que se encuentra, y por la otra, de la obligación de aplicar eficazmente los recursos que se canalizan a la conservación.

## **2.6. Evaluación estructural de pavimento flexible**

La estructura de un pavimento tiene cierta capacidad para absorber el trabajo de deformación como energía elástica potencial por cada carga circulante durante su vida útil, retirada la carga, dicha energía es la determinante en la recuperación elástica o casi elástica de las deformaciones producidas, la que será tanto más completa cuan menor relajación de la energía elástica se ha producido durante el tiempo que ha actuado la carga. (Portillo, 2015, pág. 79)

La falla de la estructura se deriva de dos causas fundamentales:

- Si la capacidad mencionada es excedida más allá del valor que determinan las deformaciones recuperables por elasticidad instantánea y retardada, se desarrollan deformaciones permanentes en cada aplicación de las cargas, las que se acumulan modificando los perfiles de la calzada hasta valores que resultan intolerables para la comodidad, seguridad y rapidez del tránsito y aún pueden provocar el colapso de la estructura.
- Si la capacidad mencionada no es excedida pero las deformaciones recuperables son elevadas, los materiales y en particular las capas asfálticas sufren el fenómeno denominado fatiga cuando el número de aplicaciones de las cargas pesadas es elevado, que se traduce en reducción sus características mecánicas. En este caso la deformación horizontal por tracción en la parte inferior de las capas asfálticas al



flexionar la estructura, puede exceder el límite crítico y se llega a la iniciación del proceso de fisuramiento. (Portillo, 2015, pág. 80)

La evaluación estructural permite determinar la capacidad del pavimento actual para soportar las solicitaciones consideradas en el diseño. Para determinar esta capacidad, existen una serie de ensayos, siendo los más tradicionales los de tipos destructivos (requieren extraer una muestra del pavimento y/o de los suelos de fundación). Existen tecnologías alternativas que permiten efectuar mediciones de la capacidad estructural de manera no destructiva, con el cual se obtienen las mediciones de deflexión de los pavimentos. (Manual de carreteras, 2013)

Esta alternativa de evaluación se fundamenta en el estudio de las deformaciones verticales en la superficie del pavimento a consecuencia de la aplicación de una determinada carga móvil y/o estática. La deflexión es una medida de respuesta global del sistema “Pavimento-Subrasante” frente a una sollicitación.

El campo de aplicación de la deflectometría es muy amplio empleándose principalmente para:

- Determinar la vida remanente de un pavimento y la condición de un pavimento con miras a su mantenimiento.
- Evaluar estructuralmente al pavimento con miras a su rehabilitación.

Existe una gran variedad de equipos destinados a medir las deflexiones del pavimento, encontrándose de los más simples y versátiles (viga Benkelman) hasta los más sofisticados y costosos, pero de gran rendimiento operacional (Falling Weight Deflectometer, FWD). (Manual de carreteras, 2013)

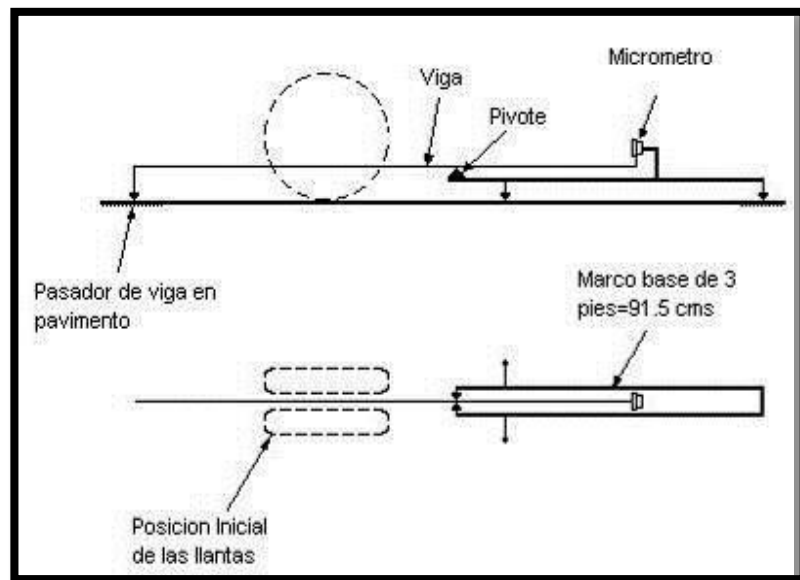
La evaluación estructural del pavimento, tiene por objeto la cuantificación de la capacidad estructural remanente del pavimento. La falta de capacidad estructural de un pavimento genera en este un deterioro progresivo que se manifiesta en niveles excesivos de agrietamientos y deformaciones, no recuperables a través de la simple aplicación de acciones de conservación preventivas. (Thenoux, Gaete 2010)

### 2.6.1. La viga Benkelman

Desarrollada en el Road Test de la AASHO en 1952. Consiste en un dispositivo sencillo que opera por medio de una palanca suspendida de un bastidor que transmite la deflexión vertical del punto de medida a un comparador. Este equipo debe ser usado con un camión cargado, normalmente con 80 KN en un eje, con llantas duales infladas a una presión de 0.48 a 0.55 Mpa (70 a 80 Psi). Las mediciones se realizan colocando la punta de la viga entre las dos ruedas y midiendo la deflexión cuando el vehículo se retira. Los resultados de las deflexiones se leen en un dial indicador.

Generalmente, la punta de la viga se coloca a 1.20 m adelante del par de ruedas, se toma una lectura inicial y al retirar el camión, se toma la lectura máxima y una final del parámetro. Este equipo de bajo costo de utilización posee dos desventajas principales: la primera el bajo rendimiento de muestreo y segundo la falta de proveer un cuenco de deflexiones

**Figura N° 11: Esquema del empleo del uso de la viga Benkelman**



Fuente: Road Test de la AASHO en 1952

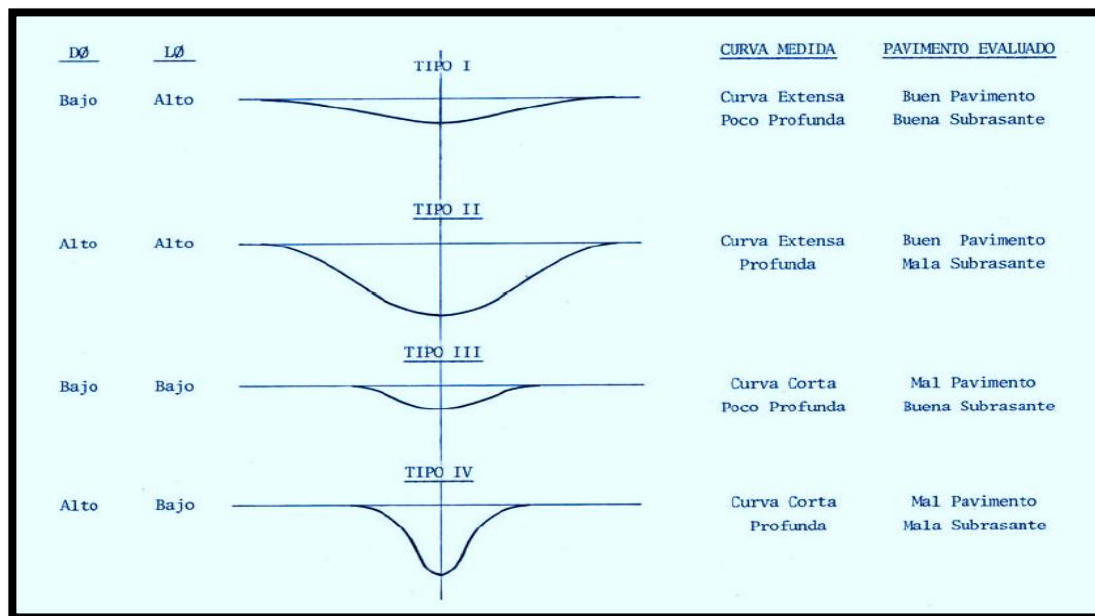
La metodología interpretativa de la viga Benkelman consiste básicamente en comparar las curvas de deflexiones medidas con las curvas de deflexiones teóricas, obtenidas "cargando" el modelo de Hogg con la misma configuración y magnitud de carga utilizada

en los ensayos de campo. La concordancia entre una curva experimental con algunas de las teóricas, corresponde generalmente a una única combinación de parámetros elásticos del modelo, que de esa manera pasan a caracterizar al pavimento evaluado.

La metodología se complementa con otros conceptos de la teoría de capas elásticas y con observaciones experimentales para determinar ciertas propiedades de ingeniería de los materiales que pueden usarse para establecer las necesidades de refuerzo.

También dentro de la metodología de la viga Benkelman existen valores característicos de deflexiones en pavimentos, como las deflexiones medidas en los ensayos ( $D_0$ ) y la rigidez relativa ( $L_0$ ) entre un pavimento y su subrasante, los cuales se pueden utilizar para establecer relaciones cualitativas entre las características de la curva de deflexiones y el sistema pavimento-subrasante.

**Figura N° 12: Geometría y los parámetros del modelo de Hogg**



Fuente: Road Test de la AASHO en 1952

La base matemática de la viga Benkelman, lo constituye el modelo de Hogg, en donde en el año 1944, A.H.A. Hogg presentó la solución matemática del modelo que se conoce por su nombre. Este modelo representa al pavimento como una placa delgada con una cierta rigidez a la flexión y horizontalmente infinita, sustentada por una capa elástica

homogénea e isotrópica, de espesor que puede ser infinito o limitado por una base rígida, horizontal y perfectamente rugosa. La figura N° 13 describe la geometría y los parámetros del modelo de Hogg.

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, hoy en día pueden ser determinadas haciendo uso de diversos equipos, uno de ellos es el deflectómetro denominado “viga Benkelman”

Llamado así en honor a Daniel Benkelman, quien la desarrollo en 1995 como parte del programa de ensayos viales de AASHO (AASHO Road Test). Desde entonces su uso se ha venido difundiendo ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona. (Mallque, 2006, pág. 19)

#### **2.6.1.1. Descripción del equipo**

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura N° 14, la viga consta esencialmente de dos partes:

- Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante 3 apoyos (dos delanteros fijos “A” y uno trasero regulable “B”).
- Un abrazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro en pivote “c”, uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (Punto D), y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto E).

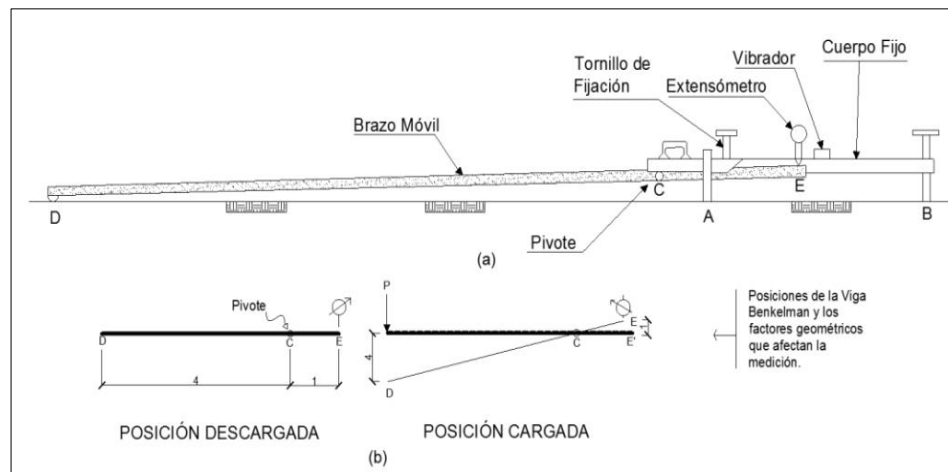
Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

El extremo D ó “punta de la viga” es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad,

con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo “C”, con respecto al cuerpo AB, determinado que el extremo “E” produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto D se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial extensómetro.

La operación expuesta representa el “principio de medición” con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son solo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto D de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto D al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar esta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE’) no están en escala real, sino que dependen de la relación de brazos existentes. (Mallque, 2006, págs. 19-20).

**Figura N° 13: Esquema de la viga Benkelman**



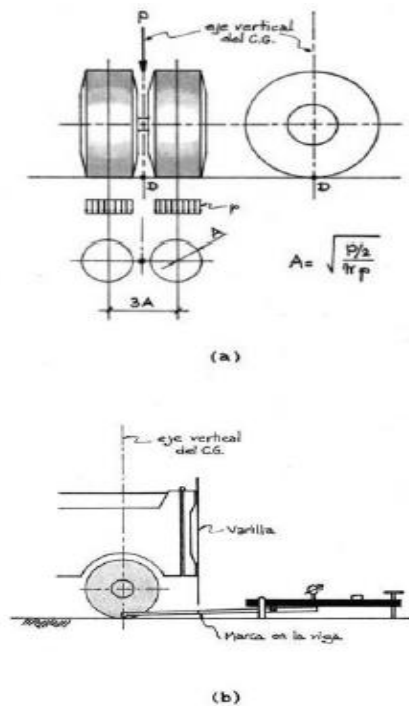
Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2016)

### 2.6.1.2. Procedimiento para la realización de la viga Benkelman

La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 9000 libras (4090 kg), y es proporcionada por una de las llantas dobles

del eje trasero de un camión. Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como que la presión de las llantas sea la requerida. Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo (usualmente los puntos de medición se localizan en la mitad exterior de un carril), se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (Ver Figura N° 15, punto "b").

**Figura N° 14: Configuración geométrica del sistema de carga**



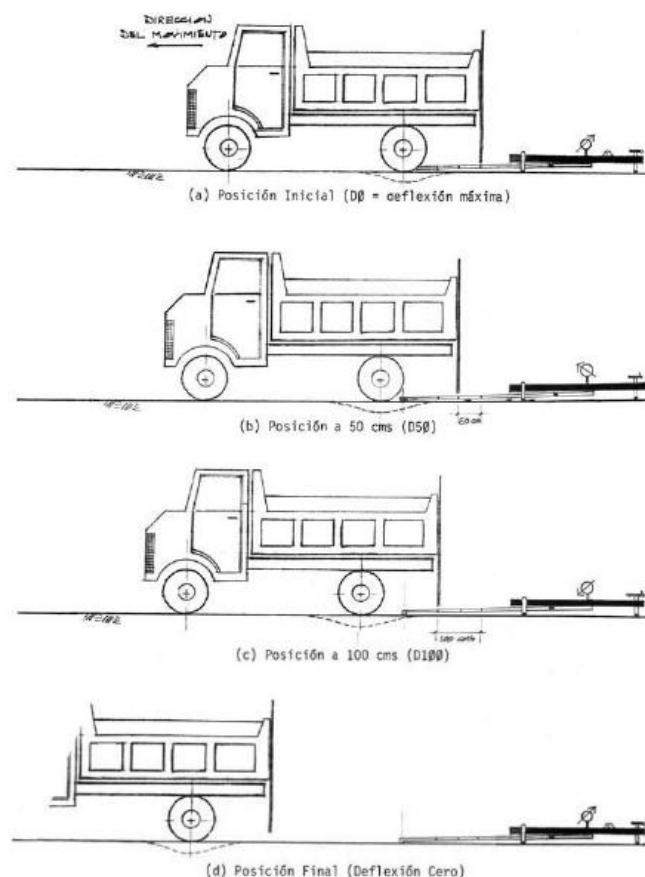
Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2016)

Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: Se coloca la viga en la posición como si estuviera entre las llantas pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión (Ver Figura N° 15), se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante,

basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 50 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen. Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial).

**Figura N° 15: Esquema del proceso de medición**



Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2016)

La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinarán específicamente para cada proyecto de

evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos.

Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, pero no deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la cadena vertical y la marca inicial (ver figura N° 16 a), se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión.

Se pondrá el dial del extensómetro en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y segunda marcas adicionales (Figuras N° 16.b,c) y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento (Aproximadamente 5.00 m.), registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

### **2.6.1.3. Usos de las medidas de deflexiones**

(Mallque, 2006) nos dice que la deflexión es una medida de la respuesta del conjunto "pavimento-subrasante" frente a una determinada sollicitación, indicando la adecuabilidad del mismo desde el punto de vista estructural.

Esta capacidad estructural cumple con el diseño de refuerzos un rol de cierta forma semejante a la determinación del CBR o el Módulo Resiliente de suelos de subrasantes en el diseño de estructuras nuevas.

La existencia de una correlación entre deflexiones y la presencia o rápido desarrollo de fallas por fatiga y la posibilidad de establecer un orden tolerable en relación al tránsito, constituyen la base de su difundida utilización. En la (Tabla N° 2) se presenta el campo de acción de la viga Benkelman en el desarrollo de las diversas actividades de la ingeniería de pavimentos.

El significado de las medidas de deflexiones puede ser ampliado introduciendo junto a ellas la magnitud de la curvatura de la línea de deflexión en la zona donde ella es mayor,



es decir, bajo el eje vertical de la carga. Dicha curvatura se la expresa generalmente por el denominado "radio de curvatura", para determinada deflexión, la deformación por tracción en las capas asfálticas depende de su espesor y de dicho radio de curvatura.

**Tabla N° 2: Utilización de las medidas de deflexión**

<b>Etapas de la vida del pavimento</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Localización de las medidas</b>
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Apreciar la resistencia de las diferentes capas de la estructura.</li> <li>-Determinar el grado de homogeneidad.</li> <li>-Ajustar las dimensiones de las capas sucesivas.</li> </ul>	A nivel de subrasante y de las diferentes capas de la estructura.
Pavimento terminado	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Apreciar la homogeneidad y localizar las áreas débiles susceptibles de observación continua.</li> <li>-Obtener los datos de las deflexiones iniciales para poder interpretar las medidas posteriores.</li> <li>-Comprobar la duración del pavimento.</li> </ul>	Sobre la superficie de rodadura.
Pavimento en servicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Apreciar los fenómenos de fatiga.</li> <li>-Señalar la urgencia de operaciones de conservación rutinaria o de refuerzos.</li> <li>-Determinación de la variación de la capacidad portante durante los periodos de invierno y verano.</li> <li>-Control de las cargas de los vehículos.</li> </ul>	Sobre la superficie de rodadura.
Pavimento próximo a reforzar	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Definir los sectores homogéneos para refuerzos.</li> <li>-Calcular los espesores de refuerzos.</li> <li>-Definir el grado de flexibilidad de las mezclas De refuerzo.</li> </ul>	Sobre la superficie de rodadura.
Pavimento reforzado	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Apreciar el poder de refuerzo de las sobrecapas.</li> <li>-Precisar la validez de hipótesis admitidas durante los estudios.</li> <li>-Corregir y mejorar los datos de cálculo iniciales.</li> </ul>	Sobre las capas de refuerzo.

Fuente: Mallque. (2006)

#### **2.6.1.4. El radio de curvatura**

El método más razonable para determinar el radio de curvatura es el de los franceses el cual se basa en la hipótesis de que la línea de deflexiones en función de la distancia hasta el eje de carga, se aproxima a una parábola hasta una distancia superior a 25 cm. sufriendo luego una inflexión para tender asintóticamente hacia la horizontal. La curvatura de la parábola queda entonces definida por su parámetro, el cual en la zona de máxima curvatura se confunde con el radio del arco oscilador en dicho punto, ósea exactamente bajo el centro del eje de la rueda cargada. El radio de curvatura se obtiene de la siguiente forma:

$$R = 6250 / 2 (D_o - 025)$$

Dónde:

R = Radio de curvatura en metros.

D<sub>o</sub> = Deflexión máxima observada en 1/100 mm.

025 = Deflexión a 25cm del punto de deflexión máxima en 1/100 mm.

**CAPITULO III**

**RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

## CAPÍTULO III

### RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

#### 3.1. Diseño metodológico

##### 3.1.1. Componentes

##### 3.1.1.1. Unidad de estudio

Estado actual del pavimento flexible en el tramo “Lajas la Merced-Canasmoro”.

##### 3.1.1.2. Población

**Tabla N° 3: Población del trabajo**

<b>Todas las carreteras con pavimento flexible en la ciudad de Tarija, como ser:</b>
Carretera al Valle
Carretera a Entre Ríos
Carretera al Puente
Carretera a Tolomosa
Carretera a Sella

Fuente: Elaboración propia

##### 3.1.1.3. Muestra

La muestra seleccionada de la población para realizar el trabajo es la “Carretera a Canasmoro”, que une el municipio de San Lorenzo con la localidad de Canasmoro.

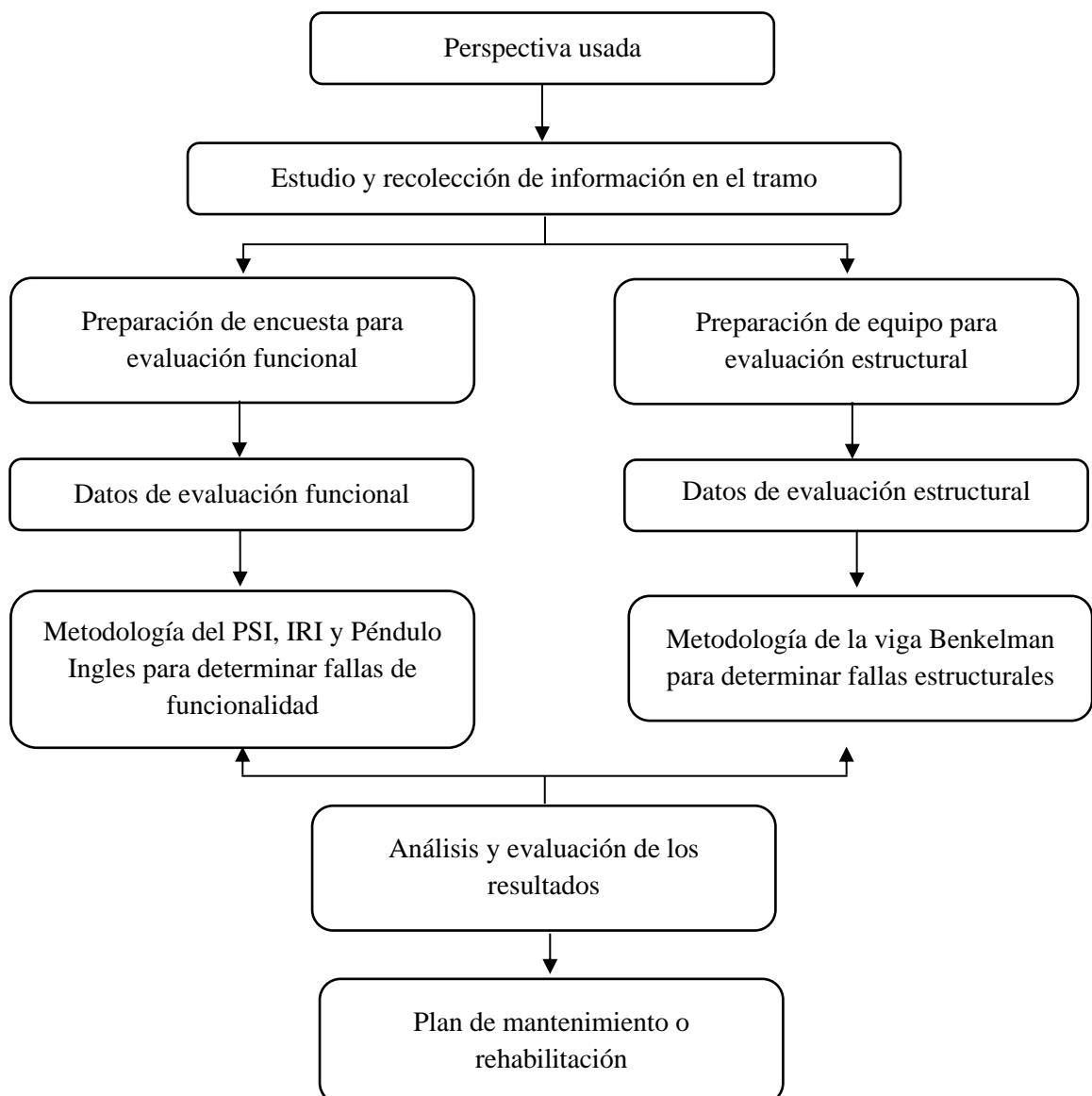
##### 3.1.1.4. Muestreo

El muestreo para el presente trabajo será el tramo “Lajas la Merced-Canasmoro” con una longitud de 5820 metros y un ancho de 7,50 metros que se encuentra en la carretera a Canasmoro.

### 3.1.1.5. Tipo de investigación

El trabajo a realizar corresponde a un tipo de investigación aplicada, a un nivel de investigación descriptiva en la que se observa los fenómenos tal como se dan en su contexto natural para luego analizarlos, se determina las fallas que presenta la vía tanto en lo funcional como en lo estructural caracterizándolas de manera cuantitativa y cualitativa. La información que se obtendrá en este tipo de investigación nos permite conocer a mayor profundidad como está respondiendo el tramo evaluado y nos servirá mucho para optar por una adecuada rehabilitación si es necesario.

### 3.2. Esquema de la perspectiva usada

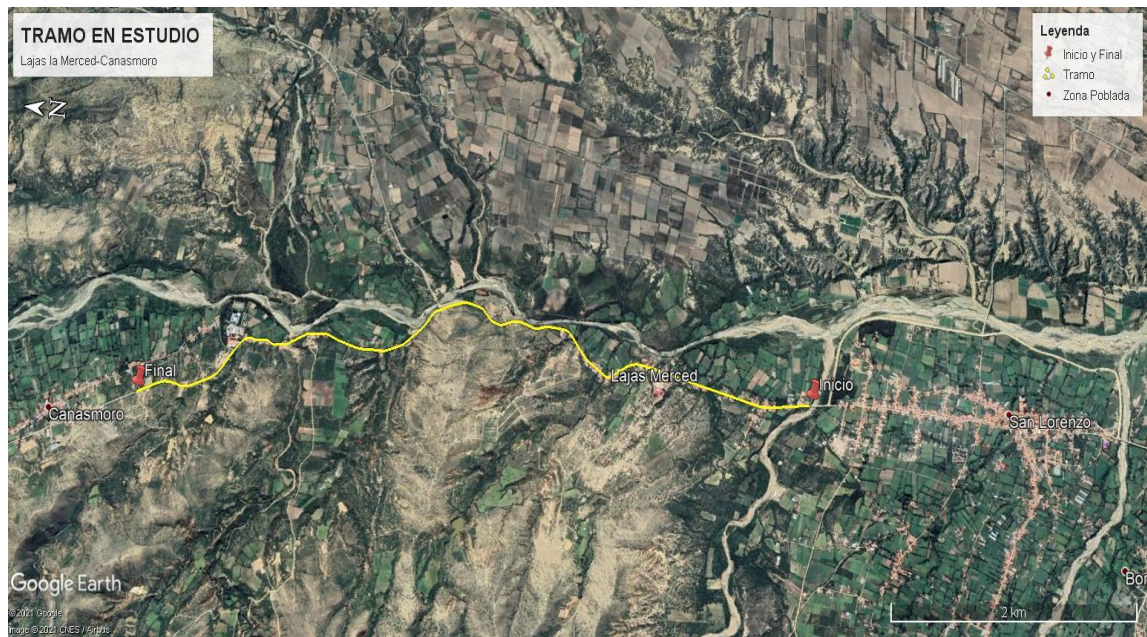


### 3.3. Zona de estudio

El tramo en estudio está ubicado en el departamento de Tarija, provincia Méndez, en el municipio de San Lorenzo. Geográficamente el tramo se encuentra entre las comunidades Lajas la Merced y Canasmoro, tiene las siguientes coordenadas:

Inicio	21° 24' 5.28" de Latitud Sur
	64° 45' 1.93" de Longitud Oeste
Final	21° 21' 0.74" de Latitud Sur
	64° 45' 21.75" de Longitud Oeste

**Figura N° 16: Ubicación del tramo de estudio**



Fuente: Elaboración propia

#### 3.3.1. Relevamiento de información

##### Capa de rodadura

Según la información recopilada del Servicio Departamental de Caminos de la ciudad de Tarija, la capa de rodadura fue una capa de 5 cm de espesor.

Para verificar si cumple, se realizó un sondeo en la progresiva 0+300 y se pudo comprobar que la capa de rodadura es de 5 cm.

En la siguiente tabla se muestra el paquete estructural que presenta el tramo Lajas la Merced-Canasmoro

**Tabla N° 4: Paquete estructural del tramo**

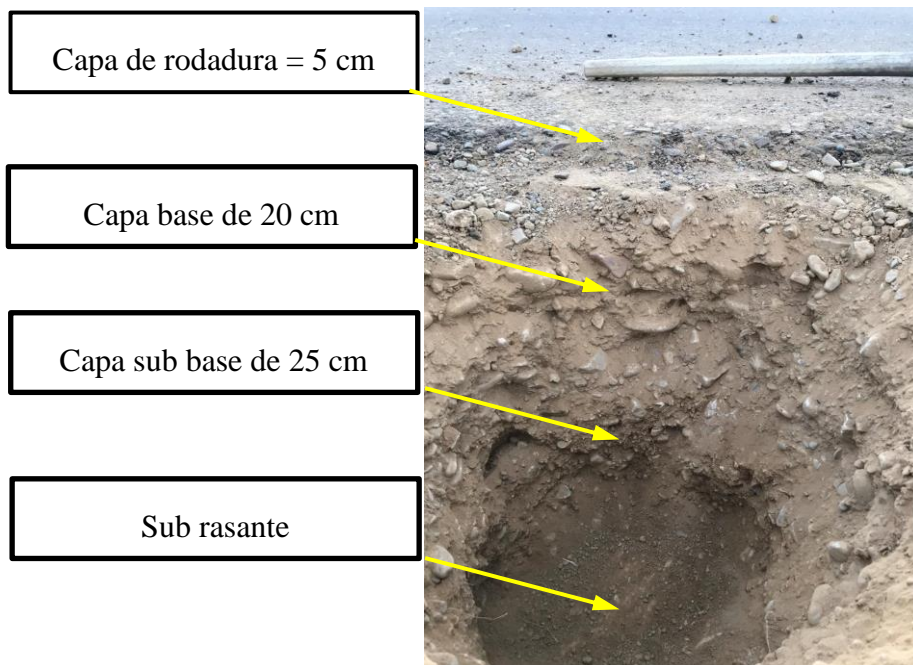
<b>Tramo</b>	<b>Espesor de la capa de rodadura</b>	<b>Espesor de la capa base</b>	<b>Espesor de la capa sub base</b>
Lajas la Merced-Canasmoro	5 cm	20 cm	25 cm

Fuente: Servicio Departamental de Caminos de Tarija

Para verificar la conformación del paquete estructural y así poder realizar los ensayos necesarios para la evaluación superficial y estructural, se realizó una excavación en la progresiva 0+300 con lo cual se pudo observar las profundidades de cada capa y se extrajo muestras de suelo de la capa base y de la capa sub base para analizarlas en laboratorio realizando los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, clasificación, proctor T – 180 y CBR.

Todos estos ensayos se los realizo a objeto de investigación y comprobación de dicha carpeta estructural del pavimento flexible.

**Figura N° 18: Espesores del paquete estructural**



Fuente: Elaboración propia

### **3.4. Evaluación funcional**

Para la evaluación funcional del tramo “Lajas la Merced-Canasmoro” se utilizó la metodología del PSI (Índice de serviciabilidad presente), del Péndulo Inglés (resistencia al deslizamiento), del círculo de arena y del IRI (índice de regularidad internacional).

Estos ensayos nos permitieron conocer las fallas funcionales y estructurales que se encuentran en dicho tramo de estudio a través del desarrollo de los cálculos de valores deducidos y estimados conforme al manual de ensayos de la ABC y de la AASHO

A continuación, se describe y estima cada uno de los ensayos mencionados:

### **3.5. Método de evaluación PSI (índice de serviciabilidad presente)**

La evaluación del pavimento a través de este método, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente a la serviciabilidad, seguridad y confort del usuario.

Entre este tipo de deficiencias se encuentran:

- Rugosidad.
- Fallas superficiales.
- Pérdida de fricción.

El Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) da una orientación sobre el estado del pavimento desde el punto de vista del usuario, por lo que es necesario que se exprese la rugosidad en términos de serviciabilidad.

Para determinar el PSI una escala que en base a estudios realizados por el Instituto del Asfalto está en un rango de 5 a 0, de acuerdo a esta escala el PSI (Present Index Service) es igual a 5 y la rugosidad es cero, siendo este índice más alto de serviciabilidad, valor que en la práctica no se obtiene, por el contrario, si el PSI es igual a cero, la carretera es intransitable y corresponde a una rugosidad muy grande.



Un método práctico desarrollado por los ensayos de la AASHO para pavimentos flexibles, es la utilización de la siguiente ecuación.

$$PSI = 6.20 - 0.8 * C_1 - 0.3 * C_2 - 0.1 * C_3 \quad \text{Ec. 2.3}$$

Dónde:

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, son apreciaciones en el terreno de la superficie del pavimento de acuerdo a la siguiente escala.

**Tabla N° 5: Apreciaciones en el terreno de la superficie del pavimento para emplear el método del PSI**

<b>Rugosidad longitudinal</b>	<b>Valor C<sub>1</sub></b>
Perfectamente lisa	1
Algo rugosa	2
Medianamente rugosa	3
Rugosidad alta	4
Extremadamente rugosa	5
<b>Intensidad de grietas y parches</b>	<b>Valor C<sub>2</sub></b>
Ausencia de grietas	1
Grietas y parches escasos	2
Fuertemente agrietado y parchado	3
Extremadamente agrietado y parchado	4
<b>Deformación transversal</b>	<b>Valor C<sub>3</sub></b>
Sin deformidad ni ahuellamiento	1
Medianamente deformado y ahuellado	2
Fuertemente deformado y ahuellado	3

Fuente: AASHO

El valor final del PSI de la sección del pavimento es:

$$\overline{PSI} = \frac{\sum PSI_i}{n}$$

Dónde:

$PSI_i$  = PSI de cada unidad evaluada.

n = Términos de la muestra.

El rango de calificación del PSI luego de haber realizado la evaluación mediante este método es el siguiente:

**Tabla N° 6: Rango de clasificación del PSI (Present Service Index)**

<b>Rango</b>	<b>Calificación</b>
5,00 – 4,25	Excelente
4,25 – 3,50	Muy bueno
3,50 – 2,75	Bueno
2,75 – 2,00	Regular
2,00 – 1,25	Malo
1,25 – 0,50	Muy malo
0,50 – 0,00	Fallado

Fuente: AASHO

### 3.5.1. Población y muestra

#### 3.5.1.1. Tamaño de la muestra

En la ejecución, de la presente investigación participarán 604 conductores, razón por la cual es necesario calcular una muestra para poder trabajar con un número más reducido de la población a investigar, para lo cual es necesario calcular la muestra mediante la aplicación de la siguiente fórmula.

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + k^2 * p * q}$$

Simbología:

n = Tamaño de la muestra.

p = Proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio.

q = Proporción de individuos que no poseen la población la característica de estudio.

N = Tamaño de la población.

e = Error muestral deseado.

k = Constante que depende del nivel de confianza que le asignemos.

**Remplazando:**

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 604}{0.10^2 * (604 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 82.98$$

$$n = 83 \text{ Conductores}$$

### 3.5.1.2. Tipo de muestreo

Para integrar la muestra, se utilizará el muestreo probabilístico dentro del cual se empleará el muestreo sistemático, con el propósito de que cada elemento tenga la misma probabilidad de ser seleccionado, para ello, es necesario primeramente elaborar el marco muestral, luego calcular el intervalo dividiendo la población para la muestra obtenida previamente, el coeficiente indicará que elementos de la población van a ser seleccionados.

Para comenzar el proceso, se debe seleccionar un número al azar que no supere el intervalo calculado. A partir del número seleccionado al azar, se aplicará el intervalo hasta completar la muestra, para ello se requerirá que a cada conductor del marco muestral se le asigne un número.

### 3.5.1.3. Plan de recolección de la información

Para la recolección de la información, se aplicará técnicas de investigación e instrumentos de recolección, lo que se detalla a continuación:

**Encuesta:** Es una técnica, que permite obtener información valiosa, es decir, es una técnica destinada a obtener datos de varias personas, cuyas opiniones impersonales interesan al investigador.

Para ello, se basa en su instrumento que es el cuestionario, el mismo que permite obtener información a través de un sistema de preguntas escritas, que se entregan al informante a fin de que conteste igualmente por escrito.

### 3.5.2. Encuesta elaborada por mi persona tomando en cuenta el rango de clasificación de la AASHO

1.- ¿Cómo califica usted la rugosidad longitudinal en el tramo Lajas la Merced-Canasmoro?

	C <sub>1</sub>
Perfectamente lisa	1
Algo rugosa	2
Medianamente rugosa	3
Rugosidad alta	4
Extremadamente rugosa	5

2.- Según su apreciación, ¿cómo califica la intensidad de grietas y parches en el tramo Lajas la Merced-Canasmoro?

	C <sub>2</sub>
Ausencia de grietas	1
Grietas y parches escasos	2
Fuertemente agrietado y parchado	3
Extremadamente agrietado y parchado	4

3.- ¿Usted percibe fallas transversales como deformaciones y ahuellamientos en el pavimento flexible del tramo Lajas la Merced-Canasmoro?

	C <sub>3</sub>
Sin deformidad ni ahuellamiento	1
Medianamente deformado y ahuellado	2
Fuertemente deformado y ahuellado	3

### 3.5.3. Análisis de los resultados

Una vez aplicados los instrumentos de recolección de información, se procedió a realizar el tratamiento correspondiente a la información, para el análisis de la misma de forma ordenada, mediante la tabulación de las encuestas aplicadas a los conductores del tramo en estudio, estableciendo porcentajes estadísticos, los cuales ayuden a apreciar de una

mejor manera los resultados obtenidos, los mismos que indicarán la realidad del estado funcional, y permitirán tomar decisiones para mejorar la situación actual de la carretera en dicho tramo. Cabe mencionar, que la entrevista fue aplicada a los conductores, con la finalidad de obtener la información necesaria sobre el problema que se está presentando en el tramo, y en base a dicha información continuar con la investigación, para posteriormente proponer una solución.

### 3.5.4. Resultados de la encuesta

Luego de haber procesado la información, obtenida de las encuestas aplicadas a los conductores los resultados son los siguientes:

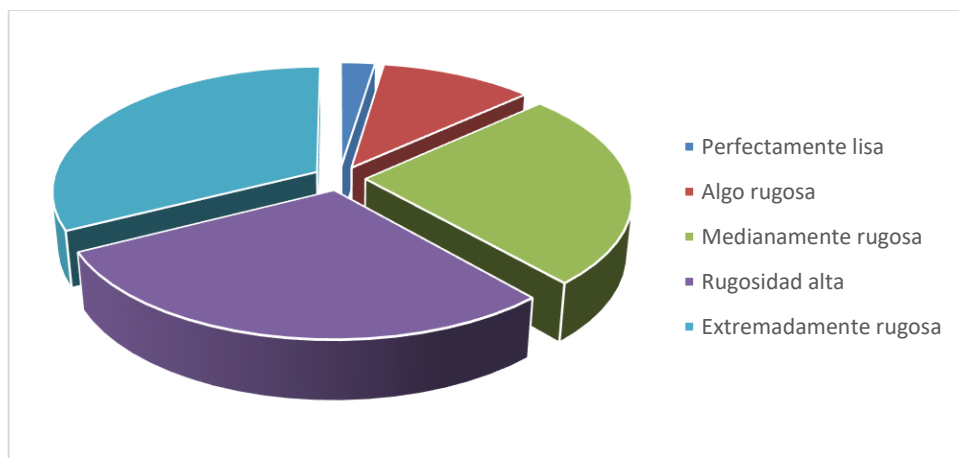
#### 3.5.4.1. Pregunta 1

**Tabla N° 7: ¿Cómo califica usted la rugosidad longitudinal en el tramo Lajas la Merced-Canasmoro?**

Alternativas	C <sub>1</sub>	Respuesta	Porcentaje	Ponderado
Perfectamente lisa	1	2	2,41%	0,02
Algo rugosa	2	9	10,84%	0,22
Medianamente rugosa	3	21	25,30%	0,76
Rugosidad alta	4	24	28,92%	1,16
Extremadamente rugosa	5	27	32,53%	1,63

Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 17: Representación porcentual pregunta 1**



Fuente: Elaboración propia

## Interpretación

Del 100% de los conductores encuestados el 2,41%, manifiestan que la rugosidad del tramo es perfectamente lisa, el 10,84% afirman que es algo rugosa, 25,30% afirman que es medianamente rugosa, 28,92% afirman que tiene rugosidad alta y el 32,53% indica que es extremadamente rugosa.

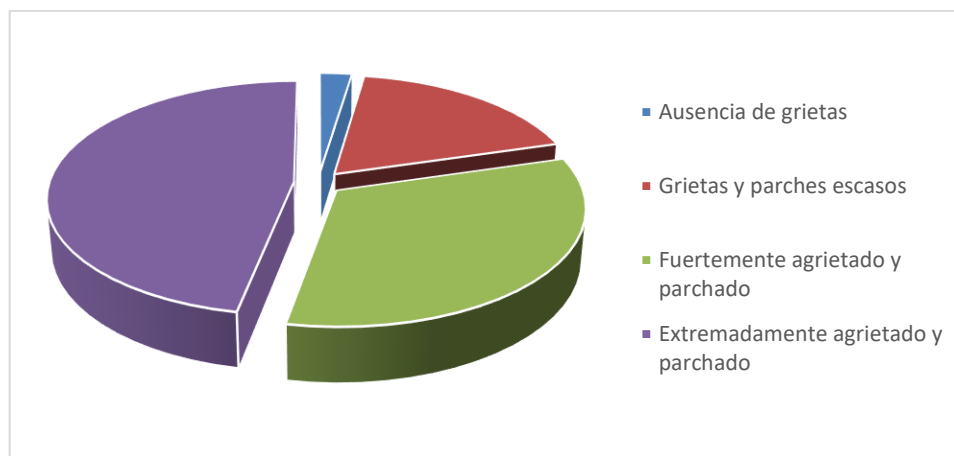
### 3.5.4.2. Pregunta 2

**Tabla N° 8: ¿Según su apreciación, ¿cómo califica la intensidad de grietas y parches en el tramo Lajas la Merced-Canasmoro?**

Alternativas	C <sub>2</sub>	Respuesta	Porcentaje	Ponderado
Ausencia de grietas	1	2	2,41%	0,02
Grietas y parches escasos	2	15	18,07%	0,36
Fuertemente agrietado y parchado	3	27	32,53%	0,98
Extremadamente agrietado y parchado	4	39	46,99%	1,88

Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 18: Representación porcentual pregunta 2**



Fuente: Elaboración propia

## Interpretación

Del 100% de los conductores encuestados el 2,41%, manifiestan que hay ausencia de grietas, el 18,07% afirman que existen grietas y parches escasos, 32,53% afirman que es fuertemente agrietado y parchado, 46,99% afirman que extremadamente agrietado y parchado.

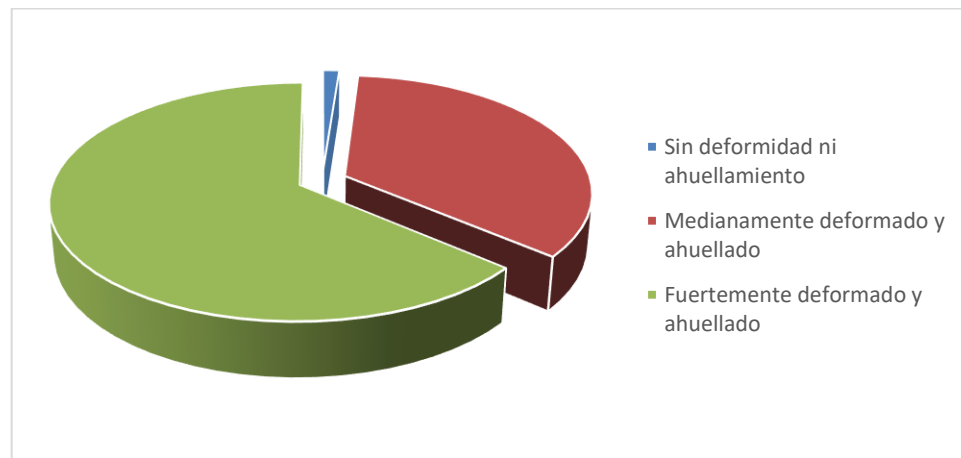
### 3.5.4.3. Pregunta 3

**Tabla N° 9: ¿Usted percibe fallas transversales como deformaciones y ahuellamientos en el pavimento flexible del tramo Lajas la Merced-Canasmoro?**

Alternativas	C <sub>3</sub>	Respuesta	Porcentaje	Ponderado
Sin deformidad ni ahuellamiento	1	1	1,20%	0,01
Medianamente deformado y ahuellado	2	29	34,94%	0,70
Fuertemente deformado y ahuellado	3	53	63,86%	1,92

Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 19: Representación porcentual pregunta 3**



Fuente: Elaboración propia

### Interpretación

Del 100% de los clientes encuestados el 1,20%, manifiestan que es sin deformidad ni ahuellamiento, el 34,94% afirman que esta medianamente deformado y ahuellado, 63,86% afirman que es fuertemente deformado y ahuellado. Esto demuestra que el tramo en evaluación se encuentra con fallas de consideración.

### 3.5.5. Determinación del PSI

Un método práctico desarrollado por los ensayos de la AASHO para pavimentos flexibles, es la utilización de la siguiente ecuación.

$$PSI = 6.20 - 0.8 * C_1 - 0.3 * C_2 - 0.1 * C_3$$

Dónde:

$C_1, C_2, C_3$ , son apreciaciones en el terreno de la superficie del pavimento

**Tabla N° 10: Resumen de los coeficientes ponderados**

Preguntas	Coeficientes
Pregunta 1	3,7831
Pregunta 2	3,2410
Pregunta 3	2,6265

Fuente: Elaboración propia

$$PSI = 6,20 - 0,8 * 3,7831 - 0,3 * 3,2410 - 0,1 * 2,6265$$

$$PSI = 1,9386$$

**Interpretación de resultado del PSI:** Luego de haber obtenido los valores de coeficientes en las encuestas y aplicar a la fórmula para determinar el índice de serviciabilidad presente se obtuvo un valor de  $PSI = 1,9386$ , de acuerdo a la Tabla N° 6 el valor se encuentra entre el rango de  $2 - 1,25$  lo cual nos indica que el tramo evaluado tiene un índice de serviciabilidad malo.

### 3.6. Ensayo con péndulo británico

#### 3.6.1. Péndulo británico método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento en el pavimento

El Péndulo Británico es un péndulo dinámico que se utiliza para medir la energía perdida cuando el borde de un patín de goma se desliza sobre una superficie.

La medición de la fricción por medio del péndulo inglés tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.D.R.) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de rozamiento, valore las características antideslizantes de la superficie de un pavimento; este valor es obtenido con la siguiente formula:

$$C.D.R. = \frac{\text{lectura efectiva}}{100}$$



**Figura N° 20: Péndulo de fricción británico**



Fuente: Elaboración propia

Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

### **3.6.2. Procedimiento de ensayo**

#### **3.6.2.1. Preparación del aparato**

**Nivelación:** Se niveló el instrumento exactamente (con precisión) girando los tornillos niveladores hasta que la burbuja este centrada en el ojo la burbuja niveladora.

**Ajuste a ceros:** Se elevó la cabeza del aparato, de tal forma que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el cero de la escala de medida. Para ello se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo. Después se desplazó la aguja indicadora hasta el tope situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo del péndulo. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre la aguja y el brazo.

Seguidamente, por presión sobre el pulsador se disparó el brazo del péndulo, que arrastró la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia delante. Se anotó la lectura señalada por la aguja de la escala del panel y se volvió el brazo a su posición inicial de disparo.

La correlación de la lectura del cero se realiza mediante el ajuste de los anillos de fricción. Si la aguja sobre pasa el cero de la escala, la corrección exigirá apretar los anillos de fricción. Si la aguja no alcanza el cero de la escala, la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción.

Ajuste de la longitud de deslizamiento. Con el péndulo colgando libre se colocó los espaciados abajo del tornillo de ajuste o regulación del brazo del péndulo. Se bajó el brazo del péndulo de manera que la superficie de la goma apenas toque la superficie. Se Bloqueó la cabeza del péndulo firmemente, levantando el brazo del péndulo, y removiendo el espaciador. Se colocó el calibrador al lado y paralelo a la dirección del balanceo para verificar la longitud de la trayectoria de contacto. Se elevó el brazo del péndulo para que así suavemente baje hasta la superficie de deslizamiento y otra vez se apoye o descanse en la superficie.

**Figura N° 21: Preparación del péndulo de fricción británico**



Fuente: Elaboración propia

Si la longitud de la trayectoria de contacto no está entre 124 y 127 mm (4 7/8 y 5.0 pulgadas) en superficies de prueba planas o entre 75 y 78 mm (2 15/16 y 3 1/16 de

pulgada) en superficies curvas del ensaye medidos con la zapata de goma, se puede corregir ajustando la elevación del péndulo o bajar el instrumento con los tornillos niveladores frontales.

**Figura N° 22: Ejecución del ensayo del péndulo de fricción británico**



Fuente: Elaboración propia

### **3.6.3. Cálculos desarrollados péndulo de fricción británico**

El coeficiente de resistencia al deslizamiento es obtenido de la siguiente manera:

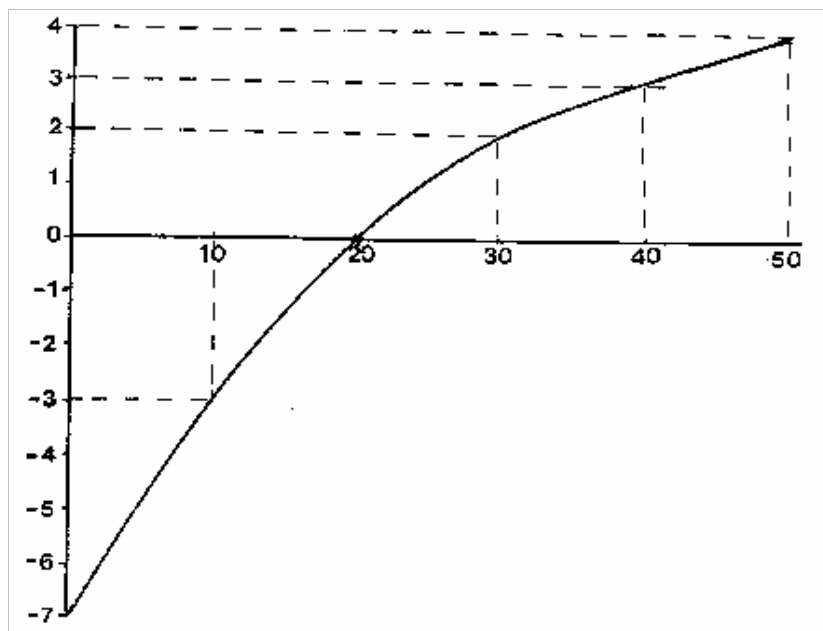
$$C.D.R. = \frac{\textit{lectura efectiva}}{100}$$

Las medidas efectuadas sobre el pavimento están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada; es por esto, que al valor obtenido del péndulo se le adiciona un factor (Figura N° 24) a la lectura efectiva. Por ejemplo, si obtenemos una lectura de promedio de 78 y tenemos una temperatura de 30°C, le adicionaremos a 78 el factor de 2 y tendremos 80.

Los resultados de las medidas efectuadas en cada zona de ensayo de un tramo de calzada serán expresados por, al menos, tres valores, correspondientes cada uno, a roderas y centro de la calzada. Cada uno de los tres valores o más valores obtenidos será la media aritmética

de todas las lecturas efectuadas sobre los puntos de ensayo situados en las superficies consideradas y en todas las secciones transversales de cada tramo.

**Figura N° 23: Corrección a aplicar al coeficiente de resistencia al deslizamiento a distintas temperaturas.**



Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales-Asfaltos ABC

### 3.6.3.1. Rangos de fricción

Después de diversas mediciones realizadas en distintos tipos de superficies, nace la siguiente sugerencia, la cual puede estar sujeta a cambios, según se incremente la experiencia. Para valores de fricción con péndulo británico en pavimento mojado (condición crítica) es propuesto lo siguiente:

**Tabla N° 11: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción**

Fricción, Valor de CDR, adimensional	Calificación
< 0,5	Malo (derrapamiento del vehículo)
0,51 – 0,6	De regular a bueno
0,61 – 0,8	Bueno
0,81 – 0,9	De bueno a regular
> 0,91	Malo (desgaste de neumáticos)

Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales-Asfaltos ABC

**Tabla N° 12: Datos de la evaluación superficial del pavimento I.F.I. (Índice de fricción internacional) Carril: Derecho (ida)**

<b>Punto de estudio</b>	<b>T °C</b>	<b>Medidas de BPN con péndulo de fricción</b>					<b>Promedio</b>
Punto 1	35,00	73,00	74,00	73,00	76,00	76,00	74,40
Punto 2	35,00	70,00	73,00	71,00	72,00	70,00	71,20
Punto 3	37,00	49,00	51,00	52,00	48,00	50,00	50,00
Punto 4	38,00	63,00	67,00	72,00	68,00	65,00	67,00
Punto 5	38,00	65,00	65,00	64,00	66,00	63,00	64,60
Punto 6	39,00	51,00	55,00	57,00	54,00	50,00	53,40
Punto 7	39,00	75,00	75,00	74,00	74,00	73,00	74,20
Punto 8	40,00	72,00	72,00	73,00	71,00	70,00	71,60
Punto 9	40,00	49,00	51,00	52,00	49,00	51,00	50,40
Punto 10	42,00	64,00	65,00	66,00	71,00	64,00	66,00
Punto 11	42,00	63,00	65,00	63,00	63,00	63,00	63,40
Punto 12	42,00	55,00	57,00	52,00	55,00	52,00	54,20
Punto 13	40,00	75,00	73,00	76,00	75,00	73,00	74,40
Punto 14	40,00	70,00	72,00	70,00	72,00	71,00	71,00
Punto 15	39,00	50,00	48,00	51,00	51,00	50,00	50,00
Punto 16	38,00	69,00	63,00	72,00	70,00	64,00	67,60
Punto 17	38,00	64,00	63,00	64,00	65,00	66,00	64,40
Punto 18	38,00	56,00	53,00	53,00	50,00	56,00	53,60
Punto 19	36,00	73,00	75,00	76,00	76,00	73,00	74,60
Punto 20	35,00	73,00	72,00	70,00	72,00	70,00	71,40
Punto 21	30,00	51,00	48,00	51,00	50,00	51,00	50,20
Punto 22	31,00	68,00	65,00	68,00	68,00	71,00	68,00
Punto 23	31,00	66,00	66,00	65,00	65,00	63,00	65,00
Punto 24	35,00	53,00	51,00	52,00	55,00	56,00	53,40
Punto 25	35,00	73,00	73,00	75,00	75,00	76,00	74,40
Punto 26	37,00	72,00	71,00	70,00	72,00	71,00	71,20
Punto 27	39,00	51,00	51,00	50,00	50,00	52,00	50,80
Punto 28	42,00	70,00	72,00	65,00	71,00	65,00	68,60
Punto 29	42,00	64,00	63,00	65,00	66,00	63,00	64,20
Punto 30	44,00	52,00	54,00	53,00	50,00	53,00	52,40

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 13: Estimación de evaluación superficial del pavimento I.F.I. (Índice de fricción internacional) Carril: Derecho (ida)**

Punto de estudio	T °C	Corrección	Datos corregidos					Promedio
Punto 1	35,00	2,63	75,63	76,63	75,63	78,63	78,63	77,03
Punto 2	35,00	2,63	72,63	75,63	73,63	74,63	72,63	73,83
Punto 3	37,00	2,81	51,81	53,81	54,81	50,81	52,81	52,81
Punto 4	38,00	2,88	65,88	69,88	74,88	70,88	67,88	69,88
Punto 5	38,00	2,88	67,88	67,88	66,88	68,88	65,88	67,48
Punto 6	39,00	2,95	53,95	57,95	59,95	56,95	52,95	56,35
Punto 7	39,00	2,95	77,95	77,95	76,95	76,95	75,95	77,15
Punto 8	40,00	3,00	75,00	75,00	76,00	74,00	73,00	74,60
Punto 9	40,00	3,00	52,00	54,00	55,00	52,00	54,00	53,40
Punto 10	42,00	3,08	67,08	68,08	69,08	74,08	67,08	69,08
Punto 11	42,00	3,08	66,08	68,08	66,08	66,08	66,08	66,48
Punto 12	42,00	3,08	58,08	60,08	55,08	58,08	55,08	57,28
Punto 13	40,00	3,00	78,00	76,00	79,00	78,00	76,00	77,40
Punto 14	40,00	3,00	73,00	75,00	73,00	75,00	74,00	74,00
Punto 15	39,00	2,95	52,95	50,95	53,95	53,95	52,95	52,95
Punto 16	38,00	2,88	71,88	65,88	74,88	72,88	66,88	70,48
Punto 17	38,00	2,88	66,88	65,88	66,88	67,88	68,88	67,28
Punto 18	38,00	2,88	58,88	55,88	55,88	52,88	58,88	56,48
Punto 19	36,00	2,72	75,72	77,72	78,72	78,72	75,72	77,32
Punto 20	35,00	2,63	75,63	74,63	72,63	74,63	72,63	74,03
Punto 21	30,00	2,00	53,00	50,00	53,00	52,00	53,00	52,20
Punto 22	31,00	2,15	70,15	67,15	70,15	70,15	73,15	70,15
Punto 23	31,00	2,15	68,15	68,15	67,15	67,15	65,15	67,15
Punto 24	35,00	2,63	55,63	53,63	54,63	57,63	58,63	56,03
Punto 25	35,00	2,63	75,63	75,63	77,63	77,63	78,63	77,03
Punto 26	37,00	2,81	74,81	73,81	72,81	74,81	73,81	74,01
Punto 27	39,00	2,95	53,95	53,95	52,95	52,95	54,95	53,75
Punto 28	42,00	3,08	73,08	75,08	68,08	74,08	68,08	71,68
Punto 29	42,00	3,08	67,08	66,08	68,08	69,08	66,08	67,28
Punto 30	44,00	3,12	55,12	57,12	56,12	53,12	56,12	55,52
<b>Promedio del tramo =</b>								<b>66,34</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 14: Tratamiento estadístico mediante error porcentual de los ensayos  
I.F.I. (Índice de fricción internacional) Carril: Derecho (ida)**

Puntos de estudio	Péndulo Británico					DV	E %
	Error absoluto						
Punto 1	1,41	0,41	1,41	1,60	1,60	1,28	1,66
Punto 2	1,21	1,80	0,20	0,80	1,21	1,04	1,41
Punto 3	1,01	1,00	2,00	2,01	0,00	1,20	2,27
Punto 4	4,00	0,00	5,00	1,00	2,00	2,40	3,43
Punto 5	0,40	0,40	0,60	1,40	1,60	0,88	1,30
Punto 6	2,41	1,60	3,60	0,59	3,41	2,32	4,12
Punto 7	0,79	0,79	0,21	0,21	1,21	0,64	0,83
Punto 8	0,40	0,40	1,40	0,60	1,60	0,88	1,18
Punto 9	1,40	0,60	1,60	1,40	0,60	1,12	2,10
Punto 10	2,00	1,00	0,00	5,00	2,00	2,00	2,90
Punto 11	0,40	1,60	0,40	0,40	0,40	0,64	0,96
Punto 12	0,80	2,80	2,20	0,80	2,20	1,76	3,07
Punto 13	0,60	1,40	1,60	0,60	1,40	1,12	1,45
Punto 14	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,80	1,08
Punto 15	0,01	2,01	0,99	0,99	0,01	0,80	1,51
Punto 16	1,40	4,60	4,40	2,40	3,60	3,28	4,65
Punto 17	0,40	1,40	0,40	0,60	1,60	0,88	1,31
Punto 18	2,40	0,60	0,60	3,60	2,40	1,92	3,40
Punto 19	1,60	0,40	1,40	1,40	1,60	1,28	1,66
Punto 20	1,60	0,59	1,41	0,59	1,41	1,12	1,51
Punto 21	0,80	2,20	0,80	0,20	0,80	0,96	1,84
Punto 22	0,01	3,01	0,01	0,01	2,99	1,20	1,71
Punto 23	0,99	0,99	0,01	0,01	2,01	0,80	1,19
Punto 24	0,41	2,41	1,41	1,60	2,60	1,68	3,00
Punto 25	1,41	1,41	0,59	0,59	1,60	1,12	1,45
Punto 26	0,80	0,20	1,21	0,80	0,20	0,64	0,87
Punto 27	0,20	0,20	0,81	0,81	1,20	0,64	1,19
Punto 28	1,40	3,40	3,60	2,40	3,60	2,88	4,02
Punto 29	0,20	1,20	0,80	1,80	1,20	1,04	1,55
Punto 30	0,40	1,60	0,60	2,40	0,60	1,12	2,02
<b>Valor máximo =</b>						<b>4,65</b>	

Fuente: Elaboración propia

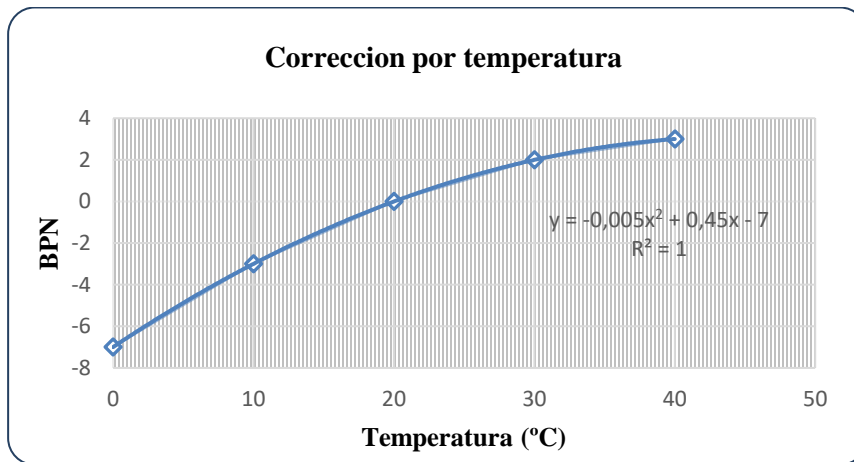
**Tabla N° 15: Resumen de los cálculos de la estimación de evaluación superficial del pavimento I.F.I. (Índice de fricción internacional) Carril: Derecho (ida)**

<b>Punto de estudio</b>	<b>FRs</b>	<b>Dp</b>	<b>H = Tx</b>	<b>Sp</b>	<b>FR60</b>	<b>F60</b>
Punto 1	77,03	31,12	0,329	25,79	11,08	0,197
Punto 2	73,83	24,00	0,553	51,24	27,83	0,376
Punto 3	52,81	20,12	0,786	77,72	27,75	0,375
Punto 4	69,88	27,36	0,425	36,70	17,89	0,269
Punto 5	67,48	31,70	0,317	24,42	8,71	0,171
Punto 6	56,35	20,78	0,737	72,15	28,18	0,380
Punto 7	77,15	24,76	0,519	47,38	26,85	0,365
Punto 8	74,60	20,06	0,791	78,29	39,39	0,499
Punto 9	53,40	27,46	0,422	36,35	13,50	0,222
Punto 10	69,08	32,02	0,310	23,63	8,32	0,167
Punto 11	66,48	31,58	0,319	24,65	8,75	0,172
Punto 12	57,28	24,12	0,547	50,56	21,31	0,306
Punto 13	77,40	20,24	0,777	76,69	40,33	0,510
Punto 14	74,00	26,98	0,437	38,06	19,89	0,291
Punto 15	52,95	32,02	0,310	23,63	6,38	0,146
Punto 16	70,48	31,74	0,316	24,31	9,01	0,174
Punto 17	67,28	24,82	0,517	47,15	23,30	0,327
Punto 18	56,48	20,36	0,768	75,67	29,17	0,390
Punto 19	77,32	26,94	0,439	38,29	20,95	0,302
Punto 20	74,03	32,04	0,310	23,63	8,92	0,173
Punto 21	52,20	31,78	0,315	24,20	6,61	0,149
Punto 22	70,15	23,28	0,587	55,10	28,31	0,381
Punto 23	67,15	20,12	0,786	77,72	35,29	0,456
Punto 24	56,03	27,24	0,429	37,15	14,59	0,234
Punto 25	77,03	32,32	0,305	23,06	8,81	0,172
Punto 26	74,01	31,26	0,326	25,45	10,37	0,189
Punto 27	53,75	24,66	0,523	47,83	18,90	0,280
Punto 28	71,68	20,00	0,796	78,85	38,02	0,485
Punto 29	67,28	26,66	0,448	39,31	18,86	0,280
Punto 30	55,52	32,22	0,307	23,29	6,49	0,147
<b>Promedio =</b>				<b>44,275</b>		<b>0,286</b>

Fuente: Elaboración propia



**Gráfica N° 1: Corrección por temperatura para las medidas de BPN con el péndulo de fricción**



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.3.2. Cálculo de la fricción a cualquier velocidad

$$F(S) = F60 \times e^{\frac{60-S}{Sp}}$$

Dónde:

F (60) = la fricción a una velocidad de 60 km/hr. (calculado con el modelo)

S = Es la velocidad a la que queremos calcular la fricción

F(S) = Es la fricción encontrada a partir de la velocidad S

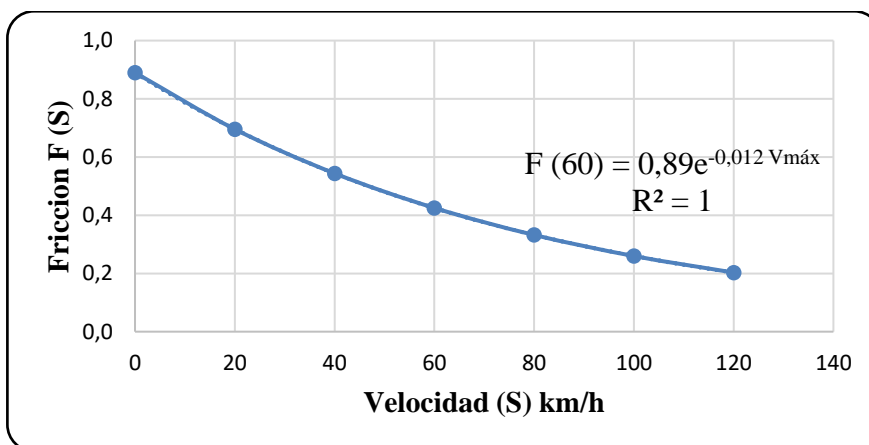
**Tabla N° 16: Cálculo de la fricción a cualquier velocidad**

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
<b>F (S)</b>	1,110	0,706	0,450	0,286	0,182	0,116	0,074

Fuente: Elaboración propia

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC = 0,373

**Gráfica N° 2: Curva de fricción – velocidad de deslizamiento**



Fuente: Elaboración propia

Velocidad máxima segura = 72,47 km/hr.

### **3.7. Ensayo con círculo de arena**

#### **3.7.1. Círculo de arena, método para determinar la textura superficial del pavimento**

El ensayo del círculo de arena, describe el procedimiento para determinar la profundidad de la macrotextura de la superficie del pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material y la subsecuente medición del área total cubierta por éste.

El método está sólo pensado para obtener un valor promedio de la profundidad de textura y no se considera sensible a la microtextura de la superficie del pavimento.

Los pavimentos con importante nivel de textura superficial permitirán un contacto más eficiente (en término de área de contacto) entre neumático y pavimento. Este método es adecuado en ensayos in situ para determinar el promedio de profundidad de macrotextura de una superficie de pavimento.

El conocimiento de la profundidad de macrotextura del pavimento sirve como herramienta para caracterizar la textura de la superficie. Cuando es utilizado en conjunto con otros ensayos, los valores de profundidad de macrotextura derivados de este método pueden ser

utilizados para determinar las capacidades de resistencia al deslizamiento del pavimento y lo adecuado de los materiales o técnicas de acabado utilizadas.

Cuando es utilizado con otros ensayos, se debe tener cuidado que todos los ensayos son aplicados en el mismo lugar. Producto del uso de la información obtenida mediante este método pueden resultar mejoramientos a las prácticas de acabado y mantenimiento.

Las mediciones de profundidad de textura obtenidas utilizando este método están influenciadas por las características de macrotextura del pavimento y no significativamente afectadas por la microtextura. La forma, tamaño y distribución de los áridos de la capa de rodadura son cualidades no abordadas por este método.

La superficie de pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido.

### **3.7.2. Equipo y materiales empleados para el desarrollo del ensayo**

Los elementos esenciales para la realización del ensayo consisten en los siguientes materiales y equipos:

- Arena normalizada, lavada, limpia, secada y tamizada.
- Cilindro contenedor de material, con un volumen interno predeterminado de al menos 25.000 mm<sup>3</sup>, para determinar el volumen de material esparcido.
- Disco para esparcir el material, plano y rígido, de 25 mm de espesor y 60 a 75 mm de diámetro. La parte inferior del disco se cubrió con una goma lisa y su parte superior contó con una manilla que facilitó su agarre.
- Escobillas, una de cerdas duras y otra de cerdas blandas, que fueron utilizadas para limpiar la superficie de ensayo.
- Caja protectora de viento, pantalla adecuada que evita las turbulencias de viento ocasionadas por el tránsito durante el ensayo.
- Regla, de al menos 300 mm de longitud con subdivisiones al milímetro.

- Balanza, con precisión a 0,1 gramos para asegurarse que el material utilizado en el ensayo es igual en masa y volumen.

### 3.7.2.1. Calibración del equipo

En este equipo se requiere especial cuidado con la limpieza de la arena y con los elementos graduados antes descritos a fin de no alterar las mediciones obtenidas. Por lo tanto la calibración en este caso está referida al cumplimiento estricto de las graduaciones tanto de arena y de recipientes como de elementos de medición que intervienen en el desarrollo del ensayo.

### 3.7.2.2. Procedimiento en campo

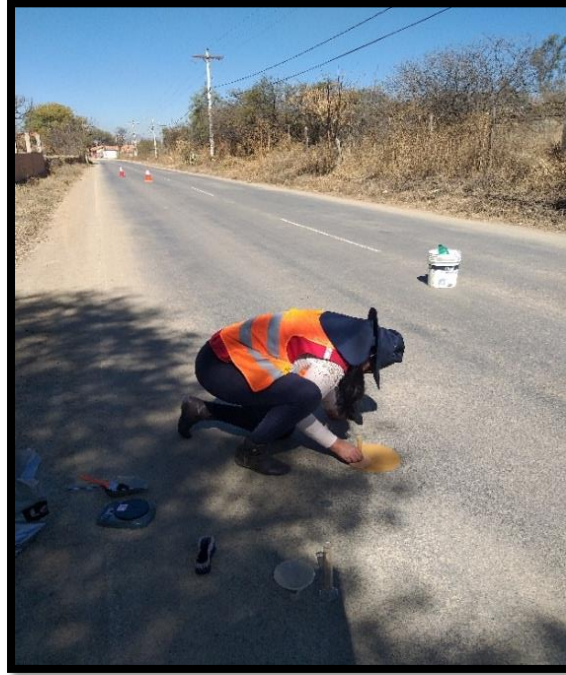
- **Área de muestra:** Se inspeccionó la superficie del pavimento a ser evaluada y se seleccionó un área seca y homogénea que no tenga singularidades tales como grietas o juntas.

Se procedió a limpiar completamente la superficie utilizando las escobillas para remover todos los residuos o material suelto en la superficie y finalmente se colocó la caja protectora para viento alrededor del área de estudio.

- **Material de muestra:** Para este ensayo se procedió a realizar el círculo de arena con un volumen de  $25 \text{ cm}^3$  que determinamos con la ayuda de una balanza de laboratorio, se determinó la masa de material dentro del cilindro y se utilizó esta misma cantidad en cada uno de los ensayos a lo largo del tramo.
- **Medida del ensayo:** Se vació el volumen o masa de material sobre la superficie limpia dentro del área protegida al viento. Cuidadosamente se esparció el material en forma circular con el disco plano, utilizando su lado de goma para estos efectos, llenando las cavidades de la superficie a ras con las crestas de los áridos de la capa de rodadura.

Se midió y registró el diámetro del área cubierta por el material tomando cinco medidas igualmente espaciadas sobre el círculo. Se calculó y registró el promedio de las cinco medidas.

**Figura N° 24: Desarrollo del ensayo del círculo de arena**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 25: Limpieza de la superficie para el ensayo del círculo de arena**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 17: Datos de la evaluación superficial del pavimento círculo de arena, método para determinar la textura superficial del pavimento Carril: Derecho (ida)**

<b>Puntos de estudio</b>	<b>Medidas con el círculo de arena</b>					<b>Promedio</b>
Punto 1	30,50	30,10	33,00	31,70	30,30	31,12
Punto 2	24,00	24,50	22,50	26,00	23,00	24,00
Punto 3	19,00	20,50	19,60	20,30	21,20	20,12
Punto 4	26,00	28,20	28,00	26,30	28,30	27,36
Punto 5	32,70	32,50	31,30	31,00	31,00	31,70
Punto 6	21,20	20,90	21,20	20,10	20,50	20,78
Punto 7	23,80	25,90	24,00	25,40	24,70	24,76
Punto 8	21,10	20,10	19,70	19,00	20,40	20,06
Punto 9	27,40	27,30	27,70	27,70	27,20	27,46
Punto 10	32,40	32,70	32,50	31,30	31,20	32,02
Punto 11	30,90	30,50	32,10	32,60	31,80	31,58
Punto 12	22,80	23,20	24,70	25,10	24,80	24,12
Punto 13	20,20	21,20	19,70	20,90	19,20	20,24
Punto 14	27,50	26,30	26,20	27,80	27,10	26,98
Punto 15	31,20	32,40	32,20	32,60	31,70	32,02
Punto 16	30,20	31,00	32,00	32,70	32,80	31,74
Punto 17	25,50	25,20	23,50	24,00	25,90	24,82
Punto 18	20,30	20,70	19,20	20,50	21,10	20,36
Punto 19	27,30	26,60	26,40	26,20	28,20	26,94
Punto 20	31,70	32,20	32,20	32,10	32,00	32,04
Punto 21	32,60	31,10	31,90	31,60	31,70	31,78
Punto 22	23,40	22,60	22,90	22,80	24,70	23,28
Punto 23	20,50	19,20	20,70	20,30	19,90	20,12
Punto 24	27,00	26,70	27,40	28,30	26,80	27,24
Punto 25	32,60	32,40	32,30	32,10	32,20	32,32
Punto 26	30,80	30,50	33,00	30,90	31,10	31,26
Punto 27	24,60	23,10	25,60	24,90	25,10	24,66
Punto 28	19,90	19,50	20,00	20,50	20,10	20,00
Punto 29	26,50	26,00	27,30	26,30	27,20	26,66
Punto 30	32,50	31,70	32,40	32,20	32,30	32,22

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 18: Tratamiento estadístico mediante error porcentual del ensayo círculo de arena, método para determinar la textura superficial del pavimento**

Punto de estudio	Círculo de arena					DV	E %
	Error absoluto						
Punto 1	0,62	1,02	1,88	0,58	0,82	0,98	3,16
Punto 2	0,00	0,50	1,50	2,00	1,00	1,00	4,17
Punto 3	1,12	0,38	0,52	0,18	1,08	0,66	3,26
Punto 4	1,36	0,84	0,64	1,06	0,94	0,97	3,54
Punto 5	1,00	0,80	0,40	0,70	0,70	0,72	2,27
Punto 6	0,42	0,12	0,42	0,68	0,28	0,38	1,85
Punto 7	0,96	1,14	0,76	0,64	0,06	0,71	2,88
Punto 8	1,04	0,04	0,36	1,06	0,34	0,57	2,83
Punto 9	0,06	0,16	0,24	0,24	0,26	0,19	0,70
Punto 10	0,38	0,68	0,48	0,72	0,82	0,62	1,92
Punto 11	0,68	1,08	0,52	1,02	0,22	0,70	2,23
Punto 12	1,32	0,92	0,58	0,98	0,68	0,90	3,71
Punto 13	0,04	0,96	0,54	0,66	1,04	0,65	3,20
Punto 14	0,52	0,68	0,78	0,82	0,12	0,58	2,16
Punto 15	0,82	0,38	0,18	0,58	0,32	0,46	1,42
Punto 16	1,54	0,74	0,26	0,96	1,06	0,91	2,87
Punto 17	0,68	0,38	1,32	0,82	1,08	0,86	3,45
Punto 18	0,06	0,34	1,16	0,14	0,74	0,49	2,40
Punto 19	0,36	0,34	0,54	0,74	1,26	0,65	2,41
Punto 20	0,34	0,16	0,16	0,06	0,04	0,15	0,47
Punto 21	0,82	0,68	0,12	0,18	0,08	0,38	1,18
Punto 22	0,12	0,68	0,38	0,48	1,42	0,62	2,65
Punto 23	0,38	0,92	0,58	0,18	0,22	0,46	2,27
Punto 24	0,24	0,54	0,16	1,06	0,44	0,49	1,79
Punto 25	0,28	0,08	0,02	0,22	0,12	0,14	0,45
Punto 26	0,46	0,76	1,74	0,36	0,16	0,70	2,23
Punto 27	0,06	1,56	0,94	0,24	0,44	0,65	2,63
Punto 28	0,10	0,50	0,00	0,50	0,10	0,24	1,20
Punto 29	0,16	0,66	0,64	0,36	0,54	0,47	1,77
Punto 30	0,28	0,52	0,18	0,02	0,08	0,22	0,67
<b>Valor máximo =</b>							<b>4,17</b>

Fuente: Elaboración propia

### Determinación de la textura del pavimento

$$H = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2}$$

Dónde:

H = Tx: la altura de la textura media

V = Volumen de arena utilizado. V = 25000 m<sup>3</sup>

D = Diámetro medio del círculo de arena

### Determinación de la constante de velocidad Sp

$$Sp = a + b \times Tx$$

Las constantes según norma ASTM E 965 son:

a	b
-11,5981	113,63246

### Determinación del parámetro F60

$$FR60 = FRs \times e^{\frac{S-60}{Sp}}$$

Dónde:

FRs = Valora de la fricción obtenida en campo.

S = Velocidad de operación del péndulo = 10 km/hr

Sp = Constante de velocidad.

$$F60 = A + B \times FR60$$

Las constantes A y B según norma ASTM E 274 son:

A	B
0,078	0,0107

**Resultados del ensayo círculo de arena, método para determinar la textura superficial del pavimento**



**Tabla N° 19: Resultados del ensayo círculo de arena, método para determinar la textura superficial del pavimento**

<b>Peso para el volumen de la muestra</b>	
<b>Peso constante (gr) =</b>	31,90
<b>Volumen de la muestra</b>	
<b>Volumen (mm³) =</b>	25.000,00

Identificación	Diámetros de los círculos (mm)					Diámetro promedio (mm)	MTD
	1	2	3	4	5		Profundidad media de macrotextura (mm)
Punto 1	305	301	330	317	303	311,20	0,33
Punto 2	240	245	225	260	230	240,00	0,55
Punto 3	190	205	196	203	212	201,20	0,79
Punto 4	260	282	280	263	283	273,60	0,43
Punto 5	327	325	313	310	310	317,00	0,32
Punto 6	212	209	212	201	205	207,80	0,74
Punto 7	238	259	240	254	247	247,60	0,52
Punto 8	211	201	197	190	204	200,60	0,79
Punto 9	274	273	277	277	272	274,60	0,42
Punto 10	324	327	325	313	312	320,20	0,31
Punto 11	309	305	321	326	318	315,80	0,32
Punto 12	228	232	247	251	248	241,20	0,55
Punto 13	202	212	197	209	192	202,40	0,78
Punto 14	275	263	262	278	271	269,80	0,44
Punto 15	312	324	322	326	317	320,20	0,31
Punto 16	302	310	320	327	328	317,40	0,32
Punto 17	255	252	235	240	259	248,20	0,52
Punto 18	203	207	192	205	211	203,60	0,77
Punto 19	273	266	264	262	282	269,40	0,44
Punto 20	317	322	322	321	320	320,40	0,31
Punto 21	326	311	319	316	317	317,80	0,32
Punto 22	234	226	229	228	247	232,80	0,59
Punto 23	205	192	207	203	199	201,20	0,79
Punto 24	270	267	274	283	268	272,40	0,43
Punto 25	326	324	323	321	322	323,20	0,30
Punto 26	308	305	330	309	311	312,60	0,33
Punto 27	246	231	256	249	251	246,60	0,52
Punto 28	199	195	200	205	201	200,00	0,80
Punto 29	265	260	273	263	272	266,60	0,45
Punto 30	325	317	324	322	323	322,20	0,31
<b>Promedio =</b>							<b>0,49</b>

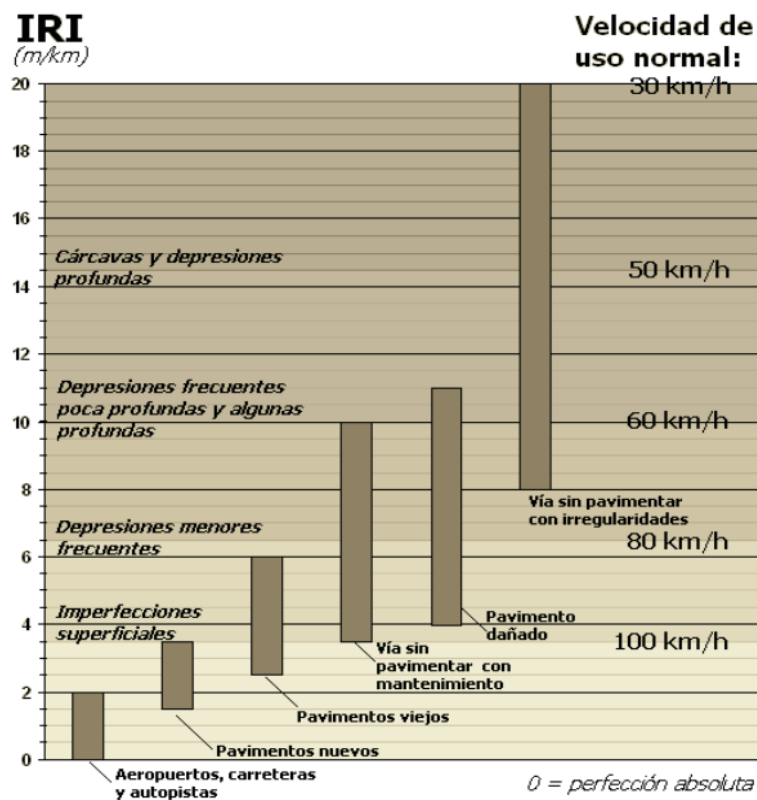
Fuente: Elaboración propia

### 3.8. Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

Una buena regularidad de la superficie de los pavimentos brinda condiciones de comodidad y seguridad para los usuarios de las vías.

Una mala regularidad, además de afectar los aspectos anteriores, refleja daños y deterioro de carácter funcional y estructural de los pavimentos que influyen negativamente en su estado de condición y vida útil.

**Figura N° 26: Escala estándar empleada para la cuantificación del IRI**



Fuente: Adaptado de UMTRI Research Review, 2002

El Índice de Regularidad Internacional (IRI) surgió como una necesidad de unificar los criterios para la medición de la regularidad superficial de las carreteras, constituyéndose hoy en día en uno de los parámetros de mayor aceptación y utilización para medir el deterioro superficial de los pavimentos. Permite valorar la calidad del estado de los pavimentos, siendo utilizado tanto para el diseño como para la planificación de la conservación y mantenimiento de los mismos. Para la obtención de este parámetro se

utilizan disímiles equipos y procedimientos, los cuales se clasifican en dependencia de su precisión. En la figura N° 20 se pueden observar los rangos típicos del IRI y las unidades más utilizadas comúnmente.

### **3.8.1. Personal para la determinación del Índice de Regularidad Internacional**

Para realizar un sistema de evaluación mínimamente una persona debe tener un pleno conocimiento sobre la cuantificación de fallas, en este caso en particular corresponde esta función al autor de este trabajo, y que para tramos largos el personal de apoyo debe ser por lo menos de tres personas, los mismos que se encargaran de colaborar con la señalización, la medición de fallas de los tramos y con el equipo topográfico para la determinación del IRI.

**Figura N° 27: Personal empleado para la estimación de los datos del IRI.**



Fuente: Elaboración propia

### **3.8.2. Equipo y material de trabajo**

El equipo que se empleó en el presente estudio es una Estación Total para la determinación del índice de Rugosidad Internacional IRI, este equipo cuenta con dos prismas con sus respectivos jalones, un trípode y accesorios pequeños. En cuanto al material de trabajo se utilizó una huincha de 50 metros aproximadamente, un cuaderno de anotaciones, planillas

para el registro de las diferentes fallas, bolígrafos, reglas graduadas en centímetros y milímetros, flexómetro, una cámara fotográfica, tiza y pintura para marcar los tramos en donde se llevará a cabo el relevamiento de cada uno los datos necesarios para determinar el IRI.

**Figura N° 28: Equipo y material de trabajo empleado para la toma de datos**



Fuente: Elaboración propia

### **3.8.3. Medición de fallas superficiales**

Para comenzar a medir las fallas y daños superficiales del pavimento flexible se deben seguir los siguientes pasos:

- Preparar y alistar todo el material y equipo necesario y personal de apoyo, coordinar con las autoridades competentes y planificar la metodología de trabajo.
- Inspeccionar el tramo en estudio y determinar el punto de inicio para el levantamiento de las fallas.

- Prever inconvenientes en el transcurso de la medición especialmente de los fenómenos atmosféricos para evitar alteraciones a la hora de la toma de datos.
- Tener un cierto orden en la recolección de los datos para su posterior procesamiento (trabajo de gabinete).

#### **3.8.4. Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)**

Los pasos a seguir son similares a los pasos mencionados anteriormente:

- Una vez asegurado el tramo en estudio se procede a obtener los puntos necesarios con la ayuda de la estación total para poder determinar el IRI.
- Se debe instalar y armar el equipo topográfico en un lugar donde se tenga una óptima visibilidad, con ayuda de una huincha junto con los prismas y cada 1 metro aproximadamente se va estimando los puntos de desnivel, así sucesivamente hasta completar el total del tramo en estudio.
- Los datos lecturados para la determinación del IRI quedan grabados en la memoria de la estación total, pero siempre es fundamental anotar los puntos de inicio y fin de los tramos en estudio, así como el de los puntos más relevantes para poder procesar los datos adecuadamente.

#### **3.8.5. Metodología planteada**

##### **3.8.5.1. Procedimiento de campo**

Para la ejecución del índice de regularidad internacional, se procedió a seleccionar los tramos a ser evaluados mediante este método los cuales fueron tramos rectos y sin mucha pendiente.

La longitud total del tramo en estudio es de aproximadamente 550 metros, todo el tramo pavimentado fue evaluado.

Se dividió en tramos más pequeños para tener una mayor precisión en la estimación de su rugosidad, los tramos de muestreo fueron de una longitud de 50 metros, los cuales fueron identificados, señalados y evaluados respectivamente.

**Figura N° 29: Instalación del equipo (Estación total)**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 30: Calibración del equipo topográfico y determinación de los puntos más relevantes.**



Fuente: Elaboración propia



**Figura N° 31: Estimación de los puntos específicos cada metro aproximadamente con la ayuda del prisma**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 32: Determinación de los puntos de cada tramo**



Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que se emplearon todas las medidas de seguridad y precaución necesaria para evitar cualquier tipo de accidente, como se muestra en las imágenes se contó con la indumentaria adecuada y óptima para la realización del estudio, así también como conos y otros instrumentos imprescindibles a la hora de toma de datos en una carretera.

### **3.8.6. Estimación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)**

El Índice Internacional de Rugosidad es la acumulación de deformaciones con respecto a un eje, este índice nos indica la irregularidad superficial, es decir la diferencia entre lo real de lo ideal, se lo conoce también como rugosidad del pavimento.

La estimación del IRI se lo realiza de la siguiente manera:

- Verificar los datos si tuvieron una buena medición.
- Tener datos de alturas y distancias parciales de cada punto.
- Con las alturas y acumulación de las distancias para hallar la ecuación de la curva teórica que de una aproximación de la curva real.
- Hallar el valor del IRI con la diferencia de cotas del perfil real con el teórico dividido entre la longitud parcial en valor absoluto.

### **3.8.7. Descripción de la estimación del IRI**

Debido a que el procesamiento de los datos de campo manualmente es demasiado moroso y tedioso, se recurrió al empleo de la denominada regresión lineal, con la ayuda de la ecuación obtenida gráficamente, se pudo encontrar un valor medio de la línea de correlación estimada y haciendo una diferencia con la cota se determina el IRI, para cada uno de los puntos de los tramos de muestreo se realizó este procedimiento y mediante la estimación de un promedio se obtuvo el IRI correspondiente para cada tramo en estudio.

Luego, con la ayuda de la escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías se procedió a determinar el tipo de vía que presenta cada uno de los tramos en estudio.

### **3.8.8. Cálculos y resultados del IRI**

A continuación, se detalla las tablas con los datos y resultados obtenidos:

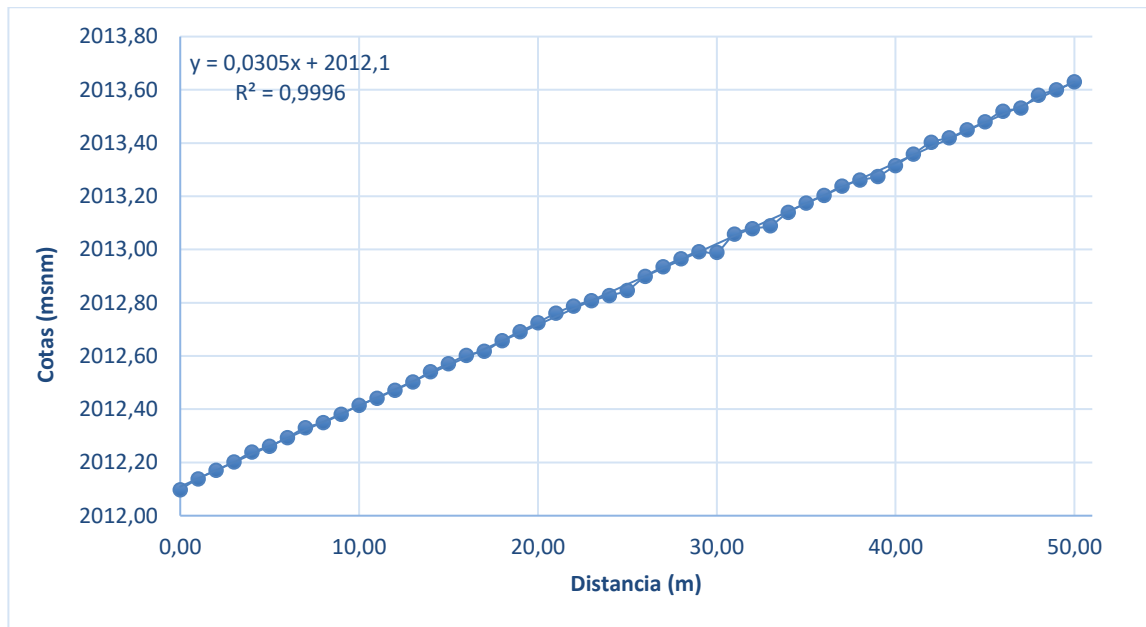


**Tabla N° 20: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 0+060-0+110**

Progresivas	Cotas (msnm)	Distancia (m)	Distancia acumulada (m)	Valor medio línea de correlación	Valor del I.R.I.
0+060,00	2012,10	0,00	0,00	2012,100	
0+061,00	2012,14	1,00	1,00	2012,131	8,50
0+062,00	2012,17	1,00	2,00	2012,161	10,00
0+063,00	2012,20	1,00	3,00	2012,192	10,50
0+064,00	2012,24	1,00	4,00	2012,222	17,00
0+065,00	2012,26	1,00	5,00	2012,253	8,50
0+066,00	2012,29	1,00	6,00	2012,283	11,00
0+067,00	2012,33	1,00	7,00	2012,314	17,50
0+068,00	2012,35	1,00	8,00	2012,344	6,00
0+069,00	2012,38	1,00	9,00	2012,375	6,50
0+070,00	2012,42	1,00	10,00	2012,405	10,00
0+071,00	2012,44	1,00	11,00	2012,436	6,50
0+072,00	2012,47	1,00	12,00	2012,466	6,00
0+073,00	2012,50	1,00	13,00	2012,497	6,50
0+074,00	2012,54	1,00	14,00	2012,527	14,00
0+075,00	2012,57	1,00	15,00	2012,558	13,50
0+076,00	2012,60	1,00	16,00	2012,588	15,00
0+077,00	2012,62	1,00	17,00	2012,619	0,50
0+078,00	2012,66	1,00	18,00	2012,649	9,00
0+079,00	2012,69	1,00	19,00	2012,680	12,50
0+080,00	2012,73	1,00	20,00	2012,710	15,00
0+081,00	2012,76	1,00	21,00	2012,741	20,50
0+082,00	2012,79	1,00	22,00	2012,771	17,00
0+083,00	2012,81	1,00	23,00	2012,802	6,50
0+084,00	2012,83	1,00	24,00	2012,832	5,00
0+085,00	2012,85	1,00	25,00	2012,863	15,50
0+086,00	2012,90	1,00	26,00	2012,893	6,00
0+087,00	2012,94	1,00	27,00	2012,924	11,50
0+088,00	2012,97	1,00	28,00	2012,954	12,00
0+089,00	2012,99	1,00	29,00	2012,985	7,50
0+090,00	2012,99	1,00	30,00	2013,015	25,00
0+091,00	2013,06	1,00	31,00	2013,046	12,60
0+092,00	2013,08	1,00	32,00	2013,076	3,00
0+093,00	2013,09	1,00	33,00	2013,107	16,50
0+094,00	2013,14	1,00	34,00	2013,137	3,00
0+095,00	2013,18	1,00	35,00	2013,168	7,50
0+096,00	2013,20	1,00	36,00	2013,198	6,00
0+097,00	2013,24	1,00	37,00	2013,229	9,50
0+098,00	2013,26	1,00	38,00	2013,259	2,00
0+099,00	2013,28	1,00	39,00	2013,290	14,50
0+100,00	2013,32	1,00	40,00	2013,320	4,00
0+101,00	2013,36	1,00	41,00	2013,351	8,50
0+102,00	2013,40	1,00	42,00	2013,381	22,00
0+103,00	2013,42	1,00	43,00	2013,412	8,50
0+104,00	2013,45	1,00	44,00	2013,442	8,00
0+105,00	2013,48	1,00	45,00	2013,473	7,50
0+106,00	2013,52	1,00	46,00	2013,503	17,00
0+107,00	2013,53	1,00	47,00	2013,534	1,50
0+108,00	2013,58	1,00	48,00	2013,564	16,00
0+109,00	2013,60	1,00	49,00	2013,595	5,50
0+110,00	2013,63	1,00	50,00	2013,625	6,00
				Promedio	10,19

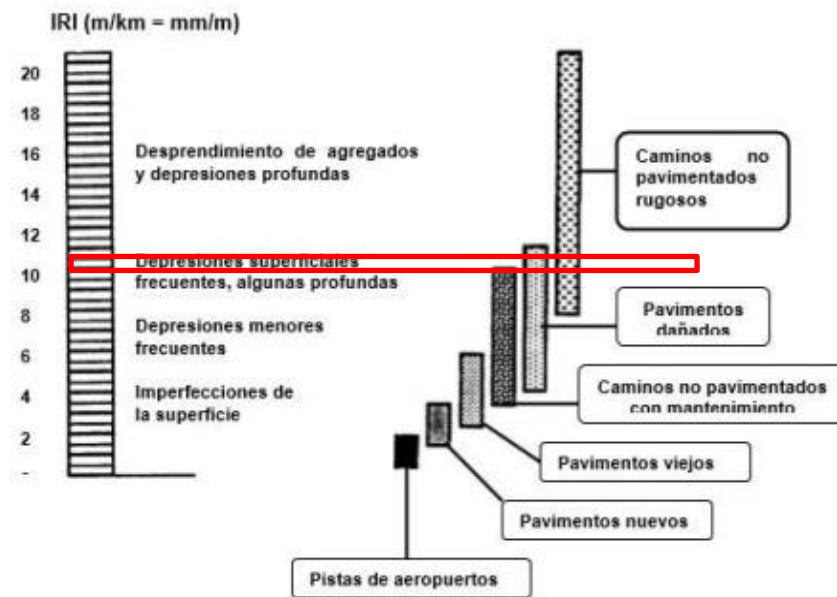
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica N° 3: Relación cotas vs distancia 0+060-0+110**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 33: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 0+060-0+110**



Fuente: Elaboración propia

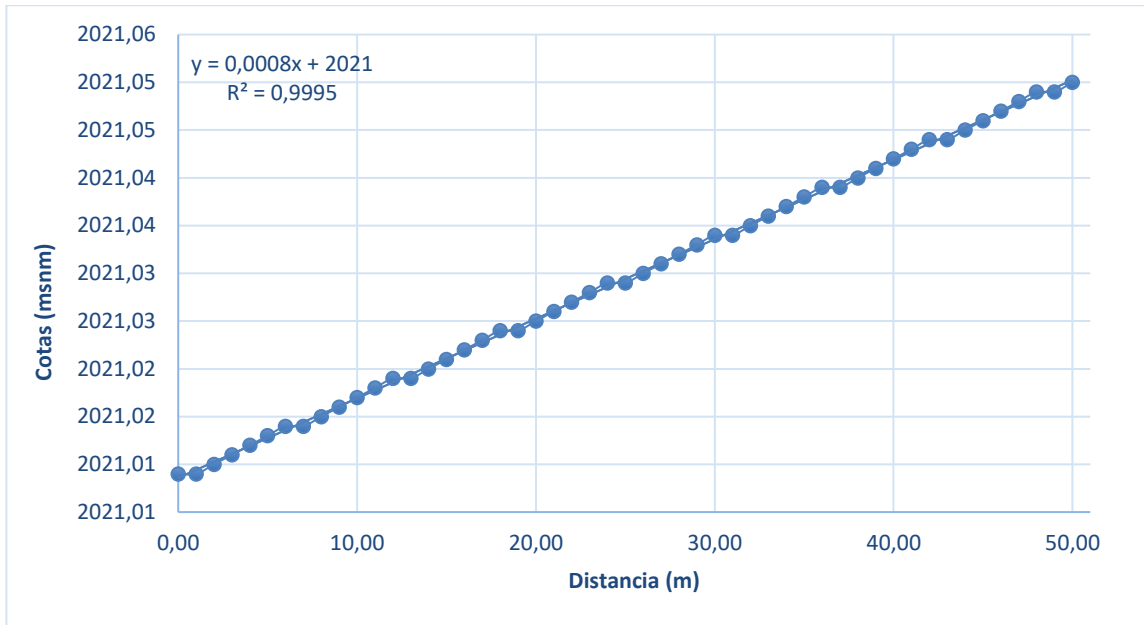
**IRI= 10,19 mm/m= Pavimento dañado**

**Tabla N° 21: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 0+280-0+330**

Progresivas	Cotas (msnm)	Distancia (m)	Distancia acumulada (m)	Valor medio línea de correlación	Valor del I.R.I.
0+280,00	2021,01	0,00	0,00	2021,000	
0+281,00	2021,01	1,00	1,00	2021,001	8,20
0+282,00	2021,01	1,00	2,00	2021,002	8,40
0+283,00	2021,01	1,00	3,00	2021,002	8,60
0+284,00	2021,01	1,00	4,00	2021,003	8,80
0+285,00	2021,01	1,00	5,00	2021,004	9,00
0+286,00	2021,01	1,00	6,00	2021,005	9,20
0+287,00	2021,01	1,00	7,00	2021,006	8,40
0+288,00	2021,02	1,00	8,00	2021,006	8,60
0+289,00	2021,02	1,00	9,00	2021,007	8,80
0+290,00	2021,02	1,00	10,00	2021,008	9,00
0+291,00	2021,02	1,00	11,00	2021,009	9,20
0+292,00	2021,02	1,00	12,00	2021,010	9,40
0+293,00	2021,02	1,00	13,00	2021,010	8,60
0+294,00	2021,02	1,00	14,00	2021,011	8,80
0+295,00	2021,02	1,00	15,00	2021,012	9,00
0+296,00	2021,02	1,00	16,00	2021,013	9,20
0+297,00	2021,02	1,00	17,00	2021,014	9,40
0+298,00	2021,02	1,00	18,00	2021,014	9,60
0+299,00	2021,02	1,00	19,00	2021,015	8,80
0+300,00	2021,03	1,00	20,00	2021,016	9,00
0+301,00	2021,03	1,00	21,00	2021,017	9,20
0+302,00	2021,03	1,00	22,00	2021,018	9,40
0+303,00	2021,03	1,00	23,00	2021,018	9,60
0+304,00	2021,03	1,00	24,00	2021,019	9,80
0+305,00	2021,03	1,00	25,00	2021,020	9,00
0+306,00	2021,03	1,00	26,00	2021,021	9,20
0+307,00	2021,03	1,00	27,00	2021,022	9,40
0+308,00	2021,03	1,00	28,00	2021,022	9,60
0+309,00	2021,03	1,00	29,00	2021,023	9,80
0+310,00	2021,03	1,00	30,00	2021,024	10,00
0+311,00	2021,03	1,00	31,00	2021,025	9,20
0+312,00	2021,04	1,00	32,00	2021,026	9,40
0+313,00	2021,04	1,00	33,00	2021,026	9,60
0+314,00	2021,04	1,00	34,00	2021,027	9,80
0+315,00	2021,04	1,00	35,00	2021,028	10,00
0+316,00	2021,04	1,00	36,00	2021,029	10,20
0+317,00	2021,04	1,00	37,00	2021,030	9,40
0+318,00	2021,04	1,00	38,00	2021,030	9,60
0+319,00	2021,04	1,00	39,00	2021,031	9,80
0+320,00	2021,04	1,00	40,00	2021,032	10,00
0+321,00	2021,04	1,00	41,00	2021,033	10,20
0+322,00	2021,04	1,00	42,00	2021,034	10,40
0+323,00	2021,04	1,00	43,00	2021,034	9,60
0+324,00	2021,05	1,00	44,00	2021,035	9,80
0+325,00	2021,05	1,00	45,00	2021,036	10,00
0+326,00	2021,05	1,00	46,00	2021,037	10,20
0+327,00	2021,05	1,00	47,00	2021,038	10,40
0+328,00	2021,05	1,00	48,00	2021,038	10,60
0+329,00	2021,05	1,00	49,00	2021,039	9,80
0+330,00	2021,05	1,00	50,00	2021,040	10,00
				Promedio	9,42

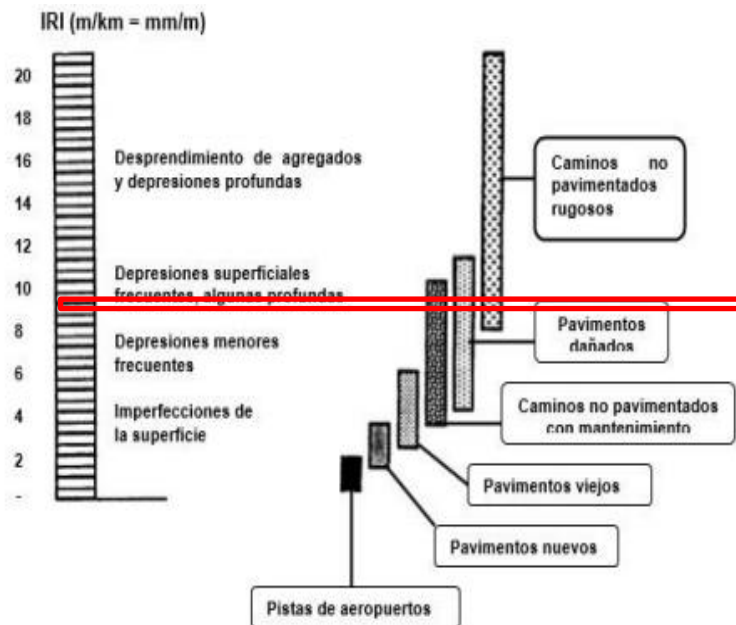
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica N° 4: Relación cotas vs distancia 0+280-0+330**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 34: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 0+280-0+330**



Fuente: Elaboración propia

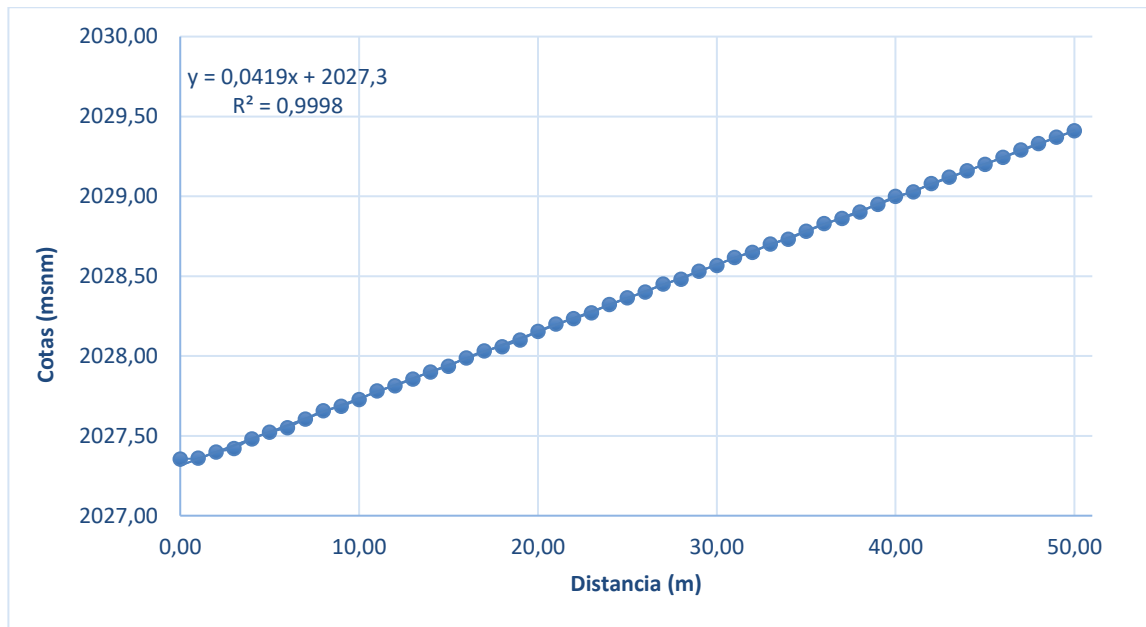
**IRI= 9,42 mm/m= Pavimento dañado**

**Tabla N° 22: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 1+000-1+050**

Progresivas	Cotas (msnm)	Distancia (m)	Distancia acumulada (m)	Valor medio línea de correlación	Valor del I.R.I.
1+000,00	2027,36	0,00	0,00	2027,300	
1+001,00	2027,36	1,00	1,00	2027,342	18,90
1+002,00	2027,40	1,00	2,00	2027,384	14,80
1+003,00	2027,42	1,00	3,00	2027,426	5,30
1+004,00	2027,48	1,00	4,00	2027,468	13,60
1+005,00	2027,52	1,00	5,00	2027,511	12,50
1+006,00	2027,55	1,00	6,00	2027,553	0,60
1+007,00	2027,61	1,00	7,00	2027,595	11,30
1+008,00	2027,66	1,00	8,00	2027,637	21,20
1+009,00	2027,69	1,00	9,00	2027,679	6,10
1+010,00	2027,73	1,00	10,00	2027,721	7,00
1+011,00	2027,78	1,00	11,00	2027,763	17,90
1+012,00	2027,81	1,00	12,00	2027,805	8,80
1+013,00	2027,86	1,00	13,00	2027,847	8,70
1+014,00	2027,90	1,00	14,00	2027,889	11,60
1+015,00	2027,94	1,00	15,00	2027,932	5,50
1+016,00	2027,99	1,00	16,00	2027,974	15,40
1+017,00	2028,03	1,00	17,00	2028,016	16,30
1+018,00	2028,06	1,00	18,00	2028,058	1,20
1+019,00	2028,10	1,00	19,00	2028,100	0,10
1+020,00	2028,15	1,00	20,00	2028,142	12,00
1+021,00	2028,20	1,00	21,00	2028,184	16,90
1+022,00	2028,23	1,00	22,00	2028,226	7,80
1+023,00	2028,27	1,00	23,00	2028,268	2,70
1+024,00	2028,32	1,00	24,00	2028,310	11,60
1+025,00	2028,36	1,00	25,00	2028,353	11,50
1+026,00	2028,40	1,00	26,00	2028,395	6,40
1+027,00	2028,45	1,00	27,00	2028,437	14,30
1+028,00	2028,48	1,00	28,00	2028,479	2,20
1+029,00	2028,53	1,00	29,00	2028,521	11,10
1+030,00	2028,57	1,00	30,00	2028,563	5,00
1+031,00	2028,62	1,00	31,00	2028,605	11,90
1+032,00	2028,65	1,00	32,00	2028,647	1,80
1+033,00	2028,70	1,00	33,00	2028,689	11,70
1+034,00	2028,73	1,00	34,00	2028,731	0,40
1+035,00	2028,78	1,00	35,00	2028,774	7,50
1+036,00	2028,83	1,00	36,00	2028,816	13,40
1+037,00	2028,86	1,00	37,00	2028,858	3,30
1+038,00	2028,90	1,00	38,00	2028,900	1,20
1+039,00	2028,95	1,00	39,00	2028,942	9,10
1+040,00	2029,00	1,00	40,00	2028,984	16,00
1+041,00	2029,03	1,00	41,00	2029,026	1,90
1+042,00	2029,08	1,00	42,00	2029,068	11,80
1+043,00	2029,12	1,00	43,00	2029,110	9,70
1+044,00	2029,16	1,00	44,00	2029,152	7,60
1+045,00	2029,20	1,00	45,00	2029,195	6,50
1+046,00	2029,24	1,00	46,00	2029,237	7,40
1+047,00	2029,29	1,00	47,00	2029,279	12,30
1+048,00	2029,33	1,00	48,00	2029,321	9,20
1+049,00	2029,37	1,00	49,00	2029,363	7,10
1+050,00	2029,41	1,00	50,00	2029,405	6,00
				Promedio	9,08

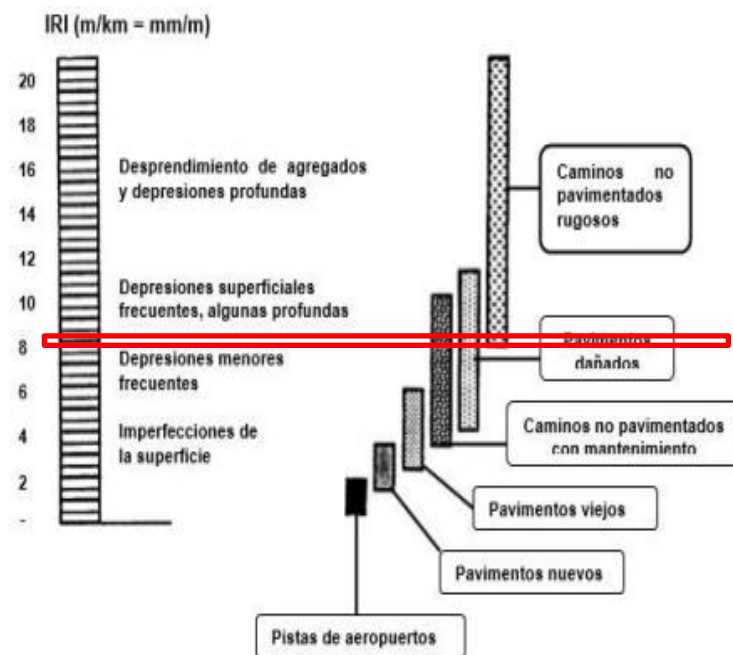
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica N° 5: Relación cotas vs distancia 1+000-1+050**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 35: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 1+000-1+050**



Fuente: Elaboración propia

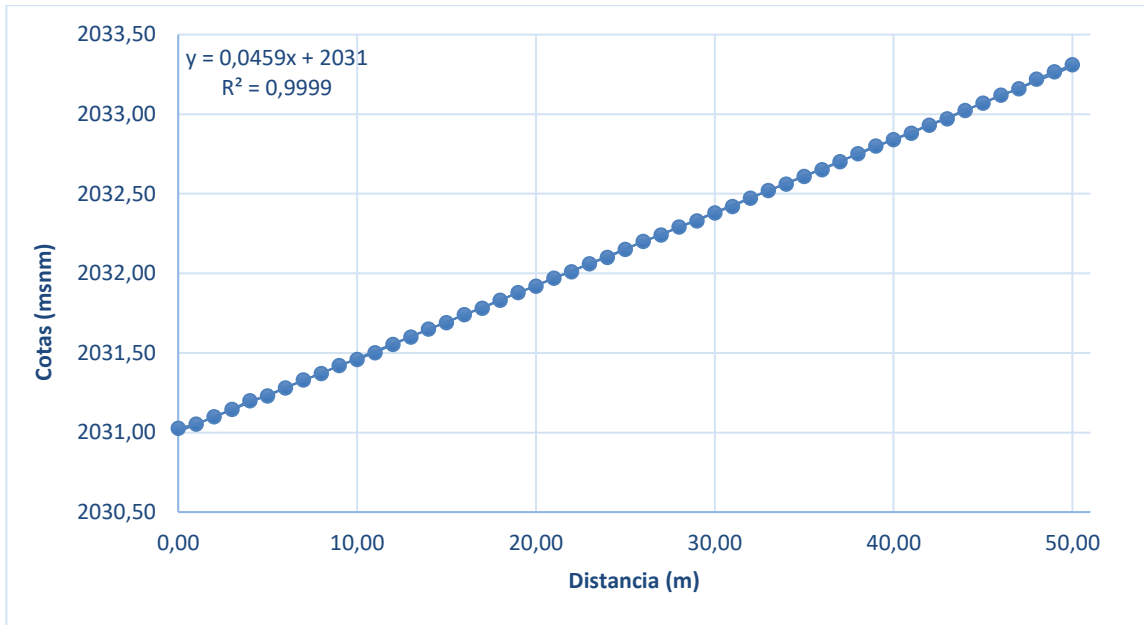
**IRI= 9,08 mm/m= Pavimento dañado**

**Tabla N° 23: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 2+290-2+340**

Progresivas	Cotas (msnm)	Distancia (m)	Distancia acumulada (m)	Valor medio línea de correlación	Valor del I.R.I.
2+290,00	2031,03	0,00	0,00	2031,000	
2+291,00	2031,05	1,00	1,00	2031,046	8,20
2+292,00	2031,10	1,00	2,00	2031,092	8,40
2+293,00	2031,15	1,00	3,00	2031,137	8,60
2+294,00	2031,20	1,00	4,00	2031,183	16,80
2+295,00	2031,23	1,00	5,00	2031,229	1,00
2+296,00	2031,28	1,00	6,00	2031,275	6,20
2+297,00	2031,33	1,00	7,00	2031,321	9,40
2+298,00	2031,37	1,00	8,00	2031,366	4,60
2+299,00	2031,42	1,00	9,00	2031,412	8,80
2+300,00	2031,46	1,00	10,00	2031,458	2,00
2+301,00	2031,50	1,00	11,00	2031,504	2,80
2+302,00	2031,55	1,00	12,00	2031,550	3,40
2+303,00	2031,60	1,00	13,00	2031,595	4,60
2+304,00	2031,65	1,00	14,00	2031,641	9,80
2+305,00	2031,69	1,00	15,00	2031,687	3,00
2+306,00	2031,74	1,00	16,00	2031,733	8,20
2+307,00	2031,78	1,00	17,00	2031,779	2,40
2+308,00	2031,83	1,00	18,00	2031,824	6,60
2+309,00	2031,88	1,00	19,00	2031,870	8,80
2+310,00	2031,92	1,00	20,00	2031,916	4,00
2+311,00	2031,97	1,00	21,00	2031,962	9,20
2+312,00	2032,01	1,00	22,00	2032,008	2,40
2+313,00	2032,06	1,00	23,00	2032,053	6,60
2+314,00	2032,10	1,00	24,00	2032,099	0,80
2+315,00	2032,15	1,00	25,00	2032,145	6,00
2+316,00	2032,20	1,00	26,00	2032,191	10,20
2+317,00	2032,24	1,00	27,00	2032,237	4,40
2+318,00	2032,29	1,00	28,00	2032,282	8,60
2+319,00	2032,33	1,00	29,00	2032,328	1,80
2+320,00	2032,38	1,00	30,00	2032,374	6,00
2+321,00	2032,42	1,00	31,00	2032,420	1,20
2+322,00	2032,47	1,00	32,00	2032,466	7,40
2+323,00	2032,52	1,00	33,00	2032,511	9,60
2+324,00	2032,56	1,00	34,00	2032,557	4,80
2+325,00	2032,61	1,00	35,00	2032,603	7,00
2+326,00	2032,65	1,00	36,00	2032,649	3,20
2+327,00	2032,70	1,00	37,00	2032,695	6,40
2+328,00	2032,75	1,00	38,00	2032,740	12,60
2+329,00	2032,80	1,00	39,00	2032,786	13,80
2+330,00	2032,84	1,00	40,00	2032,832	9,00
2+331,00	2032,88	1,00	41,00	2032,878	3,20
2+332,00	2032,93	1,00	42,00	2032,924	7,40
2+333,00	2032,97	1,00	43,00	2032,969	1,60
2+334,00	2033,02	1,00	44,00	2033,015	7,80
2+335,00	2033,07	1,00	45,00	2033,061	9,00
2+336,00	2033,12	1,00	46,00	2033,107	13,20
2+337,00	2033,16	1,00	47,00	2033,153	7,40
2+338,00	2033,22	1,00	48,00	2033,198	21,60
2+339,00	2033,27	1,00	49,00	2033,244	22,80
2+340,00	2033,31	1,00	50,00	2033,290	20,00
				Promedio	7,45

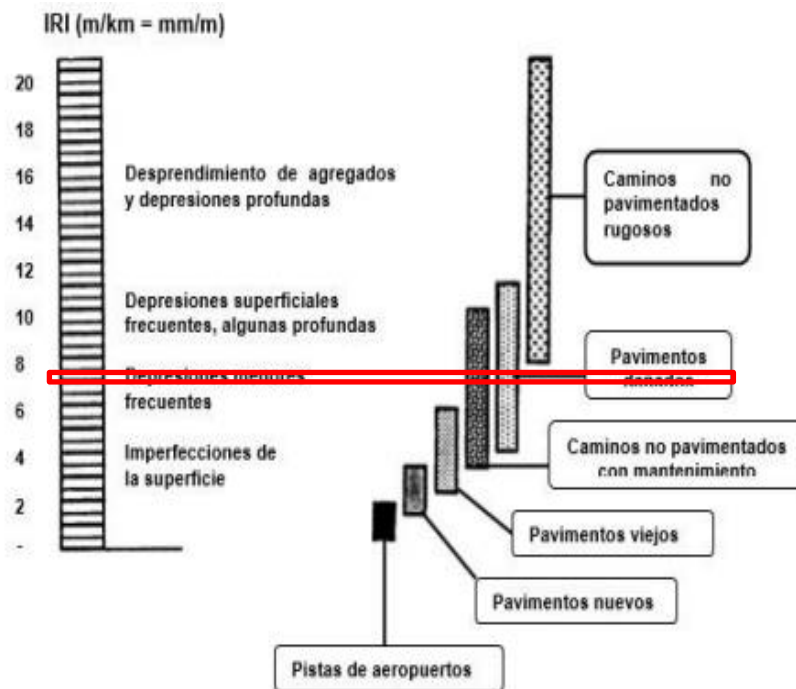
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica N° 6: Relación cotas vs distancia 2+290-2+340**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 36: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 2+290-2+340**



Fuente: Elaboración propia

**IRI= 7,45 mm/m= Pavimento dañado**

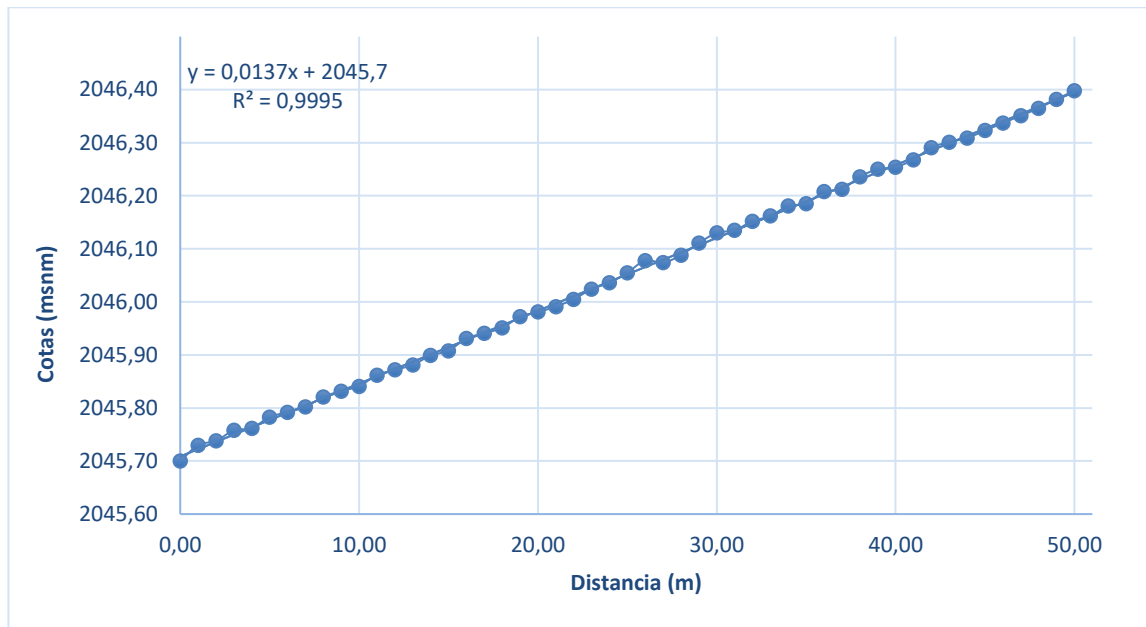


**Tabla N° 24: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 2+890-2+940**

Progresivas	Cotas (msnm)	Distancia (m)	Distancia acumulada (m)	Valor medio línea de correlación	Valor del I.R.I.
2+890,00	2045,70	0,00	0,00	2045,700	
2+891,00	2045,73	1,00	1,00	2045,714	16,20
2+892,00	2045,74	1,00	2,00	2045,728	10,40
2+893,00	2045,76	1,00	3,00	2045,741	16,60
2+894,00	2045,76	1,00	4,00	2045,755	6,80
2+895,00	2045,78	1,00	5,00	2045,769	14,00
2+896,00	2045,79	1,00	6,00	2045,783	9,20
2+897,00	2045,80	1,00	7,00	2045,797	5,40
2+898,00	2045,82	1,00	8,00	2045,810	10,60
2+899,00	2045,83	1,00	9,00	2045,824	7,80
2+900,00	2045,84	1,00	10,00	2045,838	3,00
2+901,00	2045,86	1,00	11,00	2045,852	10,20
2+902,00	2045,87	1,00	12,00	2045,866	6,40
2+903,00	2045,88	1,00	13,00	2045,879	1,60
2+904,00	2045,90	1,00	14,00	2045,893	5,80
2+905,00	2045,91	1,00	15,00	2045,907	1,00
2+906,00	2045,93	1,00	16,00	2045,921	10,20
2+907,00	2045,94	1,00	17,00	2045,935	6,40
2+908,00	2045,95	1,00	18,00	2045,948	2,60
2+909,00	2045,97	1,00	19,00	2045,962	9,80
2+910,00	2045,98	1,00	20,00	2045,976	5,00
2+911,00	2045,99	1,00	21,00	2045,990	1,20
2+912,00	2046,01	1,00	22,00	2046,004	1,40
2+913,00	2046,02	1,00	23,00	2046,017	6,60
2+914,00	2046,04	1,00	24,00	2046,031	4,80
2+915,00	2046,06	1,00	25,00	2046,045	10,00
2+916,00	2046,08	1,00	26,00	2046,059	19,20
2+917,00	2046,07	1,00	27,00	2046,073	1,40
2+918,00	2046,09	1,00	28,00	2046,086	1,60
2+919,00	2046,11	1,00	29,00	2046,100	10,80
2+920,00	2046,13	1,00	30,00	2046,114	16,00
2+921,00	2046,14	1,00	31,00	2046,128	7,20
2+922,00	2046,15	1,00	32,00	2046,142	10,40
2+923,00	2046,16	1,00	33,00	2046,155	6,60
2+924,00	2046,18	1,00	34,00	2046,169	11,80
2+925,00	2046,19	1,00	35,00	2046,183	2,00
2+926,00	2046,21	1,00	36,00	2046,197	11,20
2+927,00	2046,21	1,00	37,00	2046,211	1,40
2+928,00	2046,24	1,00	38,00	2046,224	11,60
2+929,00	2046,25	1,00	39,00	2046,238	11,80
2+930,00	2046,25	1,00	40,00	2046,252	2,00
2+931,00	2046,27	1,00	41,00	2046,266	2,20
2+932,00	2046,29	1,00	42,00	2046,280	11,40
2+933,00	2046,30	1,00	43,00	2046,293	7,60
2+934,00	2046,31	1,00	44,00	2046,307	1,80
2+935,00	2046,32	1,00	45,00	2046,321	2,00
2+936,00	2046,34	1,00	46,00	2046,335	2,20
2+937,00	2046,35	1,00	47,00	2046,349	2,40
2+938,00	2046,37	1,00	48,00	2046,362	2,60
2+939,00	2046,38	1,00	49,00	2046,376	5,80
2+940,00	2046,40	1,00	50,00	2046,390	8,00
				Promedio	7,08

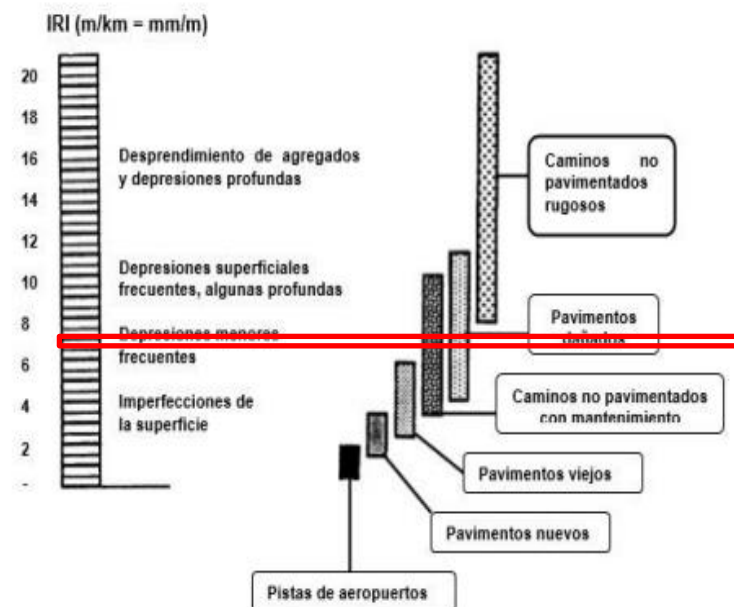
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica N° 7: Relación cotas vs distancia 2+890-2+940**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 37: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 2+890-2+940**



Fuente: Elaboración propia

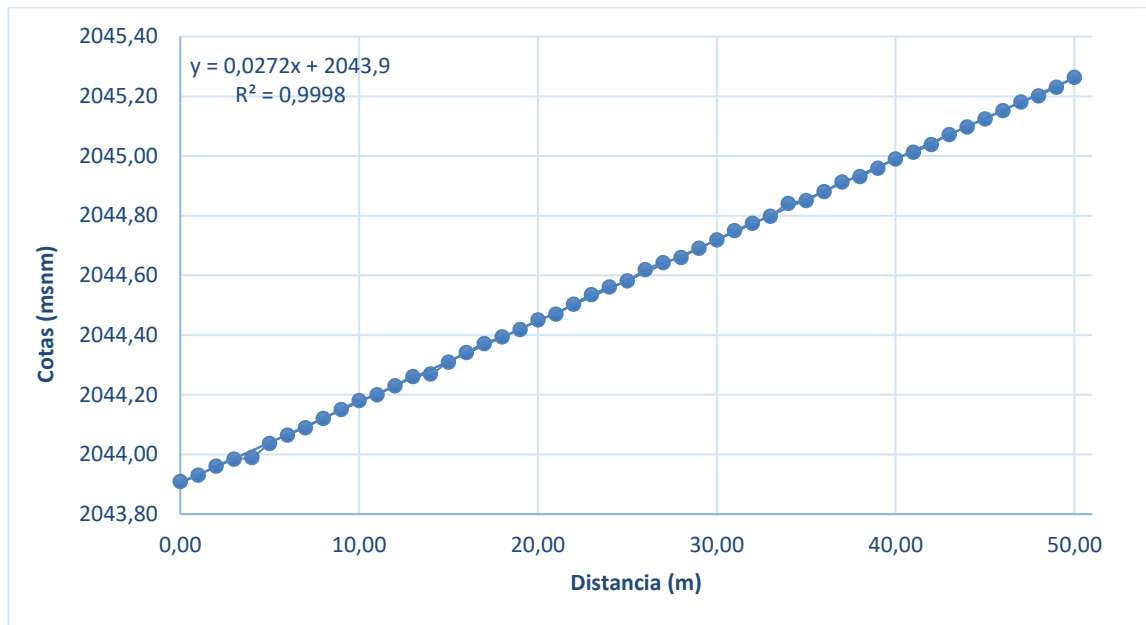
**IRI= 7,08 mm/m= Pavimento dañado**

**Tabla N° 25: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 3+870-3+920**

Progresivas	Cotas (msnm)	Distancia (m)	Distancia acumulada (m)	Valor medio línea de correlación	Valor del I.R.I.
3+870,00	2043,91	0,00	0,00	2043,900	
3+871,00	2043,93	1,00	1,00	2043,927	3,90
3+872,00	2043,96	1,00	2,00	2043,954	6,80
3+873,00	2043,99	1,00	3,00	2043,981	3,70
3+874,00	2043,99	1,00	4,00	2044,008	18,40
3+875,00	2044,04	1,00	5,00	2044,036	1,50
3+876,00	2044,07	1,00	6,00	2044,063	2,40
3+877,00	2044,09	1,00	7,00	2044,090	0,30
3+878,00	2044,12	1,00	8,00	2044,117	4,20
3+879,00	2044,15	1,00	9,00	2044,144	7,10
3+880,00	2044,18	1,00	10,00	2044,171	10,00
3+881,00	2044,20	1,00	11,00	2044,198	1,90
3+882,00	2044,23	1,00	12,00	2044,225	4,80
3+883,00	2044,26	1,00	13,00	2044,252	8,70
3+884,00	2044,27	1,00	14,00	2044,279	9,40
3+885,00	2044,31	1,00	15,00	2044,307	3,50
3+886,00	2044,34	1,00	16,00	2044,334	8,40
3+887,00	2044,37	1,00	17,00	2044,361	11,30
3+888,00	2044,39	1,00	18,00	2044,388	6,20
3+889,00	2044,42	1,00	19,00	2044,415	4,10
3+890,00	2044,45	1,00	20,00	2044,442	9,00
3+891,00	2044,47	1,00	21,00	2044,469	0,90
3+892,00	2044,50	1,00	22,00	2044,496	7,80
3+893,00	2044,54	1,00	23,00	2044,523	12,70
3+894,00	2044,56	1,00	24,00	2044,550	10,60
3+895,00	2044,58	1,00	25,00	2044,578	4,50
3+896,00	2044,62	1,00	26,00	2044,605	14,40
3+897,00	2044,64	1,00	27,00	2044,632	11,30
3+898,00	2044,66	1,00	28,00	2044,659	1,20
3+899,00	2044,69	1,00	29,00	2044,686	5,10
3+900,00	2044,72	1,00	30,00	2044,713	6,00
3+901,00	2044,75	1,00	31,00	2044,740	9,90
3+902,00	2044,78	1,00	32,00	2044,767	7,80
3+903,00	2044,80	1,00	33,00	2044,794	4,70
3+904,00	2044,84	1,00	34,00	2044,821	19,60
3+905,00	2044,85	1,00	35,00	2044,849	2,50
3+906,00	2044,88	1,00	36,00	2044,876	5,40
3+907,00	2044,91	1,00	37,00	2044,903	10,30
3+908,00	2044,93	1,00	38,00	2044,930	1,20
3+909,00	2044,96	1,00	39,00	2044,957	2,10
3+910,00	2044,99	1,00	40,00	2044,984	6,00
3+911,00	2045,01	1,00	41,00	2045,011	1,40
3+912,00	2045,04	1,00	42,00	2045,038	0,80
3+913,00	2045,07	1,00	43,00	2045,065	6,70
3+914,00	2045,10	1,00	44,00	2045,092	5,60
3+915,00	2045,12	1,00	45,00	2045,120	4,50
3+916,00	2045,15	1,00	46,00	2045,147	5,40
3+917,00	2045,18	1,00	47,00	2045,174	7,30
3+918,00	2045,20	1,00	48,00	2045,201	1,20
3+919,00	2045,23	1,00	49,00	2045,228	3,10
3+920,00	2045,26	1,00	50,00	2045,255	9,00
				Promedio	6,29

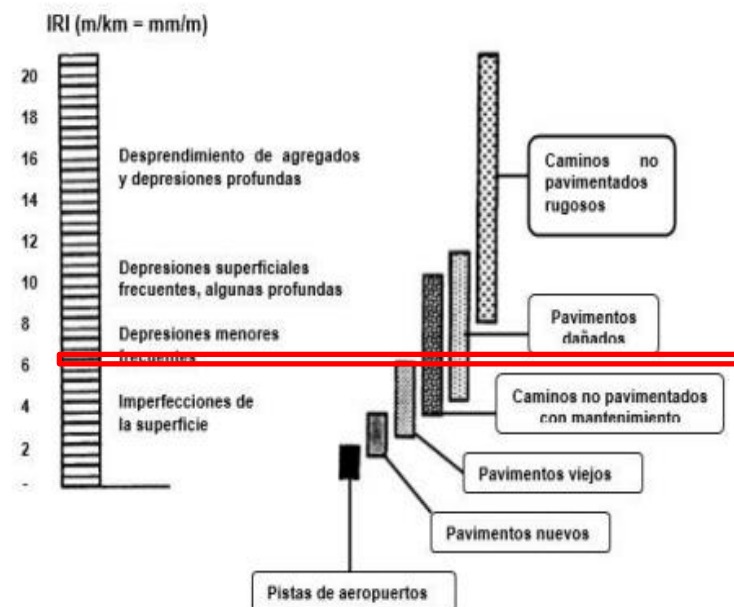
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica N° 8: Relación cotas vs distancia 3+870-3+920**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 38: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 3+870-3+920**



Fuente: Elaboración propia

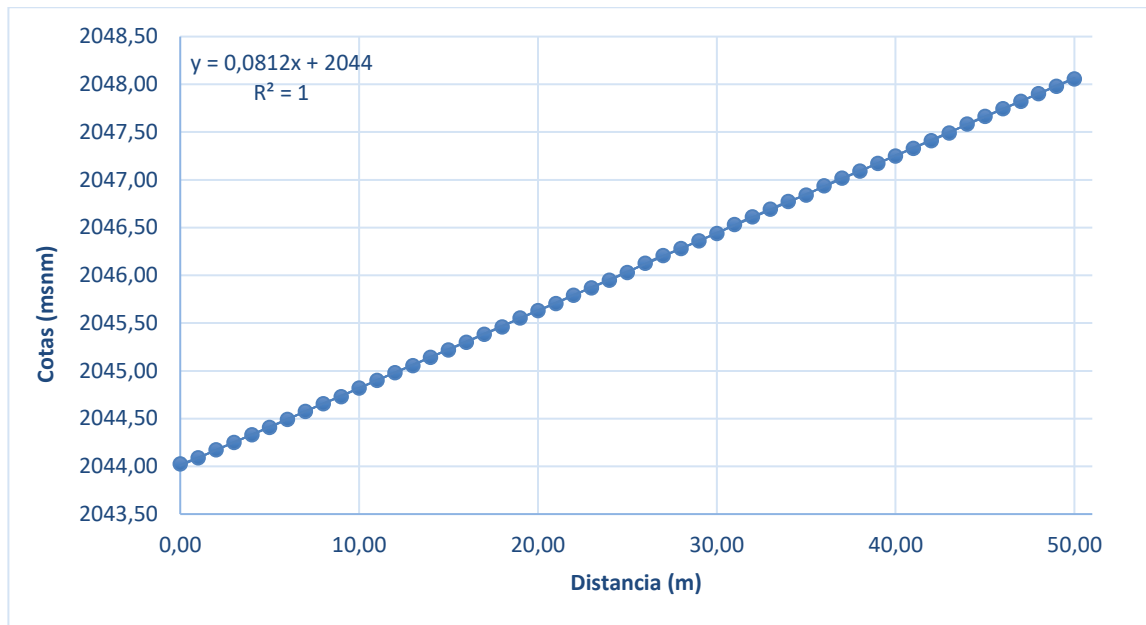
**IRI= 6,29 mm/m= Pavimento dañado**

**Tabla N° 26: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 4+070-4+120**

Progresivas	Cotas (msnm)	Distancia (m)	Distancia acumulada (m)	Valor medio línea de correlación	Valor del I.R.I.
4+070,00	2044,03	0,00	0,00	2044,000	
4+071,00	2044,09	1,00	1,00	2044,081	8,90
4+072,00	2044,17	1,00	2,00	2044,162	10,80
4+073,00	2044,25	1,00	3,00	2044,243	7,70
4+074,00	2044,33	1,00	4,00	2044,324	6,60
4+075,00	2044,41	1,00	5,00	2044,406	2,50
4+076,00	2044,49	1,00	6,00	2044,487	5,40
4+077,00	2044,58	1,00	7,00	2044,568	7,30
4+078,00	2044,66	1,00	8,00	2044,649	9,20
4+079,00	2044,73	1,00	9,00	2044,730	2,10
4+080,00	2044,82	1,00	10,00	2044,811	9,00
4+081,00	2044,90	1,00	11,00	2044,892	7,90
4+082,00	2044,98	1,00	12,00	2044,973	8,80
4+083,00	2045,06	1,00	13,00	2045,054	2,70
4+084,00	2045,14	1,00	14,00	2045,135	6,60
4+085,00	2045,22	1,00	15,00	2045,217	4,50
4+086,00	2045,30	1,00	16,00	2045,298	2,40
4+087,00	2045,38	1,00	17,00	2045,379	4,30
4+088,00	2045,46	1,00	18,00	2045,460	2,20
4+089,00	2045,55	1,00	19,00	2045,541	13,10
4+090,00	2045,63	1,00	20,00	2045,622	9,00
4+091,00	2045,70	1,00	21,00	2045,703	1,70
4+092,00	2045,79	1,00	22,00	2045,784	7,80
4+093,00	2045,87	1,00	23,00	2045,865	4,70
4+094,00	2045,95	1,00	24,00	2045,946	3,60
4+095,00	2046,03	1,00	25,00	2046,028	3,50
4+096,00	2046,13	1,00	26,00	2046,109	18,40
4+097,00	2046,21	1,00	27,00	2046,190	18,30
4+098,00	2046,28	1,00	28,00	2046,271	10,20
4+099,00	2046,36	1,00	29,00	2046,352	10,10
4+100,00	2046,44	1,00	30,00	2046,433	7,00
4+101,00	2046,53	1,00	31,00	2046,514	18,90
4+102,00	2046,61	1,00	32,00	2046,595	18,80
4+103,00	2046,70	1,00	33,00	2046,676	18,70
4+104,00	2046,78	1,00	34,00	2046,757	18,60
4+105,00	2046,84	1,00	35,00	2046,839	1,50
4+106,00	2046,94	1,00	36,00	2046,920	18,40
4+107,00	2047,02	1,00	37,00	2047,001	18,30
4+108,00	2047,09	1,00	38,00	2047,082	10,20
4+109,00	2047,17	1,00	39,00	2047,163	9,10
4+110,00	2047,25	1,00	40,00	2047,244	7,00
4+111,00	2047,33	1,00	41,00	2047,325	5,90
4+112,00	2047,41	1,00	42,00	2047,406	4,80
4+113,00	2047,49	1,00	43,00	2047,487	2,70
4+114,00	2047,59	1,00	44,00	2047,568	17,60
4+115,00	2047,67	1,00	45,00	2047,650	16,50
4+116,00	2047,75	1,00	46,00	2047,731	14,40
4+117,00	2047,82	1,00	47,00	2047,812	12,30
4+118,00	2047,90	1,00	48,00	2047,893	9,20
4+119,00	2047,98	1,00	49,00	2047,974	6,10
4+120,00	2048,06	1,00	50,00	2048,055	2,00
				Promedio	8,95

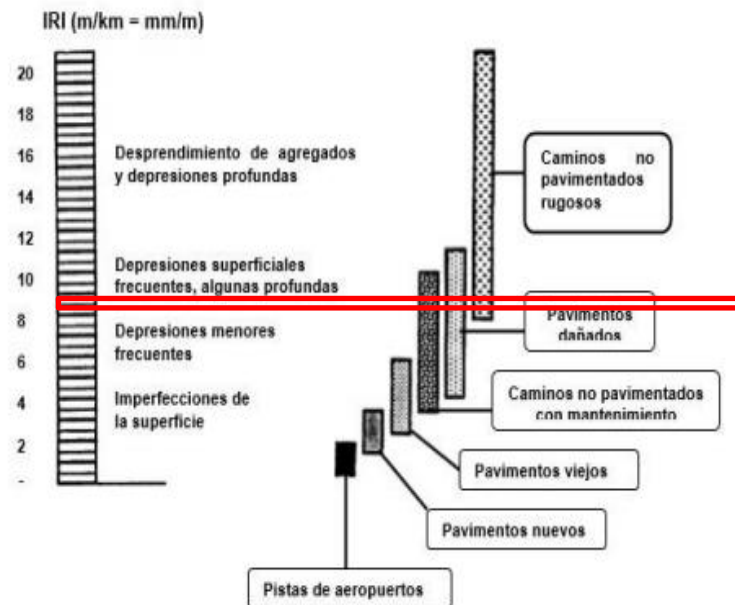
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica N° 9: Relación cotas vs distancia 4+070-4+120**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 39: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 4+070-41+20**



Fuente: Elaboración propia

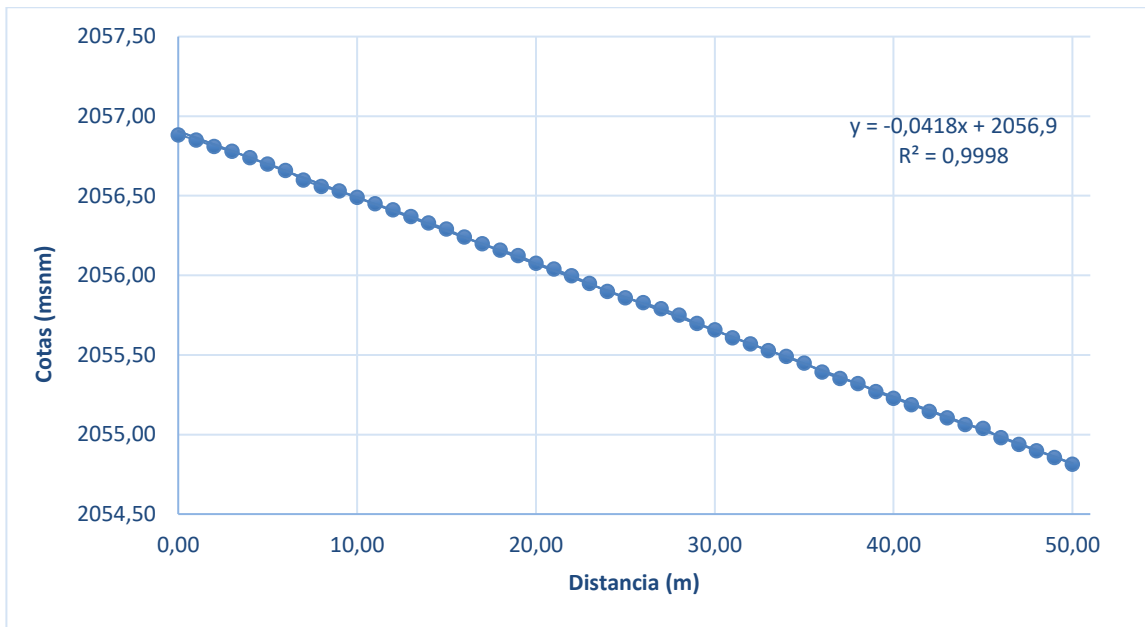
**IRI= 8,95 mm/m= Pavimento dañado**

**Tabla N° 27: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 4+660-4+710**

Progresivas	Cotas (msnm)	Distancia (m)	Distancia acumulada (m)	Valor medio línea de correlación	Valor del I.R.I.
4+660,00	2056,88	0,00	0,00	2056,900	
4+661,00	2056,85	1,00	1,00	2056,859	7,70
4+662,00	2056,81	1,00	2,00	2056,817	7,40
4+663,00	2056,78	1,00	3,00	2056,776	3,90
4+664,00	2056,74	1,00	4,00	2056,735	5,20
4+665,00	2056,70	1,00	5,00	2056,694	6,50
4+666,00	2056,66	1,00	6,00	2056,652	7,80
4+667,00	2056,60	1,00	7,00	2056,611	10,90
4+668,00	2056,56	1,00	8,00	2056,570	10,60
4+669,00	2056,53	1,00	9,00	2056,528	1,70
4+670,00	2056,49	1,00	10,00	2056,487	4,00
4+671,00	2056,45	1,00	11,00	2056,446	4,30
4+672,00	2056,41	1,00	12,00	2056,404	7,60
4+673,00	2056,37	1,00	13,00	2056,363	7,90
4+674,00	2056,33	1,00	14,00	2056,322	8,20
4+675,00	2056,29	1,00	15,00	2056,281	10,50
4+676,00	2056,24	1,00	16,00	2056,239	1,80
4+677,00	2056,20	1,00	17,00	2056,198	2,10
4+678,00	2056,16	1,00	18,00	2056,157	3,40
4+679,00	2056,13	1,00	19,00	2056,115	9,70
4+680,00	2056,08	1,00	20,00	2056,074	3,00
4+681,00	2056,04	1,00	21,00	2056,033	7,30
4+682,00	2056,00	1,00	22,00	2055,991	6,60
4+683,00	2055,95	1,00	23,00	2055,950	1,10
4+684,00	2055,90	1,00	24,00	2055,909	9,80
4+685,00	2055,86	1,00	25,00	2055,868	7,60
4+686,00	2055,83	1,00	26,00	2055,826	2,80
4+687,00	2055,79	1,00	27,00	2055,785	6,10
4+688,00	2055,75	1,00	28,00	2055,744	7,40
4+689,00	2055,70	1,00	29,00	2055,702	3,30
4+690,00	2055,66	1,00	30,00	2055,661	2,00
4+691,00	2055,61	1,00	31,00	2055,620	10,70
4+692,00	2055,57	1,00	32,00	2055,578	8,50
4+693,00	2055,53	1,00	33,00	2055,537	9,10
4+694,00	2055,49	1,00	34,00	2055,496	4,80
4+695,00	2055,45	1,00	35,00	2055,455	5,50
4+696,00	2055,39	1,00	36,00	2055,413	19,20
4+697,00	2055,35	1,00	37,00	2055,372	18,90
4+698,00	2055,32	1,00	38,00	2055,331	10,60
4+699,00	2055,27	1,00	39,00	2055,289	19,30
4+700,00	2055,23	1,00	40,00	2055,248	19,00
4+701,00	2055,19	1,00	41,00	2055,207	19,70
4+702,00	2055,15	1,00	42,00	2055,165	19,40
4+703,00	2055,11	1,00	43,00	2055,124	19,10
4+704,00	2055,06	1,00	44,00	2055,083	19,80
4+705,00	2055,04	1,00	45,00	2055,042	2,50
4+706,00	2054,98	1,00	46,00	2055,000	19,20
4+707,00	2054,94	1,00	47,00	2054,959	19,90
4+708,00	2054,90	1,00	48,00	2054,918	19,60
4+709,00	2054,86	1,00	49,00	2054,876	19,30
4+710,00	2054,82	1,00	50,00	2054,835	20,00
				Promedio	9,65

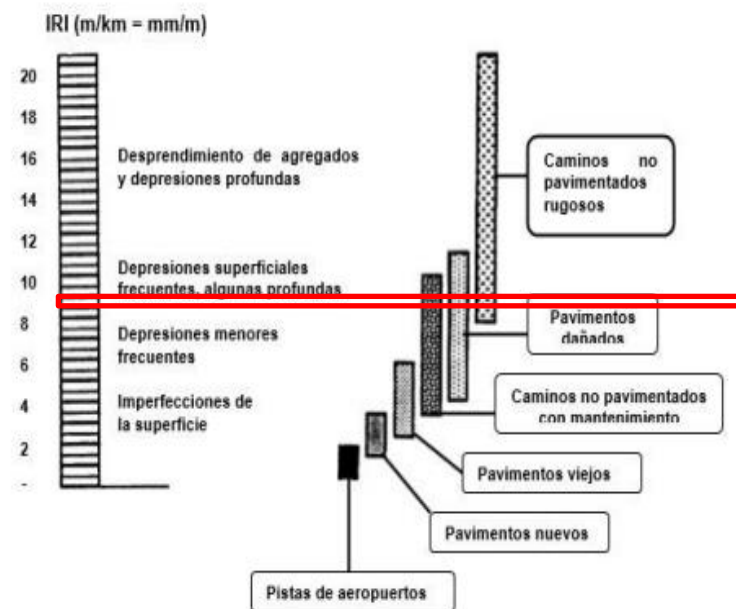
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica N° 10: Relación cotas vs distancia 4+660-4+710**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 40: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 4+660-4+710**



Fuente: Elaboración propia

**IRI= 9,65 mm/m= Pavimento dañado**

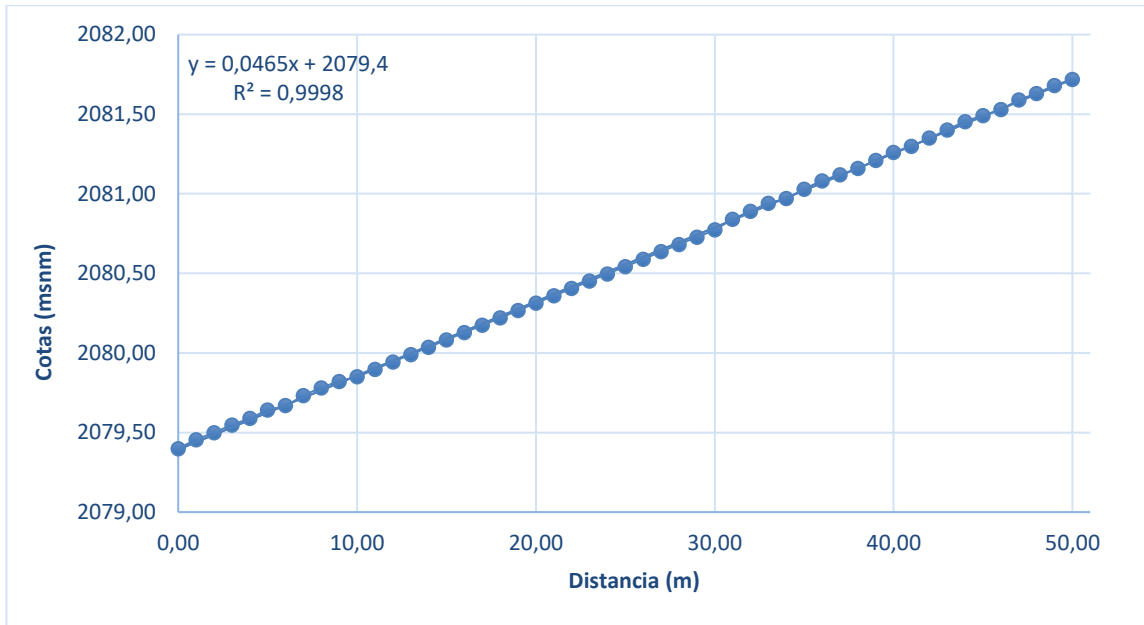


**Tabla N° 28: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 5+680-5+730**

Progresivas	Cotas (msnm)	Distancia (m)	Distancia acumulada (m)	Valor medio línea de correlación	Valor del I.R.I.
5+680,00	2079,40	0,00	0,00	2079,400	
5+681,00	2079,46	1,00	1,00	2079,446	8,60
5+682,00	2079,50	1,00	2,00	2079,493	6,20
5+683,00	2079,55	1,00	3,00	2079,539	8,80
5+684,00	2079,59	1,00	4,00	2079,586	3,40
5+685,00	2079,64	1,00	5,00	2079,632	9,00
5+686,00	2079,67	1,00	6,00	2079,678	9,40
5+687,00	2079,73	1,00	7,00	2079,725	7,20
5+688,00	2079,78	1,00	8,00	2079,771	9,80
5+689,00	2079,82	1,00	9,00	2079,818	3,40
5+690,00	2079,85	1,00	10,00	2079,864	13,00
5+691,00	2079,90	1,00	11,00	2079,910	12,40
5+692,00	2079,94	1,00	12,00	2079,957	12,80
5+693,00	2079,99	1,00	13,00	2080,003	13,20
5+694,00	2080,04	1,00	14,00	2080,050	13,60
5+695,00	2080,08	1,00	15,00	2080,096	14,00
5+696,00	2080,13	1,00	16,00	2080,142	14,40
5+697,00	2080,17	1,00	17,00	2080,189	14,80
5+698,00	2080,22	1,00	18,00	2080,235	15,20
5+699,00	2080,27	1,00	19,00	2080,282	14,60
5+700,00	2080,31	1,00	20,00	2080,328	15,00
5+701,00	2080,36	1,00	21,00	2080,374	15,40
5+702,00	2080,41	1,00	22,00	2080,421	15,80
5+703,00	2080,45	1,00	23,00	2080,467	16,20
5+704,00	2080,50	1,00	24,00	2080,514	16,60
5+705,00	2080,54	1,00	25,00	2080,560	17,00
5+706,00	2080,59	1,00	26,00	2080,606	17,40
5+707,00	2080,64	1,00	27,00	2080,653	16,80
5+708,00	2080,68	1,00	28,00	2080,699	17,20
5+709,00	2080,73	1,00	29,00	2080,746	17,60
5+710,00	2080,77	1,00	30,00	2080,792	18,00
5+711,00	2080,84	1,00	31,00	2080,838	1,60
5+712,00	2080,89	1,00	32,00	2080,885	5,20
5+713,00	2080,94	1,00	33,00	2080,931	9,80
5+714,00	2080,97	1,00	34,00	2080,978	6,60
5+715,00	2081,03	1,00	35,00	2081,024	5,00
5+716,00	2081,08	1,00	36,00	2081,070	10,60
5+717,00	2081,12	1,00	37,00	2081,117	3,20
5+718,00	2081,16	1,00	38,00	2081,163	4,20
5+719,00	2081,21	1,00	39,00	2081,210	0,40
5+720,00	2081,26	1,00	40,00	2081,256	5,00
5+721,00	2081,30	1,00	41,00	2081,302	3,40
5+722,00	2081,35	1,00	42,00	2081,349	2,20
5+723,00	2081,40	1,00	43,00	2081,395	5,80
5+724,00	2081,45	1,00	44,00	2081,442	12,40
5+725,00	2081,49	1,00	45,00	2081,488	3,00
5+726,00	2081,53	1,00	46,00	2081,534	5,40
5+727,00	2081,59	1,00	47,00	2081,581	8,20
5+728,00	2081,63	1,00	48,00	2081,627	3,80
5+729,00	2081,68	1,00	49,00	2081,674	6,40
5+730,00	2081,72	1,00	50,00	2081,720	1,00
				Promedio	9,80

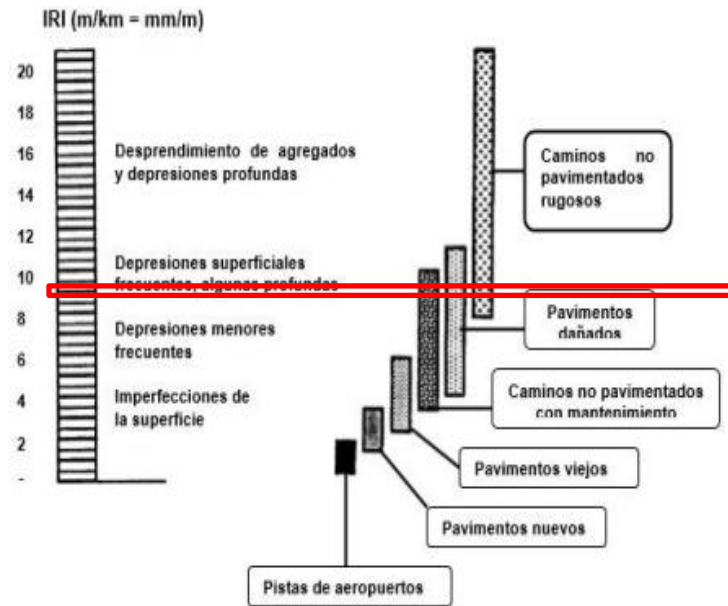
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica N° 11: Relación cotas vs distancia 5+680-5+730**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 41: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 5+680-5+730**



Fuente: Elaboración propia

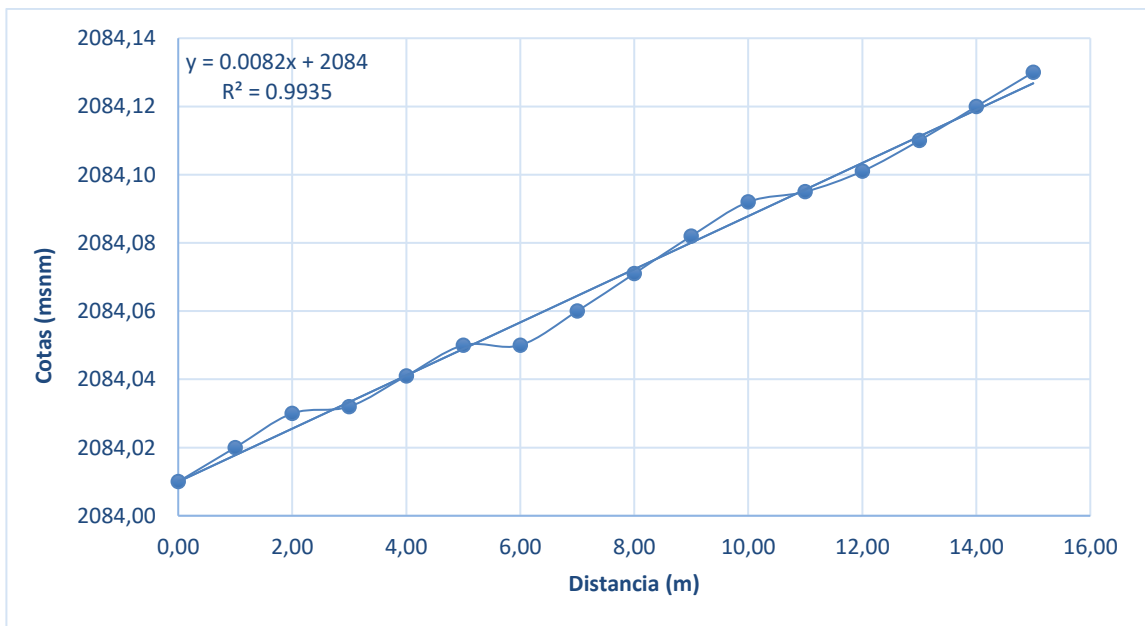
**IRI= 9,80 mm/m= Pavimento dañado**

**Tabla N° 29: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 6+310-6+325**

Progresivas	Cotas (msnm)	Distancia (m)	Distancia acumulada (m)	Valor medio línea de correlación	Valor del I.R.I.
6+310,00	2084,01	0,00	0,00	2084,000	
6+311,00	2084,02	1,00	1,00	2084,008	11,80
6+312,00	2084,03	1,00	2,00	2084,016	13,60
6+313,00	2084,03	1,00	3,00	2084,025	7,40
6+314,00	2084,04	1,00	4,00	2084,033	8,20
6+315,00	2084,05	1,00	5,00	2084,041	9,00
6+316,00	2084,05	1,00	6,00	2084,049	0,80
6+317,00	2084,06	1,00	7,00	2084,057	2,60
6+318,00	2084,07	1,00	8,00	2084,066	5,40
6+319,00	2084,08	1,00	9,00	2084,074	8,20
6+320,00	2084,09	1,00	10,00	2084,082	10,00
6+321,00	2084,10	1,00	11,00	2084,090	4,80
6+322,00	2084,10	1,00	12,00	2084,098	2,60
6+323,00	2084,11	1,00	13,00	2084,107	3,40
6+324,00	2084,12	1,00	14,00	2084,115	5,20
6+325,00	2084,13	1,00	15,00	2084,123	7,00
Promedio					6,67

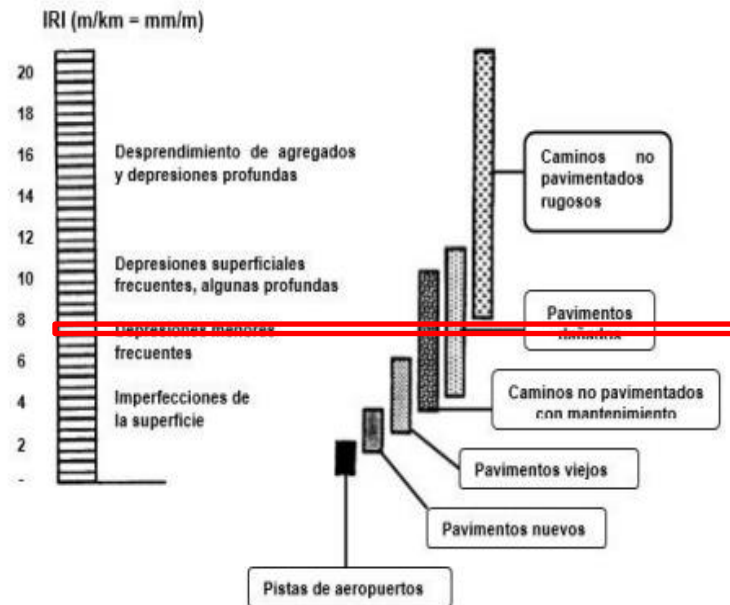
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica N° 12: Relación cotas vs distancia 6+310-6+325**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 42: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 6+310-6+325**



Fuente: Elaboración propia

**IRI= 6,67 mm/m= Pavimento dañado**

### 3.8.9. Análisis de los resultados obtenidos

Es importante señalar que 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 dependerá de la calidad inicial y del desgaste o deterioro producido por el tránsito y factores climáticos, entre otros.

Según las experiencias recogidas por el Banco Mundial en diversos países, se presenta las características de los pavimentos dependiendo del valor del IRI, siendo el rango de la escala del IRI para un camino pavimentado de 0 a 12 m/km, donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; lo cual deja demostrado que la magnitud de las irregularidades superficiales se ve afectada negativamente, lo cual refleja que la vía en estudio requerirá de conservación o rehabilitación muy pronto.

En base al análisis de los datos realizado, y a la obtención inadmisiblemente del IRI obtenido para la vía en estudio se destaca lo siguiente:

- La irregularidad del pavimento produce elevaciones verticales, las cuales son experimentadas por los pasajeros como vibraciones.
- Las irregularidades de la superficie de rodadura causan ruido tanto dentro del auto como a su alrededor, lo cual probablemente pasaría desapercibido por el conductor.

Al estar la carretera de los choferes en malas condiciones según la irregularidad, se dificulta el manejo debido a cambios de velocidad y movimientos bruscos, ocasionando un desgaste en las llantas y un aumento en el consumo de combustible, generando inconformidad en usuarios.

### **3.9. Evaluación estructural**

La evaluación estructural del tramo “Lajas la Merced-Canasmoro” se la realizó mediante la viga Benkelman como se explica a continuación.

#### **3.9.1. Deflexión y determinación del radio de curvatura del pavimento flexible empleando la viga Benkelman–Procedimiento**

- Para medir las deflexiones en la superficie del pavimento objeto de la evaluación, se utilizó el deflectómetro conocido como la viga Benkelman, el cual es un instrumento que funciona según el principio de una palanca, uno de sus extremos se apoya en el pavimento deformado ante la aplicación de una carga, mientras que el otro está en contacto sensible con un deformímetro de precisión, con dial de lecturas graduado en centésimas de mm.
- La carga de ensayos, del orden de 18,000 lb (8,200 kg), las proporciona el eje posterior simple de llanta doble de un camión, la verificación se hizo mediante pesaje del camión cargado con material granular. La presión de inflado de las llantas se verificó en 80 psi (5,6 kg/cm<sup>2</sup>).
- Los puntos del pavimento a ser ensayados fueron marcados convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea se localizó el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se utilizó la distancia indicada en la siguiente tabla:

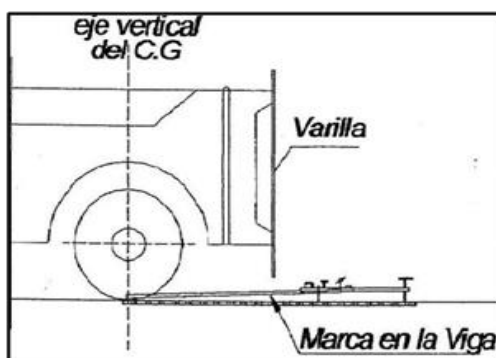
**Tabla N° 30: Cuadro distancia de ensayo de deflectometría**

Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2,70m	0,45m
3,00m	0,60m
3,30m	0,75m
3,60m o más	0,90m

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales MTC E 1002 – 2016

- La rueda dual externa del camión fue colocada sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, se colocó en la parte trasera extrema del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando lentamente el camión, se hizo coincidir la guía vertical con la línea marcada a 60cm del borde del pavimento, de modo que simultáneamente el punto a ensayar quedo entre ambas llantas de la rueda dual.
- Una vez localizado el punto donde se debería realizar el ensayo, se colocó la llanta a usarse sobre el punto de manera que este coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del neumático (punto D).

**Figura N° 43: Posición inicial de la viga Benkelman**



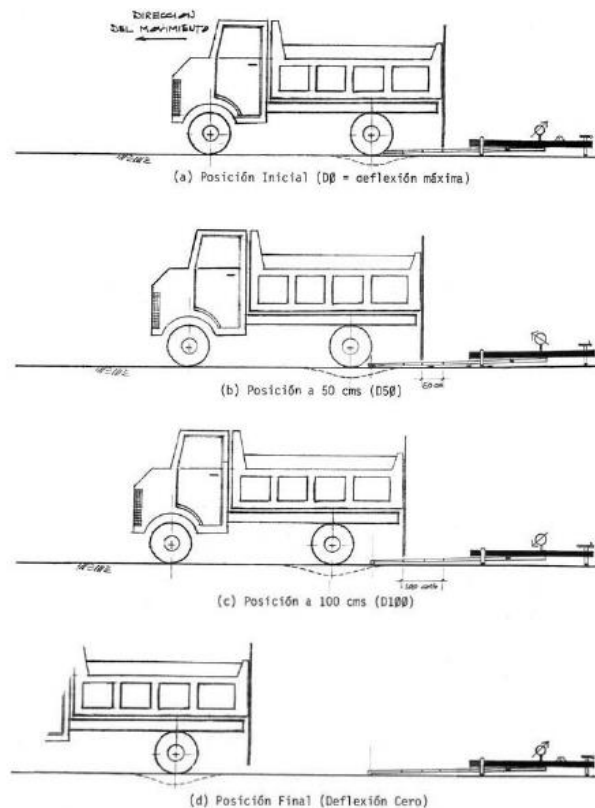
Fuente: Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones (S. Hoffman & M. del Aguila, 1985)

- Se colocó la viga en la misma posición como si estuviera entre las llantas pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una

varilla vertical adosada a la parte trasera del camión, se marcó la viga de manera tal que, en adelante, bastó con hacer coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurar que el extremo de la viga coincidiera con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

- Una vez instalada la viga en el punto de medición coincidiendo con la varilla vertical y la marca inicial, se verificó que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se puso el dial en cero, se activó el vibrador y mientras el camión se desplazó muy lentamente se procedió a tomar lecturas conforme a la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y las marcas adicionales y una lectura final cuando el camión se alejó lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento, registro que correspondió al punto de referencia con deflexión cero.

**Figura N° 44: Esquema del proceso de medición**



Fuente: Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones (S. Hoffman & M. del Aguila, 1985)

### 3.9.2. Procedimiento en campo para el desarrollo de la viga Benkelman

**Figura N° 45: Lectura de dial de la viga Benkelman**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 46: Ajuste de la viga Benkelman km 07 + 800**



Fuente: Elaboración propia



**Figura N° 47: Última lectura del dial deformación cero**



Fuente: Elaboración propia

**3.9.2.1. Procedimiento de cálculo de la deflexión característica**

**Tabla N° 31: Datos de los parámetros geométricos para el desarrollo de la viga Benkelman**

Evaluación Estructural					
Tramo: “Lajas la Merced - Canasmoro”					
Medición de deflexiones por el método de la viga Benkelman					
<b>Estructura:</b>	Pavimento flexible	<b>Carga Eje(tn):</b>	8.2	<b>Presión(Psi)</b>	80
<b>Carril:</b>	Derecho (ida)	<b>Fecha:</b>	05/08/2019		
<b>Relación de brazos:</b>	1 a 2	<b>Ejecutor:</b>	Carlos Walter Camacho Muñoz		

Fuente: Elaboración propia

a) Teniendo las mediciones efectuadas en campo

**Tabla N° 32: Mediciones efectuadas en campo para el desarrollo de la viga Benkelman-Carril: Derecho (ida)**

(Km)	Lecturas del extensómetro (0.01 mm)					
	L- a 0cm 0,01 mm	L- a 50cm 0,01 mm	L- a 100cm 0,01 mm	L- a 150cm 0,01 mm	L- a 200cm 0,01 mm	L-a 500cm 0,01 mm
00+000	0	7	9	17	9	13
00+190	0	11	10	14	12	16
00+380	0	9	5	10	15	22
00+570	0	13	7	9	13	27
00+760	0	15	5	13	23	43
00+950	0	17	13	9	7	33
01+140	0	13	21	15	5	31
01+330	0	3	17	5	9	25
01+520	0	8	17	10	12	22
01+710	0	5	17	9	16	39
01+900	0	12	17	6	21	38
02+090	0	17	18	5	18	18
02+280	0	4	17	7	13	25
02+470	0	4	20	12	14	15
02+660	0	12	15	17	21	26
02+850	0	11	7	16	17	19
03+040	0	4	9	5	19	25
03+230	0	3	13	5	23	30
03+420	0	16	17	7	16	36
03+610	0	12	9	15	20	36
03+800	0	15	19	10	16	20
03+990	0	17	11	12	23	30
04+180	0	16	12	11	19	29
04+370	0	3	10	9	16	30
04+560	0	17	7	7	13	31
04+750	0	14	19	14	14	29
04+940	0	7	11	16	8	36
05+130	0	11	5	10	11	22
05+320	0	14	19	11	5	30
05+510	0	13	13	5	12	38

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 33: Mediciones efectuadas en campo para el desarrollo de la viga Benkelman-Carril: Izquierdo (vuelta)**

(Km)	Lecturas del extensómetro (0.01 mm)					
	L- a 0cm 0,01 mm	L- a 50cm 0,01 mm	L- a 100cm 0,01 mm	L- a 150cm 0,01 mm	L- a 200cm 0,01 mm	L-a 500cm 0,01 mm
00+000	0	13	16	5	12	38
00+190	0	14	19	11	5	30
00+380	0	11	5	10	11	22
00+570	0	7	11	16	8	36
00+760	0	14	19	14	14	29
00+950	0	17	7	7	13	31
01+140	0	3	10	9	16	30
01+330	0	16	12	11	19	29
01+520	0	17	11	12	23	30
01+710	0	12	19	10	16	26
01+900	0	14	9	15	20	30
02+090	0	16	17	7	16	36
02+280	0	3	13	5	23	30
02+470	0	4	9	5	19	25
02+660	0	11	7	17	17	19
02+850	0	12	15	17	21	26
03+040	0	4	20	12	14	15
03+230	0	4	17	7	13	25
03+420	0	17	18	5	18	24
03+610	0	12	17	6	21	38
03+800	0	5	6	9	16	39
03+990	0	8	17	10	12	36
04+180	0	3	17	5	9	25
04+370	0	13	21	15	5	31
04+560	0	12	13	9	7	33
04+750	0	11	5	13	23	32
04+940	0	13	7	9	13	27
05+130	0	9	5	10	15	22
05+320	0	11	10	14	12	16
05+510	0	7	9	17	9	13

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.2.2. Cálculo de la deflexión máxima:

$$D_o = Kx(L_f - L_o)$$

$$D_o = 1x(13 - 0)$$

$$D = 13x10^{-2} \text{ mm}$$

### Factor de corrección por temperatura:

El valor de las deflexiones debe corregirse por temperatura según la norma, por lo tanto nos dice que deben ser llevadas a una temperatura de 20°C.

$$D_{ot} = \frac{D_o}{k * (t - 20^\circ\text{C}) * e + 1}$$

$$D_{ot} = \frac{13}{0.001 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}} * (35 - 20) * 5 + 1}$$

$$D_{ot} = 12x10^{-2} \text{ mm}$$

### Deflexión a 50 cm:

$$D_{50} = K * (L_f - L_{50})$$

$$D_{50} = 1 * (13 - 7)$$

$$D_{50} = 6x10^{-2} \text{ mm}$$

### Factor de corrección por temperatura:

$$D_{50t} = \frac{D_{50}}{k * (t - 20^\circ\text{C}) * e + 1}$$

$$D_{50t} = \frac{28}{0.001 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}} * (35 - 20) * 5 + 1}$$

$$D_{ot} = 6x10^{-2} \text{ mm}$$

### Radio de curvatura:

$$R_c = \frac{6250}{K * (D_{ot} - D_{50t})}$$

$$R_c = \frac{6250}{2 * (12 - 6)}$$

$$R_c = 480 \times 10^{-2} \text{ m}$$

### 3.9.2.3. Resultados de la evaluación estructural

A continuación, se muestran los resultados de las deflexiones y radios de curvatura obtenidos en la evaluación estructural siguiendo el método de la viga Benkelman, estos resultados deben ser comparados con los rangos teóricos mínimos y máximos, los cuales se muestra a continuación:

**Tabla N° 34: Rangos de la evaluación estructural**

Rangos mínimos y máximos de deflexiones	Rangos mínimos y máximos de radios de curvatura
$D_o < D_c$ $D_o < 45,84 \times 10^{-2}$	$100 < R_c < 500$

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 35: Resultados de la viga Benkelman en el carril derecho (ida)**

(N°)	(Km)	Lecturas del dial						Parámetros de evaluación			Parámetros de evaluación corregidos por temp. A 20 °c			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)
		L- a 0cm 0.01 mm	L- a 50cm 0.01 mm	L- a 100cm 0.01 mm	L- a 150cm 0.01 mm	L- a 200cm 0.01 mm	L-a 500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	Rc (m)	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	Rc (m)	Amb °C	Asfalto °C	
1	00+000	0	7	9	17	9	13	13,00	6,00	446	12	6	480	26,0	35,0	5,0
2	00+190	0	11	10	14	12	16	16,00	5,00	284	15	5	307	26,0	36,0	5,0
3	00+380	0	9	5	10	15	22	22,00	13,00	347	20	12	377	26,0	37,0	5,0
4	00+570	0	13	7	9	13	27	27,00	14,00	240	25	13	263	26,0	39,0	5,0
5	00+760	0	15	10	13	23	43	43,00	28,00	208	39	26	228	26,0	39,0	5,0
6	00+950	0	17	13	9	12	33	33,00	16,00	184	30	15	202	26,0	40,0	5,0
7	01+140	0	13	21	15	13	31	31,00	18,00	240	28	16	266	26,0	41,0	5,0
8	01+330	0	9	17	5	9	25	25,00	16,00	347	23	14	384	26,0	41,0	5,0
9	01+520	0	8	17	10	12	22	22,00	14,00	391	20	13	434	26,0	42,0	5,0
10	01+710	0	9	16	9	16	39	39,00	30,00	347	35	27	389	26,0	44,0	5,0
11	01+900	0	12	17	6	21	38	38,00	26,00	260	34	23	292	26,0	44,0	5,0
12	02+090	0	17	18	8	18	18	18,00	1,00	184	16	1	208	26,0	46,0	5,0
13	02+280	0	8	17	7	13	25	25,00	17,00	391	22	15	441	26,0	46,0	5,0
14	02+470	0	8	20	12	14	15	15,00	7,00	391	13	6	438	26,0	44,0	5,0
15	02+660	0	12	15	17	21	26	26,00	14,00	260	24	13	288	26,0	41,0	5,0
16	02+850	0	11	7	16	17	19	19,00	8,00	284	17	7	314	26,0	41,0	5,0
17	03+040	0	7	9	9	19	27	27,00	20,00	446	25	18	489	26,0	39,0	5,0
18	03+230	0	8	13	8	23	30	30,00	22,00	391	27	20	428	26,0	39,0	5,0
19	03+420	0	16	17	7	16	36	36,00	20,00	195	33	18	214	26,0	39,0	5,0
20	03+610	0	12	9	15	20	36	36,00	24,00	260	33	22	283	26,0	37,0	5,0
21	03+800	0	15	19	10	16	20	20,00	5,00	208	18	5	226	26,0	37,0	5,0
22	03+990	0	17	11	12	23	30	30,00	13,00	184	28	12	199	26,0	36,0	5,0
23	04+180	0	16	12	11	19	29	29,00	13,00	195	27	12	210	26,0	35,0	5,0
24	04+370	0	9	10	9	16	30	30,00	21,00	347	28	20	373	26,0	35,0	5,0
25	04+560	0	17	7	7	13	31	31,00	14,00	184	29	13	196	26,0	33,0	5,0
26	04+750	0	14	19	14	14	29	29,00	15,00	223	27	14	238	26,0	33,0	5,0
27	04+940	0	7	11	16	8	36	36,00	29,00	446	34	28	469	26,0	30,0	5,0
28	05+130	0	11	5	10	11	22	22,00	11,00	284	21	10	298	26,0	30,0	5,0
29	05+320	0	14	19	11	13	30	30,00	16,00	223	29	15	233	26,0	29,0	5,0
30	05+510	0	13	13	8	12	38	38,00	25,00	240	37	24	250	26,0	28,0	5,0

Fuente: Elaboración propia

### Cálculo deflexión característica (Dc):

Número de muestras	30	30	30
Sumatoria	769	442	9413
Promedio:	25,60	14,70	313,80
Deflexión mínima	12	1	196
Deflexión máxima	39	28	489
Desviación estándar	7,20	6,90	96,40
Varianza	51,20	47,80	9295,50
Coficiente de variación	27,90	46,90	30,70
Valor característico	37,39	26,10	472,40

Dónde:

$$D_c = D + t * D_s$$



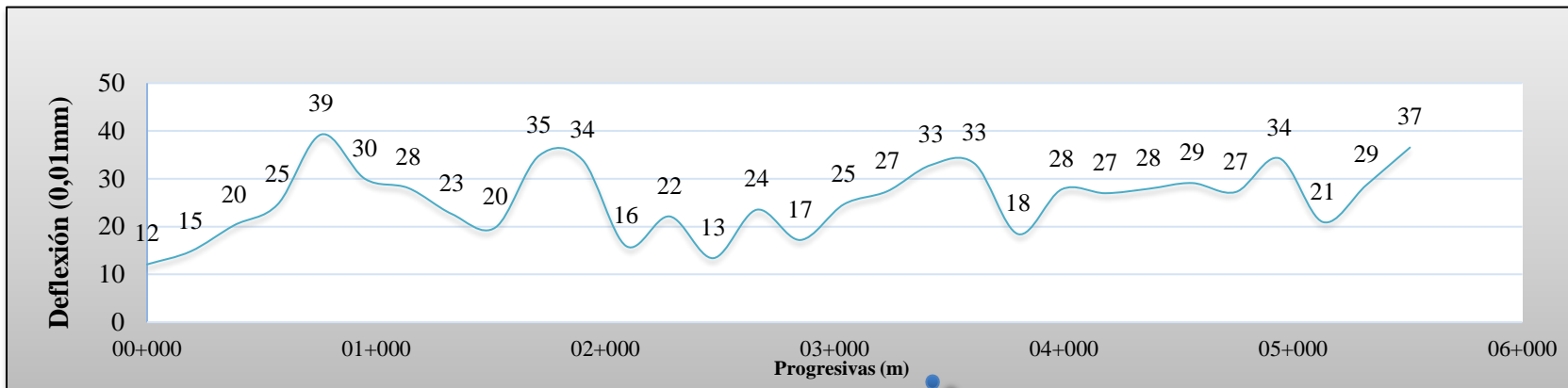
$$D_c = 37,39 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

D = Deflexión recuperable promedio = 25,6

Ds = Desviación estándar = 7,2

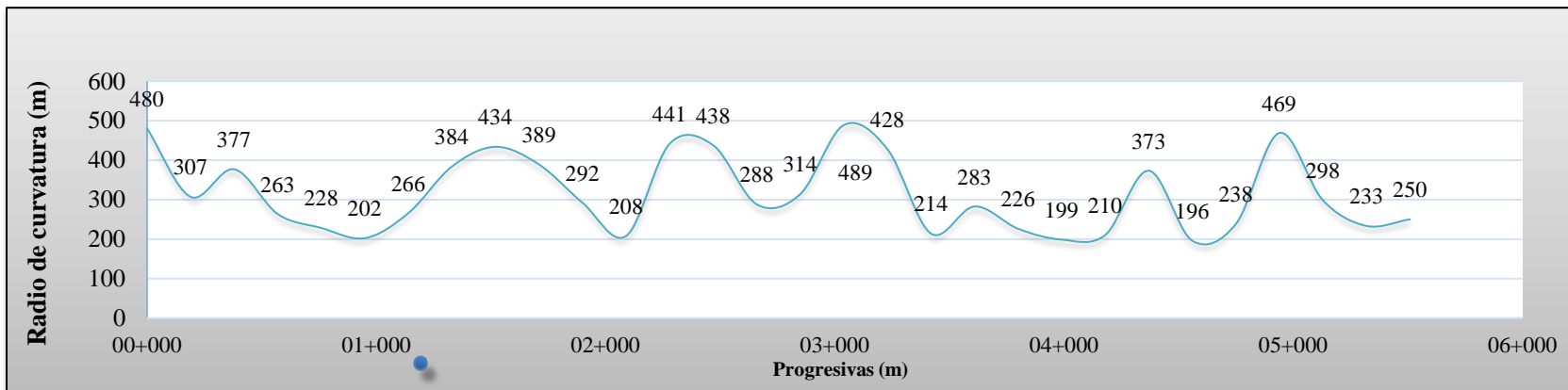
t = constante de probabilidad al 95% = 1,645

**Gráfica N° 13: Deflexiones máximas carril derecho (Ida)**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfica N° 14: Radios de curvatura carril derecho (Ida)**



Fuente: Elaboración propia



**Tabla N° 36: Resultados de la viga Benkelman en el carril izquierdo (vuelta)**

(N°)	(Km)	Lecturas del dial						Parámetros de evaluación			Parámetros de evaluación corregidos por temp. A 20 °c			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)
		L- a 0cm 0.01 mm	L- a 50cm 0.01 mm	L- a 100cm 0.01 mm	L- a 150cm 0.01 mm	L- a 200cm 0.01 mm	L-a 500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	Rc (m)	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	Rc (m)	Amb °C	Asfalto °C	
1	00+000	0	13	13	8	12	38	38,00	25,00	240	34	22	272	26,0	46,0	5,0
2	00+190	0	14	19	11	13	30	30,00	16,00	223	27	14	252	26,0	46,0	5,0
3	00+380	0	11	5	10	11	22	22,00	11,00	284	20	10	318	26,0	44,0	5,0
4	00+570	0	8	11	16	8	36	36,00	28,00	391	32	25	438	26,0	44,0	5,0
5	00+760	0	14	19	14	14	29	29,00	15,00	223	26	13	250	26,0	44,0	5,0
6	00+950	0	16	7	7	13	31	31,00	15,00	195	28	14	217	26,0	42,0	5,0
7	01+140	0	9	10	9	16	30	30,00	21,00	347	27	19	384	26,0	41,0	5,0
8	01+330	0	13	12	11	19	29	29,00	16,00	240	26	14	266	26,0	41,0	5,0
9	01+520	0	14	11	12	23	30	30,00	16,00	223	27	14	247	26,0	41,0	5,0
10	01+710	0	15	19	10	16	20	20,00	5,00	208	18	5	230	26,0	41,0	5,0
11	01+900	0	12	9	15	20	36	36,00	24,00	260	33	22	286	26,0	40,0	5,0
12	02+090	0	16	17	7	16	36	36,00	20,00	195	33	18	214	26,0	39,0	5,0
13	02+280	0	8	13	8	23	30	30,00	22,00	391	27	20	428	26,0	39,0	5,0
14	02+470	0	10	9	9	19	25	25,00	15,00	313	23	14	342	26,0	39,0	5,0
15	02+660	0	11	7	16	17	19	19,00	8,00	284	17	7	311	26,0	39,0	5,0
16	02+850	0	12	15	17	21	26	26,00	14,00	260	24	13	285	26,0	39,0	5,0
17	03+040	0	9	20	12	14	15	15,00	6,00	347	14	6	377	26,0	37,0	5,0
18	03+230	0	8	17	7	13	25	25,00	17,00	391	23	16	424	26,0	37,0	5,0
19	03+420	0	15	18	8	18	18	18,00	3,00	208	17	3	226	26,0	37,0	5,0
20	03+610	0	12	17	6	21	38	38,00	26,00	260	35	24	281	26,0	36,0	5,0
21	03+800	0	10	16	9	16	39	39,00	29,00	313	36	27	338	26,0	36,0	5,0
22	03+990	0	8	17	10	12	22	22,00	14,00	391	20	13	420	26,0	35,0	5,0
23	04+180	0	9	17	5	9	25	25,00	16,00	347	23	15	373	26,0	35,0	5,0
24	04+370	0	13	21	15	13	31	31,00	18,00	240	29	17	258	26,0	35,0	5,0
25	04+560	0	16	13	9	12	33	33,00	17,00	195	31	16	208	26,0	33,0	5,0
26	04+750	0	15	10	13	23	43	43,00	28,00	208	40	26	222	26,0	33,0	5,0
27	04+940	0	13	7	9	13	27	27,00	14,00	240	26	13	252	26,0	30,0	5,0
28	05+130	0	8	5	10	15	22	22,00	14,00	391	21	13	410	26,0	30,0	5,0
29	05+320	0	11	10	14	12	16	16,00	5,00	284	15	5	297	26,0	29,0	5,0
30	05+510	0	7	9	17	9	13	13,00	6,00	446	13	6	464	26,0	28,0	5,0

Fuente: Elaboración propia

**Cálculo deflexión característica (Dc):**

Número de muestras	30	30	30
Sumatoria	765	443	9290
Promedio:	25,50	14,80	309,70
Deflexión mínima	13	3	208
Deflexión máxima	40	27	464
Desviación estándar	7,00	6,60	78,10
Varianza	48,80	43,10	6096,10
Coficiente de variación	27,40	44,40	25,20
Valor característico	36,97	25,60	438,10

$$D_c = D + t * D_s \quad \longrightarrow \quad D_c = 36,97 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

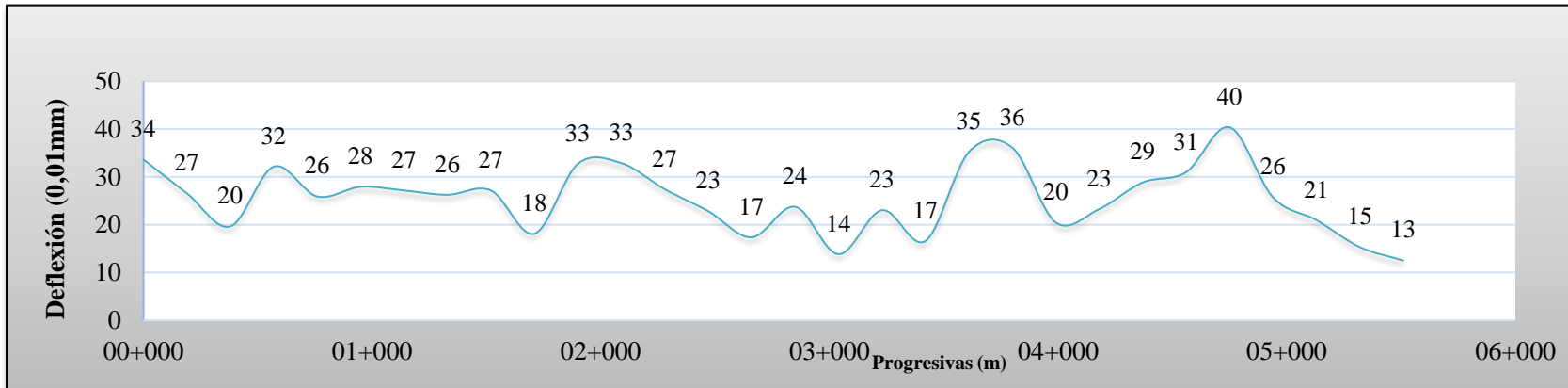
Dónde:

D = Deflexión recuperable promedio = 25,5

Ds = Desviación estándar = 7,0

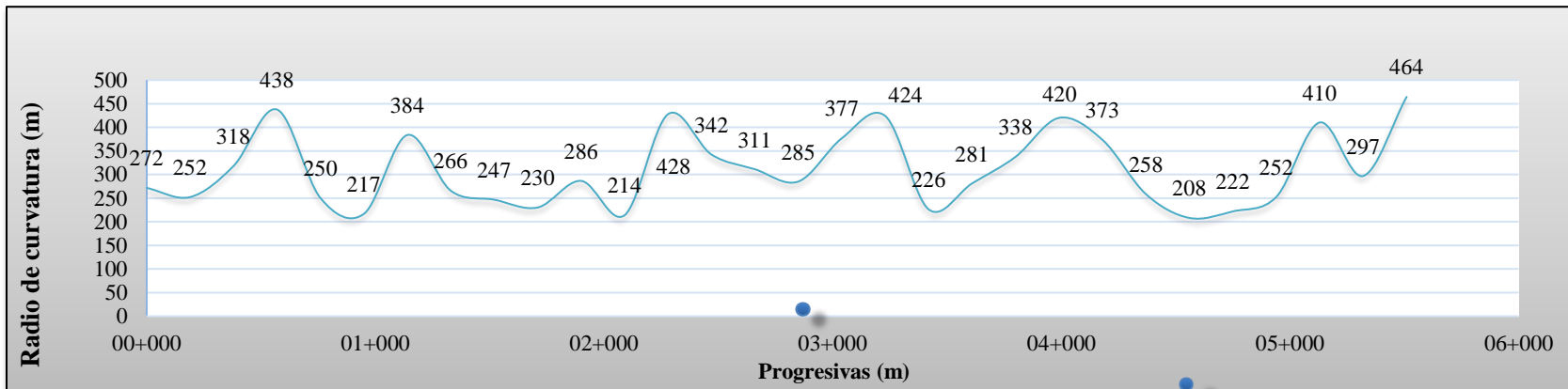
t = Constante de probabilidad al 95% = 1,645

**Gráfica N° 15: Deflexiones máximas carril izquierdo (Vuelta)**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfica N° 16: Radios de curvatura carril izquierdo (Vuelta)**



Fuente: Elaboración propia

### 3.9.3. Análisis de resultados de la evaluación estructural

Luego de calcular y tabular todos los datos de las deflexiones en tramo “Lajas la Merced–Canasmoro”, se realizará un análisis de ambos carriles a continuación:

#### 3.9.3.1. Carril derecho ida

En el carril derecho se obtuvo una deflexión característica con un valor de  $37,39 \times 10^{-2}$  mm que se encuentra en un rango menor al valor máximo de la deflexión promedio característica que es  $45,84 \times 10^{-2}$  lo cual nos indica que el tramo estructuralmente aún tiene recuperación a deflexión

#### 3.9.3.2. Carril izquierdo vuelta

para el carril de izquierdo de vuelta se obtuvo una deflexión máxima de  $36,97 \times 10^{-2}$  este valor también se encuentra en un rango menor al valor máximo de la deflexión promedio lo cual nos indica que el tramo estructuralmente aún tiene recuperación a deflexión.

Se puede decir, que la estructura de la vía estudiada se encuentra aún en buenas condiciones, es capaz de soportar las solicitudes de tránsito ya que el promedio de todas las deflexiones está con un valor por debajo del característico y que el 96 % de los resultados está dentro del rango de confianza, se observa que de acuerdo a la hipótesis tomada los valores promedio de las deflexiones están por debajo del valor teórico.

**Tabla N° 37: Valores promedio de deflexiones en todo el tramo.**

<b>Deflexión promedio de ambos carriles (mm)</b>	<b>Deflexión promedio característica (mm)</b>
$29,67 \times 10^{-2}$	$45,84 \times 10^{-2}$

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 38: Porcentaje de resultados en todo el tramo.**

<b>Número de resultados de la evaluación estructural</b>	<b>Resultados dentro del rango de confianza</b>	<b>Resultados fuera del rango de confianza</b>
124	119	5
100%	96%	4%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 39: Cuadro comparativo de los métodos empleados**

<b>Evaluación funcional</b>		
<b>Método Empleado</b>	<b>Resultado</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)</b>	1,94	Malo (2 - 1,25)
<b>Índice de Fricción Internacional (IFI)</b>	0,66	Bueno (0,61 - 0,80)
<b>Circulo de arena (macrotextura)</b>	0,49	Profundidad macrotextura (mm)
<b>Índice de Regularidad Internacional (IRI)</b>	8,46	Pavimento dañado con depresiones frecuentes
<b>Evaluación estructural</b>		
<b>Viga Benkelman Ida Vuelta</b>	Do = 25,54x10 <sup>-2</sup> Rc = 313,8 Rc = 309,7	Do < 37,18x10 <sup>-2</sup> 100 < Rc < 500

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro comparativo de resultados obtenidos de los ensayos realizados para la evaluación funcional y estructural del tramo en Lajas la Merced Canasmoro podemos realizar el análisis general del tramo lo cual nos hace conocer que el tramo en estudio según ensayos de evaluación funcional, necesita una intervención de subsanar las fallas superficiales con un recapado o refuerzo de capa de rodadura (carpeta asfáltica) ya que según los resultado solo la capa de rodadura sufrió deterioros mientras la carpeta estructural aún se encuentra en buen estado para soportar el tránsito vehicular de la zona esto según resultados de ensayos de la viga Benkelman.

### **3.10. Propuesta de alternativa de solución**

#### **3.10.1. Calculo diseño del recapado**

Para poder determinar el espesor, precios, especificaciones técnicas del recapado se procedió a realizar una nota a la Honorable Alcaldía Municipal de la ciudad de Tarija a la

dirección de obras públicas con la finalidad de recabar información actual con todo lo relacionado a la realización de un recapado de pavimento flexible, colocación de señalizaciones horizontales y verticales y mantenimientos y retiro de escombros de obras de arte como ser en nuestro caso las cunetas y alcantarillas.

Siendo ellos que me proporcionaron la información necesaria para realizar un recapado con los precios actuales que se manejan hoy en día.

También me proporcionaron el espesor que se debería de utilizar para realizar un recapado de acuerdo a la información que les brinde a cerca de la evaluación del estado funcional y estructural del tramo Lajas la Merced-Canasmoro y se concuerda que el espesor adecuado para realizar un recapado en este tramo es de 3 cm ya que este espesor es el mínimo que se realiza en esta institución y está comprobado empíricamente que brinda un buen soporte como capa de rodadura.

Para esto realizamos el cubicado de carpeta asfáltica que necesitaremos para realizar el recapado el cual nos salió que necesitaremos 1309,50 m<sup>3</sup> para un espesor de 3 cm para una distancia de 5820 m y un ancho de calzada de 7,50 m

También se procedió a realizar una inspección visual a lo largo del tramo identificando los puntos donde se requiere colocar las señalizaciones más importantes tanto verticales como horizontales con el fin de realizar el presupuesto para la inversión en estas señaléticas.

También se realizó el análisis y medición de las cunetas que se encuentran en buen estado pero que están rellenas con escombros casi en su totalidad para esto se necesita realizar un retiro y limpieza de escombros.

### 3.10.2. Cómputos métricos

**Tabla N° 40: Cómputos métricos recapado del tramo**

Ítem N°	Descripción	Unid.	Cantidad
1	Recapado de pavimento flexible	m <sup>3</sup>	1309,50

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 41: Cómputos métricos señalización horizontal.**

Ítem N°	Descripción	Unid.	Cantidad
2	Pintado de señal horizontal	m <sup>2</sup>	1634,95
	Línea de carril (segmentadas)		261,90
	Demarcador de calzada		1326,80
	Paso peatonal (tipo cebra)		46,25
3	Señal vertical preventiva (0,60 m x 0,60 m)	Pza.	44
4	Señal vertical restrictiva (0,60 m x 0,90 m)	Pza.	6
5	Señal vertical informativa (0,70 m x 0,70 m)	Pza.	4

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 42: Cómputos métricos mantenimiento de cunetas**

Ítem N°	Descripción	Unid.	Cantidad
6	Limpieza y retiro de escombros	m <sup>3</sup>	311,95

Fuente: Elaboración propia

### 3.10.3. Costo de la obra.

**Tabla N° 43: Presupuesto general.**

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	P. U.	Costo ítem
1	Recapado de pavimento flexible	m <sup>3</sup>	1309,50	3672,80	4809531,60
2	Pintado de señal horizontal	m <sup>2</sup>	1634,95	124,73	203927,32
3	Señal vertical preventiva (0,60 x 0,60)	pza	44	966,19	42512,36
4	Señal vertical restrictiva (0,60 x 0,90)	pza	6	1276,50	7659,00
5	Señal vertical informat. (0,70 x 0,70)	pza	4	1190,30	4761,20
6	Limpieza y retiro de escombros	m <sup>3</sup>	311,95	105,11	32789,06
<b>Costo (Bs) = 5101180.54</b>		Cinco millones ciento un mil ciento ochenta con cincuenta y cuatro bolivianos.			

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO IV**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Se realizó con éxito la evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible del tramo Lajas la Merced-Canasmoro y se determinó el estado actual de funcionamiento del tramo en estudio. Con lo cual se planteó una alternativa de solución.
- Hay que hacer notar la gran importancia que tienen los sistemas de evaluación y mantenimientos rutinarios en las vías, ya que estos ayudan a prevenir y mantener nuestras vías en buen estado y así lograr que estas cumplan su ciclo de vida útil, ofreciendo al usuario comodidad, confort y seguridad en su desplazamiento por las mismas evitando elevados gastos en la rehabilitación o llegando al extremo a la reconstrucción.
- Para realizar la evaluación del estado funcional de un pavimento es muy importante realizar los ensayos pertinentes, para así tener el diagnostico real del tramo que nos permitirá recomendar una alternativa de solución para tramo en evaluación.
- Se realizo un análisis bibliográfico de fallas y deterioros de pavimentos flexibles para así poder evaluar el tramo en estudio.
- Se estableció las metodologías adecuadas (IRI, PSI, IFI y Viga Benkelman) y su procedimiento para la evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible.
- El apoyo de los laboratorios y personal capacitado de la UAJMS fueron primordiales a la hora de realizar la evaluación de dicho tramo, ya que se cuenta con todo los equipos y apoyo técnico para realizar una evaluación de un pavimento en nuestra superior casa de estudio.

- Una vez realizado todos los ensayos en el tramo y analizando las principales características de cada uno de los métodos que existen para evaluación funcional y estructural de pavimentos flexibles, el método más recomendable para su utilización es el método del PSI, ya que mediante este método se realizó encuestas a los usuarios de dicho tramo quienes nos brindaron la información necesaria para poder relacionarla y así poder encontrar el estado funcional actual del pavimento flexible. Mientras que para la evaluación estructural se recomienda el método no destructivo de la viga Benkelman que nos brinda la capacidad de recuperación del pavimento.
- Los otros ensayos (IRI, y IFI) son muy importantes porque nos sirven de comprobación o verificación a la información recabada por los usuarios para la metodología del PSI
- La evaluación del estado funcional y estructural de un pavimento flexible depende mucho de la capacidad del evaluador ya que para realizar una evaluación efectiva se tiene que tener conocimiento acerca de los ensayos y métodos de evaluación.
- Los resultados obtenidos de todas las metodologías tanto para la evaluación del estado funcional como estructural del tramo en estudio nos hacen conocer que el tramo se encuentra en un estado de deterioro en torno a lo funcional, y en torno a lo estructural se pudo verificar que el pavimento aún tiene recuperación y se encuentra en buen estado.
- Se concluye que por la condición en que se encuentra el pavimento necesita una rehabilitación del mismo, para poder ampliar el periodo de vida útil del pavimento para esto se debe realizar un recapado sobre la carpeta asfáltica.
- Para realizar el recapado se realizó un presupuesto, un análisis de cómputos métricos y costos de reparación del tramo a su vez se estableció el espesor adecuado del recapado con señalizaciones verticales y horizontales.
- Se observó que las obras de artes como ser cunetas a lo largo del tramo se encuentran llenas de escombros y material que cae de los taludes por lo que es importante realizar la limpieza y retiro del material de estas obras de drenaje.

## 4.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar una rehabilitación del tramo Lajas la Merced - Canasmoro utilizando un recapado en toda su trayectoria, ya que el proceso de reconstrucción no es necesario en estos momentos, sin embargo, cabe resaltar que se debe realizar esta rehabilitación lo más pronto posible, ya que de no ser así se podría llegar a tomar la opción de reconstrucción del pavimento flexible en esta vía.
- Así mismo, antes de proceder a la colocación del recapado, deberán repararse todos los desperfectos graves, tales como las elevaciones y los hundimientos, las depresiones, los huecos, las grietas de borde, longitudinales y transversales. En el caso de las grietas, se debe proceder a un sellado de grietas, y para las demás fallas se deberá hacer un parcheo profundo o parcial según sea el caso.
- Se recomienda realizar la limpieza de cunetas y alcantarillas para evacuar aguas superficiales en temporadas de lluvia
- Se recomienda realizar una limpieza de escombros que se encuentran a lo largo del tramo, ya que está reduciendo el ancho de vía y es muy peligroso para la circulación vehicular.
- Se recomienda realizar un aforo para identificar la carga vehicular que transita sobre la vía evaluada y obtener resultados más precisos y actuales para encontrar un espesor de recapado óptimo y que se ajuste a la realidad actual.
- La evaluación de un pavimento mediante los métodos aplicados debe ser realizado por personal competente y responsable, que sea capaz de identificar las fallas que se encuentren, para pavimentos asfálticos, teniendo en cuenta las consideraciones ya descritas.
- Cuando se realice la inspección de campo de las unidades de muestra, las personas encargadas deberán contar con el equipo necesario para su desplazamiento, así como de los elementos necesarios para su seguridad, previniendo a los conductores y peatones con el fin de evitar accidentes.