

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.

Desde hace algunos años los pavimentos flexibles de las principales vías de Bolivia, vienen sufriendo fallas superficiales debido a la falencia de un adecuado mantenimiento vial.

En los proyectos de carreteras de nuestro país, generalmente no se realizan mantenimientos preventivos debido a la despreocupación de los entes encargados de realizar dichas actividades.

Hablar de mantenimiento significa considerar dos aspectos, los cuales sus propios nombres los describen, los mantenimientos correctivos que representan costos de tres a cinco veces más elevados con relación a los mantenimientos preventivos.

La vida útil de un pavimento está sujeto al mantenimiento preventivo, en caso de no realizarse se deteriorará lenta e imperceptiblemente durante los primeros años de servicio. Posterior a esto se deteriora mucho más rápido y sin un mantenimiento oportuno se desintegra. Por este motivo es recomendable realizar mantenimiento del pavimento para evitar un deterioro del mismo.

La evaluación se realizó para conocer el estado en el que se encuentra el pavimento, si presenta fallas y deterioros que afecten las condiciones de comodidad y serviciabilidad del usuario.

En este trabajo denominado “Evaluación superficial y estructural del estado del pavimento flexible en el tramo San Mateo – Sella” se realizó la evaluación superficial con los métodos PCI, IRI, IFI y la evaluación estructural con el método de la viga Benkelman, con estos métodos se pudo conocer el estado actual del pavimento flexible del tramo mencionado que cuenta con 6,412 km.

1.2. Situación problémica.

El tramo San Mateo – Sella se volvió un tramo muy transitado que descongestiona el flujo vehicular principalmente de la zona de Tomatitas ya que es una alternativa para llegar al municipio de San Lorenzo y a diferentes comunidades aledañas como Sella. Al ser un tramo relativamente nuevo no debe presentar fallas, pero las tiene a lo largo del tramo que no son muy significativas pero las cuales pueden afectar a medida que pasa el tiempo en la transitabilidad si el pavimento asfáltico se encuentra en malas condiciones y puede provocar daños a los vehículos.

Para conocer el estado en el que se encuentra el pavimento se plantea realizar una evaluación superficial y estructural del pavimento flexible con los métodos PCI, IRI, IFI y viga Benkelman en dicho tramo y dar una pronta solución para garantizar a los beneficiarios comodidad y transitabilidad de la misma.

1.2.1. Problema.

¿Cómo se puede determinar el estado de la superficie y la estructura del pavimento flexible del tramo San Mateo – Sella?

1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema.

El estado del pavimento flexible se determina realizando un análisis visual, manual y cuantitativo de la superficie del pavimento a través de una evaluación superficial que busca reflejar el estado del pavimento a través de sus características superficiales presentes en el momento de la evaluación y evaluación estructural para obtener respuestas sobre el comportamiento del pavimento como estructura, sometida a las solicitaciones impuestas por las cargas generadas por el tráfico vehicular y la acción de los agentes ambientales.

El tramo San Mateo – Sella al ser un tramo relativamente nuevo no debería presentar muchas fallas, al observar a simple vista se encuentra en buenas condiciones y es transitable que descongestiona el flujo vehicular principalmente en la zona de Tomatitas.

Es necesario realizar una evaluación superficial y estructural de pavimentos flexibles en el tramo para conocer el estado en el que se encuentra y que cuente con las condiciones de serviciabilidad para los usuarios.

1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema.

Se encuentra en tiempo presente ya que es evaluar en la actualidad el estado del pavimento flexible.

El tramo de carretera San Mateo – Sella (salida del puente interprovincial Eustaquio Méndez hasta el cruce de Sella Méndez y San Lorenzo. Provincia Méndez en el departamento de Tarija).

1.3. Justificación.

Aplicar los conocimientos adquiridos por el estudiante en las asignaturas impartidas en la carrera de ingeniería civil para la evaluación de carreteras. Además investigar y aplicar métodos de evaluación de carreteras, para los cuales se consideró la norma AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials) y los documentos para guía denominados “Manual de Diseño de Conservación Vial” “Manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción” y “Manual de Ensayos de Suelos y Materiales*Asfaltos” de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras). Y como apoyo también se consideró las normas chilena y peruana.

El flujo de vehículos en la ciudad de Tarija ha aumentado en gran magnitud en los últimos años, es por eso que es muy importante que las vías brinden condiciones adecuadas de seguridad, resistencia y comodidad a los usuarios.

El tramo San Mateo - Sella es una alternativa de descongestionamiento vehicular ya que a la altura de Tomatitas siempre se presenta este problema dando a la sociedad una alternativa de solución y comodidad para llegar al municipio de San Lorenzo y comunidades aledañas.

Al ser un tramo relativamente nuevo no debe presentar fallas, pero las tiene a lo largo del tramo que no son muy significativas pero las cuales pueden afectar a medida que pasa el tiempo en la transitabilidad si el pavimento asfáltico se encuentra en malas condiciones y puede provocar daños a los vehículos.

Es por eso que es muy importante conocer el estado actual del pavimento mediante una evaluación superficial y estructural del pavimento flexible con los métodos PCI, IRI, IFI

y viga Benkelman en dicho tramo y dar una pronta solución para garantizar a los beneficiarios comodidad y transitabilidad de la misma.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Evaluar el estado del pavimento flexible del tramo San Mateo - Sella, usando métodos de evaluación superficial y estructural; de tal manera, se pueda determinar su condición actual.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Realizar ensayos de evaluación superficial y estructural del pavimento flexible.
- Clasificar los deterioros y fallas superficiales que se presentan en el pavimento flexible del tramo San Mateo - Sella.
- Evaluar la severidad de los daños encontrados en el pavimento flexible del tramo San Mateo - Sella.
- Analizar los resultados que se obtengan para realizar la evaluación del estado del pavimento.
- Recomendar métodos de rehabilitación en caso de requerirlos para una apropiada solución.

1.5. Hipótesis.

Si se realiza una evaluación superficial y estructural del pavimento flexible del tramo permitirá conocer el estado actual del mismo para así poder recomendar técnicas de rehabilitación en caso de requerirla para una apropiada solución.

1.6. Operacionalización de las variables.

1.6.1. Variables independientes.

- Método PCI (Índice de Condición del Pavimento)
- Método IRI (Índice de Rugosidad Internacional)
- Método IFI (Índice de Fricción Internacional)

- Método de deflexiones viga Benkelman

1.6.2. Variables dependientes.

- Evaluación superficial
- Evaluación estructural

1.7. Identificación del tipo de investigación.

El presente trabajo corresponde al tipo de investigación aplicada, a un nivel de investigación descriptiva, se observa los fenómenos tal como se dan en su contexto natural para después analizarlos, se diagnostica el estado del pavimento tanto superficial como estructural, caracterizándolos de manera cuantitativa y cualitativa.

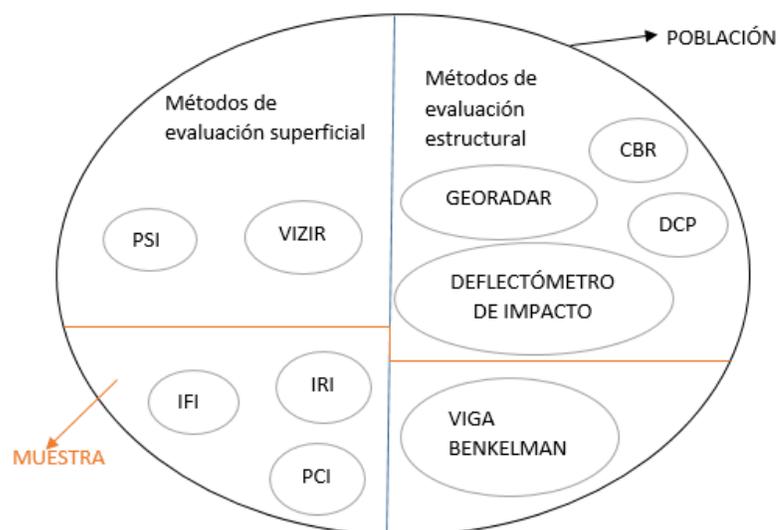
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral.

1.8.1. Unidad de estudio.

Estado actual del pavimento flexible en el tramo “San Mateo – Sella”

1.8.2. Población.

Métodos de evaluación superficial y estructural



Fuente: Elaboración propia.

1.8.3. Muestra.

Los métodos seleccionados para la evaluación superficial son el método PCI (Índice de Condición del Pavimento), IRI (Índice de Rugosidad Internacional), IFI (Índice de Fricción Internacional) y para la evaluación estructural la viga Benkelman.

1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo.

Para la obtención de los datos de fallas existentes en el sitio de estudio se realizará una división de la totalidad de la superficie del tramo en unidades homogéneas, de esta división se deberá considerar los tipos de fallas existentes siendo la aplicación de los métodos elegidos en las áreas que presenten la mayor afectación de fallas para que los datos que se obtengan puedan ser más representativos.

1.9. Métodos y técnicas empleadas.

1.9.1. Métodos.

Los ensayos que se realizaron son:

- IRI
- PCI
- IFI
- Viga Benkelman

1.9.2. Técnicas.

Los instrumentos que se utilizaron para los diferentes métodos son:

- IRI
- Rugosímetro de Merlín
- PCI
- Regla graduada
- Tiza o pintura para marcar
- Conos

➤ IFI

Se realizó la macrotextura y la microtextura

- Macrotextura con el círculo de arena:

- Arena normalizada tipo 100/200; pasa por tamiz N°100 retenida en el tamiz N°200

- Recipientes contenedores de material

- Disco esparcidor, plano y rígido de 60-75mm de diámetro utilizado para esparcir el material

- Escobilla, flexómetro, caja protectora de viento o llanta

- Microtextura con el péndulo Británico:

- Péndulo TRRL. Diseñado por “Transport Road Research Laboratory”; este péndulo consta de dispositivos de nivelación, de desplazamiento vertical, de medida y de disparo de brazo

- El patín del péndulo consta de una goma de caucho según características de la norma ASTM E303

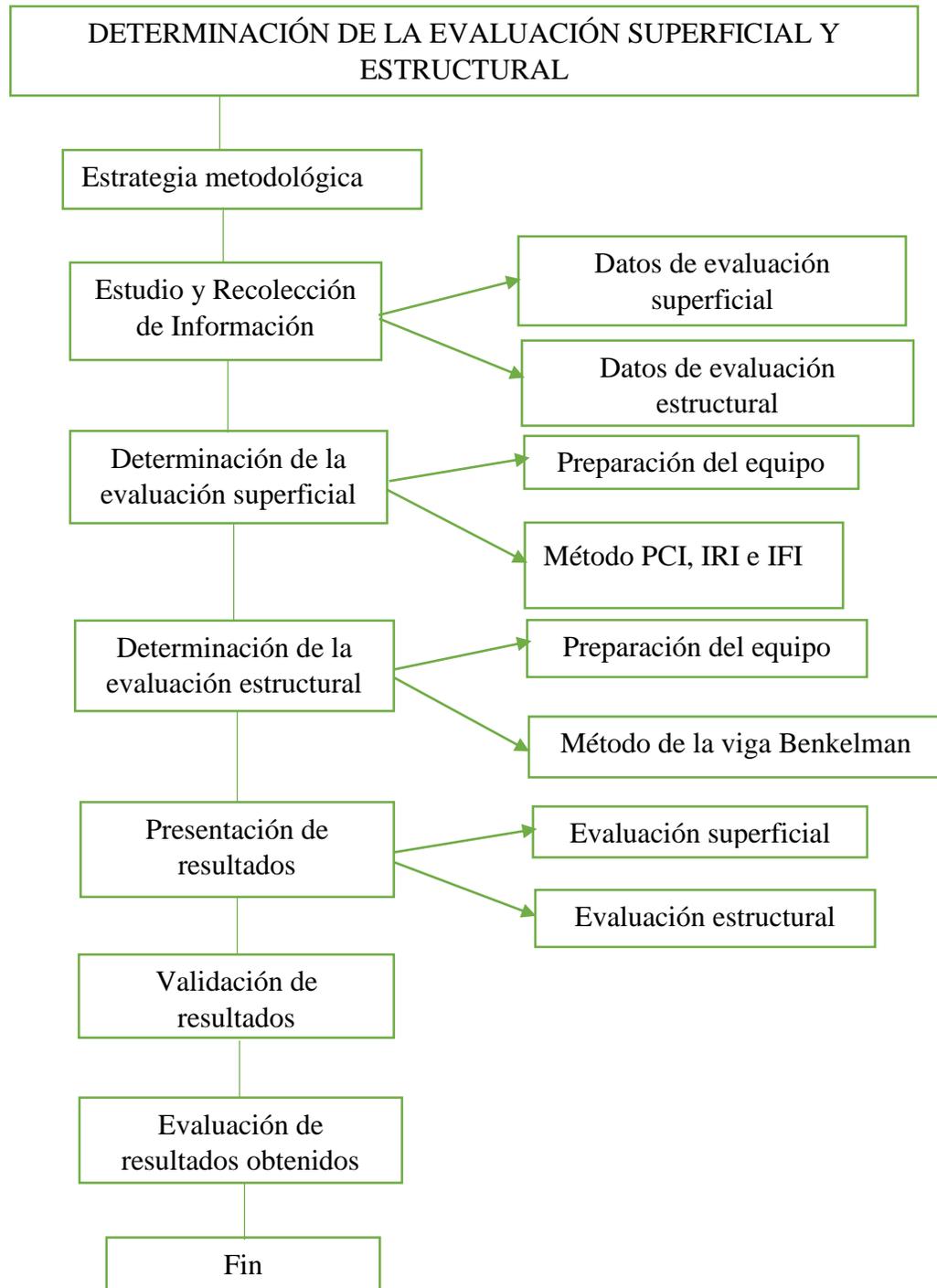
- Material auxiliar (termómetro, cepillo, escobilla)

- Regla graduada al milímetro para medir distancia de deslizamiento del péndulo

➤ Viga Benkelman

- Volqueta de 8,2 toneladas de carga

- Viga Benkelman



1.10. Procesamiento de la información.

Se realizó un análisis y evaluación de los resultados para conocer el estado del pavimento.

1.11. Alcance de la investigación.

El presente trabajo denominado “Evaluación superficial y estructural del estado del pavimento flexible en el tramo San Mateo – Sella” corresponde a la aplicación de los métodos PCI, IRI, IFI y la viga Benkelman en el tramo de carretera San Mateo - Sella (salida del puente interprovincial Eustaquio Méndez hasta el cruce de Sella Méndez y San Lorenzo). Sus coordenadas de inicio son: 21°28'8,40" S, 64°43'27,58" O. A una altitud de 1949m. Sus coordenadas de final del tramo son: 21°24'25,99" S, 64°43'14,37" O. A una altitud de 2045m.

El alcance de investigación es del tipo descriptivo, con un diseño no experimental, del tipo transeccional de tendencia debido a que los datos pueden ser levantados en un momento único.

CAPÍTULO II
EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

2.1. Pavimento.

A continuación, mostraremos algunas definiciones de pavimento según diferentes autores:

“Un pavimento es una estructura vial formada por una o varias capas de materiales seleccionados, capaz de resistir las cargas impuestas por el tránsito y la acción del medio ambiente y de transmitir al suelo de apoyo esfuerzos y deformaciones tolerables por éste. Desde el punto de vista estructural, un pavimento transmite en forma adecuada las cargas hacia el terreno de fundación, es decir, sin rotura de los materiales o deformaciones exageradas para la estructura”. (Pavimentos. División de Investigación y Asesorías Universidad de Medellín., 1997)

“El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura”. (Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Perú 2013)

2.2. Componentes del pavimento.

Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, sub base y capa de rodadura.

2.2.1. Capa de rodadura.

Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito. (Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Perú 2013)

2.2.2. Base.

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material

granular drenante ($\text{CBR} \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento. (Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Perú 2013).

2.2.3. Subbase.

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. (Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Perú 2013)

2.2.4. Subrasante.

Es la capa más profunda de toda la estructura que conforma al pavimento. Estos suelos pertenecientes a la subrasante serán adecuados y estables con CBR igual o mayor a 6%.

En el caso que sea menor (subrasante pobre o inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual se tendrá que analizar alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo de suelo, estabilización química de suelo, estabilización con geo sintéticos, entre otros, eligiendo la alternativa más conveniente en cuanto a lo técnico y económico. Se apoya sobre el terreno natural de fundación. (Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Perú 2013)

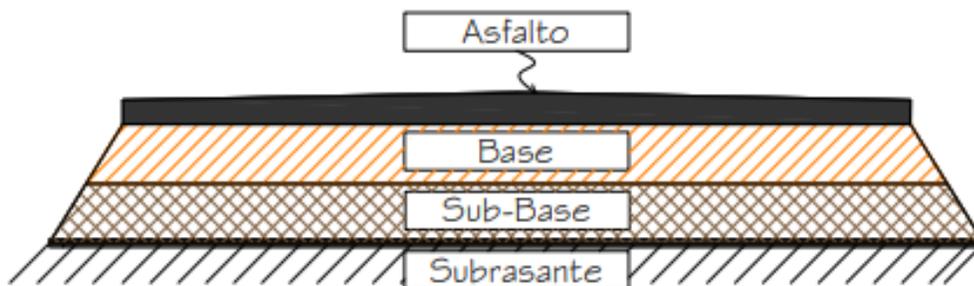
2.3. Clasificación de los pavimentos.

Es importante conocer la clasificación de los pavimentos, para poderlos distinguir entre ellos y lograr llevar a cabo un proceso de evaluación adecuado.

2.3.1. Pavimentos flexibles.

Es el pavimento que tiene en su parte superior una carpeta bituminosa, apoyada sobre dos capas granulares, denominadas base y subbase. En la siguiente figura 1 se presenta un corte de la sección típica de un pavimento flexible. (Armijos, S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador).

FIGURA N° 1. Sección de un pavimento flexible.

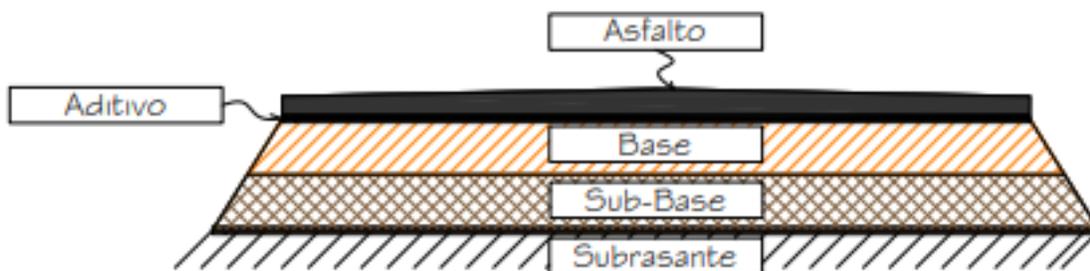


Fuente: Armijos, S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador. Página 4.

2.3.2. Pavimentos semi-rígido.

Contiene la misma estructura de un pavimento flexible, con la variación que una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con algún aditivo que puede ser: asfalto, cal, cemento, emulsión o químicos; los cuales permitan incrementar la capacidad portante del suelo. (Armijos, S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador).

FIGURA N° 2. Sección de un pavimento semi-rígido.



Fuente: Armijos, S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador. Página 4.

2.3.3. Pavimentos rígidos.

Son pavimentos en los cuales su capa superior está compuesta por una losa de cemento hidráulico, la cual se encuentra apoyada sobre una capa de material denominada base o sobre la subrasante; una representación de este pavimento se observa en la figura 3. En este tipo de pavimentos se pueden distinguir algunos tipos que son: hormigón simple con juntas con o sin barras de transferencia de carga, hormigón reforzado con juntas y barras de traspaso de cargas y hormigón continuamente reforzado. (Armijos, S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador).

FIGURA N° 3. Sección de un pavimento rígido.

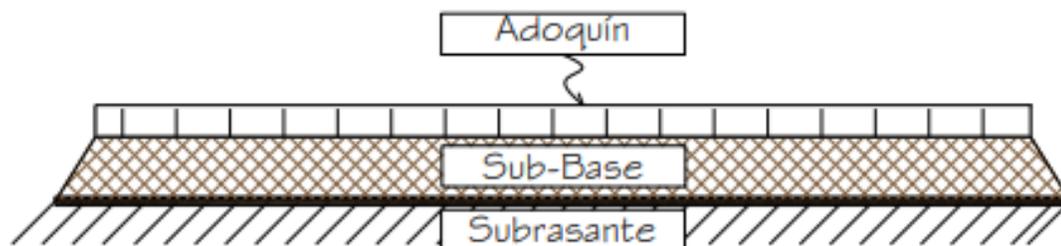


Fuente: Armijos, S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador. Página 5.

2.3.4. Pavimentos articulados.

Son pavimentos cuyas capas de rodadura se encuentran conformadas por bloques de concreto prefabricados, que se denominan adoquines, son iguales entre sí y de un espesor uniforme; y se colocan sobre una capa delgada de arena, la cual se encuentra sobre una capa granular o la subrasante como se observa en la figura 4. (Armijos, S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador).

FIGURA N° 4. Sección de un pavimento articulado.



Fuente: Armijos, S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador. Página 5.

2.4. Evaluación de pavimentos.

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que halla la superficie del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de reparación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil de los pavimentos, es así, que es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre. (Armijos, S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador).

Existen dos tipos de evaluación de pavimentos:

- Evaluación superficial
- Evaluación estructural

2.4.1. Evaluación superficial.

Se entiende por evaluación superficial o funcional, a aquella evaluación realizada en una vía con el objeto de determinar los deterioros que afectan al pavimento y al usuario, y conocer el estado en el que se encuentra el mismo.

La evaluación superficial debe ser definida de manera periódica, con el fin de determinar la naturaleza y extensión de los deterioros en el pavimento ya que tales datos son extremadamente importantes debido al impacto directo que tienen sobre el comportamiento del pavimento existente y sobre aquellas capas de refuerzo posteriores.

Este tipo de evaluación es también importante porque permite determinar el tratamiento más adecuado que requiere la superficie del pavimento antes de colocar la sobrecapa de refuerzo. (Legia, P. y Pacheco, H. (2016)).

2.4.1.1. Método IRI (Índice de Rugosidad Internacional).

La sociedad americana de ensayos y materiales (ASTM) en la norma E-867 define la rugosidad como la desviación de la superficie del pavimento respecto a una superficie plana que afecta la dinámica de los vehículos, la calidad de los viajes, las cargas dinámicas y el drenaje. La rugosidad también puede ser definida como la distorsión de la superficie de la vía que causa aceleraciones verticales indeseables contribuyendo a la incomodidad del viaje (Perera & Kohn, 2002).

El IRI es una escala de la regularidad superficial de una vía, propuesta por el banco mundial como estadística estándar de la rugosidad que determina la influencia del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura; se expresa en metros por kilómetros (Sayers y Karamihas, 1996).

El cálculo del índice de rugosidad internacional IRI está basado en el comportamiento del modelo matemático “Quarter Car”, que simula la función y las masas de la cuarta parte de un vehículo que circula por la vía a una velocidad promedio de 80 Km/h; la acumulación de los desplazamientos de vertical de las masas dividido entre la distancia recorrida, da como resultado el IRI en dimensiones de pendiente (m/Km).

Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos.

Las investigaciones han demostrado que existen muchos factores que afectan la regularidad superficial del pavimento. De éstos lo más relevantes son:

- Edad del pavimento.
- Niveles de tráfico vehicular.
- Espesores del pavimento.
- El número estructural.
- Las propiedades del concreto asfáltico utilizado: vacíos con aire, gravedad específica y el contenido de asfalto.

- Las características del medio ambiente: Temperatura promedio, precipitaciones pluviales (días de lluvia), índice de congelamiento, días con temperatura superior a 32°C.
- Propiedades de la base granular como el contenido de humedad y el porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Propiedades de la subrasante como el índice de plasticidad, contenido de humedad, contenido de limos y arcillas, y porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Extensión y severidad de las fallas en el pavimento.

Equipos para la medición del IRI.

Los equipos para la medición de la regularidad superficial del pavimento, difieren uno del otro por la precisión de los resultados obtenidos, la rapidez en la obtención de los datos y la complejidad del sistema que gobierna su funcionamiento. (Almanza, M. Diego, H. (2014)).

CUADRO N° 1. Equipos para la medición del IRI.

Equipo	Grado de precisión	Implementación	Complejidad del equipo	Observaciones
Perfilógrafos	Media	Control de calidad y recepción de obras	Simple	Estos equipos no son prácticos para la evaluación de las redes viales.
Tipo respuesta para medir la regularidad de las carreteras	Media	Monitoreo de red vial	Compleja	Los resultados obtenidos entre estos equipos no son comparables, ya que dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo y no son estables en el tiempo.
Nivel y mira	Muy alta	Mediciones de perfil de pavimento y calibraciones	Simple	El uso de estos equipos para proyectos largos no es práctico y los costos son elevados.
Dipstick	Muy alta	Mediciones de perfil de pavimento y calibraciones	Muy simple	Se utiliza para mediciones del perfil de pavimento en longitudes pequeñas.
Perfilómetro inercial	Muy alta	Monitoreo y recepción de proyectos viales	Muy compleja	Equipos con alta precisión permiten la comparación de resultados y son estables en el tiempo. Pueden ser utilizados para la calibración de los equipos tipo respuesta.

Fuente: Algunos equipos para la medición del IRI (adaptado de FHWA, 2006).

2.4.1.1.1. Método IRI con el rugosímetro de Merlín.

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

La gran ventaja en el uso del Merlín es la exactitud en los resultados que solo puede ser superado por el método de mira y nivel. Pero también tiene la desventaja de que el rendimiento ofrecido por este equipo es muy bajo comparado con los equipos electrónicos y/o dinámicos y el problema es mayor aún cuando es necesario evaluar grandes distancias de carretera y si los resultados son necesarios con prontitud la utilización del Merlín se hace improductivo. (Del Águila, Pablo. (1998)).

FIGURA N° 5. Equipo para la medición de la rugosidad superficial con Merlín.

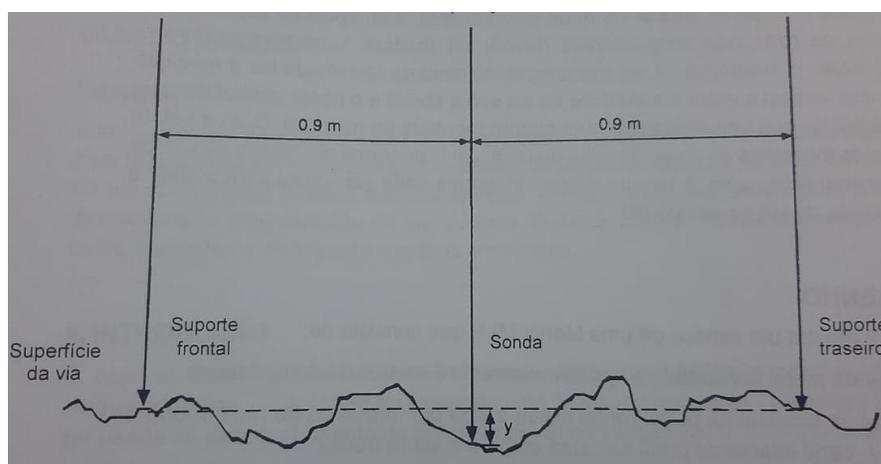


Fuente: Elaboración propia.

Metodología para determinación del IRI con rugosímetro de Merlín.

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

FIGURA N° 6. Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio.

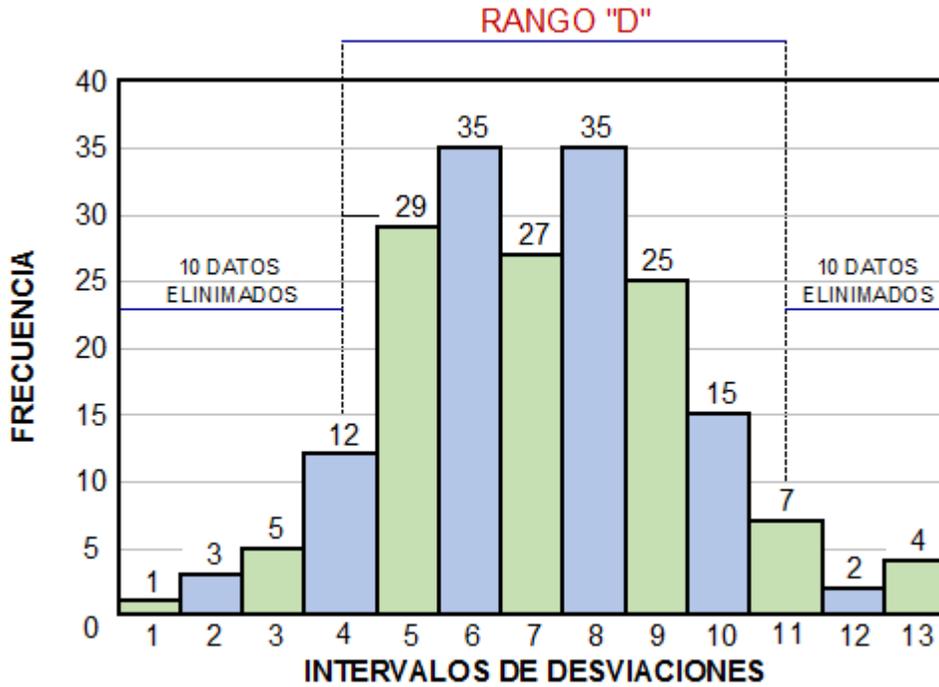


Fuente: Manual del Usuario Merliner. Lima, Perú.

Histograma de la distribución de frecuencias.

Se debe medir 200 desviaciones en forma continua para poder obtener el histograma de distribución de frecuencias; en el histograma existe la posibilidad de medir dispersión de las desviaciones; en la figura que sigue se muestra el parámetro estadístico “D” que representa la rugosidad del pavimento en escala Merlín; luego de hacer la depuración de 5% (10 datos) a cada lado (cola) del histograma, el máximo rango “D” debe ser convertido a unidades IRI mediante ecuaciones de correlación.

FIGURA N° 7. Histograma de la distribución de frecuencias.



Fuente: Almanza, M. Diego, H. (2014). Perú.

Correlaciones D versus IRI.

A partir de las investigaciones por encargo del banco mundial en la década de los 80's se estableció como parámetro patrón para relacionar los resultados obtenidos con la gran variedad de equipos medidores del IRI.

Para relacionar la rugosidad obtenida con el Merlín con el índice de rugosidad internacional (IRI) se deben usar las siguientes ecuaciones de correlación.

Cuando $2,4 < IRI < 15,9$ entonces $IRI = 0,593 + 0,0471 D \dots\dots(1)$

Cuando $IRI < 2,4$ entonces $IRI = 0,0485 D \dots\dots\dots(2)$

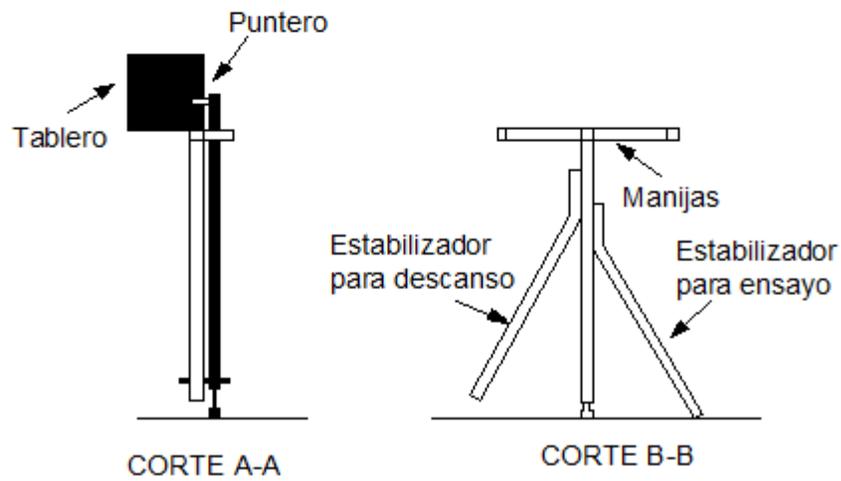
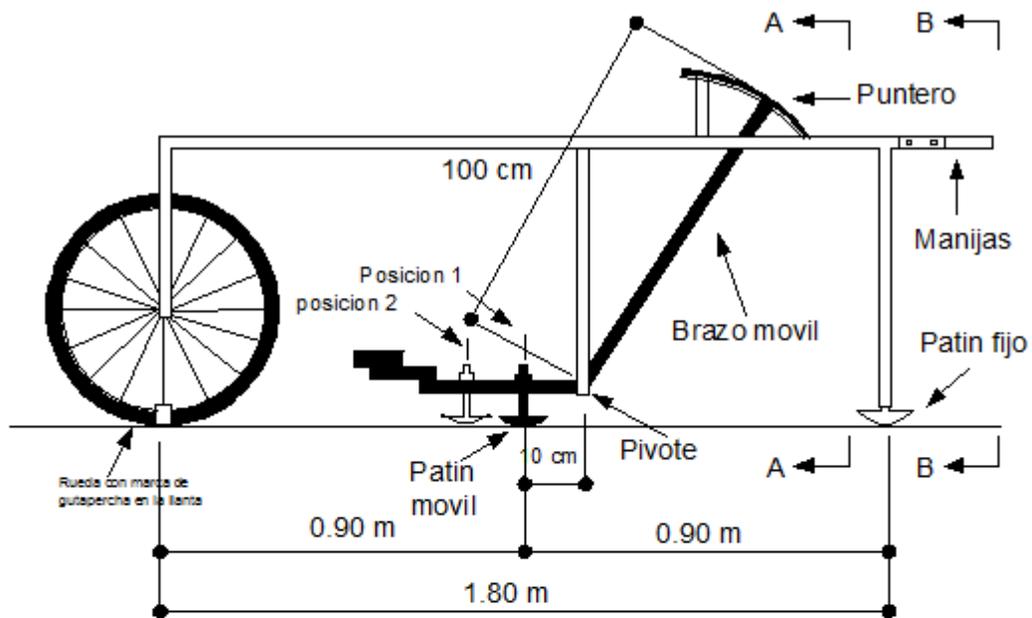
La primera ecuación es una ecuación primigenia del TRRL, resultado de las investigaciones del banco mundial en el año 1982; la segunda ecuación es el resultado de

las investigaciones en el Perú, la cual debe ser aplicada a pavimentos nuevos o en buen estado, tal como indica la condición de su utilización en la expresión segunda.

Esquema y representación de las partes de un equipo Merlín.

El Merlín es un equipo sencillo y fácil operación, lo cual hace que su utilización resulte completamente económica cuando se trate de evaluar tramos cortos de carretera. (Del Águila, Pablo. (1998)).

FIGURA N° 8. Esquema del rugosímetro Merlín.



Fuente: Almanza, M. Diego, H. (2014). Perú.

2.4.1.2. Método PCI (Índice de Condición del Pavimento).

El PCI es un índice numérico desarrollado para obtener el valor de la irregularidad de la superficie del pavimento y la condición operacional de éste.

Esta metodología califica la condición integral del pavimento en base a una escala que varía entre “0” para un estado fallado y un valor de “100” para un estado excelente. Se muestra a continuación los rangos del PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento. (Legia, P. y Pacheco, H. (2016)).

TABLA N°1. Escala de clasificación de PCI.

Valor del PCI		Evaluación
De	a	
85	100	Excelente
70	85	Muy bueno
55	70	Bueno
40	55	Aceptable
25	40	Pobre
10	25	Muy pobre
0	10	Fallado

Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03.

Introduce un factor de ponderación, llamado “valor deducido”, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento a cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad.

El método PCI es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues se mide la condición del pavimento de manera indirecta. (ASTM, 2004).

El muestreo se llevará a cabo siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

Se identifica los tramos o áreas en el pavimento con diferentes usos en el plano de distribución de la red. Luego, se divide cada tramo en secciones basándose en criterios como diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo. Después se divide las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra.

Una vez divididas las secciones se identifican las unidades de muestras individuales a ser inspeccionadas de tal manera que permita a los inspectores, localizarlas fácilmente sobre la superficie del pavimento. Es necesario que las unidades de muestra sean fácilmente reubicables, a fin de que sea posible la verificación de la información de fallas existentes, la examinación de variaciones de la unidad de muestra con el tiempo y las inspecciones futuras de la misma unidad de muestra si fuera necesario.

Seguidamente se procede a seleccionar las unidades de muestra a ser inspeccionadas. El número de unidades de muestra a inspeccionar puede variar de la siguiente manera: considerando todas las unidades de muestra de la sección, considerando un número de unidades de muestras que nos garantice un nivel de confiabilidad del 95% o considerando un número menor de unidades de muestra.

Todas las unidades de muestra de la sección pueden ser inspeccionadas para determinar el valor de PCI promedio en la sección. Este tipo de análisis es ideal para una mejor estimación del mantenimiento y reparaciones necesarias.

Es necesario que las unidades de muestra adicionales deban ser inspeccionadas sólo cuando se observan fallas no representativas. Estas unidades de muestra son escogidas por el usuario. (U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2001).

El procedimiento para la evaluación de un pavimento comprende una etapa de trabajo de campo y otra etapa de cálculos aplicando la metodología respectiva; y es el siguiente: Primero se inspecciona individualmente cada unidad de muestra seleccionada, luego, se registra el tramo y número de sección, así como el número y tipo de unidad de muestra. Es necesario que se tome el tamaño de unidad de muestra medido con el odómetro manual. Cuando se realice la inspección de las fallas, se debe cuantificar cada nivel de severidad y registrar la información obtenida.

Es necesario mencionar que el método de medición se encuentra incluido en la descripción de cada falla. Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

Los daños o fallas se identificarán, teniendo en cuenta su clase, severidad y extensión de los mismos.

a) La clase, está relacionada con el tipo de degradación que se presenta en la superficie de un pavimento entre las que tenemos piel de cocodrilo, exudación, agrietamiento en bloque, abultamientos, entre otros, cada uno de ellos se describe en el manual de daños de la evaluación de la condición de pavimentos.

b) La severidad, representa la criticidad del deterioro en términos de su progresión; entre más severo sea el daño, más importantes deberán ser las medidas para su corrección. De esta manera, se deberá valorar la calidad del viaje, o sea, la percepción que tiene el usuario al transitar en un vehículo a velocidad normal; es así que se describe una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito:

- Bajo (L: Low) = Se perciben vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones), pero no es necesaria la reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad.
- Medio (M: Medium) = Las vibraciones del vehículo son significativas y se requiere una reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad.
- Alto (H: High) = Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad.

El último factor que se debe considerar para calificar un pavimento es la extensión, que se refiere al área o longitud que se encuentra afectada por cada tipo de deterioro, en el caso de la evaluación de pavimentos de hormigón, la calificación de la extensión estará representada por el número de veces que se repita dicha falla en una losa o varias losas.

Para la evaluación de campo, una vez definidas las unidades de muestreo UM-i, a partir del seccionamiento de la vía, en el que también se considerará el ancho total de cada calzada, se inspeccionará cada unidad de muestra para medir el tipo, severidad y cantidad de los daños de acuerdo con el patrón de evaluación, y se registrará toda la información

en el formato correspondiente (hoja de información de exploración de la condición) para cada unidad de muestra.

En el formato ya mencionado se hará registro por cada renglón un daño, su extensión y su nivel de severidad, para ello se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de las medidas de los daños descritos en el “manual de daños en vías con superficie de concreto asfáltico”.

Luego de culminar la inspección de campo, la información recogida se utiliza para calcular el PCI. El cálculo está basado en los “valores deducidos” de cada daño, de acuerdo a la cantidad y severidad reportadas.

El cálculo del PCI puede realizarse de manera manual o computarizada bajo una base de datos bien estructurada. (U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2001).

El cálculo del PCI, comprende las siguientes etapas:

a) Etapa 1 Cálculo de los valores deducidos (VD):

- Se totaliza cada tipo y nivel de severidad de daño y se registra en las columnas dadas por el formato. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.
- Se divide la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y expresar el resultado en porcentaje. Esta será la densidad de cada daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
- Se determina el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas y tablas denominadas “valor deducido del daño”. Las tablas se encuentran en los anexos.

b) Etapa 2 Determinación del número máximo admisible de valores deducidos (m):

Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” (VDT) en lugar del “valor deducido corregido” (VDC), obteniendo en la Etapa 4; de lo contrario, se seguirán los pasos que continúan.

Se listan los valores deducidos individuales en orden descendente.

Se determina el “Número máximo de valores deducidos” (m), utilizando la siguiente ecuación:

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

El número de valores individuales deducidos se reduce a “m”, inclusive la parte fraccionaria. Si se repone de menos valores deducidos que “m” se utilizan los que se tengan.

c) Etapa 3 Cálculo del máximo valor deducido corregido (CDV):

Este paso se realiza mediante un proceso iterativo que se describe a continuación:

Se determina el número de valores deducidos (q) mayores que 2.

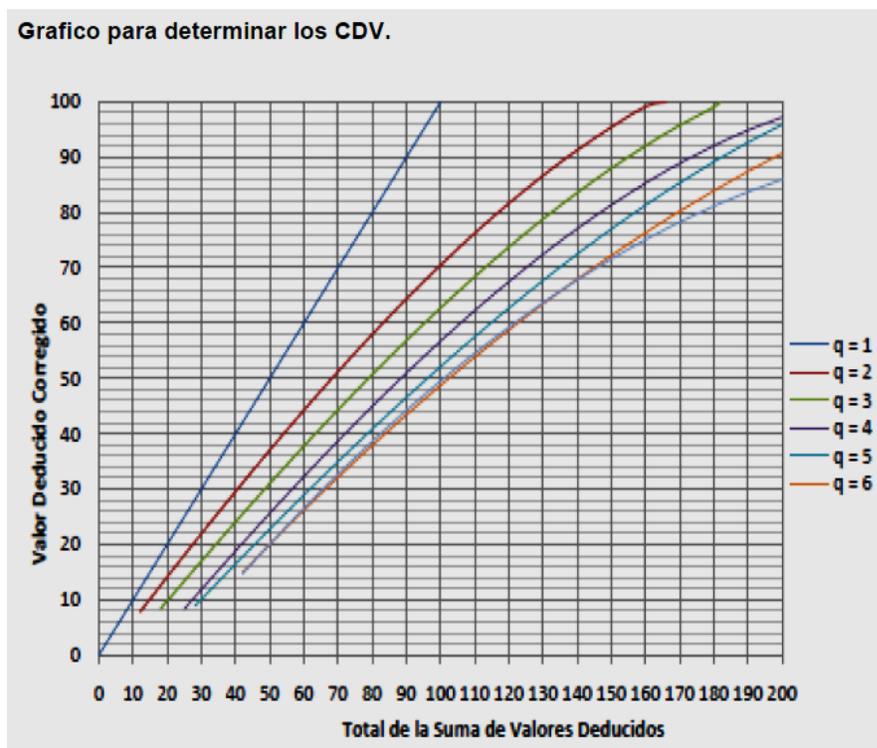
Se procede a determinar del “valor deducido total” sumando todos los valores individuales.

Se calcula el CDV con el “q” y el “valor deducido total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.

Se reduce a 2,0 el menor de los “valores deducidos” individuales que sea mayor que 2,0 y repita las etapas iniciales de esta etapa hasta que sea igual a 1.

El “máximo CDV” es el mayor valor de los CDV obtenidos en este proceso.

FIGURA N° 9. Curvas de corrección del valor deducido (CDV) para pavimentos flexibles.



Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03.

d) Etapa 4:

Determinar el PCI de la unidad restando el “máximo CDV” de 100, obtenido en la etapa 3.

$$PCI = 100 - \text{máx. CDV}$$

Donde:

PCI= Índice de Condición del pavimento.

Máx. CDV= Máximo valor corregido deducido.

El PCI promedio, resulta ser el promedio de todos los PCI de cada unidad de muestra. (U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2001).

Según el manual de daños en vías con superficie de concreto asfáltico se tiene:

1. PIEL DE COCODRILO.

Descripción. Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0,60 m.

El agrietamiento de piel de cocodrilo ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que esté sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión. (Un patrón de grietas producido sobre un área no sujeta a cargas se denomina como “grietas en bloque”, el cual no es un daño debido a la acción de la carga).

La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.

Niveles de severidad.

L (Low: Bajo) = Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta.

M (Medium: Medio) = Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas.

H (High: Alto) = Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito.

Medida.

Se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. La mayor dificultad en la medida de este tipo de daño radica en que, a menudo, dos o tres niveles de severidad

coexisten en un área deteriorada. Si estas porciones pueden ser diferenciadas con facilidad, deben medirse y registrarse separadamente. De lo contrario, toda el área deberá ser calificada en el mayor nivel de severidad presente.

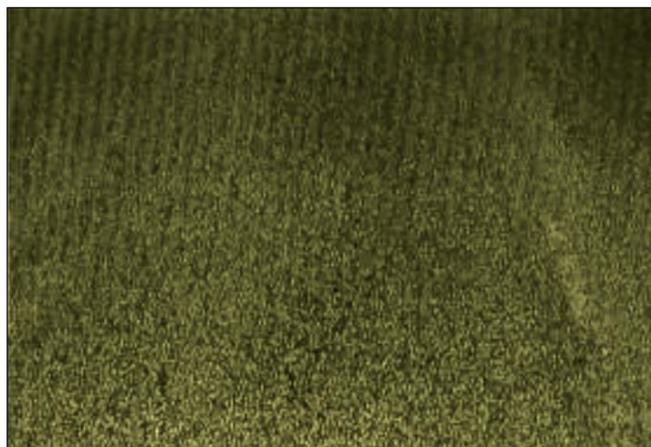
Opciones de reparación.

L= No se hace nada, sello superficial. Sobrecarpeta.

M= Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobrecarpeta. Reconstrucción.

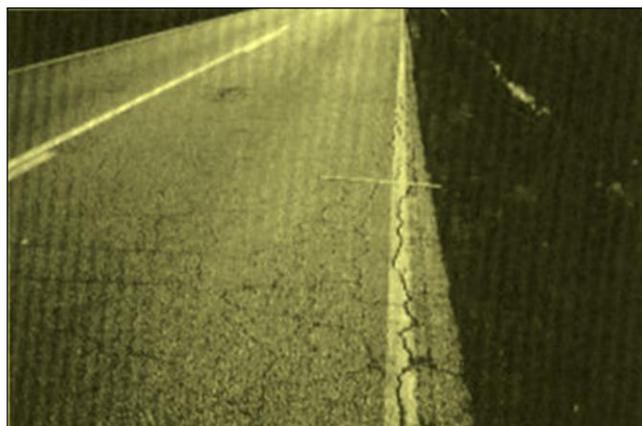
H= Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción.

FIGURA N° 10. Piel de cocodrilo de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 11. Piel de cocodrilo de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 12. Piel de cocodrilo de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

2. EXUDACIÓN.

Descripción. La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa. La exudación es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.

Niveles de severidad.

L= La exudación ha ocurrido solamente en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los vehículos.

M= La exudación ha ocurrido hasta un punto en el cual el asfalto se pega a los zapatos y vehículos únicamente durante unas pocas semanas del año.

H= La exudación ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y vehículos al menos durante varias semanas al año.

Medida.

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza la exudación no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.

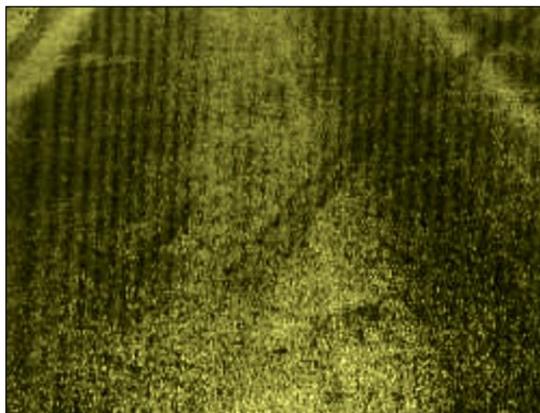
Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= Se aplica arena / agregados y cilindrado.

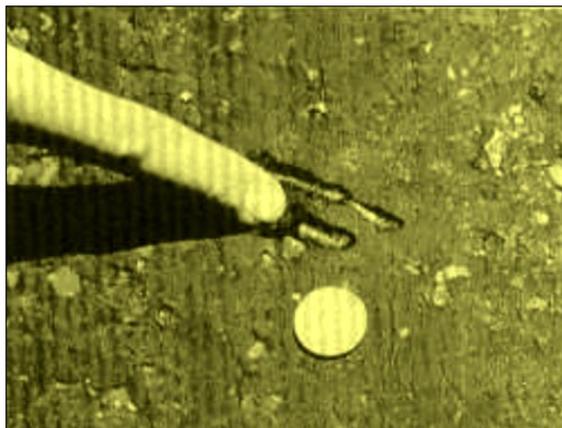
H= Se aplica arena / agregados y cilindrado (precalentando si fuera necesario).

FIGURA N° 13. Exudación de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 14. Exudación de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 15. Exudación de alta severidad.

Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

3. AGRIETAMIENTO EN BLOQUE.

Descripción. Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0,30 m x 0,3 m a 3,0 m x 3,0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito. Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).

Niveles de severidad.

L= Bloques definidos por grietas de baja severidad, como se define para grietas longitudinales y transversales.

M= Bloques definidos por grietas de severidad media.

H= Bloques definidos por grietas de alta severidad.

Medida.

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Generalmente, se presenta un solo nivel de severidad en una sección de pavimento; sin embargo, cualquier área de la sección de pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y anotarse separadamente.

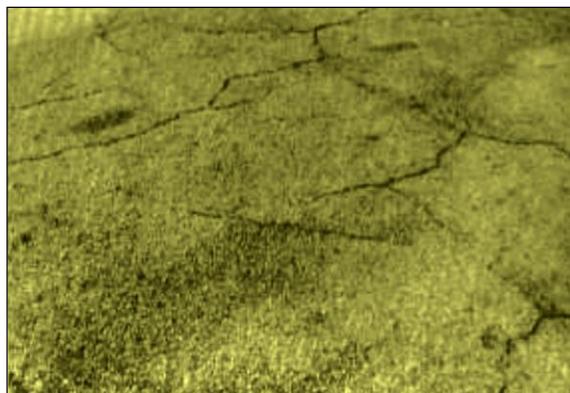
Opciones de reparación.

L= Sellado de grietas con ancho mayor a 3,0 mm. Riego de sello.

M= Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta.

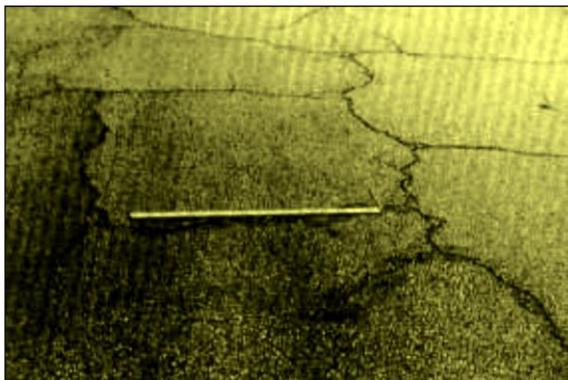
H= Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta.

FIGURA N° 16. Grietas en bloque de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 17. Grietas en bloque de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 18. Grietas en bloque de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

4. ABULTAMIENTOS (BUMPS) Y HUNDIMIENTOS (SAGS).

Descripción. Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues estos últimos son causados por pavimentos inestables. Los abultamientos, por otra parte, pueden ser causados por varios factores, que incluyen:

1. Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento Pórtland con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.
2. Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo).
3. Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito (algunas veces denominado “tenting”).

Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento.

Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento: swelling).

Niveles de severidad.

L= Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad.

M= Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media.

H= Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta.

Medida.

Se miden en pies lineales (o metros lineales). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3,0 m, el daño se llama corrugación. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.

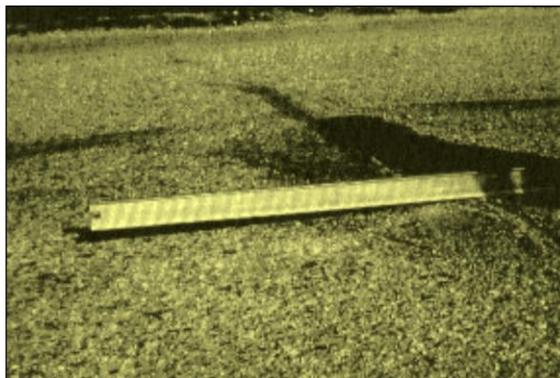
Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

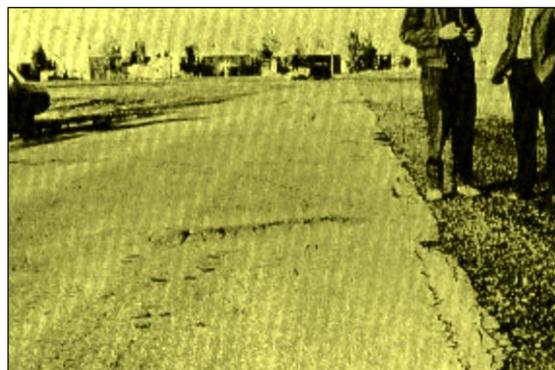
H= Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial. Sobrecarpeta.

FIGURA N° 19. Abultamientos y hundimientos de baja severidad.



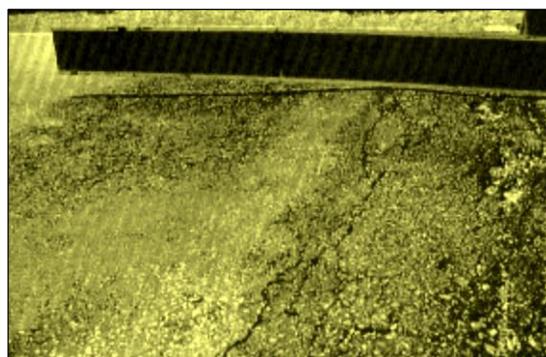
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 20. Abultamientos y hundimientos de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 21. Abultamientos y hundimientos de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

5. CORRUGACIÓN.

Descripción. La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3,0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3,0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.

Niveles de severidad.

L= Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad.

M= Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad.

H= Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad.

Medida.

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= Reconstrucción.

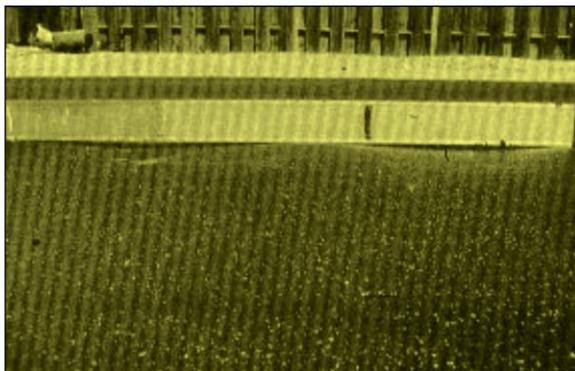
H= Reconstrucción.

FIGURA N° 22. Corrugación de baja severidad.



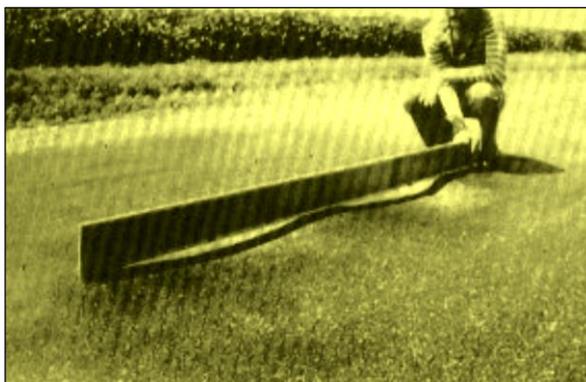
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 23. Corrugación de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 24. Corrugación de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

6. DEPRESIÓN.

Descripción. Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves solo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros” (bird bath). En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar hidroplaneo.

Los hundimientos a diferencia de las depresiones, son las caídas bruscas del nivel.

Niveles de severidad.

Máxima profundidad de la depresión:

L= 13,0 a 25,0 mm.

M= 25,0 a 51,0 mm.

H= Más de 51,0 mm.

Medida.

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) del área afectada.

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= Parcheo superficial, parcial o profundo.

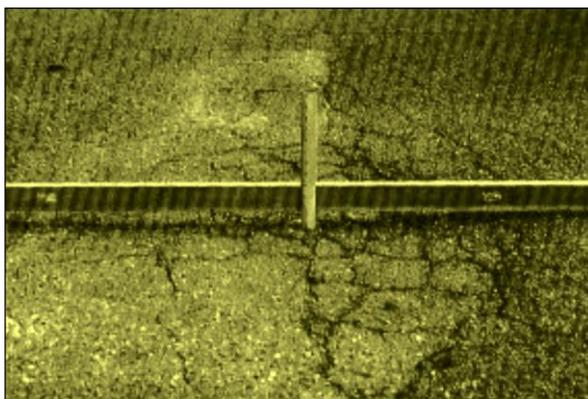
H= Parcheo superficial, parcial o profundo.

FIGURA N° 25. Depresión de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 26. Depresión de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 27. Depresión de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

7. GRIETA DE BORDE.

Descripción. Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0,30 y 0,60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma cómo se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

Niveles de severidad.

L= Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

M= Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

H= Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.

Medida.

La grieta de borde se mide en pies lineales (o metros lineales).

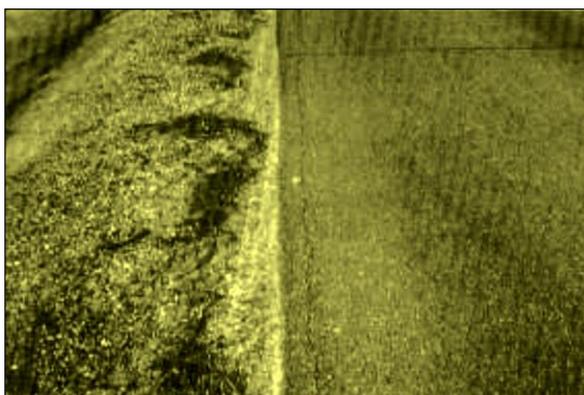
Opciones de reparación.

L= No se hace nada. Sellado de grietas con ancho mayor a 3 mm.

M= Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

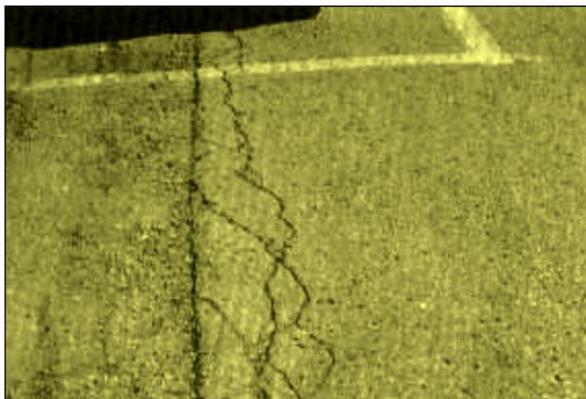
H= Parcheo parcial – profundo.

FIGURA N° 28. Grieta de borde de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 29. Grieta de borde de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 30. Grieta de borde de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

8. GRIETA DE REFLEXIÓN DE JUNTA (DE LOSAS DE CONCRETO DE CEMENTO PÓRTLAND).

Descripción. Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Portland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de base (por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal). Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento Portland, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico. Este daño no está relacionado con las cargas; sin embargo, las cargas del tránsito pueden causar la rotura del concreto asfáltico cerca de la grieta. Si el pavimento está fragmentado

a lo largo de la grieta, se dice que aquella está descascarada. El conocimiento de las dimensiones de la losa subyacente a la superficie de concreto asfáltico ayuda a identificar estos daños.

Niveles de severidad.

L= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm, o
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno con ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.
3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

H= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad.
2. Grietas sin relleno de más de 76,0 mm.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (la grieta está severamente fracturada).

Medida.

La grieta de reflexión de junta se mide en pies lineales (o metros lineales). La longitud y nivel de severidad de cada grieta debe registrarse por separado. Por ejemplo, una grieta de 15,0 m puede tener 3,0 m de grietas de alta severidad; estas deben registrarse de forma separada. Si se presenta un abultamiento en la grieta de reflexión éste también debe registrarse.

Opciones de reparación.

L= Sellado para anchos superiores a 3,00 mm.

M= Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

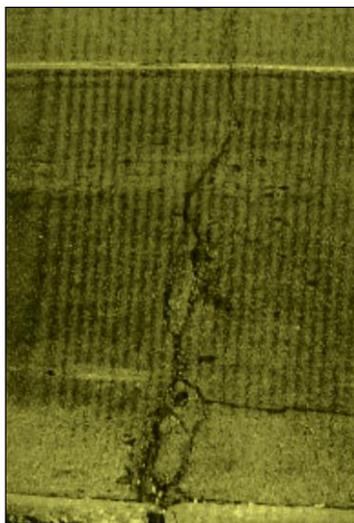
H= Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta.

FIGURA N° 31. Grieta de reflexión de junta de baja severidad.



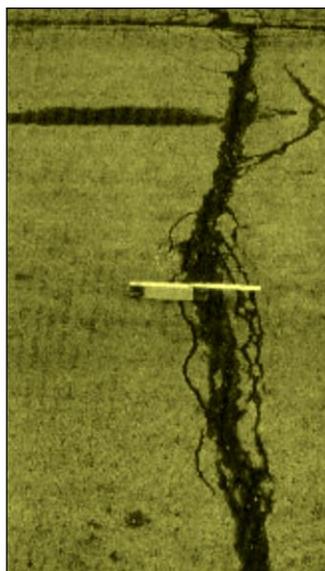
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 32. Grieta de reflexión de junta de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 33. Grieta de reflexión de junta de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

9. DESNIVEL CARRIL / BERMA.

Descripción. El desnivel carril / berma es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma. Este daño se debe a la erosión de la berma, el asentamiento berma o la colocación de sobrecarpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.

Niveles de severidad.

L= La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25,0 y 51,0 mm.

M= La diferencia está entre 51,0 mm y 102,0 mm.

H= La diferencia en elevación es mayor que 102,00 mm.

Medida.

El desnivel carril / berma se miden en pies lineales (o metros lineales).

Opciones de reparación.

L, M, H= Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.

FIGURA N° 34. Desnivel carril/berma de baja severidad.



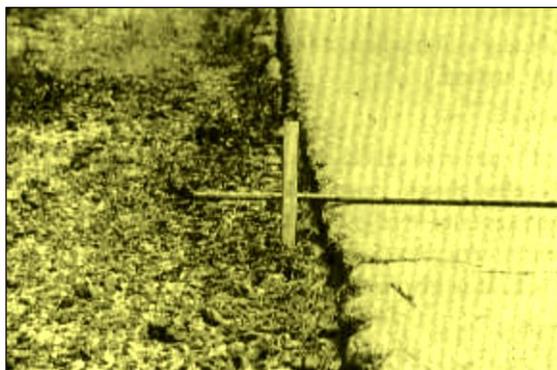
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 35. Desnivel carril/berma de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 36. Desnivel carril/berma de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

10. GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES (NO SON DE REFLEXIÓN DE LOSAS DE CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND).

Descripción. Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción y pueden ser causadas por:

1. Una junta de carril del pavimento pobremente construida.
2. Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.
3. Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Portland, pero no las juntas de pavimento de concreto.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con carga.

Niveles de severidad.

L= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm.
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.
3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

H= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
2. Grieta sin relleno de más de 76,0 mm de ancho.

3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

Medida.

Las grietas longitudinales y transversales se miden en pies lineales (o metros lineales). La longitud y severidad de cada grieta debe registrarse después de su identificación. Si la grieta no tiene el mismo nivel de severidad a lo largo de toda su longitud, cada porción de la grieta con un nivel de severidad diferente debe registrarse por separado. Si ocurren abultamientos o hundimientos en la grieta, éstos deben registrarse.

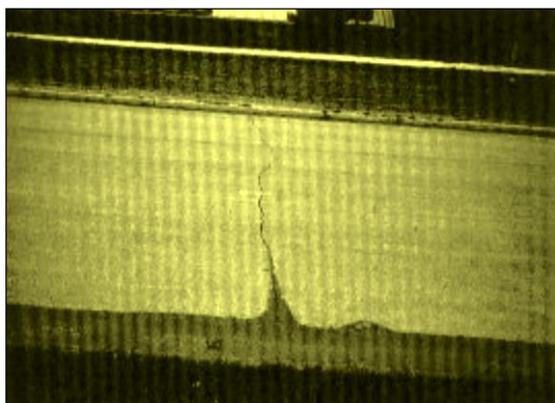
Opciones de reparación.

L= No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3,0 mm.

M= Sellado de grietas.

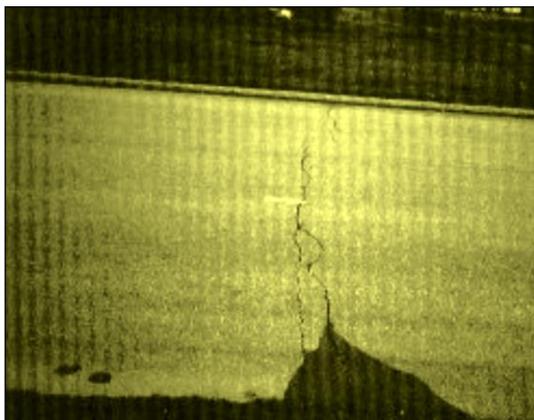
H= Sellado de grietas. Parcheo parcial.

FIGURA N° 37. Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de baja severidad.



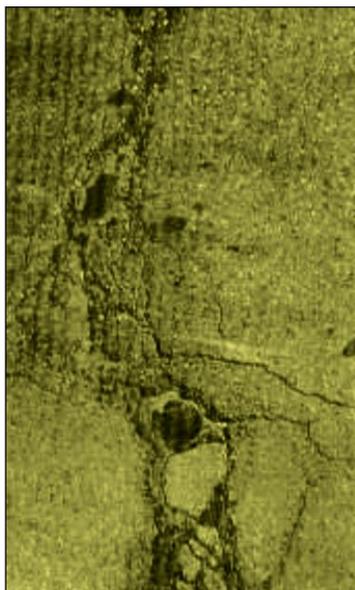
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 38. Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 39. Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

11. PARCHEO Y ACOMETIDAS DE SERVICIOS PÚBLICOS.

Descripción. Un parche es un área de pavimento la cual ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa qué tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento). Por lo general se encuentra alguna rugosidad está asociada con este daño.

Niveles de severidad.

L= El parche está en buena condición y es satisfactorio. La calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.

M= El parche está moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media.

H= El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución.

Medida.

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Sin embargo, si un solo parche tiene áreas de diferente severidad, éstas deben medirse y registrarse de forma separada. Por ejemplo, un parche de 2,32 m² puede tener 0,9 m² de severidad media y 1,35 m² de baja severidad. Estas áreas deben registrarse separadamente. Ningún otro daño (por ejemplo, desprendimiento y agrietamiento) se registra dentro de un parche; aun si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, el área se califica únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento (por ejemplo, la sustitución de una intersección completa).

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= No se hace nada. Sustitución del parche.

H= Sustitución del parche.

FIGURA N° 40. Parcheo y acometidas de servicios públicos de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 41. Parcheo y acometidas de servicios públicos de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 42. Parcheo y acometidas de servicios públicos de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

12. PULIMENTO DE AGREGADOS.

Descripción. Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando la porción de agregado que está sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados debe contarse cuando un examen revela que el agregado que se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del mismo es suave al tacto. Este tipo de daño se indica cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.

Niveles de severidad.

No se define ningún nivel de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de ser incluido en una evaluación de la condición y contabilizado como defecto.

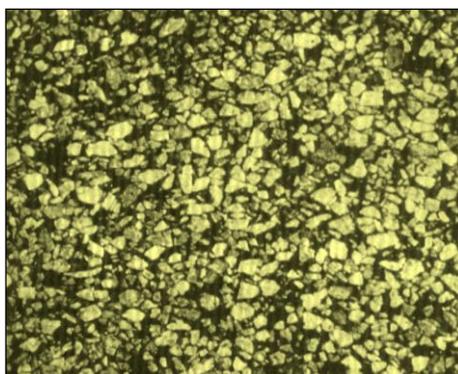
Medida.

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza exudación, no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados.

Opciones de reparación.

L, M, H= No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Fresado y sobrecarpeta.

FIGURA N° 43. Pulimento de agregados.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

13. HUECOS.

Descripción. Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0,90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

Niveles de severidad.

Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menor que 762 mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos, de acuerdo con la tabla.

Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies² (0,47 m²) para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25,0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25,0 mm la severidad se considera como alta.

TABLA N°2. Niveles de severidad para huecos.

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12,7 a 25,4 mm	L	L	M
> 25,4 a 50,8 mm	L	M	H
> 50,8 mm	M	M	H

Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Medida.

Los huecos se miden contando aquellos que sean de severidades baja, media y alta, y registrándolos separadamente.

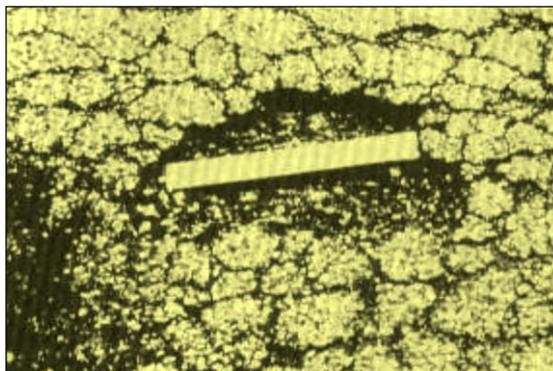
Opciones de reparación.

L= No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.

M= Parcheo parcial o profundo.

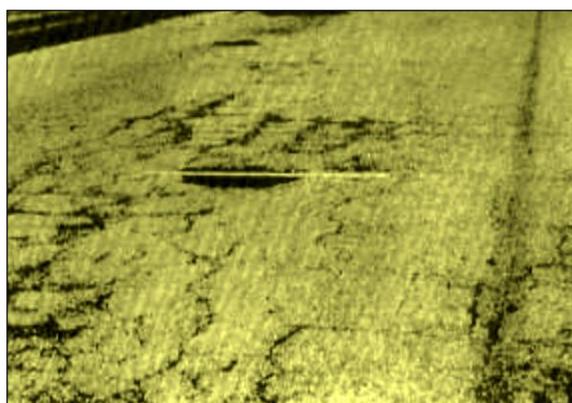
H= Parcheo profundo.

FIGURA N° 44. Huevo de baja severidad.



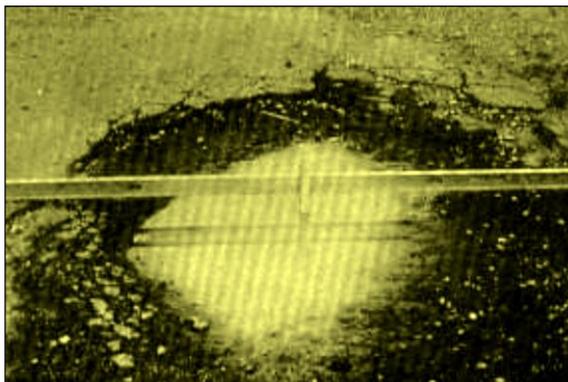
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 45. Huevo de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 46. Hueco de severidad alta.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

14. CRUCE DE VÍA FÉRREA.

Descripción. Los defectos asociados al cruce de vía férrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles.

Niveles de severidad.

L= El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.

M= El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.

H= El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.

Medida.

El área del cruce se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Si el cruce no afecta la calidad de tránsito, entonces no debe registrarse. Cualquier abultamiento considerable causado por los rieles debe registrarse como parte del cruce.

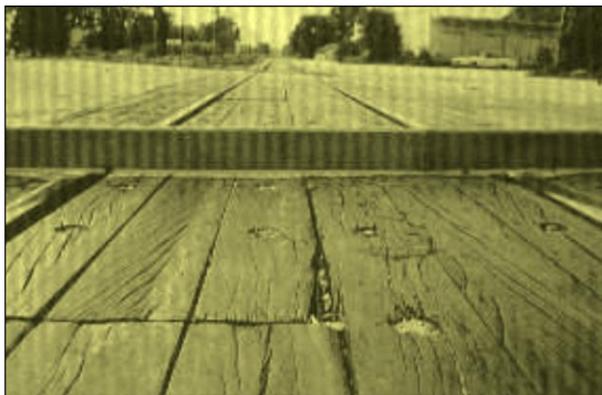
Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.

H= Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.

FIGURA N° 47. Cruce de vía férrea de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 48. Cruce de vía férrea de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 49. Cruce de vía férrea de severidad alta.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

15. AHUELLAMIENTO.

Descripción. El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero, en muchos casos, éste solo es visible después de la lluvia, cuando las huellas estén llenas de agua. El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debido a la carga del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

Niveles de severidad.

Profundidad media del ahuellamiento:

L= 6,0 a 13,0 mm.

M= >13,0 mm a 25,0 mm.

H= > 25,0 mm.

Medida.

El ahuellamiento se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella. La profundidad media del ahuellamiento se calcula colocando una regla perpendicular a la dirección del mismo, midiendo su profundidad, y usando las medidas tomadas a lo largo de aquél para calcular su profundidad media.

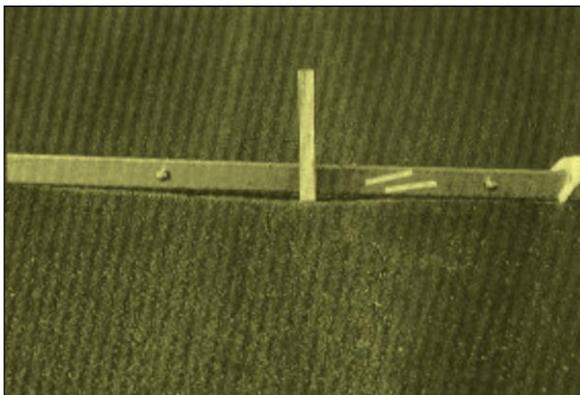
Opciones de reparación.

L= No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.

M= Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.

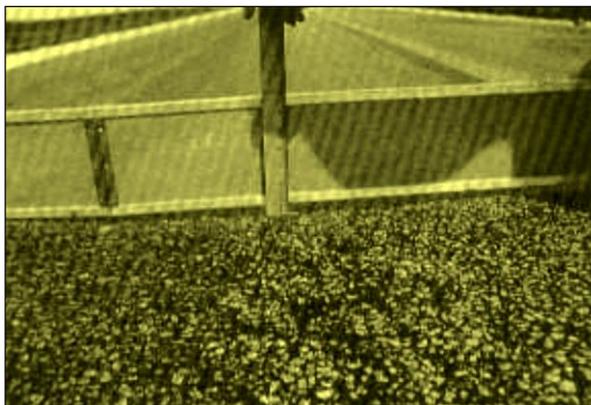
H= Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.

FIGURA N° 50. Ahuellamiento de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 51. Ahuellamiento de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 52. Ahuellamiento de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

16. DESPLAZAMIENTO.

Descripción. El desplazamiento es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Normalmente, este daño solo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión).

Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento Portland. La longitud de los pavimentos de concreto de cemento Portland se incrementa causando el desplazamiento.

Niveles de severidad.

L= El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.

M= El desplazamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

H= El desplazamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

Medida.

Los desplazamientos se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Los desplazamientos que ocurren en parches se consideran para el inventario de daños como parches, no como un daño separado.

Opciones de reparación.

L= No se hace nada. Fresado.

M= Fresado. Parcheo parcial o profundo.

H= Fresado. Parcheo parcial o profundo.

FIGURA N° 53. Desplazamiento de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 54. Desplazamiento de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 55. Desplazamiento de severidad alta.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

17. GRIETAS PARABÓLICAS (SLIPPAGE).

Descripción. Las grietas parabólicas por deslizamiento (slippage) son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento. Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia, o de una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.

Nivel de severidad.

L= Ancho promedio de la grieta menor que 10,0 mm.

M= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta entre 10,0 mm y 38,0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.

H= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38,0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.

Medida.

El área asociada con una grieta parabólica se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) y se califica según el nivel de severidad más alto presente en la misma.

Opciones de reparación.

L= No se hace nada. Parcheo parcial.

M= Parcheo parcial.

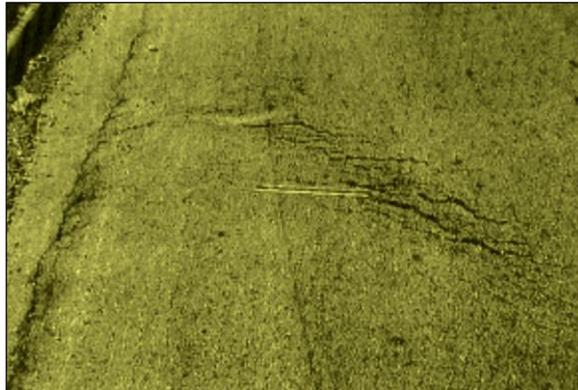
H= Parcheo parcial.

FIGURA N° 56. Grieta parabólica (slippage) de baja severidad.



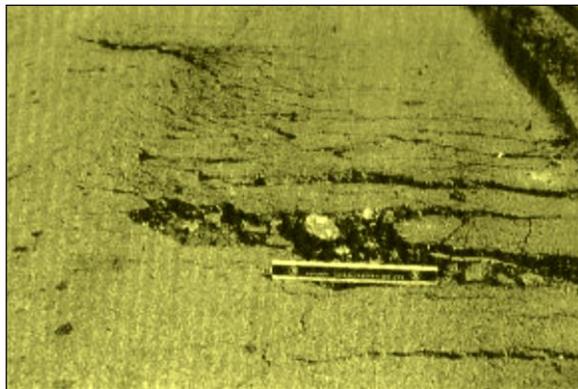
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 57. Grieta parabólica (slippage) de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 58. Grieta parabólica (slippage) de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

18. HINCHAMIENTO.

Descripción. El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento – una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3,0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

Nivel de severidad.

L= El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad. El hinchamiento de baja severidad no es siempre fácil de ver, pero puede ser detectado conduciendo en el límite de velocidad sobre la sección de pavimento. Si existe un hinchamiento se producirá un movimiento hacia arriba.

M= El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

H= El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

Medida.

El hinchamiento se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= No se hace nada. Reconstrucción.

H= Reconstrucción.

FIGURA N° 59. Ejemplo de hinchamiento.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

19. METEORIZACIÓN / DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS.

Descripción. La meteorización y el desprendimiento son la pérdida de la superficie del pavimento debido a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad.

Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debido al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento.

Niveles de severidad.

L= Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse. En el caso de derramamiento de aceite, puede verse la mancha del mismo, pero la superficie es dura y no puede penetrarse con una moneda.

M= Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada. En el caso de derramamiento de aceite, la superficie es suave y puede penetrarse con una moneda.

H= Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10,0 mm y profundidades menores que 13,0 mm; áreas ahuecadas mayores se

consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado está suelto.

Medida.

La meteorización y el desprendimiento se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación.

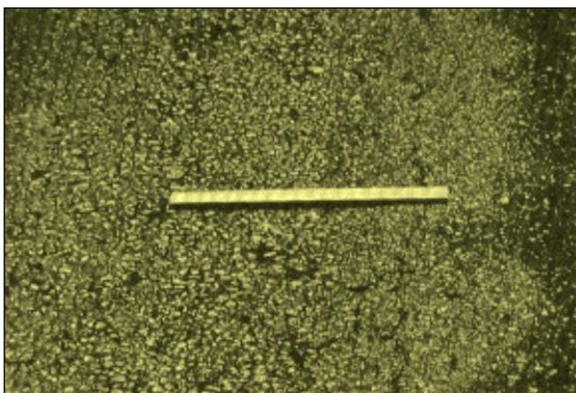
L= No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.

M= Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.

H= Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

Para los niveles M y H, si el daño es localizado, por ejemplo, por derramamiento de aceite, se hace parcheo parcial.

FIGURA N° 60. Meteorización / desprendimiento de agregados de baja severidad.



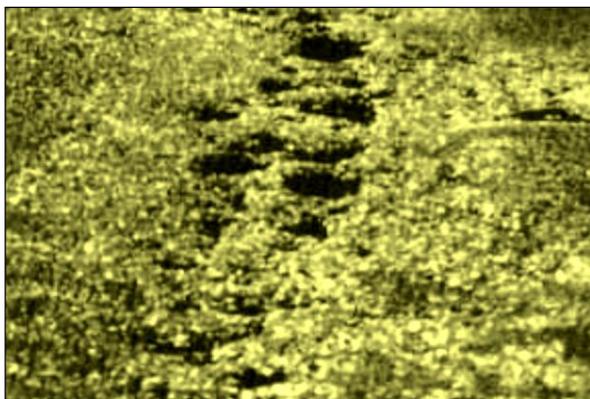
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 61. Meteorización/ desprendimiento de agregados de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

FIGURA N° 62. Meteorización / desprendimiento de agregados de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

2.4.1.3. Método IFI (Índice de Fricción Internacional).

El modelo Piarc es la base de la definición del índice de fricción internacional (IFI), a través de los parámetros F60 y Sp. Así entonces, el IFI de un pavimento se expresa por el par de valores (F60, Sp) expresados entre paréntesis y separados por una coma; el primer valor representa la fricción y el segundo la macrotextura.

El primero es un número adimensional y el segundo es un número positivo sin límites determinados y con unidades de velocidad (km/h). El valor cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno, adherencia. No es posible, por el momento, describir con una relación sencilla el segundo número que compone el IFI.

DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO Sp.

Durante la elaboración del modelo, y a partir de los datos del experimento Piarc, se ha comprobado que la constante de velocidad Sp puede ser determinada mediante una regresión lineal en función de la medida en campo de la macrotextura (Tx) tal que:

$$Sp = a + (b \cdot Tx)$$

Donde los valores de las constantes a y b para cada uno de los equipos que participaron en el experimento se presentan en la Tabla 3.

TABLA N° 3. Valores de a y b para la estimación de la constante de velocidad.

Prueba	a	b
MPD por ASTM E 1845	14,2	89,7
MTD por ASTM E 965	-11,6	113,6

Fuente: “Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en Carreteras de México”. Diana, B. López ,V. 2002.

DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO F60.

Para la estimación de F60 se establece el tipo de equipo a emplear y se realiza la medición de la fricción FRS en una sección de un pavimento dado. Se determina la velocidad S que depende del tipo de la rueda de medición y de la velocidad V del vehículo de arrastre de acuerdo a lo que se indica en el cuadro 2.

CUADRO N° 2. Ecuaciones para determinar S según el tipo de equipo.

Tipo de equipo	Ecuación para determinar S
Con rueda bloqueada	$S=V$
Con rueda parcialmente bloqueada	$S=V$ por el % de deslizamiento
Con rueda oblicua	$S=V$ por el $\text{Sen } \alpha$, donde $\alpha =$ ángulo de esviaje

Fuente: “Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en Carreteras de México”. Diana, B. López, V. 2002.

Se determina el valor de la constante FR60 usando el valor de la fricción FRS obtenida en campo con algún equipo a la velocidad de deslizamiento S a partir de la ecuación del modelo Piarc, de donde despejando FR60 se obtiene:

$$FR60 = FRS * e^{\frac{S-60}{Sp}}$$

Finalmente se obtiene el valor buscado de F60 a través de la siguiente correlación con FR60 establecida por el experimento Piarc:

$$F60 = A + (B * FR60)$$

Donde A y B son constantes según el equipo utilizado para medir la Fricción y sus valores se muestran en la Tabla 4.

TABLA N°4. Lista de equipo que fueron calibrados para predecir el F60.

Llantas lisas		Clave	S	A	B	C
Características	Equipo		Km/hr	Cte.	Cte.	Cte.
Rueda bloqueada	ASTM E 274 (USA)	B6	65	0,045	0,925	0
	LCPC Skid Trailer (F)	D6	60	0,002	1,008	0
Rueda parcialmente bloqueada	OSCAR a 86% (N) ^E	B4E	52	-0,03	0,864	0
	OSCAR a 20% (N) ^E	B4E	12	0,119	0,643	0
	Komatsu skid Trailer (J)	C5	10	0,042	0,849	0
	DWW Trailer (NL)	C6E	43	0,019	0,868	0
	Griptester (UK)	D8	9.4	0,082	0,910	0
Rueda oblicua	Stradograph (DK)	C9	12,5	0,054	0,770	0
	Odoliograph Wallon (B)	C10	12,9	0,113	0,729	0
	Odoliograph CRR (B)	D1E	20,5	0,113	0,746	0
	SCRIM Flemish (B)	C3B	20,5	0,049	0,967	0
	SCRIM CEDEX (E)	C4	20,5	0,019	0,813	0
	SCRIM MOPT (E)	C8	20,5	0,032	0,873	0
	SCRIM SRM (D)	D2	20,5	0,017	0,850	0
	SCRIM GEOCISA (E)	D3	20,5	0,021	0,928	0
	SCRIM (F)	D4	20,5	-0,006	0,862	0
	SUMMS (I)		20,5	0,002	0,987	0
	SCRIMTEX (UK)	D5	17,1	0,033	0,872	0
Equipos con neumáticos gravados						
Rueda bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	B1	60	0,022	0,050	0,082
	Skiddometer (CH)	B2	60	0,026	0,504	0,099

	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	60	-0,072	0,767	0,086
	ASTM E 274 (USA)	B6	65	-0,023	0,607	0,098
	Equipo de fricción (PL)	C1	60	-0,025	0,807	0,068
Rueda parcialmente bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	B1	12	0,141	0,323	0,074
	Skiddometer	B2	12	0,03	0,918	-0,014
	BV – 11 (S)	B3	12	0,04	0,856	-0,016
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	12	0,02	0,867	-0,006
Equipos con zapata						
Estáticos	DF Tester at 60 Km/h (J)	A13	60	-0,034	0,771	0
	DF Tester at 20 Km/h (J)	A13	20	0,081	0,723	0
	Péndulo de fricción BPT (USA)	A14	10	0,056	0,008	0
	Péndulo de fricción SRT (CH)	B7	10	0,044	0,01	0

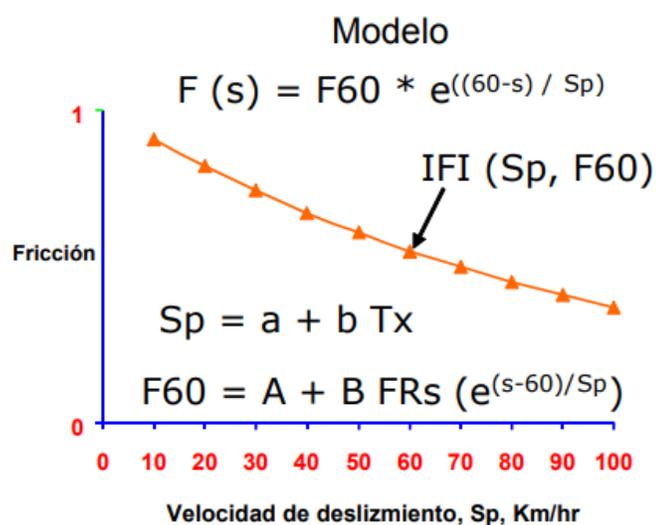
Fuente: “Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en Carreteras de México”. Diana, B. López, V. 2002.

IMPLEMENTACIÓN DEL IFI.

Determinados los parámetros mencionados anteriormente se dice entonces que el tramo de pavimento en estudio tiene un valor del índice de fricción internacional que se expresa como IFI(F60, Sp). El conocimiento de esos parámetros permite además conocer la curva de referencia estimada de fricción en función de la velocidad de deslizamiento (figura 63) con la ecuación que se expresa como:

$$FRS = F60 * e^{\frac{60-S}{Sp}}$$

FIGURA N° 63. Modelo del índice de fricción internacional, según documento Piarc.



Fuente: “Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en Carreteras de México”. Diana, B. López, V. 2002.

2.4.1.3.1. Resistencia al deslizamiento.

Es un criterio usado para verificar la seguridad vial, se mide a través del coeficiente de fricción que se produce entre la superficie de rodadura y el neumático, resulta de la interacción compleja de la adherencia y la histéresis. (Hall, 2009 et. al.)

Adherencia.

Resulta de la atracción intermolecular cuando la textura del agregado pétreo rompe la película de agua e interactúa con el neumático. (Calle, 2001). La no adecuada adherencia ocasiona el fenómeno de hidropneumático.

Histéresis.

En función de la deformación del caucho al entrar en contacto con la superficie del pavimento. Esta deformación es de origen viscoelástico causada por pérdida de amortiguamiento en el caucho, cuando éste es desgastado al entrar en contacto con las partículas de agregado, es decir con la macrotextura, esta histéresis se ve aumentada cuanto mayor anguloso es el agregado. (Moore, 1975 citado por Henderson et. al., 2006).

Fricción.

Fenómeno producido por la interacción de diferentes tipos de materiales, es decir, es una propiedad de la interacción de un sistema. Como se mencionó anteriormente la fricción es una ampliación de la resistencia al deslizamiento, esta fricción se evalúa por los coeficientes:

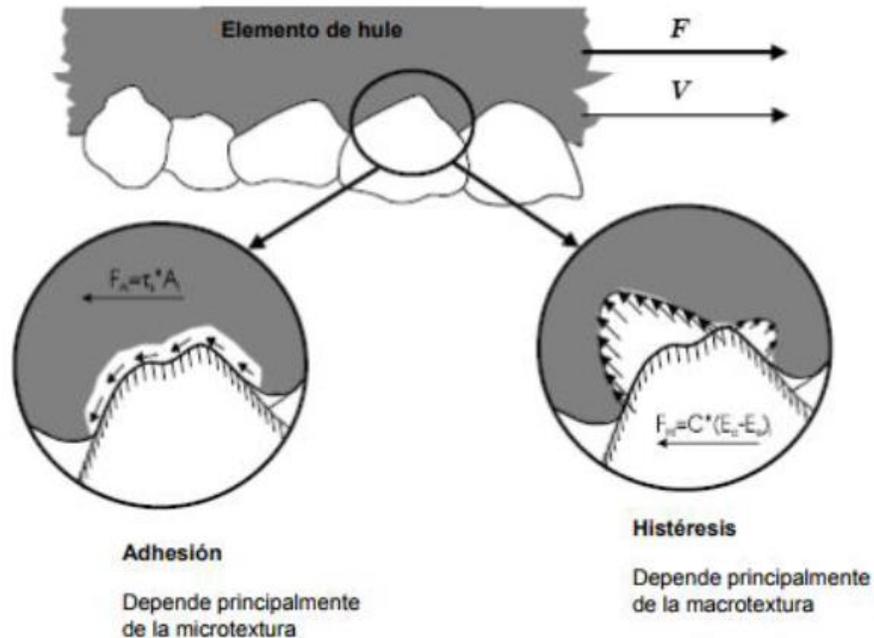
- Coeficiente de fricción longitudinal (CFL)
- Coeficiente de fricción transversal o lateral (CFT)

FIGURA N°64. Representación gráfica del coeficiente de fricción.



Fuente: “Evaluación del coeficiente de fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo Británico TRRL”. Arequipa, Perú. (2019).

FIGURA N°65. Componentes de la fricción.



Fuente: Hall, Et. Al.,2009.

$$F = F_a + F_h$$

Donde:

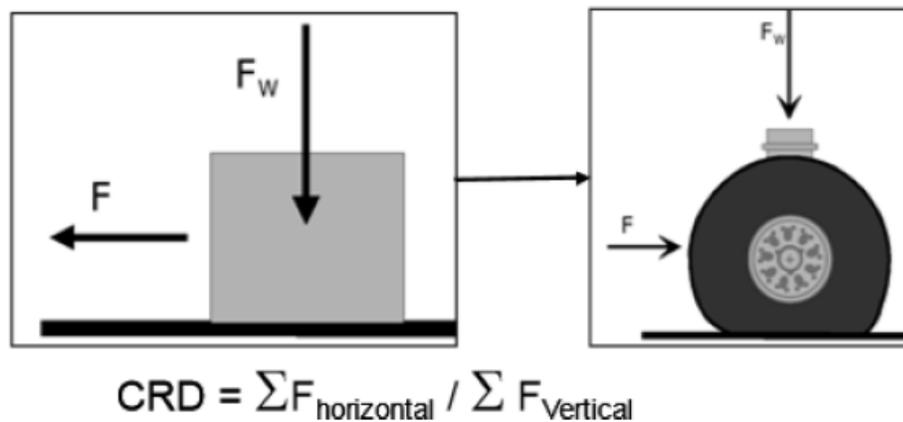
F= Fuerza de fricción total.

Fa= Fuerza de roce por adhesión.

Fh= Fuerza de roce por histéresis de origen viscoelástico.

La fuerza de fricción es adimensional, depende del coeficiente de fricción que de manera análoga se calcula con la carga normal sobre la trayectoria de contacto entre neumático y la superficie. Se presenta la siguiente relación:

FIGURA N° 66. Representación gráfica del cálculo del coeficiente de fricción.



Fuente: Adherencia Superficial, D. Galvez. 2015.

El coeficiente de fricción varía por la influencia de elementos físicos como: presión manométrica de las llantas, material de composición de los neumáticos, presencia de contaminantes en la superficie del pavimento (agua, fango, nieve humedad, etc.)

2.4.1.3.2. Microtextura

Referido a la textura superficial de los agregados (áspera o pulida) que conforma la superficie del pavimento. Se mide la microtextura de una manera indirecta con el coeficiente de fricción. Esta microtextura principalmente depende de la mineral que lo conforma y es necesaria pues es la que brinda la resistencia al deslizamiento en condiciones húmedas y secas. Una buena superficie de rodadura debe ofrecer una buena adherencia entre el neumático y el pavimento mediante una microtextura áspera del agregado.

La espereza del agregado pétreo va disminuyendo con el paso del tiempo por el tránsito vehicular es por eso que es recomendable brindar un adecuado mantenimiento a las vías. (Roco H, Fuentes L, & Valverde P, 2003).

Recomendaciones de la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC).

TABLA N° 5. Criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta los valores de coeficiente resistencia al deslizamiento (CRD).

Condición	Calificación	Resultado del diagnóstico
$CRD \geq 1,5$	Excelente	Superficie muy rugosa y aspereza apropiada para el tránsito intenso o altas velocidades incluso con pavimento mojado.
$0,82 \leq CRD \leq 1,5$	Bueno	Superficie con rugosidad y aspereza aceptable para tránsito medio, propicia condiciones satisfactorias de seguridad con pavimento mojado a moderadas velocidades de seguridad.
$0,45 \leq CRD \leq 0,82$	Regular	Superficie con rugosidad y aspereza adecuada para intensidades bajas o hasta media con precauciones. Condiciones garantizadas de seguridad solo con pavimento seco. Se debe evaluar periódicamente el CRD y PT.
$0,21 \leq CRD \leq 0,45$	Malo	Condiciones inseguras de circulación con pavimento mojado e incluso con pavimento seco. Superficie con rugosidad y aspereza inadecuadas, con peligro, velocidad limitada y marcado pavimento.
$CRD \leq 0,21$	Pésimo	Circulación insegura con pavimento seco y crítico con pavimento mojado. Se debe reponer las características antideslizantes del pavimento. Establecer señalización vertical y horizontal con medidas extremas de control mientras permanezcan las condiciones inseguras.

Fuente: Asociación Mundial de Carreteras (PIARC).

2.4.1.3.3. Macrotextura.

La macrotextura va referida a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. La profundidad de textura media está dada por el tipo de mezcla asfáltica o de concreto hidráulico que exista en la superficie. La macrotextura es la desviación de la superficie del pavimento medida sobre una longitud de onda en un intervalo comprendido entre los 0,5 milímetros y los 50 milímetros medidos en la horizontal, en tanto que en la vertical es del orden de 0,2 a 10 milímetros. (Kolher F, Salgado Torres, & Achurra Torres, 2009).

La capacidad de drenaje de la superficie del pavimento es brindada por una adecuada macrotextura pues permite la salida del agua con mayor rapidez reduciendo riesgos por hidroplaneo (Wong, 1978).

Recomendaciones de la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC).

TABLA N° 6. Criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta la profundidad de textura (PT).

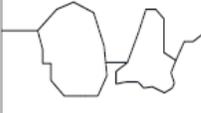
Condición	Calificación	Resultado del diagnóstico
$PT < 0,2$	Muy fina	Requiere mantenimiento.
$0,2 \leq PT \leq 0,4$	Fina	Solo para tramos donde raramente se superan los 80 km/h.
$0,4 \leq PT \leq 0,8$	Media	Para tramos normales con velocidades moderadas de 80 a 120 km/h.
$0,8 \leq PT \leq 1,2$	Gruesa	Para tramos normales con velocidades superiores a 120 km/h.
$PT > 1,2$	Muy gruesa	Para casos especiales con peligro de deslizamiento.

Fuente: Asociación Mundial de Carreteras (PIARC).

2.4.1.3.4. Megatextura.

Relacionado principalmente a los baches, irregularidades, fallas y degradaciones que se encuentran en la superficie del pavimento con tamaño mayor a 0,5 cm a 0,5 m. Esta característica no se tiene en cuenta como una variable en la resistencia al deslizamiento (Díaz, 1999).

FIGURA N°67. Clasificación de la textura del pavimento.

	Superficie	Clases de textura	
		Macro	Micro
A		Gruesa	Aspera
B		Gruesa	Pulida
C		Fina	Aspera
D		Fina	Pulida

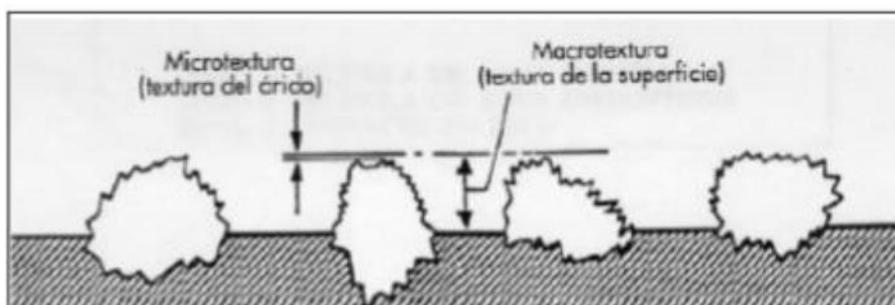
Fuente: Índice de seguridad vial, Juan Carlos Calle Carmona, 2002.

TABLA N° 7. Longitud de onda y amplitud de las texturas del pavimento.

	Longitud de onda	Amplitud A
Megatextura	50 – 500 mm	0,1 – 50 mm
Macrotextura	0,5 – 50 mm	0,01 – 20 mm
Microtextura	0 – 0,5 mm	0,001 – 0,5 mm

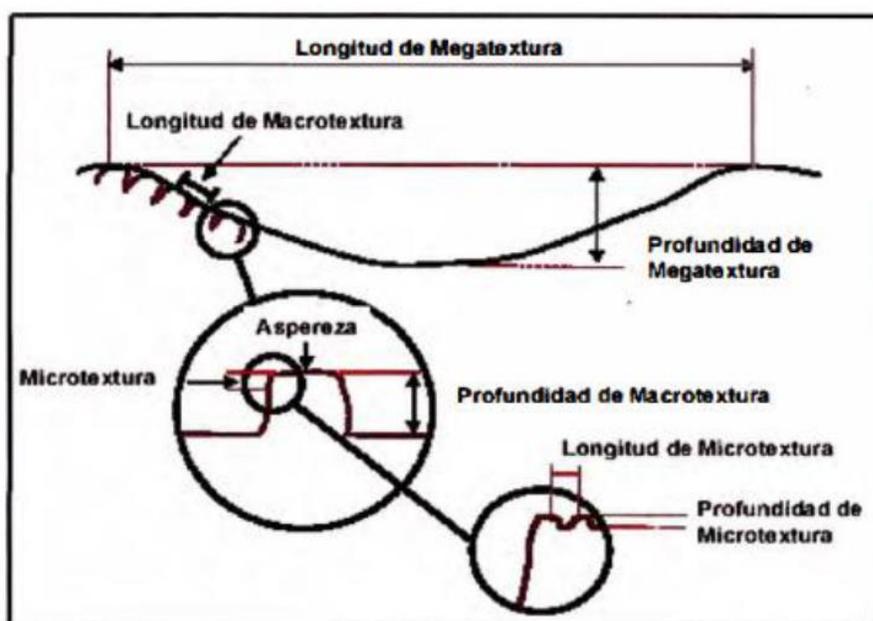
Fuente: Revista Bit-Investigaciones: Índice de fricción internacional, Hernán de Solminihac, 2001.

FIGURA N°68. Representación gráfica de la microtextura y macrotextura.



Fuente: Whiteoak and Read, 2003.

FIGURA N°69. Tipos de textura de un pavimento.

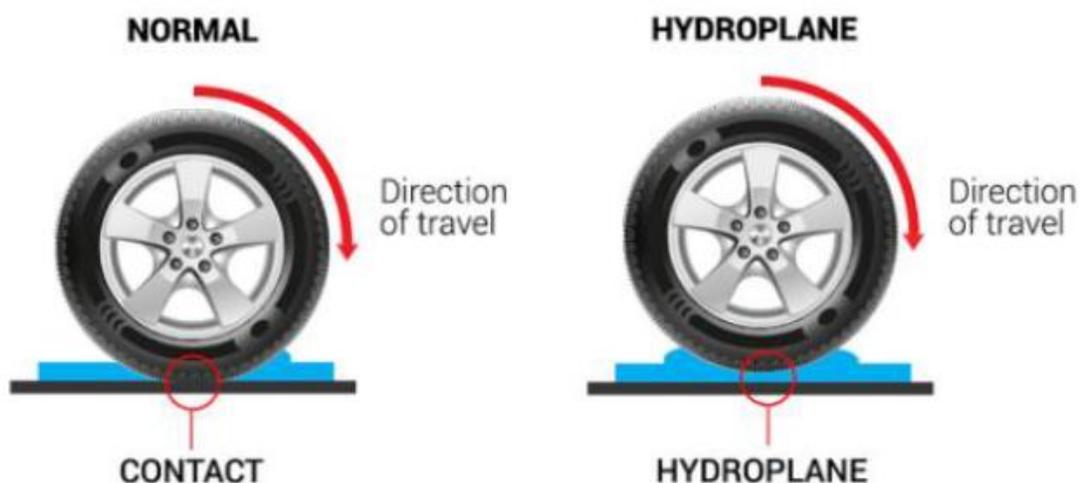


Fuente: Asociación mundial de carreteras (PIARC).

2.4.1.3.5. Hidroplaneo.

El hidroplaneo se produce cuando la microtextura y la macrotextura no son las adecuadas para una correcta adherencia y drenaje de agua superficial. La llanta pierde el contacto directo con la superficie del pavimento cuando entre éstos se interpone un agente contaminante (usualmente el agua).

FIGURA N°70. Representación gráfica del fenómeno de hidroplaneo.



Fuente: http://images.slideplayer.es/3/1056172/slides/slide_7.jpg

2.4.1.3.6. Macrotextura con ensayo del círculo de arena.

Este ensayo de campo sirve para conocer la macrotextura de la superficie del pavimento, mediante la aplicación de un volumen de material conocido se llenarán los huecos completamente y la subsecuente medición del área total cubierta por éste. Para finalmente determinar la profundidad media de la macrotextura.

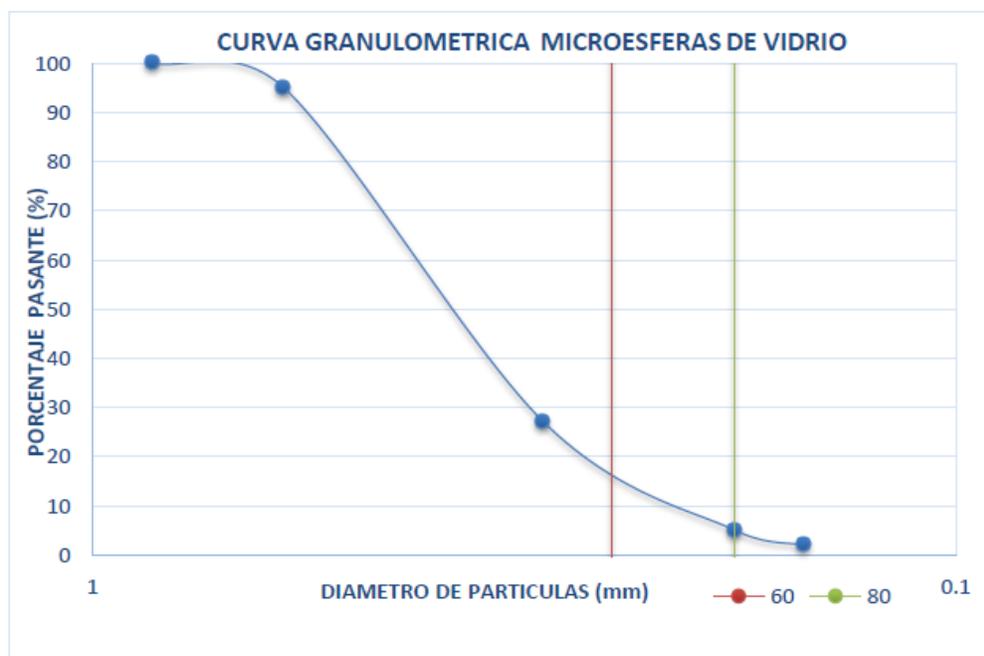
Se muestra un breve resumen de lo que indica la normatividad (ASTM E-965).

Verificación y calibración del equipo.

Antes de realizar las pruebas en campo se procedió a verificar y calibrar el equipo completo:

- a) Granulometría de las microesferas de vidrio o arenas normalizadas, como se indica en la normativa ASTM E-965, se usa el pasante de la malla N60 y retenido en el tamiz N80 o también se puede emplear la arena tipo 100/200 cuya arena pasa por el tamiz N°100 (0,15mm) y es retenida por el tamiz N° 200 (0,075mm); esta arena debe estar libre de impurezas y estar seca al momento de realizar el ensayo. En nuestro medio emplearemos la arena tipo 100/200 para realizar los ensayos correspondientes.

FIGURA N° 71. Curva granulométrica micro esferas de vidrio.



Fuente: “Evaluación del coeficiente de fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo Británico TRRL”. Arequipa, Perú. (2019).

Se observó las microesferas de vidrio con microscopio digital con la finalidad de verificar su esfericidad.

FIGURA N°72. Microesferas de vidrio aumento 800x (ASTM E-303).



Fuente: Imagen tomada con microscopio digital RoHS.

b) La medida del volumen se verifica en peso y volumen para mantener un estándar en todas las medidas realizadas en campo.

FIGURA N° 73. Medidas de distintos cilindros del ensayo círculo de arena.



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC E- 1005).

a= Variable para cada volumen, se dan los siguientes valores indicativos

$$V=50000 \text{ mm}^3 \quad a = 160 \text{ mm}$$

$$V=25000 \text{ mm}^3 \quad a = 80 \text{ mm}$$

$$V=10000 \text{ mm}^3 \quad a = 32 \text{ mm}$$

Medidas en milímetros.

Procedimiento.

1. La inspección del área a ensayar, debe ser homogénea y seca sin imperfecciones. Se procede a limpiar la superficie con una escobilla o brocha a ensayar sin dejar rastro de polvo sobre ella, se sugiere colocar una caja protectora contra el viento.
2. Se llena la muestra completamente en el cilindro de volumen conocido y se enrasa con la regla.

FIGURA N° 74. Paso 2. Se llena la muestra en el cilindro de volumen conocido.

Fuente: “Evaluación del coeficiente de fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo Británico TRRL”. Arequipa, Perú. (2019).

3. Se vacía el material del cilindro dentro del área protegida del viento con una caja o llanta, se esparce todo el material en forma circular con el disco enrasador llenando todas las cavidades a ras con la cresta de los agregados.

FIGURA N° 75. Paso 3. Se esparce todo el material en forma circular con el disco enrasador.



Fuente: “Evaluación del coeficiente de fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo Británico TRRL”. Arequipa, Perú. (2019).

4. Se mide y se registran 5 diámetros en diferentes posiciones, si el diámetro es mayor a 30,5cm se usa un cilindro de mitad de volumen.

FIGURA N° 76. Paso 4. Se mide y se registran 5 diámetros en diferentes posiciones.



Fuente: “Evaluación del coeficiente de fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo Británico TRRL”. Arequipa, Perú. (2019).

Equipo.

- a) Arena normalizada tipo 100/200 cuya arena pasa por el tamiz N°100 (0,15mm) y es retenida por el tamiz N°200 (0,075mm).
- b) Recipiente contenedor de material o probeta de 25 cm³. es utilizado para conocer el material esparcido.
- c) Disco esparcidor, plano y rígido de 60-75 mm de diámetro utilizado para esparcir el material. Parte inferior del disco cubierto con caucho liso y duro.
- d) Escobilla, flexómetro, caja protectora de viento o llanta.

Cálculo.

- **Volumen del cilindro.**

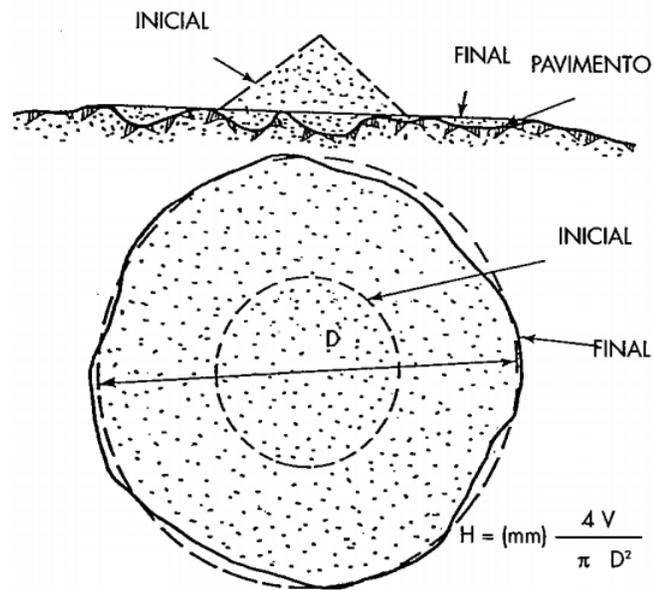
$$V = \frac{\pi * d^2 * a}{4}$$

Donde:

d= Diámetro de cilindro.

a= Altura variable del cilindro para cada volumen.

FIGURA N°77. Esquema del ensayo de la macrotextura superficial.



Fuente: Normativa ASTM E-965.

- **Promedio de la profundidad media.**

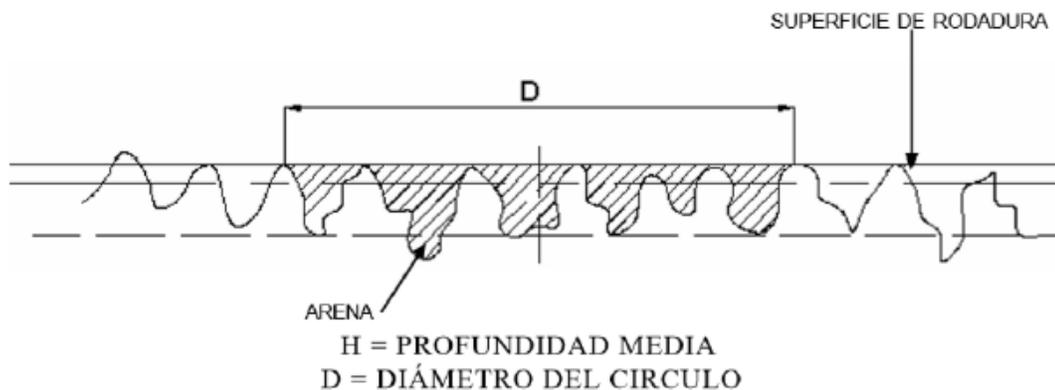
$$PT = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

Donde:

V= Volumen usado en la prueba en campo.

D= Diámetro promedio medido en campo.

FIGURA N° 78. Medición de la macrotextura superficial con técnica volumétrica.



Fuente: Normativa ASTM E-965.

2.4.1.3.7. Microtextura con ensayo del péndulo Británico TRRL.

Este ensayo tiene la finalidad de obtener el coeficiente resistencia al deslizamiento C.R.D; este equipo mide la energía perdida cuando el patín de caucho se desliza sobre la superficie. Se muestra un breve resumen de la normatividad:

Verificación y calibración del equipo.

Antes de realizar las pruebas en campo se procedió a verificar y calibrar el equipo para su correcto funcionamiento, se vieron 3 aspectos:

A) Aspecto 1. Verificación mecánica de las distintas partes del péndulo británico (tornillos, punteros, dureza de la zapata de goma)

FIGURA N° 79. Medición de la dureza del caucho de la zapata del péndulo TRRL.



Fuente: “Evaluación del coeficiente de fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo Británico TRRL”. Arequipa, Perú. (2019).

TABLA N° 8. Características de la resiliencia y dureza del caucho.

Características	Temperatura (°C)				
	0	10	20	30	40
% de Resiliencia (*)	42-47	55-62	61-68	64-71	66-73
Grados de dureza I.R.H. (**)			55+/-5		

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC-E1004).

Se midió la dureza del caucho del péndulo británico con un durómetro digital PCE-Shore A. Cumple con las características de dureza según las especificaciones de la norma MTC E-1004.

B) Aspecto 2. Proceso de calibración (alineamientos, pesos adecuados tensión de resortes, etc.)

- Centro de gravedad
- Distancia desde el centro de gravedad hasta el centro de oscilación
- Tensión de resorte

C) Aspecto 3. Chequeo de repetitividad de mediciones; al momento de realizar las pruebas se debe verificar la repetitividad de las lecturas (BPN) aceptando como desviación máxima de 0,98BPN.

Procedimiento.

1. Selección del lugar a examinar para luego proceder a posicionar el equipo en forma longitudinal al camino, se nivela el equipo y se coloca el brazo del péndulo.
2. Se deja limpia libre de partículas sueltas y polvo por donde pasará el patín.
3. Elevación de la cabeza del equipo para comprobar el cero sin que el patín se deslice sobre la superficie, esto con la ayuda de los tornillos, se ajustará o aflojará como sea necesario.
4. Ya comprobado el cero del equipo, se nivela la altura de la cabeza del péndulo con la finalidad de tener un área de contacto con las especificaciones adecuadas de la distancia de deslizamiento (124 a 127 mm).

FIGURA N° 80. Área de contacto del patín del péndulo Británico.



Fuente: “Evaluación del coeficiente de fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo Británico TRRL”. Arequipa, Perú. (2019).

5. Realizados todos estos pasos, se coloca el brazo en la posición de disparo, se moja el patín de caucho como también la superficie a ensayar con abundante agua. Luego se obtura el botón y se suelta el brazo libremente.
6. La aguja registrará el valor obtenido para ser registrado, se registra la temperatura en cada medición para la posible corrección. Se realiza 5 mediciones en cada punto. Al final se hace la verificación chequeando el cero (0).

FIGURA N° 81. Evaluación de la fricción con el péndulo Británico.

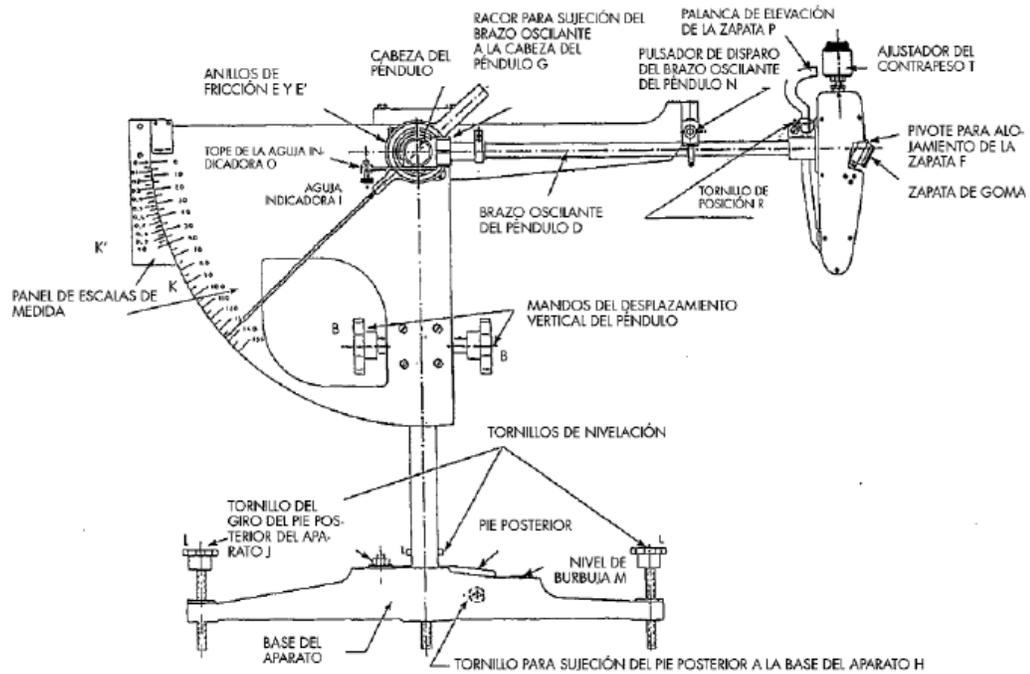


Fuente: “Evaluación del coeficiente de fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo Británico TRRL”. Arequipa, Perú. (2019).

Equipo.

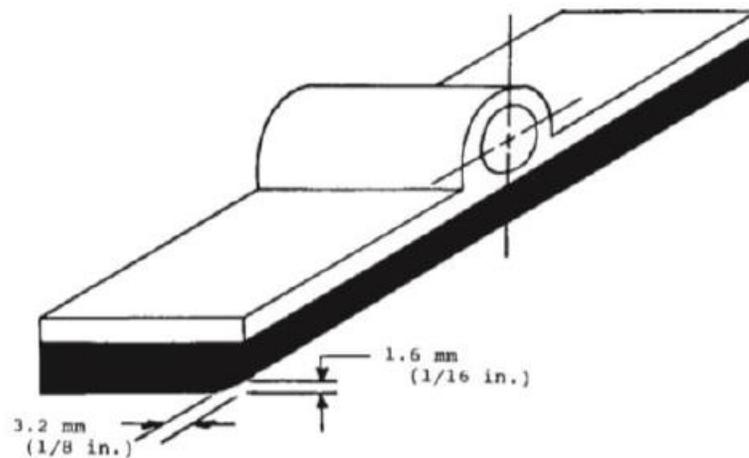
- a) Péndulo TRRL. Diseñado por “Transport Road Research laboraory” sirve para medir la resistencia al deslizamiento del pavimento. Este péndulo consta de dispositivos de nivelación, de desplazamiento vertical, de medida y de disparo del brazo.
- b) El patín del péndulo consta de una goma de caucho según características de la norma ASTM E303.
- c) Material Auxiliar (termómetro, cepillo, escobilla),
- d) Regla graduada al milímetro para medir distancia de deslizamiento del péndulo (124 a 127 mm).

FIGURA N° 82. Péndulo Británico TRRL.



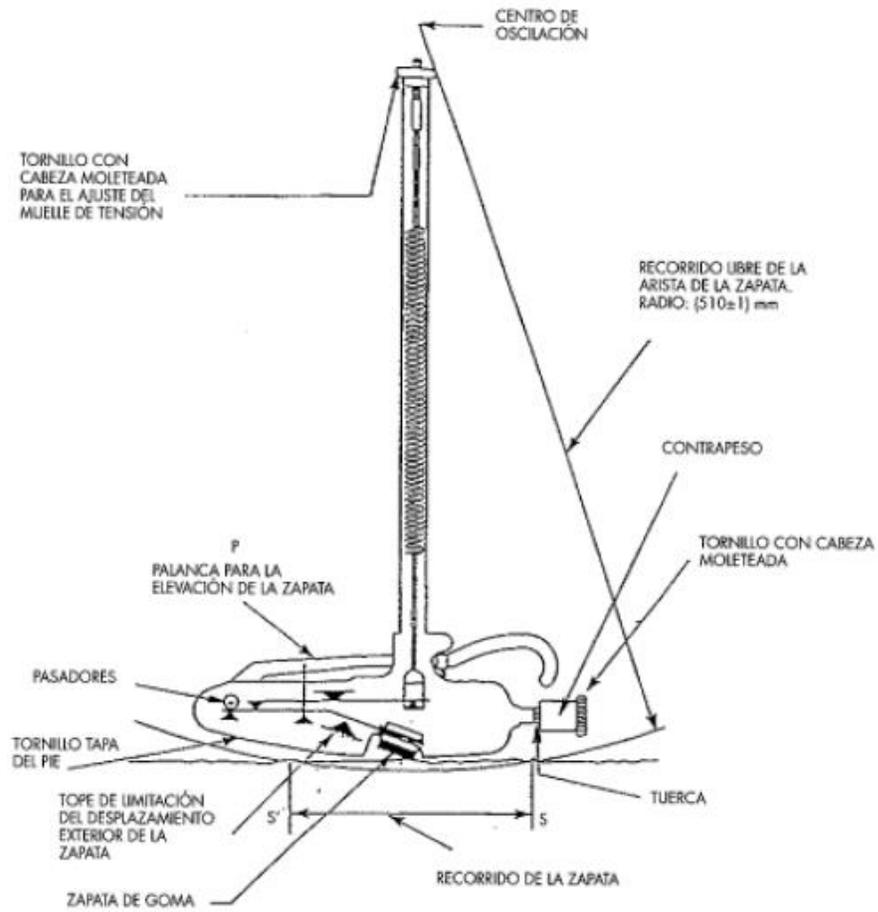
Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC-E 1004).

FIGURA N° 83. Ilustración del ensamblaje del patín de caucho.



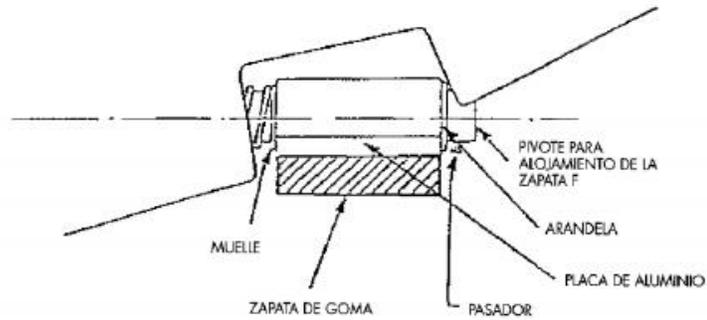
Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC-E 1004).

FIGURA N° 84. Detalle del brazo del péndulo.



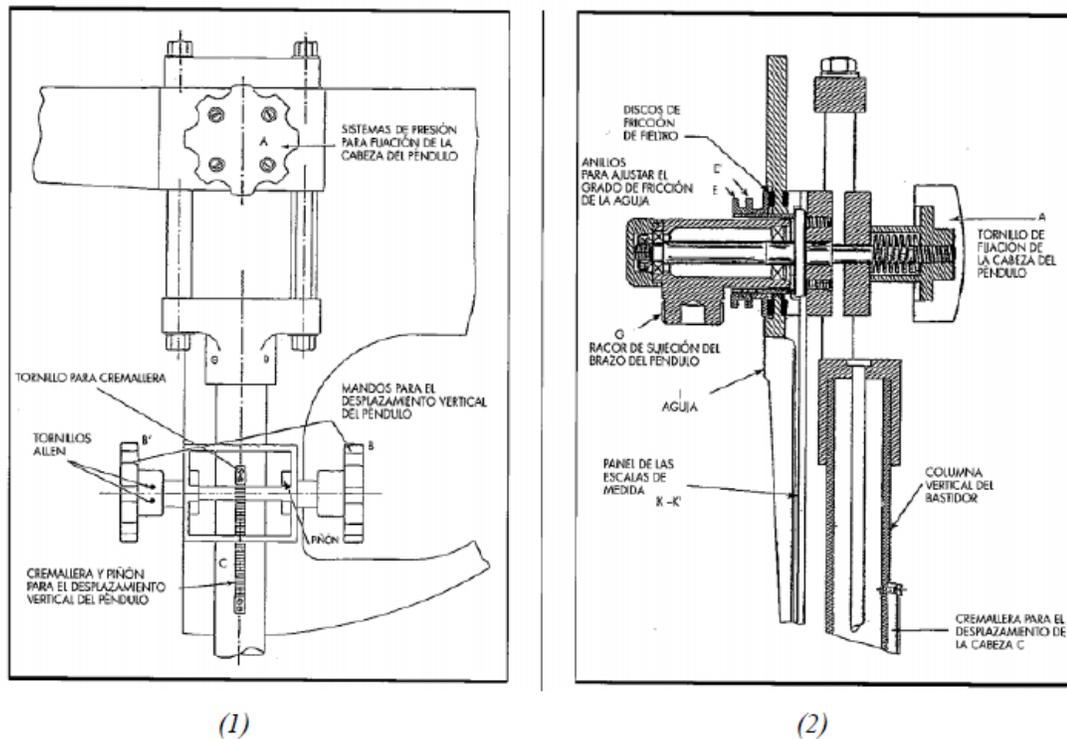
Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC-E 1004).

FIGURA N° 85. Detalle de la disposición de la zapata del caucho.



Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC-E 1004).

FIGURA N° 86. Detalle del dispositivo del desplazamiento vertical (1) y del mecanismo de suspensión del péndulo (2).



Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC-E 1004).

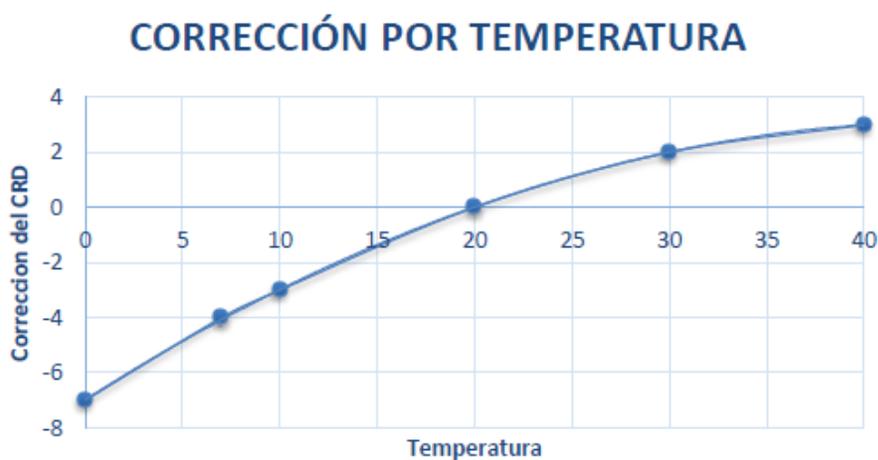
Cálculo.

El resultado del ensayo de resistencia al deslizamiento se expresa en tanto por uno, en forma de coeficiente de resistencia al deslizamiento:

$$\text{CRD} = \frac{\text{BPN}_{\text{prom}} + F_{c20^\circ}}{100}$$

Las medidas obtenidas sufren correcciones por temperatura, estos resultados se expresan a 20°C y con 2 decimales.

FIGURA N° 87. Corrección por temperatura del péndulo Británico.



Fuente: “Evaluación del coeficiente de fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo Británico TRRL”. Arequipa, Perú. (2019).

2.4.2. Evaluación estructural.

Los métodos de evaluación estructural se dividen en dos grupos, los ensayos destructivos y los ensayos no destructivos. Entre los ensayos destructivos más conocidos están las calicatas que nos permiten obtener una visualización de las capas de la estructura expuestas, a través de las paredes de ésta y realizar ensayos de densidad “in situ”. Estas determinaciones permiten obtener el estado actual del perfil a través de las propiedades reales de los materiales que componen.

Los ensayos no destructivos pueden llevarse a cabo mediante medidas de deflexiones que son una herramienta importante en el análisis no destructivo de los pavimentos. La magnitud de la deflexión producida por la carga, es útil para investigar las propiedades “in situ” del pavimento. Se trata de aplicar una sollicitación tipo y medir la respuesta de la estructura. El sistema más difundido de medición de deflexión es mediante el empleo de la viga Benkelman. (Legia, P. y Pacheco, H. (2016)).

2.4.2.1. Método de la viga Benkelman.

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, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o 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" o "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.

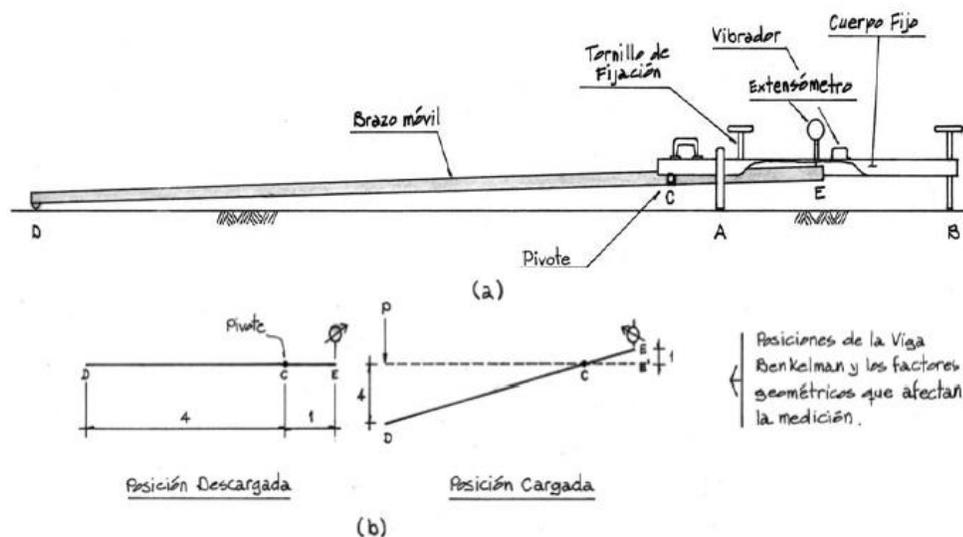
Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el 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 del 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 ésta.

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. (Hoffman y Del Águila. (1985)).

FIGURA N° 88. Esquema y principio de operación, como posiciones de la viga Benkelman.



Fuente: Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexión. Mario S. Hoffman – Pablo M. del Águila.

Equipo requerido.

El equipo mínimo para la realización de ensayos de medición de deflexiones es el siguiente:

- Deflectómetro viga Benkelman.
- Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0,01 mm.
- Camión cargado con eje trasero de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- Vehículo auxiliar para transportar el personal y equipo misceláneo (camioneta).
- Balanza portátil para pesaje de camión, con capacidad de 10 toneladas.
- Accesorios de medición y varios (cinta métrica, hojas de campo, señales de seguridad, termómetro, etc).

Procedimiento de la medición.

Para iniciar las mediciones de las deflexiones se tiene que tener la volqueta con el peso indicado de 8,2 toneladas y llantas infladas a 80 psi, luego definir los puntos donde se tomarán las medidas. Se recomienda tomar los puntos cada 50 – 200 m de distancia, alternando cada carril; estos puntos tienen que encontrarse a una distancia prefijada hacia dentro del carril desde el borde de la berma del pavimento. Se recomienda utilizar las distancias indicadas a continuación.

TABLA N° 9. Distancias recomendadas a emplear.

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

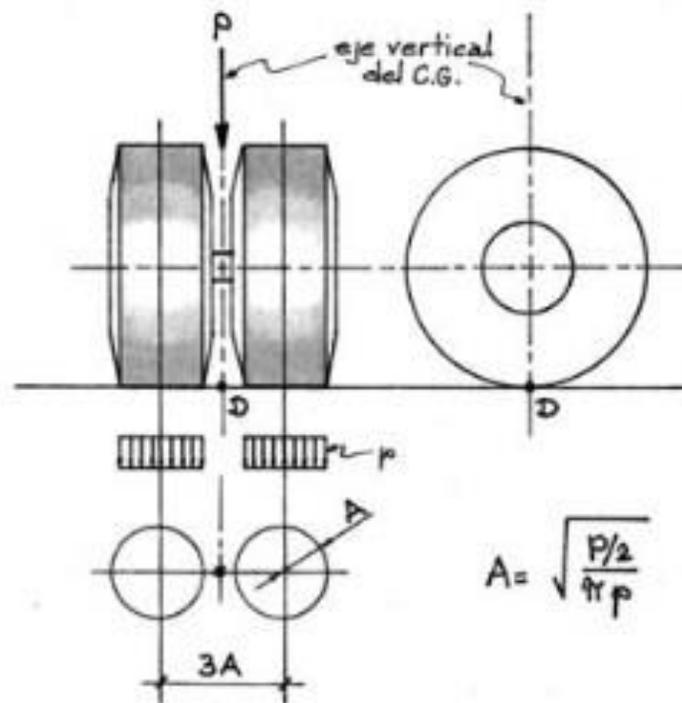
Fuente: Manual de Carreteras: Ensayo de Materiales, (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Una vez definidos los puntos donde se realizarán las mediciones, la rueda dual del camión deberá ser colocada en el punto seleccionado, se estaciona el extremo de la viga Benkelman debajo del eje vertical del centro de gravedad de las llantas dobles, se tiene como tolerancia un rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Ver figura 89.

Debido a la dificultad tanto visual como operacional que demanda hacer coincidir el extremo de la viga Benkelman con el eje de gravedad, se realizará el siguiente trabajo:

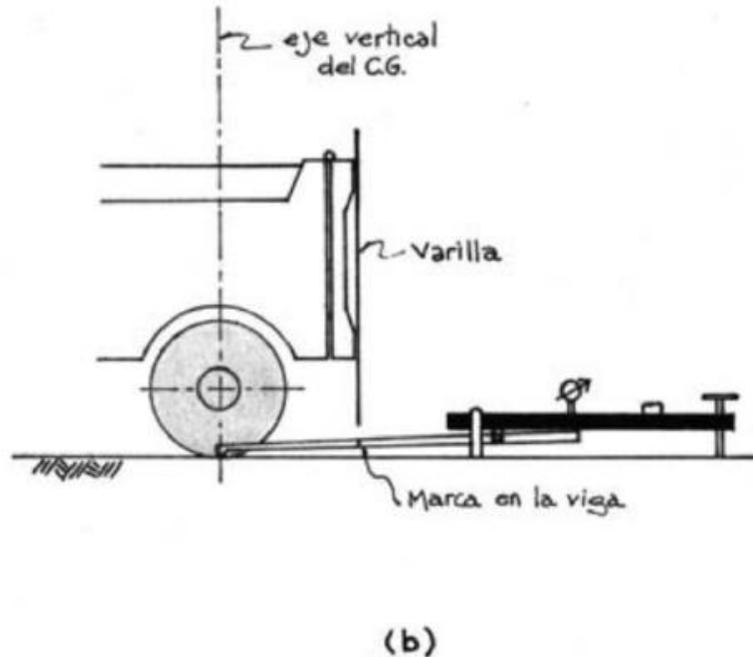
El extremo de la viga Benkelman se coloca en el eje gravedad pero al exterior de las llantas, de tal manera que pueda realizarse una marca con una plomada adosando una varilla de madera en la parte trasera del camión. De esta manera en los siguientes puntos a tomar solo basta hacer coincidir desde la parte trasera del camión la plomada con la marca. La viga Benkelman tiene que estar alineada horizontalmente con la dirección de movimiento del camión. Ver figura 90.

FIGURA N° 89. Punto de ubicación del extremo de la viga Benkelman.



Fuente: Hoffman y Del Águila. (1985). Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones.

FIGURA N° 90. Geometría de colocación de la viga Benkelman.



Fuente: Hoffman y Del Águila. (1985). Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones.

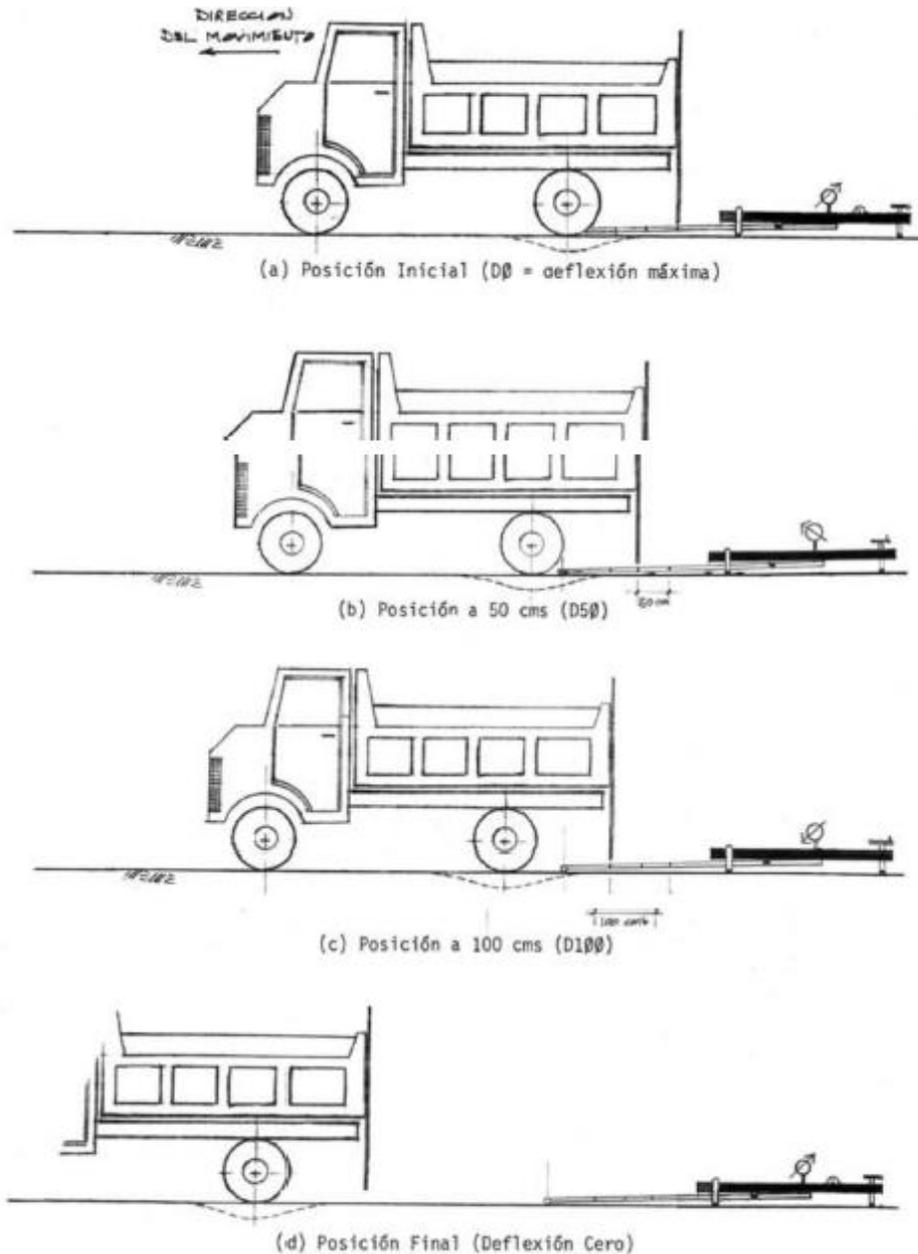
Las mediciones en un punto, se realizarán a diferentes distancias, puede ser cada 25, 30, 40 o 50 cm; éstas son llamadas deflexiones adicionales. La primera medición es la deflexión máxima y es tomada a una distancia igual a 0 cm, esta es la deflexión medida en el punto que coincide con el eje de gravedad de las llantas dobles.

En esta metodología de análisis es necesario tomar por lo menos 3 lecturas; se pueden obtener más lecturas con fines de verificación o si se desea tener una gráfica del tipo de curva de deflexión que se produce. Como norma se tendrá que la primera marca “adicional” se realizará a una distancia tal que la medida de su deflexión sea la mitad o esté en un rango de 35 % al 65 % de la deflexión máxima, la segunda marca adicional se tomará al doble de distancia de la primera marca adicional. Ver figura 91.

Una vez hechas las marcas adicionales, se activará el extensómetro, se pondrá el dial en cero y mientras el camión se desplaza muy lentamente (se recomienda una velocidad de 1 km/h) se toman las medidas conforme la varilla adosada en la parte trasera del camión

vaya coincidiendo con las distancias de la primera y segunda marca adicional, se toman las lecturas hasta que el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo y que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5 a 6 metros).

FIGURA N° 91. Procedimiento de medición de deflexión.



Fuente: Hoffman y Del Águila. (1985). Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones.

Finalmente, para la realización de este trabajo de campo será necesaria la participación de tres operadores. Un operador que sea calificado para la toma de mediciones y que dicte las lecturas, una persona que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y dé aviso al operador calificado cuando la varilla adosada en el camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga Benkelman. El trabajo realizado deberá ser supervisado por un ingeniero de campo que verificará los valores que vayan obteniendo.

Cálculo de deflexiones.

Cálculo de la deflexión máxima:

$$D_o = K \times (L_f - L_o)$$

Donde:

D_o = Deflexión máxima.

K = Constante de la viga Benkelman, depende de la relación de brazos y de la calibración.

L_o = Lectura inicial.

L_f = Lectura final.

Deflexión a los 50 cm:

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

Donde:

D_{50} = Deflexión a 50 cm.

K = Constante de la viga Benkelman, depende de la relación de brazos y de la calibración.

L_{50} = Lectura a 50 cm de la posición inicial.

L_f = Lectura final.

Corrección por temperatura:

El asfalto tiene un comportamiento visco – elástico, por lo tanto las deflexiones son afectadas directamente por la temperatura, por eso deben estar corregidas en función a la temperatura media de la capa de rodadura durante la ejecución del ensayo que varía a lo largo del día.

Para llevar todas las mediciones a una temperatura standard de 20°C se emplea la siguiente ecuación:

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

Donde:

D_{20} = Deflexión a la temperatura standard (20°C).

D_t = Deflexión a la temperatura t.

k= Coeficiente de temperatura ($1 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$).

t= Temperatura del asfalto medida para cada ensayo.

e= Espesor de la carpeta asfáltica.

Cálculo del radio de curvatura:

El método asume que la curvatura que experimenta la superficie del pavimento durante la aplicación de la carga es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 0,25 m. a partir del punto de máxima deflexión.

$$R_c = \frac{6250}{k * (D_o - D_{50})}$$

Donde:

R_c = Radio de curvatura en (m).

D_o = Deflexión máxima.

D_{50} = Deflexión a 0,50 m.

El comportamiento estructural del pavimento en el tramo “San Mateo – Sella” se podrá calificar como satisfactorio siempre y cuando cumpla lo siguiente:

- $100 < R_c < 500$
- $D_o < D_c$

I. Marco referencial

El presente trabajo corresponde al tipo de investigación aplicada, a un nivel de investigación descriptiva, se observa los fenómenos tal como se dan en su contexto natural para después analizarlos; se diagnostica el estado del pavimento tanto superficial como estructural.

A continuación, se citan trabajos de investigación similares al trabajo estudiado:

*Bach, I. (2016). “Gestión y conservación de pavimentos flexibles a través del índice de desempeño “PCI” en el entorno del distrito de Surquillo-Lima” en Piura-Perú, donde el objetivo es determinar la condición del pavimento a través de una evaluación visual del pavimento, detallando su estado a nivel funcional y estructural, así como han ido afectando su nivel de servicio. El método permite la cuantificación de la integridad estructural de manera indirecta, a través del índice de condición del pavimento (ya que no se realizan mediciones que permiten calcular directamente esta integridad).

Se ha logrado determinar la condición del pavimento a través del método del PCI en el distrito de Surquillo-Lima, y a su vez lograr un plan de gestión con un mantenimiento adecuado y oportuno.

*Jordan Joe, S. (2019). “Evaluación visual y estructural del pavimento flexible de la urbanización los Jardines, Barranca 2017.” en Huaraz-Perú, donde el objetivo es realizar la evaluación visual y estructural de los pavimentos en la Urbanización los Jardines, mediante los métodos del PCI y la viga Benkelman, Barranca 2017.

Una vez realizada la evaluación superficial y estructural se concluyó que el pavimento de la urbanización los Jardines se encuentra en un estado “Regular”, esto permite desechar la hipótesis planteada, ya que el pavimento no se encuentra en mal estado, pero se debe

mencionar que la condición en que se encuentra está muy cercana a ser un pavimento malo.

En la evaluación visual no se encontraron muchas diversidades de fallas; las fallas más comunes fueron los de tipo desprendimiento de agregados de severidad baja, media y alta.

*Cruz Alemán, E. (2016). “Evaluación Superficial y Estructural del tramo El gallinazo – campo Ferial San Jacinto” en Tarija –Bolivia, que tiene como objetivo principal evaluar superficial y estructuralmente el estado actual del pavimento flexible del tramo “El Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto” de la ciudad de Tarija, utilizando métodos no destructivos de PCI (Índice de Condición del Pavimento), IFI (Índice de fricción Internacional) y la viga Benkelman.

El trabajo experimental desarrollado comprende las siguientes etapas: la primera la recopilación de antecedentes más relevantes sobre el tramo. Una segunda etapa que corresponde a la evaluación superficial del tramo siguiendo los lineamientos definidos por el método PCI (Índice de Condición del Pavimento), Procedimiento standard para la inspección del índice de condición del pavimento, además de método IFI (Índice de Fricción Internacional), representando con este parámetro las características relacionadas con la adherencia y textura siendo de importancia la seguridad vial y/o desgaste de los vehículos en condiciones de frenado.

Una tercera etapa, que comprende una evaluación estructural del tramo a partir de la evaluación de deflexiones del pavimento mediante la viga Benkelman. Como resultado final mediante la evaluación superficial, se determinó que el tramo superficialmente no cumple con la calidad, comodidad y seguridad vial, a diferencia de que a través de la evaluación estructural se obtienen respuestas satisfactorias sobre el comportamiento del pavimento como estructura, sometida a las solicitaciones impuestas por las repeticiones de cargas generadas por el tráfico de vehículos además de la acción de los agentes ambientales, como temperatura, humedad que pueda presentar el tramo. Los parámetros evaluados se completan mutuamente, y permiten recomendar un adecuado plan de reparación y mantenimiento para el tramo evaluado. Este trabajo de investigación presenta un aporte de información en el área de la ingeniería de pavimentos y servirá como base para seguir investigando sobre los métodos de

evaluación no destructivos, con la finalidad de determinar las condiciones técnicas de la vía en el estado actual.

*Sivila Montes, G. (2017). “Evaluación Superficial y Estructural tramo Tomatitas – La Victoria” en Tarija-Bolivia, tiene como objetivo principal la evaluación superficial y estructural del tramo “Tomatitas – La Victoria” utilizando los métodos de PCI para evaluar superficialmente y medición de deflexiones para la evaluación estructural, ambas corresponden a métodos no destructivos.

La evaluación comprende las siguientes etapas: la primera, la recopilación de antecedentes más relevantes sobre el tramo, inspección visual y la determinación de unidades de muestra.

Una segunda etapa que corresponde a la evaluación superficial del tramo, siguiendo los lineamientos definidos por el método PCI (Índice de Condición del Pavimento), de lo cual se obtuvo un valor PCI de 60,2 lo cual califica como condición de pavimento “bueno”. La tercera etapa, comprende de la evaluación estructural del tramo a partir de la medición de deflexiones del pavimento mediante la viga Benkelman, determinando las deflexiones máximas para cada 50 metros. Las deflexiones máximas se compararon con la deflexión admisible para verificar si el pavimento tiene la capacidad de resistir las cargas de tráfico, determinando así que las deflexiones máximas no superan la deflexión admisible. De la relación de valor de PCI y deflexiones máximas a lo largo del tramo, se determinó que el tramo en estudio responde a las solicitaciones impuestas por repeticiones de cargas generadas por el tráfico vehicular.

II. Marco normativo.

Considerar la norma AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), para guía del procedimiento. Se tomará en cuenta los manuales denominados “Manual de Diseño de Conservación Vial - Volumen 5” “Manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción - Volumen 7” y “Manual de Ensayos de Suelos y Materiales*Asfaltos - Volumen 4” de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras). Para la verificación de los resultados obtenidos se tomó en cuenta la norma Boliviana, el manual de carreteras de Chile y Perú.

- Para el procedimiento de evaluación del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) se empleó la norma IRI (ASTM-95).
- Para el procedimiento de evaluación del PCI (Índice de Condición de Pavimentos) se empleó la norma ASTM D6433-03, ASTM 5340-98.
- Para el procedimiento de evaluación del método IFI (Índice de Fricción Internacional) se emplearon los ensayos del péndulo Británico con la norma ASTM E 303 AASHTO T278-90 y el círculo o mancha de arena con la norma ASTM E 965.
- Para el procedimiento de la viga Benkelman se empleó la norma ASTM D-4695.

CAPÍTULO III
RELEVANTAMIENTO DE LA
INFORMACIÓN

CAPÍTULO III

RELEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. Descripción y ubicación del tramo San Mateo - Sella.

La ruta San Mateo - Sella (salida del puente interprovincial Eustaquio Méndez hasta el cruce de Sella Méndez y San Lorenzo), que se perfila como un camino opcional para llegar desde la ciudad de Tarija hasta San Lorenzo, evitando el congestionamiento vehicular que se genera cada día en el puente de Tomatitas.

El asfaltado tuvo un costo de 19.860.816,34 de bolivianos adjudicados a la Asociación Accidental El Rancho, ejecutados por la Gobernación mediante la Subgobernación de San Lorenzo. Sobre las características técnicas, se trata de un asfaltado con carpeta de espesor de 4 centímetros y una longitud de 6,412 kilómetros, que hacen a la conformación de un paquete estructural con capa subrasante, subbase y base, que beneficiará a gran parte de las comunidades aledañas como: San Mateo, Sella, Carachimayo y las comunidades del municipio de San Lorenzo.

FIGURA N° 92. Mapa político del departamento de Tarija.



Fuente: <https://bo.reyqui.com/2017/09/provincia-jose-maria-aviles.html>

FIGURA N° 93. Inicio del tramo del proyecto.



Fuente: Foto satelital Google Earth.

Coordenadas de inicio son:

-21°28'8,40" S

-64°43'27,58" O

A una altitud de 1949m.

FIGURA N° 94. Fin del tramo del proyecto.



Fuente: Foto satelital Google Earth.

Coordenadas de final del tramo son:

-21°24'25,99" S

-64°43'14,37" O

A una altitud de 2045m.

FIGURA N° 95. Foto satelital tramo San Mateo- Sella.



Fuente: Foto satelital Google Earth.

3.2. Coordenadas del lugar en estudio.

TABLA N°10. Coordenadas de las progresivas del tramo San Mateo – Sella.

N°	Progresiva	Coordenadas	
		Latitud "S"	Longitud "O"
1	0+000	-21°28'8,40"	-64°43'27,58"
2	0+200	-21°28'00,56"	-64°44'48,91"
3	0+400	-21°27'54,40"	-64°44'41,11"
4	0+600	-21°27'45,89"	-64°44'35,92"
5	0+800	-21°27'37,43"	-64°44'30,97"
6	1+000	-21°27'29,05"	-64°44'25,61"
7	1+200	-21°27'20,14"	-64°44'21,27"
8	1+400	-21°27'15,61"	-64°44'19,16"
9	1+600	-21°27'10,85"	-64°44'18,03"
10	1+800	-21°27'01,69"	-64°44'14,82"
11	2+000	-21°26'52,22"	-64°44'12,30"
12	2+200	-21°26'46,29"	-64°44'10,25"
13	2+400	-21°26'42,51"	-64°44'09,47"
14	2+600	-21°26'33,16"	-64°44'06,31"
15	2+800	-21°26'24,27"	-64°44'02,80"
16	3+000	-21°26'19,69"	-64°43'81,17"
17	3+200	-21°26'15,20"	-64°43'58,98"
18	3+400	-21°26'09,13"	-64°43'56,85"
19	3+600	-21°26'06,06"	-64°43'55,06"
20	3+800	-21°25'56,85"	-64°43'51,68"
21	4+000	-21°25'47,74"	-64°43'48,01"
22	4+200	-21°25'43,12"	-64°43'45,89"
23	4+400	-21°25'38,60"	-64°43'44,17"
24	4+600	-21°25'29,55"	-64°43'40,47"
25	4+800	-21°25'20,49"	-64°43'36,56"
26	5+000	-21°25'11,42"	-64°43'32,89"
27	5+200	-21°25'08,40"	-64°43'31,09"
28	5+400	-21°25'05,32"	-64°43'30,13"
29	5+600	-21°24'79,35"	-64°43'29,26"
30	5+800	-21°24'58,00"	-64°43'27,58"
31	6+000	-21°24'45,35"	-64°43'25,26"
32	6+200	-21°24'32,00"	-64°43'20,22"
33	6+400	-21°24'25,99"	-64°43'14,37"

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Relevamiento de información.

Capa de rodadura

Según la información recopilada de la sub gobernación de San Lorenzo y la empresa constructora, la capa de rodadura es una carpeta asfáltica de 4cm.

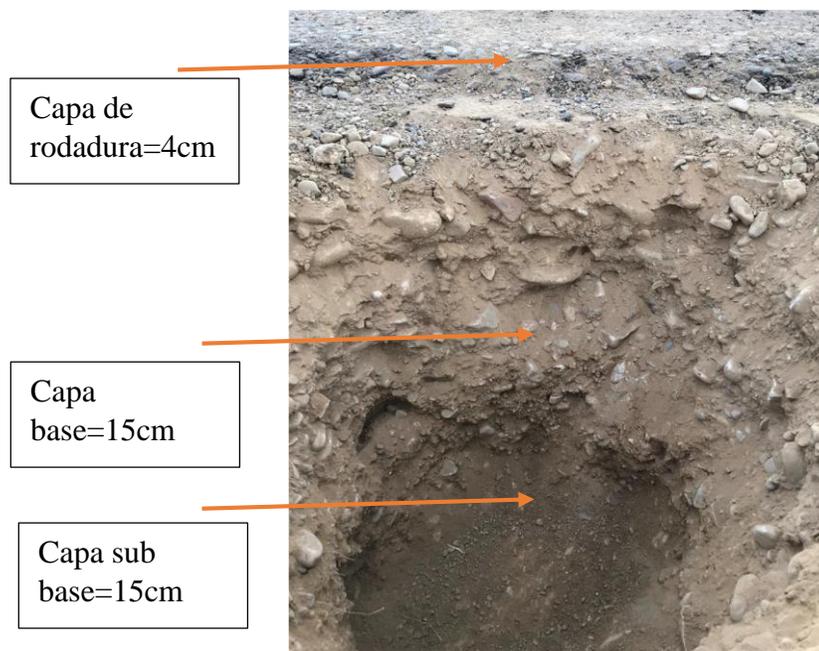
TABLA N° 11. Paquete estructural del tramo.

Tramo	Espesor de la carpeta asfáltica	Espesor de la capa base	Espesor de la capa sub base	Espesor de la sub rasante mejorada
San Mateo - Sella	4 cm	15 cm	15 cm	20 cm

Fuente: Sub gobernación de San Lorenzo.

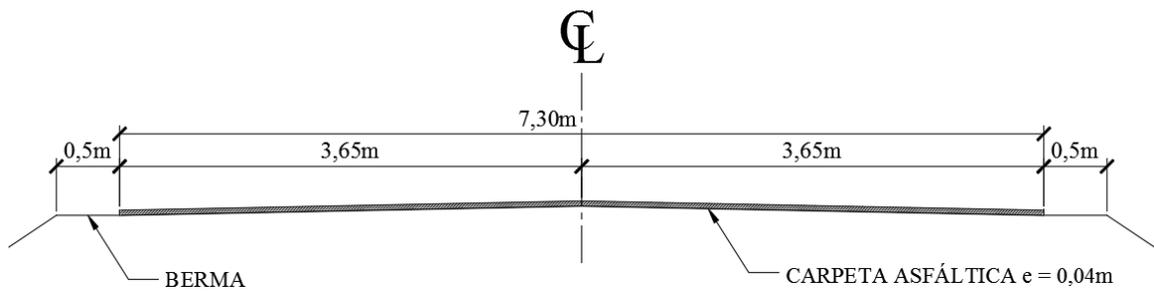
Para verificar la conformación del paquete estructural y así poder realizar los ensayos necesarios para la evaluación superficial y estructural, se realizó una excavación en la progresiva 6+200 con lo cual se pudo observar las profundidades de la capa sub base, capa base y capa de rodadura.

FIGURA N° 96. Espesores del paquete estructural.



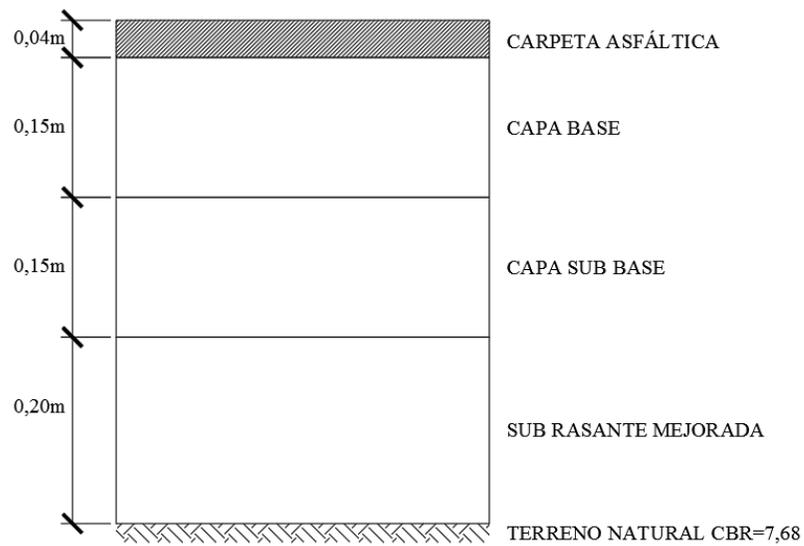
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA N° 97. Sección transversal tramo San Mateo – Sella.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA N° 98. Espesores paquete estructural tramo San Mateo – Sella.



Fuente: Elaboración propia.

3.4. Evaluación superficial del tramo.

La evaluación superficial del tramo San Mateo – Sella se efectuó por los métodos no destructivos PCI, IRI e IFI que se detallan a continuación.

3.4.1. Procedimiento de la aplicación del método PCI.

3.4.1.1. Unidades de muestreo.

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía, en carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7,30 m el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230,0 \pm 93,0 \text{ m}^2$. En la tabla 12 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

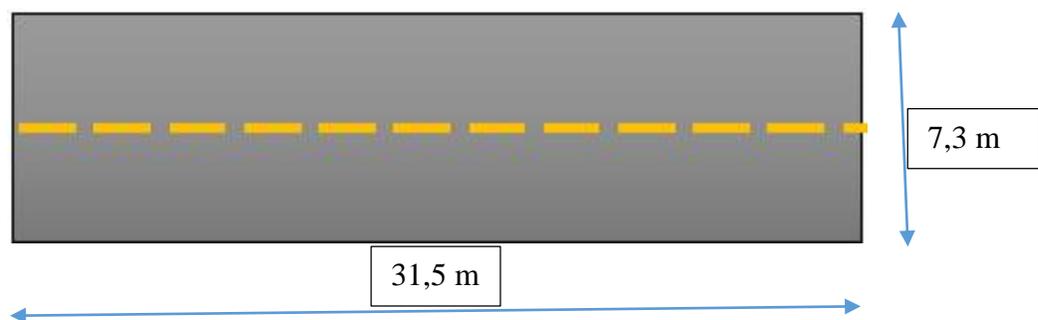
TABLA N° 12. Longitudes de unidades de muestreo asfálticas.

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

Fuente: Manual del PCI (Norma ASTM D 6433-03).

El ancho de la calzada del tramo “San Mateo – Sella” es de 7,3 m, se optó por tomar una longitud de cada unidad de muestra de 31,5 m, por tanto, se tiene 203 unidades de muestra y cada unidad de muestra tiene un área de 230 m^2 que están dentro del rango establecido en el PCI.

FIGURA N° 99. Unidades de muestreo para el método PCI.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.1.2. Determinación de las unidades de muestreo para la evaluación.

Para conocer las unidades de muestra que serán evaluadas se siguió el procedimiento que establece la norma ASTM D6433 – 03, utilizando la fórmula de número de unidades de muestreo que se muestra a continuación:

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

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

e = Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = +/-5 %).

σ = Desviación estándar del PCI entre las unidades (= 10).

Pero en el presente trabajo para tener mejores resultados y más representativos se realizó con una confiabilidad del 98 % y un error admisible de 2 %.

Por lo tanto, el número de unidades de muestra que se tendrá para la evaluación es el siguiente:

$$n = \frac{203 \times 10^2}{\frac{2^2}{4} \times (203 - 1) + 10^2} = 67,22$$

3.4.1.3. Selección de las unidades de muestreo para la inspección.

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

- a) El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la ecuación:

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

Donde:

N= Número total de unidades de muestreo disponible.

n= Número mínimo de unidades para evaluar.

i= Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3,7 se redondea a 3).

b) El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i.

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

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

Para el presente trabajo se calculó el intervalo de muestreo como se muestra a continuación:

$$i = \frac{203}{67,22} = 3$$

Con el intervalo (i) igual a 3, se procedió a identificar la unidad de muestra inicial que fue la número 1; se empezó por esta ya que las otras dos estaban o muy dañada o sin fallas, luego ya se fueron inspeccionando las siguientes unidades de muestra como se mencionó anteriormente sumando la inicial más el intervalo de muestreo (1+3; 4+3; 7+3, etc.) hasta realizar todas las unidades de muestreo necesarias.

TABLA N° 13. Hoja de registro de fallas por el método PCI.

Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)							
Hoja de registro							
Nombre de la vía:					Esquema:		
Ejecutor:							
Sección:							
Fecha:							
Área (m ²):							
Unidad de muestra:							
Fallas		Unidad de medida	Fallas			Unidad de medida	
1. Piel de cocodrilo		m ²	11. Parches			m ²	
2. Exudación		m ²	12. Agregado pulido			m ²	
3. Fisuras en bloque		m ²	13. Huecos			#	
4. Abultamientos y hundimientos		m ²	14. Ahuellamiento			m ²	
5. Corrugación		m ²	15. Desplazamiento			m ²	
6. Depresión		m ²	16. Fisura parabólica			m ²	
7. Fisura de borde		m	17. Hinchamiento			m ²	
8. Fisura de reflexión de junta		m	18. Desprendimiento de agregados			m ²	
9. Desnivel carril-berma		m	19. Cruce de puentes			m ²	
10. Fisuras longitudinales y transversales		m					
Falla	Severidad	Cantidad			Total	Densidad	Valor Deducido

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra un ejemplo de los datos que se recopilaron de la unidad de muestra número 1:

TABLA N° 14. Ejemplo de relevamiento de fallas.

Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)									
Hoja de registro									
Nombre de la vía: San Mateo – Sella								Esquema:	
Ejecutor:		Loida Subia Gallardo							
Sección:		0+031,5							
Fecha:		13/11/2020							
Área (m ²):		230							
Unidad de muestra: 1									
Fallas			Unidad de medida		Fallas			Unidad de medida	
1. Piel de cocodrilo			m ²		11. Parches			m ²	
2. Exudación			m ²		12. Agregado pulido			m ²	
3. Fisuras en bloque			m ²		13. Huecos			#	
4. Abultamientos y hundimientos			m ²		14. Ahuellamiento			m ²	
5. Corrugación			m ²		15. Desplazamiento			m ²	
6. Depresión			m ²		16. Fisura parabólica			m ²	
7. Fisura de borde			m		17. Hinchamiento			m ²	
8. Fisura de reflexión de junta			m		18. Desprendimiento de agregados			m ²	
9. Desnivel carril-berma			m		19. Cruce de puentes			m ²	
10. Fisuras longitudinales y transversales			m						
Falla	Severidad	Cantidad					Total	Densidad	Valor Deducido
10	L	1,13	0,58	0,18	0,21	0,23	2,33	1,01	0

Max CDV =0..... PCI =100..... Clasificación =...Excelente.....

Fuente: Elaboración propia

Una vez registrada la información levantada, se procede a calcular las densidades y los valores deducidos para luego poder obtener el valor de la calificación del PCI que presenta cada muestra, dicho procedimiento se mostrará detalladamente en el capítulo 4.

3.4.2. Procedimiento de la aplicación del método IFI.

Para realizar el ensayo del círculo de arena se midieron cinco diámetros por cada ensayo.

TABLA N°15. Datos del ensayo círculo de arena (ida).

Prog.	Medidas con el círculo de arena (cm)				
0+000	27,00	26,00	26,50	25,00	27,00
0+200	35,00	33,00	35,50	34,50	34,50
0+400	30,50	30,00	29,50	31,00	30,00
0+600	30,00	30,50	30,00	31,50	30,00
0+800	29,50	29,00	30,00	30,50	29,00
1+000	29,00	29,00	28,00	29,00	28,00
1+200	30,50	30,00	30,50	31,00	30,00
1+400	31,00	32,00	33,00	32,00	32,00
1+600	30,00	30,00	31,50	30,00	29,50
1+800	29,00	28,00	29,50	28,00	27,50
2+000	28,00	28,50	29,00	29,00	28,50
2+200	28,50	29,00	28,00	28,50	28,00
2+400	28,00	28,50	28,00	28,50	29,00
2+600	29,00	28,50	27,50	28,00	28,00
2+800	27,00	26,50	27,00	26,50	27,00
3+000	25,50	26,00	24,50	25,00	25,00
3+200	25,00	24,50	26,00	25,00	25,50
3+400	24,50	25,00	25,00	25,50	26,00
3+600	25,00	25,00	26,00	25,00	25,50
3+800	25,50	26,00	26,50	25,00	25,00
4+000	26,00	27,50	27,00	24,50	24,50
4+200	27,00	28,00	27,00	28,00	26,00
4+400	27,50	29,00	27,50	27,00	27,00
4+600	29,00	30,50	28,00	29,50	29,00
4+800	29,00	27,50	28,00	29,00	28,00
5+000	27,50	29,00	27,50	29,00	28,00
5+200	26,00	28,00	27,00	28,00	27,00
5+400	27,00	27,50	27,00	27,50	27,50
5+600	25,50	27,00	25,50	26,50	26,00
6+000	25,00	25,50	25,50	25,00	25,00
6+200	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
6+400	26,00	27,00	27,50	26,50	26,00

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N°16. Datos del ensayo péndulo de fricción (ida).

Prog.	T °C	Medidas de BPN con péndulo de fricción				
0+000	29,00	91,00	92,00	92,00	92,00	91,00
0+200	29,00	119,00	120,00	121,00	121,00	123,00
0+400	30,00	115,00	112,00	113,00	115,00	114,00
0+600	42,00	94,00	95,00	94,00	92,00	95,00
0+800	41,00	92,00	94,00	92,00	93,00	94,00
1+000	42,00	91,00	92,00	95,00	94,00	91,00
1+200	42,00	95,00	94,00	93,00	94,00	92,00
1+400	41,00	98,00	94,00	95,00	93,00	96,00
1+600	41,00	100,00	99,00	97,00	99,00	100,00
1+800	42,00	103,00	100,00	103,00	104,00	104,00
2+000	41,00	104,00	103,00	104,00	104,00	103,00
2+200	41,00	105,00	106,00	105,00	103,00	103,00
2+400	42,00	107,00	106,00	107,00	108,00	113,00
2+600	41,00	110,00	112,00	113,00	110,00	111,00
2+800	41,00	114,00	114,00	115,00	116,00	117,00
3+000	45,00	118,00	118,00	115,00	117,00	115,00
3+200	45,00	118,00	115,00	115,00	118,00	118,00
3+400	45,00	116,00	116,00	118,00	116,00	117,00
3+600	46,00	117,00	116,00	117,00	118,00	114,00
3+800	46,00	117,00	114,00	116,00	117,00	117,00
4+000	47,00	117,00	112,00	114,00	115,00	116,00
4+200	48,00	113,00	109,00	110,00	112,00	112,00
4+400	48,00	109,00	106,00	107,00	108,00	108,00
4+600	48,00	102,00	100,00	100,00	102,00	100,00
4+800	47,00	96,00	97,00	98,00	97,00	96,00
5+000	47,00	96,00	96,00	97,00	98,00	97,00
5+200	47,00	90,00	92,00	93,00	94,00	94,00
5+400	47,00	93,00	93,00	94,00	95,00	96,00
5+600	47,00	105,00	105,00	107,00	107,00	108,00
6+000	49,00	97,00	99,00	100,00	100,00	99,00
6+200	49,00	102,00	104,00	104,00	106,00	105,00
6+400	49,00	93,00	95,00	96,00	94,00	93,00

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N°17. Datos del ensayo círculo de arena (vuelta).

Prog.	Medidas con el círculo de arena				
0+000	34,00	33,50	33,00	34,50	35,50
0+200	34,50	34,00	34,00	35,00	33,50
0+400	30,00	32,00	31,50	31,00	30,00
0+600	31,00	30,50	30,00	31,00	30,50
0+800	29,00	28,00	29,50	30,50	29,00
1+000	27,00	26,50	26,00	25,50	26,00
1+200	30,00	30,50	29,00	28,00	28,00
1+400	32,00	32,00	33,15	31,00	31,50
1+600	31,00	29,50	31,50	32,00	30,00
1+800	28,00	27,00	29,50	28,50	30,00
2+000	29,00	28,50	27,00	28,00	28,00
2+200	27,00	28,50	27,50	30,00	29,00
2+400	28,50	29,00	27,00	29,00	28,00
2+600	28,00	29,00	27,50	28,00	29,50
2+800	26,00	25,50	26,00	25,00	27,00
3+000	28,00	27,50	28,50	28,00	29,00
3+200	26,00	27,00	25,00	26,00	25,00
3+400	26,00	24,00	25,50	25,00	25,50
3+600	29,00	25,50	25,00	27,50	26,00
3+800	26,50	27,00	25,00	24,50	25,50
4+000	25,50	26,00	26,00	25,50	25,00
4+200	27,00	28,50	27,00	28,00	26,50
4+400	27,50	29,00	27,50	27,00	27,00
4+600	29,00	29,00	31,00	28,50	30,50
4+800	30,00	29,00	27,50	28,00	28,50
5+000	27,50	28,00	29,00	29,00	28,50
5+200	25,00	24,00	25,00	25,00	26,50
5+400	28,00	26,50	27,00	28,00	27,50
5+600	27,00	26,50	28,00	26,00	27,50
6+000	26,00	25,00	24,50	27,00	25,50
6+200	28,00	26,00	24,50	25,50	27,00
6+400	27,50	28,00	26,50	26,00	25,00

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N°18. Datos del ensayo péndulo de fricción (vuelta).

Prog.	T °C	Medidas de BPN con péndulo de fricción				
0+000	43,00	120,00	121,00	123,00	119,00	121,00
0+200	43,00	121,00	118,00	119,00	120,00	122,00
0+400	44,00	119,00	121,00	120,00	121,00	120,00
0+600	42,00	98,00	96,00	95,00	93,00	95,00
0+800	44,00	95,00	94,00	93,00	93,00	95,00
1+000	44,00	110,00	104,00	105,00	109,00	109,00
1+200	42,00	98,00	95,00	96,00	94,00	95,00
1+400	42,00	95,00	95,00	94,00	97,00	96,00
1+600	43,00	99,00	97,00	98,00	100,00	98,00
1+800	42,00	100,00	104,00	103,00	102,00	103,00
2+000	42,00	103,00	104,00	105,00	103,00	104,00
2+200	44,00	106,00	103,00	105,00	105,00	105,00
2+400	44,00	108,00	107,00	113,00	108,00	107,00
2+600	43,00	112,00	110,00	111,00	111,00	113,00
2+800	44,00	113,00	116,00	117,00	114,00	115,00
3+000	45,00	114,00	117,00	118,00	116,00	115,00
3+200	45,00	116,00	117,00	113,00	118,00	119,00
3+400	44,00	117,00	118,00	115,00	118,00	116,00
3+600	44,00	114,00	118,00	115,00	119,00	117,00
3+800	47,00	118,00	115,00	117,00	118,00	116,00
4+000	48,00	95,00	90,00	93,00	95,00	95,00
4+200	48,00	95,00	93,00	93,00	94,00	95,00
4+400	48,00	109,00	106,00	107,00	108,00	107,00
4+600	47,00	100,00	102,00	103,00	100,00	103,00
4+800	47,00	98,00	100,00	96,00	97,00	100,00
5+000	47,00	97,00	95,00	96,00	98,00	100,00
5+200	47,00	121,00	122,00	118,00	120,00	123,00
5+400	48,00	100,00	94,00	97,00	95,00	94,00
5+600	48,00	96,00	95,00	98,00	97,00	95,00
6+000	49,00	99,00	96,00	97,00	98,00	100,00
6+200	49,00	104,00	106,00	100,00	102,00	105,00
6+400	49,00	95,00	98,00	93,00	94,00	96,00

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Procedimiento de la aplicación del método IRI.

Se realizó con la rueda de Merlín dividiendo en tramos de 200 datos cada uno.

TABLA N°19. Ejemplo de obtención de 200 datos en una sección (ida) del ensayo IRI con rueda de Merlín.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20,00	30,50	27,00	28,50	30,50	31,00	32,00	30,50	29,50	29,00
2	25,50	26,00	27,00	28,50	30,50	31,50	32,00	30,50	29,50	29,00
3	31,50	26,00	27,00	28,50	30,00	31,50	32,50	33,00	29,50	29,00
4	31,50	26,00	27,00	28,50	30,00	31,50	32,50	33,00	27,50	30,50
5	31,50	26,00	27,50	28,50	30,00	31,50	32,50	33,50	27,50	30,50
6	22,50	26,00	27,50	28,50	30,00	31,50	32,50	38,50	27,50	31,50
7	25,50	26,00	27,50	28,50	30,00	31,50	32,50	33,50	27,50	31,50
8	30,50	26,00	27,50	28,50	30,00	31,50	32,50	23,50	27,50	29,50
9	30,50	29,50	27,50	29,00	30,00	31,50	32,50	33,50	31,50	29,50
10	24,00	29,50	27,50	29,00	30,00	31,50	32,50	33,50	34,50	29,50
11	29,50	26,50	27,50	29,00	30,00	31,50	32,50	35,00	31,50	28,50
12	29,50	26,50	27,50	29,00	30,00	32,00	33,00	33,50	28,50	28,50
13	29,50	26,50	28,00	29,00	30,00	32,00	33,00	36,50	28,50	28,50
14	27,50	26,50	28,00	29,00	30,50	32,00	33,00	33,50	28,50	28,50
15	27,50	26,50	28,00	29,00	30,50	32,00	33,00	37,50	28,50	28,50
16	30,50	26,50	28,00	29,00	31,00	32,00	33,00	33,50	28,50	26,50
17	30,50	29,50	28,00	29,00	31,00	32,00	33,00	31,50	29,50	26,50
18	21,50	29,50	28,00	30,50	31,00	32,00	33,00	31,50	29,50	31,50
19	30,50	27,00	28,00	30,50	31,00	32,00	30,50	34,00	29,50	31,50
20	30,50	27,00	28,50	30,50	31,00	32,00	30,50	34,00	29,50	39,00

Fuente: Elaboración propia.

Se depura el 5% de cada lado de los datos de la distribución de frecuencias y se determina el rango D para luego determinar la rugosidad en la escala IRI con las siguientes ecuaciones:

a) Cuando $2,4 < IRI < 15,9$ $IRI = 0,593 + 0,0471 D$

b) Cuando $IRI < 2,4$ $IRI = 0,0485 D$

3.5. Evaluación estructural del tramo.

3.5.1. Procedimiento de cálculo de deflexiones con la viga Benkelman.

Con el equipo ya en campo y los instrumentos necesarios se procede a tomar los datos de las deflexiones en el tramo como se muestra en la tabla, estas deflexiones fueron tomadas en puntos de ensayos cada 200 metros en el carril derecho (ida) y luego en el carril izquierdo (vuelta) respectivamente para poder determinar el comportamiento de la estructura del pavimento en todo el ancho de la vía.

TABLA N° 20. Datos de deflexiones en el carril derecho del tramo.

Evaluación Estructural								
Tramo: San Mateo - Sella								
Medición de deflexiones por el método de la viga Benkelman								
Estructura:	Pavimento flexible	Carga eje (tn):	8,2	Presión (Psi)		80		
Carril:	Derecho (ida)	Fecha:	12/12/2020					
Relación de brazos		1 a 2	Ejecutor:	Loida Heidy Subia Gallardo				
N° Ensayo	Progresiva	Temp. °C	Lecturas del extensómetro (0,01 mm)					
			L=0	L=50 cm	L=100 cm	L=150 cm	L=200 cm	L=500 cm
1	00+000	38	0	32	36	38	40	60
2	00+200	42	0	28	22	30	36	56
3	00+400	41	0	22	25	28	32	48
4	00+600	42	0	22	20	25	34	46
5	00+800	41	0	20	18	20	28	46
6	01+000	42	0	16	10	14	20	42
7	01+200	45	0	14	14	18	20	37
8	01+400	45	0	12	16	10	15	36
9	01+600	47	0	10	17	12	14	34
10	01+800	47	0	14	22	22	24	34
11	02+000	47	0	12	18	12	18	36
12	02+200	48	0	16	22	20	24	40
13	02+400	49	0	10	12	16	12	32
14	02+600	49	0	12	12	16	18	36
15	02+800	49	0	12	10	8	14	36
16	03+000	47	0	10	13	16	18	30
17	03+200	48	0	10	15	7	18	32
18	03+400	48	0	14	12	16	18	36
19	03+600	48	0	12	13	16	16	28
20	03+800	44	0	9	10	15	16	23
21	04+000	44	0	8	16	8	16	24
22	04+200	44	0	10	12	7	10	25
23	04+400	47	0	16	22	18	12	28
24	04+600	47	0	14	16	12	20	30
25	04+800	47	0	12	14	6	18	36
26	05+000	49	0	10	8	12	10	24
27	05+200	49	0	10	12	12	15	22
28	05+400	48	0	8	6	10	16	23
29	05+600	48	0	9	12	15	14	20
30	05+800	48	0	6	8	8	12	22
31	06+000	48	0	6	10	12	9	20
32	06+200	48	0	10	9	10	14	26
33	06+400	48	0	12	13	14	12	28

Fuente: Elaboración propia.

Se realizará un ejemplo para la progresiva 0+000 donde se explique claramente el procedimiento a seguir, se debe seguir el mismo procedimiento para todos los puntos.

Cálculo de la deflexión máxima:

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

$$D_o = 1x(60 - 0)$$

$$D_o = 60x10^{-2} \text{ mm}$$

Factor de corrección por temperatura:

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

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

$$D_{ot} = \frac{60}{0,001 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}} * (38 - 20) * 4 + 1}$$

$$D_{ot} = 56x10^{-2} \text{ mm}$$

Deflexión a 50 cm:

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

$$D_{50} = 1*(60 - 32)$$

$$D_{50} = 28x10^{-2} \text{ mm}$$

Factor de corrección por temperatura:

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

$$\text{Dot} = \frac{28}{0,001 \frac{\text{°C}}{\text{cm}} * (38 - 20) * 4 + 1}$$

$$D_{50t} = 26,12 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Radio de curvatura:

$$Rc = \frac{6250}{k * (\text{Dot} - D_{50t})}$$

$$Rc = \frac{6250}{2 * (56 - 26,12)}$$

$$Rc = 105\text{m}$$

CAPÍTULO IV
CÁLCULOS Y ANÁLISIS

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS Y ANÁLISIS

4.1. Evaluación superficial del tramo.

4.1.1. Procedimiento de cálculo del método PCI.

Una vez registrados todos los datos de campo y teniendo así en las planillas el tipo, severidad y cantidad de fallas que presenta cada unidad de muestra que será evaluada, se procede a calcular la condición en la que se encuentra el pavimento por el método del PCI que se basa en el cálculo de los valores deducidos.

Se detallará la aplicación de la metodología, realizando el cálculo del PCI a una unidad de muestra aleatoria, con el fin de observar paso a paso el procedimiento de cómo realizar una evaluación superficial, cómo obtener el índice de condición del pavimento y así conocer la condición de cada unidad de muestra y posteriormente la de todo el tramo seleccionado.

A continuación, se realizará el cálculo paso a paso de la unidad de muestra número 1 para facilitar el entendimiento del método del PCI.

Primero deben totalizarse cada tipo, severidad y cantidad de daños que presente la unidad de muestra que está siendo inspeccionada y se debe anotar estos datos en la planilla de registro.

Las fallas pueden ser medidas en áreas o longitudes dependiendo cada tipo falla.

TABLA N°21. Fallas existentes en la unidad de muestra.

Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)									
Hoja de registro									
Nombre de la vía: San Mateo – Sella								Esquema:	
Ejecutor:		Loida Subia Gallardo							
Sección:		0+031,5							
Fecha:		13/11/2020							
Área (m ²):		230							
Unidad de muestra: 1									
Fallas			Unidad de medida		Fallas			Unidad de medida	
1. Piel de cocodrilo			m ²		11. Parches			m ²	
2. Exudación			m ²		12. Agregado pulido			m ²	
3. Fisuras en bloque			m ²		13. Huecos			#	
4. Abultamientos y hundimientos			m ²		14. Ahuellamiento			m ²	
5. Corrugación			m ²		15. Desplazamiento			m ²	
6. Depresión			m ²		16. Fisura parabólica			m ²	
7. Fisura de borde			m		17. Hinchamiento			m ²	
8. Fisura de reflexión de junta			m		18. Desprendimiento de agregados			m ²	
9. Desnivel carril-berma			m		19. Cruce de puentes			m ²	
10. Fisuras longitudinales y transversales			m						
Falla	Severidad	Cantidad					Total	Densidad	Valor Deducido
10	L	1,13	0,58	0,18	0,21	0,23	2,33	1,01	0

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la densidad de cada falla, se debe dividir el área de cada falla para cada tipo y severidad entre el área total de la unidad de muestra que se está evaluando y se multiplica por 100 ya que esta densidad se la expresa en porcentaje (%).

Se calculará para la muestra 1 donde se tiene 10L que representa un tipo de falla de fisura longitudinal y transversal de baja severidad.

Cálculo de la densidad:

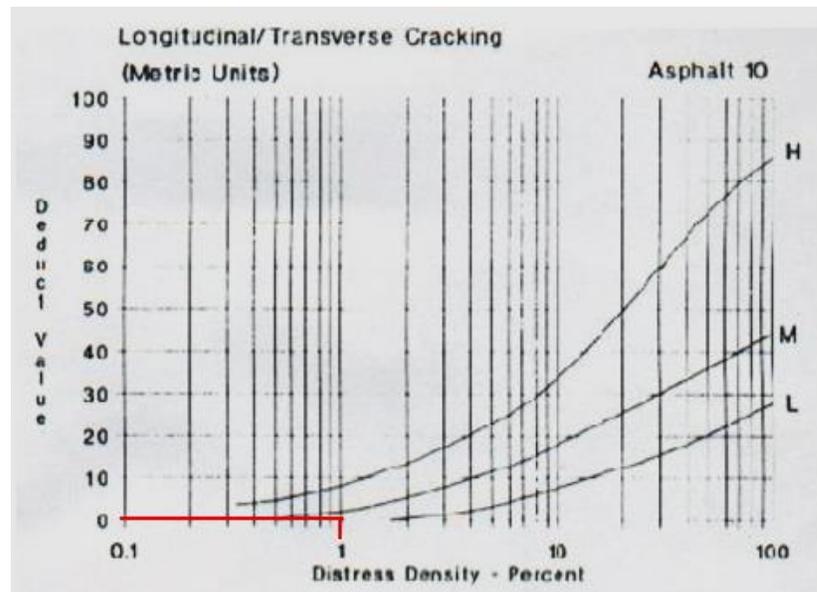
$$D = \frac{\text{Área falla}}{\text{Área unidad de muestra}} \times 100$$

$$D = \frac{2,33 \text{ m}^2}{230 \text{ m}^2} \times 100$$

$$D=1,01\%$$

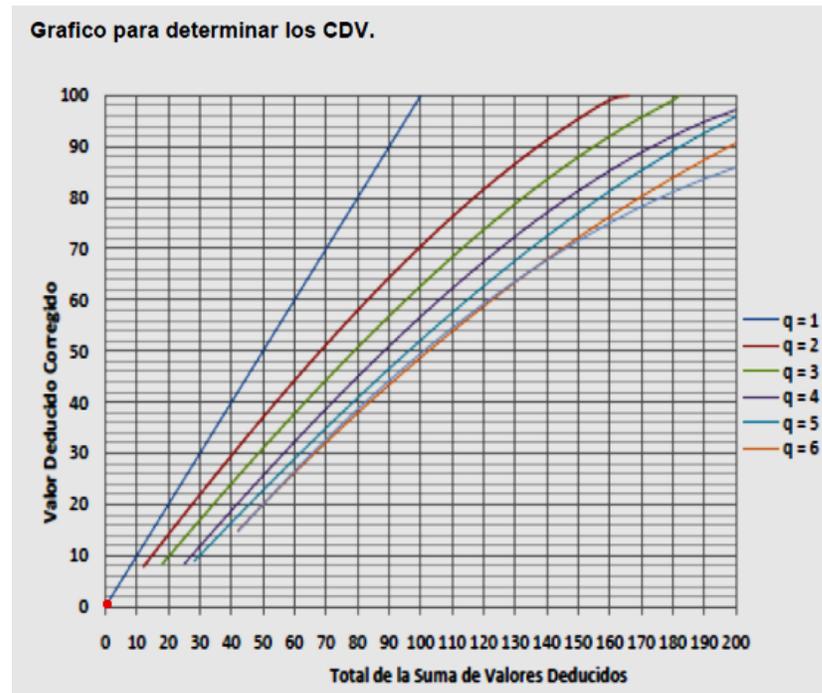
Para el cálculo de valor deducido se usan curvas como también tablas denominadas “valores deducidos” que se muestran a continuación, que están en función a la densidad y a la severidad de cada falla.

FIGURA N° 100. Curva de valor deducido de fisura longitudinal y transversal.



Fuente: Norma ASTM D6433-03.

Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” en lugar del mayor “valor deducido corregido”, CDV.

FIGURA N° 101. Curva para valor deducido corregido.

Fuente: Norma ASTM D6433-03.

Y por último el cálculo del PCI que es la resta de 100 menos el máximo valor deducido corregido y se clasifica según los rangos de clasificación.

$$\text{PCI} = 100 - \text{VDC}_{\text{máx}}$$

$$\text{PCI} = 100 - 0 = 100 \text{ [Excelente]}$$

TABLA N° 22. Rangos de clasificación del PCI.

Rangos de clasificación del PCI	
Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy malo
10-0	Fallado

Fuente: Manual del PCI (Norma ASTM D6433-03).

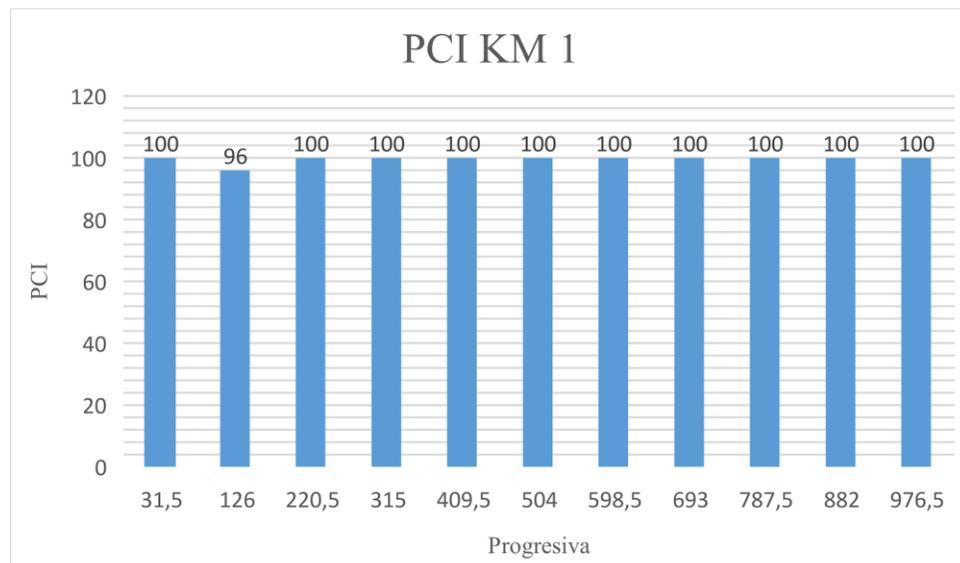
4.1.1.1. Resultados de la clasificación del PCI para cada kilómetro.

TABLA N° 23. Resultados del Km 1.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	PCI	Condición
		m	m	m ²		
0+031,5	1	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+126	4	31,50	7,30	230	96	Excelente
0+220,5	7	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+315	10	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+409,5	13	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+504	16	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+598,5	19	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+693	22	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+787,5	25	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+882	28	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+976,5	31	31,50	7,30	230	100	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICA N°1. PCI vs progresiva del km 1.



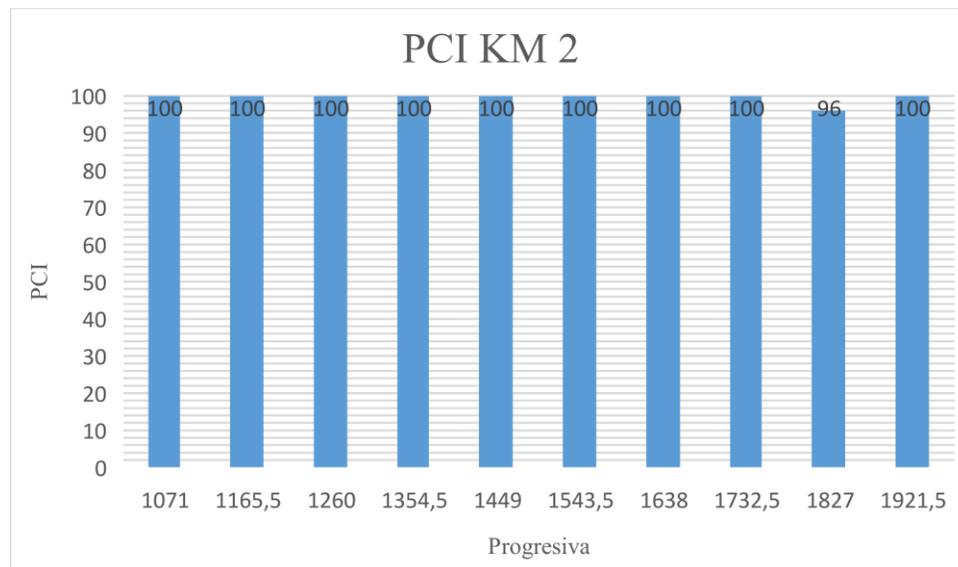
Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 24. Resultados del Km 2.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	PCI	Condición
		m	m	m ²		
1+071	34	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+165,5	37	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+260	40	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+354,5	43	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+449	46	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+543,5	49	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+638	52	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+732,5	55	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+827	58	31,50	7,30	230	96	Excelente
1+921,5	61	31,50	7,30	230	100	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICA N°2. PCI vs progresiva del km 2.

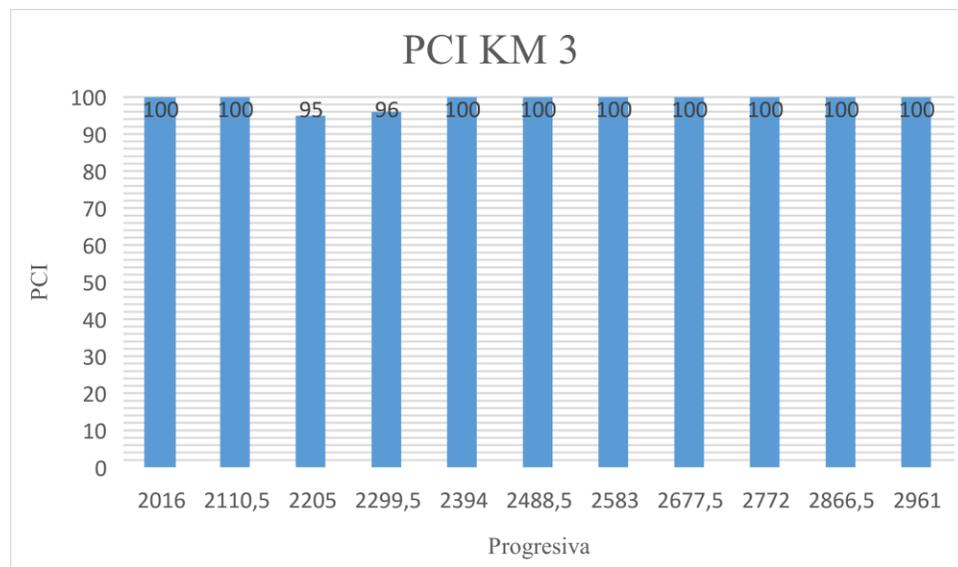


Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 25. Resultados del Km 3.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	PCI	Condición
		m	m	m ²		
2+016	64	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+110,5	67	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+205	70	31,50	7,30	230	95	Excelente
2+299,5	73	31,50	7,30	230	96	Excelente
2+394	76	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+488,5	79	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+583	82	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+677,5	85	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+772	88	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+866,5	91	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+961	94	31,50	7,30	230	100	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

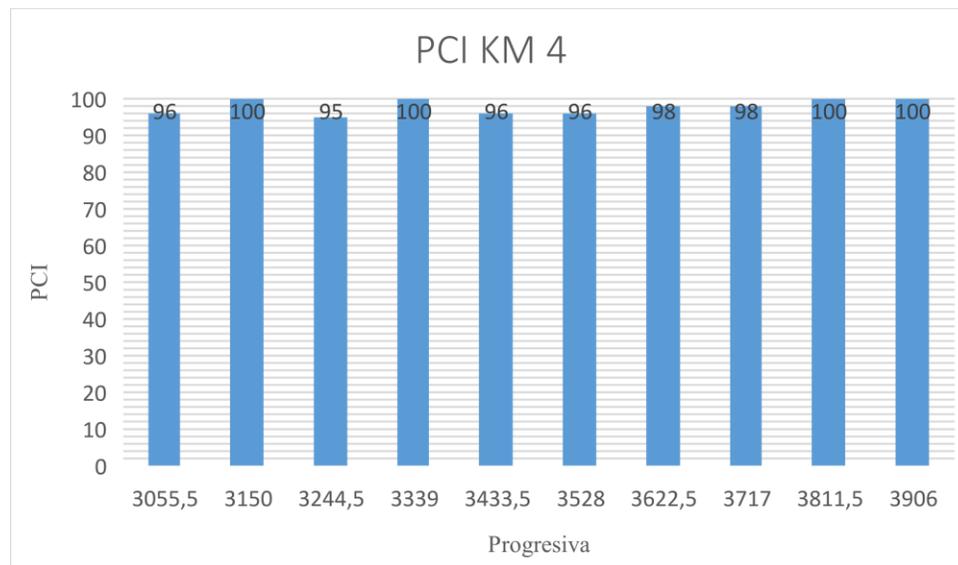
GRÁFICA N°3. PCI vs progresiva del km 3.

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 26. Resultados del Km 4.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	PCI	Condición
		m	m	m ²		
3+055,5	97	31,50	7,30	230	96	Excelente
3+150	100	31,50	7,30	230	100	Excelente
3+244,5	103	31,50	7,30	230	95	Excelente
3+339	106	31,50	7,30	230	100	Excelente
3+433,5	109	31,50	7,30	230	96	Excelente
3+528	112	31,50	7,30	230	96	Excelente
3+622,5	115	31,50	7,30	230	98	Excelente
3+717	118	31,50	7,30	230	98	Excelente
3+811,5	121	31,50	7,30	230	100	Excelente
3+906	124	31,50	7,30	230	100	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICA N°4. PCI vs progresiva del km 4.

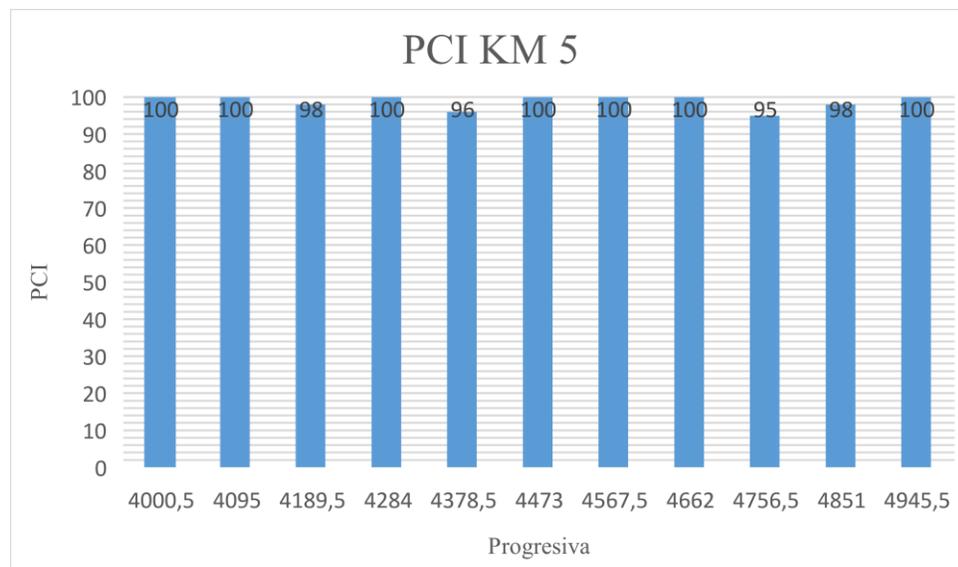
Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 27. Resultados del Km 5.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	PCI	Condición
		m	m	m ²		
4+000,5	127	31,50	7,30	230	100	Excelente
4+095	130	31,50	7,30	230	100	Excelente
4+189,5	133	31,50	7,30	230	98	Excelente
4+284	136	31,50	7,30	230	100	Excelente
4+378,5	139	31,50	7,30	230	96	Excelente
4+473	142	31,50	7,30	230	100	Excelente
4+567,5	145	31,50	7,30	230	100	Excelente
4+662	148	31,50	7,30	230	100	Excelente
4+756,5	151	31,50	7,30	230	95	Excelente
4+851	154	31,50	7,30	230	98	Excelente
4+945,5	157	31,50	7,30	230	100	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICA N°5. PCI vs progresiva del km 5.



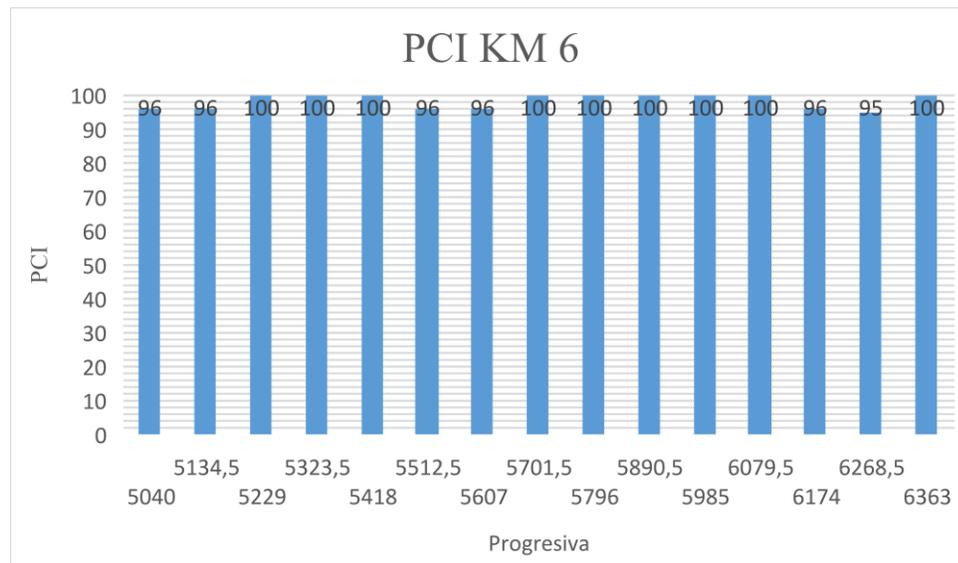
Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 28. Resultados del Km 6.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	PCI	Condición
		m	m	m ²		
5+040	160	31,50	7,30	230	96	Excelente
5+134,5	163	31,50	7,30	230	96	Excelente
5+229	166	31,50	7,30	230	100	Excelente
5+323,5	169	31,50	7,30	230	100	Excelente
5+418	172	31,50	7,30	230	100	Excelente
5+512,5	175	31,50	7,30	230	96	Excelente
5+607	178	31,50	7,30	230	96	Excelente
5+701,5	181	31,50	7,30	230	100	Excelente
5+796	184	31,50	7,30	230	100	Excelente
5+890,5	187	31,50	7,30	230	100	Excelente
5+985	190	31,50	7,30	230	100	Excelente
6+079,5	193	31,50	7,30	230	100	Excelente
6+174	196	31,50	7,30	230	96	Excelente
6+268,5	199	31,50	7,30	230	95	Excelente
6+363	202	31,50	7,30	230	100	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICA N°6. PCI vs progresiva del km 6.



Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 29. Resultados de todo el tramo.

Progresiva inicial	Progresiva final	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	PCI	Condición
			m	m	m ²		
0+000	0+031,5	1	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+031,5	0+126	4	31,50	7,30	230	96	Excelente
0+126	0+220,5	7	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+220,5	0+315	10	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+315	0+409,5	13	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+409,5	0+504	16	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+504	0+598,5	19	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+598,5	0+693	22	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+693	0+787,5	25	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+787,5	0+882	28	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+882	0+976,5	31	31,50	7,30	230	100	Excelente
0+976,5	1+071	34	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+071	1+165,5	37	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+165,5	1+260	40	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+260	1+354,5	43	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+354,5	1+449	46	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+449	1+543,5	49	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+543,5	1+638	52	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+638	1+732,5	55	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+732,5	1+827	58	31,50	7,30	230	96	Excelente
1+827	1+921,5	61	31,50	7,30	230	100	Excelente
1+921,5	2+016	64	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+016	2+110,5	67	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+110,5	2+205	70	31,50	7,30	230	95	Excelente
2+205	2+299,5	73	31,50	7,30	230	96	Excelente
2+299,5	2+394	76	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+394	2+488,5	79	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+488,5	2+583	82	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+583	2+677,5	85	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+677,5	2+772	88	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+772	2+866,5	91	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+866,5	2+961	94	31,50	7,30	230	100	Excelente
2+961	3+055,5	97	31,50	7,30	230	96	Excelente
3+055,5	3+150	100	31,50	7,30	230	100	Excelente
3+150	3+244,5	103	31,50	7,30	230	95	Excelente
3+244,5	3+339	106	31,50	7,30	230	100	Excelente
3+339	3+433,5	109	31,50	7,30	230	96	Excelente

3+433,5	3+528	112	31,50	7,30	230	96	Excelente
3+528	3+622,5	115	31,50	7,30	230	98	Excelente
3+622,5	3+717	118	31,50	7,30	230	98	Excelente
3+717	3+811,5	121	31,50	7,30	230	100	Excelente
3+811,5	3+906	124	31,50	7,30	230	100	Excelente
3+906	4+000,5	127	31,50	7,30	230	100	Excelente
4+000,5	4+095	130	31,50	7,30	230	100	Excelente
4+095	4+189,5	133	31,50	7,30	230	98	Excelente
4+189,5	4+284	136	31,50	7,30	230	100	Excelente
4+284	4+378,5	139	31,50	7,30	230	96	Excelente
4+378,5	4+473	142	31,50	7,30	230	100	Excelente
4+473	4+567,5	145	31,50	7,30	230	100	Excelente
4+567,5	4+662	148	31,50	7,30	230	100	Excelente
4+662	4+756,5	151	31,50	7,30	230	95	Excelente
4+756,5	4+851	154	31,50	7,30	230	98	Excelente
4+851	4+945,5	157	31,50	7,30	230	100	Excelente
4+945,5	5+040	160	31,50	7,30	230	96	Excelente
5+040	5+134,5	163	31,50	7,30	230	96	Excelente
5+134,5	5+229	166	31,50	7,30	230	100	Excelente
5+229	5+323,5	169	31,50	7,30	230	100	Excelente
5+323,5	5+418	172	31,50	7,30	230	100	Excelente
5+418	5+512,5	175	31,50	7,30	230	96	Excelente
5+512,5	5+607	178	31,50	7,30	230	96	Excelente
5+607	5+701,5	181	31,50	7,30	230	100	Excelente
5+701,5	5+796	184	31,50	7,30	230	100	Excelente
5+796	5+890,5	187	31,50	7,30	230	100	Excelente
5+890,5	5+985	190	31,50	7,30	230	100	Excelente
5+985	6+079,5	193	31,50	7,30	230	100	Excelente
6+079,5	6+174	196	31,50	7,30	230	96	Excelente
6+174	6+268,5	199	31,50	7,30	230	95	Excelente
6+268,5	6+363	202	31,50	7,30	230	100	Excelente
prom=						98,88	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.2. Análisis de los resultados según la clasificación del PCI.

Realizando el análisis según la calificación de PCI en los 6412 m de tramo se obtiene un valor de PCI de 98,88 en promedio de todo el tramo, dicho valor se encuentra calificado en una condición de pavimento EXCELENTE, notando que al relacionar las pequeñas fisuras que se encuentran en el pavimento en relación al área estudiada se vuelve casi despreciable por lo cual en la gran mayoría de los cálculos daba un PCI=100 y que al ser un pavimento nuevo se encuentra en excelente estado para transitar y no requiere reparación.

4.1.2. Procedimiento de cálculo del método IFI.

Se procederá a realizar el procedimiento del método IFI para carril de ida y vuelta.

TABLA N° 30. Corrección por temperatura del péndulo de fricción y promedios de círculo de arena con el respectivo volumen (ida).

Prog.	T °C	Corr.	Datos corregidos						Prom	Dp (cm)	V (cm ³)
0+000	29,00	1,845	92,85	93,85	93,85	93,85	92,85	93,45	26,30	25	
0+200	29,00	1,845	120,85	121,85	122,85	122,85	124,85	122,65	34,50	25	
0+400	30,00	2,00	117,00	114,00	115,00	117,00	116,00	115,80	30,20	25	
0+600	42,00	3,08	97,08	98,08	97,08	95,08	98,08	97,08	30,40	25	
0+800	41,00	3,045	95,05	97,05	95,05	96,05	97,05	96,05	29,60	25	
1+000	42,00	3,08	94,08	95,08	98,08	97,08	94,08	95,68	28,60	25	
1+200	42,00	3,08	98,08	97,08	96,08	97,08	95,08	96,68	30,40	25	
1+400	41,00	3,045	101,05	97,05	98,05	96,05	99,05	98,25	32,00	25	
1+600	41,00	3,045	103,05	102,05	100,05	102,05	103,05	102,05	30,20	25	
1+800	42,00	3,08	106,08	103,08	106,08	107,08	107,08	105,88	28,40	25	
2+000	41,00	3,045	107,05	106,05	107,05	107,05	106,05	106,65	28,60	25	
2+200	41,00	3,045	108,05	109,05	108,05	106,05	106,05	107,45	28,40	25	
2+400	42,00	3,08	110,08	109,08	110,08	111,08	116,08	111,28	28,40	25	
2+600	41,00	3,045	113,05	115,05	116,05	113,05	114,05	114,25	28,20	25	
2+800	41,00	3,045	117,05	117,05	118,05	119,05	120,05	118,25	26,80	25	
3+000	45,00	3,125	121,13	121,13	118,13	120,13	118,13	119,73	25,20	25	
3+200	45,00	3,125	121,13	118,13	118,13	121,13	121,13	119,93	25,20	25	
3+400	45,00	3,125	119,13	119,13	121,13	119,13	120,13	119,73	25,20	25	
3+600	46,00	3,12	120,12	119,12	120,12	121,12	117,12	119,52	25,30	25	
3+800	46,00	3,12	120,12	117,12	119,12	120,12	120,12	119,32	25,60	25	
4+000	47,00	3,105	120,11	115,11	117,11	118,11	119,11	117,91	25,90	25	
4+200	48,00	3,08	116,08	112,08	113,08	115,08	115,08	114,28	27,20	25	
4+400	48,00	3,08	112,08	109,08	110,08	111,08	111,08	110,68	27,60	25	
4+600	48,00	3,08	105,08	103,08	103,08	105,08	103,08	103,88	29,20	25	
4+800	47,00	3,105	99,11	100,11	101,11	100,11	99,11	99,91	28,30	25	
5+000	47,00	3,105	99,11	99,11	100,11	101,11	100,11	99,91	28,20	25	
5+200	47,00	3,105	93,11	95,11	96,11	97,11	97,11	95,71	27,20	25	
5+400	47,00	3,105	96,11	96,11	97,11	98,11	99,11	97,31	27,30	25	
5+600	47,00	3,105	108,11	108,11	110,11	110,11	111,11	109,51	26,10	25	
6+000	49,00	3,045	100,05	102,05	103,05	103,05	102,05	102,05	25,20	25	
6+200	49,00	3,045	105,05	107,05	107,05	109,05	108,05	107,25	24,00	25	
6+400	49,00	3,045	96,05	98,05	99,05	97,05	96,05	97,25	26,60	25	
Promedio del tramo =									107,35	27,82	prom.

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 31. Tratamiento estadístico mediante error porcentual de los ensayos.

Prog.	Círculo de arena					DV	E %	Péndulo Británico					DV	E %	
	Error absoluto							Error absoluto							
0+000	0,70	0,30	0,20	1,30	0,70	0,64	2,43	0,61	0,39	0,39	0,39	0,61	0,48	0,51	
0+200	0,50	1,50	1,00	0,00	0,00	0,60	1,74	1,81	0,81	0,19	0,19	2,19	1,04	0,85	
0+400	0,30	0,20	0,70	0,80	0,20	0,44	1,46	1,20	1,80	0,80	1,20	0,20	1,04	0,90	
0+600	0,40	0,10	0,40	1,10	0,40	0,48	1,58	0,00	1,00	0,00	2,00	1,00	0,80	0,82	
0+800	0,10	0,60	0,40	0,90	0,60	0,52	1,76	1,01	1,00	1,01	0,00	1,00	0,80	0,83	
1+000	0,40	0,40	0,60	0,40	0,60	0,48	1,68	1,60	0,60	2,40	1,40	1,60	1,52	1,59	
1+200	0,10	0,40	0,10	0,60	0,40	0,32	1,05	1,40	0,40	0,60	0,40	1,60	0,88	0,91	
1+400	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,40	1,25	2,80	1,21	0,20	2,21	0,80	1,44	1,47	
1+600	0,20	0,20	1,30	0,20	0,70	0,52	1,72	1,00	0,00	2,01	0,00	1,00	0,80	0,78	
1+800	0,60	0,40	1,10	0,40	0,90	0,68	2,39	0,20	2,80	0,20	1,20	1,20	1,12	1,06	
2+000	0,60	0,10	0,40	0,40	0,10	0,32	1,12	0,39	0,61	0,39	0,39	0,61	0,48	0,45	
2+200	0,10	0,60	0,40	0,10	0,40	0,32	1,13	0,59	1,60	0,59	1,41	1,41	1,12	1,04	
2+400	0,40	0,10	0,40	0,10	0,60	0,32	1,13	1,20	2,20	1,20	0,20	4,80	1,92	1,73	
2+600	0,80	0,30	0,70	0,20	0,20	0,44	1,56	1,21	0,80	1,80	1,21	0,20	1,04	0,91	
2+800	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,24	0,90	1,21	1,21	0,20	0,80	1,80	1,04	0,88	
3+000	0,30	0,80	0,70	0,20	0,20	0,44	1,75	1,40	1,40	1,61	0,39	1,61	1,28	1,07	
3+200	0,20	0,70	0,80	0,20	0,30	0,44	1,75	1,19	1,81	1,81	1,19	1,19	1,44	1,20	
3+400	0,70	0,20	0,20	0,30	0,80	0,44	1,75	0,61	0,61	1,40	0,61	0,39	0,72	0,60	
3+600	0,30	0,30	0,70	0,30	0,20	0,36	1,42	0,60	0,40	0,60	1,60	2,40	1,12	0,94	
3+800	0,10	0,40	0,90	0,60	0,60	0,52	2,03	0,80	2,20	0,20	0,80	0,80	0,96	0,80	
4+000	0,10	1,60	1,10	1,40	1,40	1,12	4,32	2,20	2,80	0,80	0,20	1,20	1,44	1,22	
4+200	0,20	0,80	0,20	0,80	1,20	0,64	2,35	1,80	2,20	1,20	0,80	0,80	1,36	1,19	
4+400	0,10	1,40	0,10	0,60	0,60	0,56	2,03	1,40	1,60	0,60	0,40	0,40	0,88	0,80	
4+600	0,20	1,30	1,20	0,30	0,20	0,64	2,19	1,20	0,80	0,80	1,20	0,80	0,96	0,92	
4+800	0,70	0,80	0,30	0,70	0,30	0,56	1,98	0,80	0,20	1,20	0,20	0,80	0,64	0,64	
5+000	0,70	0,80	0,70	0,80	0,20	0,64	2,27	0,80	0,80	0,20	1,20	0,20	0,64	0,64	
5+200	1,20	0,80	0,20	0,80	0,20	0,64	2,35	2,60	0,60	0,40	1,40	1,40	1,28	1,34	
5+400	0,30	0,20	0,30	0,20	0,20	0,24	0,88	1,21	1,21	0,20	0,80	1,80	1,04	1,07	
5+600	0,60	0,90	0,60	0,40	0,10	0,52	1,99	1,41	1,41	0,59	0,59	1,60	1,12	1,02	
6+000	0,20	0,30	0,30	0,20	0,20	0,24	0,95	2,01	0,00	1,00	1,00	0,00	0,80	0,78	
6+200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,21	0,20	0,20	1,80	0,80	1,04	0,97	
6+400	0,60	0,40	0,90	0,10	0,60	0,52	1,95	1,21	0,80	1,80	0,20	1,21	1,04	1,07	
Valor máximo =							4,32	Valor máximo =							1,73

Fuente: Elaboración propia.

Determinación del IFI para el tramo completo:

a) Determinación de la textura del pavimento.

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

Donde:

H = Tx = Altura de la textura media.

V= Volumen de arena utilizado. V=25000 m³.

D= Diámetro medio del círculo de arena.

b) 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

c) Determinación del parámetro F60.

$$FR60 = FRs \times e^{\left(\frac{S-60}{Sp}\right)}$$

Donde:

FRs= Valor 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

Para el cálculo se presenta la siguiente tabla usando las ecuaciones mostradas anteriormente:

TABLA N° 32. Tabla de los cálculos para carril ida.

Prog.	FRs	Dp	H = Tx	Sp	FR60	F60
0+000	93,45	26,30	0,46	40,67	27,33	0,37
0+200	122,65	34,50	0,27	18,74	8,51	0,17
0+400	115,80	30,20	0,35	28,06	19,49	0,29
0+600	97,08	30,40	0,34	27,49	15,75	0,25
0+800	96,05	29,60	0,36	29,65	17,79	0,27
1+000	95,68	28,60	0,39	32,60	20,65	0,29
1+200	96,68	30,40	0,34	27,49	15,68	0,25
1+400	98,25	32,00	0,31	23,74	11,96	0,21
1+600	102,05	30,20	0,35	28,06	17,18	0,26
1+800	105,88	28,40	0,39	33,29	23,58	0,33
2+000	106,65	28,60	0,39	32,60	23,01	0,32
2+200	107,45	28,40	0,39	33,29	23,93	0,33
2+400	111,28	28,40	0,39	33,29	24,78	0,34
2+600	114,25	28,20	0,40	33,85	26,09	0,36
2+800	118,25	26,80	0,44	38,74	32,53	0,43
3+000	119,73	25,20	0,50	45,33	39,74	0,50
3+200	119,93	25,20	0,50	45,33	39,80	0,50
3+400	119,73	25,20	0,50	45,33	39,74	0,50
3+600	119,52	25,30	0,49	44,88	39,23	0,49
3+800	119,32	25,60	0,49	43,63	37,93	0,48
4+000	117,91	25,90	0,48	42,38	36,24	0,47
4+200	114,28	27,20	0,43	37,26	29,87	0,39
4+400	110,68	27,60	0,42	35,90	27,49	0,37
4+600	103,88	29,20	0,37	30,79	20,47	0,29
4+800	99,91	28,30	0,39	33,51	22,47	0,32
5+000	99,91	28,20	0,40	33,85	22,81	0,32
5+200	95,71	27,20	0,43	37,26	25,02	0,35
5+400	97,31	27,30	0,43	36,92	25,12	0,35
5+600	109,51	26,10	0,47	41,47	32,79	0,43
6+000	102,05	25,20	0,50	45,33	33,87	0,44
6+200	107,25	24,00	0,55	51,24	40,42	0,51
6+400	97,25	26,60	0,45	39,54	27,46	0,37
Promedio =			0,42	35,99		0,36

Fuente: Elaboración propia.

d) Finalmente se puede calcular la fricción a cualquier velocidad.

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

Donde:

F(60) = La fricción a una velocidad de 60 km/hs. (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.

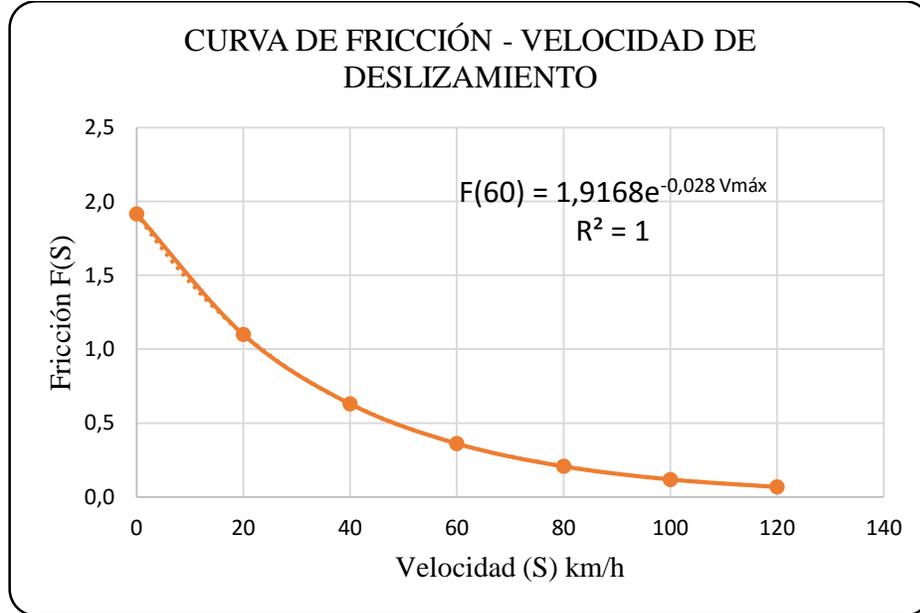
TABLA N°33. Fricción encontrada a partir de la velocidad S.

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F(S)	1,92	1,10	0,63	0,36	0,21	0,12	0,07

Fuente: Elaboración propia.

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

GRÁFICA N° 7. Curva de fricción vs velocidad de deslizamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Velocidad máxima segura = 58,46 km/h.

TABLA N° 34. Corrección por temperatura del péndulo de fricción y promedios de círculo de arena con el respectivo volumen (vuelta).

Prog.	T °C	corr.	Datos corregidos					Prom	Dp (cm)	V (cm ³)
0+000	43,00	3,105	123,11	124,11	126,11	122,11	124,11	123,91	34,10	25
0+200	43,00	3,105	124,11	121,11	122,11	123,11	125,11	123,11	34,20	25
0+400	44,00	3,12	122,12	124,12	123,12	124,12	123,12	123,32	30,90	25
0+600	42,00	3,08	101,08	99,08	98,08	96,08	98,08	98,48	30,60	25
0+800	44,00	3,12	98,12	97,12	96,12	96,12	98,12	97,12	29,20	25
1+000	44,00	3,12	113,12	107,12	108,12	112,12	112,12	110,52	26,20	25
1+200	42,00	3,08	101,08	98,08	99,08	97,08	98,08	98,68	29,10	25
1+400	42,00	3,08	98,08	98,08	97,08	100,08	99,08	98,48	31,93	25
1+600	43,00	3,105	102,11	100,11	101,11	103,11	101,11	101,51	30,80	25
1+800	42,00	3,08	103,08	107,08	106,08	105,08	106,08	105,48	28,60	25
2+000	42,00	3,08	106,08	107,08	108,08	106,08	107,08	106,88	28,10	25
2+200	44,00	3,12	109,12	106,12	108,12	108,12	108,12	107,92	28,40	25
2+400	44,00	3,12	111,12	110,12	116,12	111,12	110,12	111,72	28,30	25
2+600	43,00	3,105	115,11	113,11	114,11	114,11	116,11	114,51	28,40	25
2+800	44,00	3,12	116,12	119,12	120,12	117,12	118,12	118,12	25,90	25
3+000	45,00	3,125	117,13	120,13	121,13	119,13	118,13	119,13	28,20	25
3+200	45,00	3,125	119,13	120,13	116,13	121,13	122,13	119,73	25,80	25
3+400	44,00	3,12	120,12	121,12	118,12	121,12	119,12	119,92	25,20	25
3+600	44,00	3,12	117,12	121,12	118,12	122,12	120,12	119,72	26,60	25
3+800	47,00	3,105	121,11	118,11	120,11	121,11	119,11	119,91	25,70	25
4+000	48,00	3,08	98,08	93,08	96,08	98,08	98,08	96,68	25,60	25
4+200	48,00	3,08	98,08	96,08	96,08	97,08	98,08	97,08	27,40	25
4+400	48,00	3,08	112,08	109,08	110,08	111,08	110,08	110,48	27,60	25
4+600	47,00	3,105	103,11	105,11	106,11	103,11	106,11	104,71	29,60	25
4+800	47,00	3,105	101,11	103,11	99,11	100,11	103,11	101,31	28,60	25
5+000	47,00	3,105	100,11	98,11	99,11	101,11	103,11	100,31	28,40	25
5+200	47,00	3,105	124,11	125,11	121,11	123,11	126,11	123,91	25,10	25
5+400	48,00	3,08	103,08	97,08	100,08	98,08	97,08	99,08	27,40	25
5+600	48,00	3,08	99,08	98,08	101,08	100,08	98,08	99,28	27,00	25
6+000	49,00	3,045	102,05	99,05	100,05	101,05	103,05	101,05	25,60	25
6+200	49,00	3,045	107,05	109,05	103,05	105,05	108,05	106,45	26,20	25
6+400	49,00	3,045	98,05	101,05	96,05	97,05	99,05	98,25	26,60	25
Promedio del tramo =								108,65	28,17	prom

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 35. Tratamiento estadístico mediante error porcentual de los ensayos.

Prog.	Círculo de arena					DV	E %	Péndulo Británico					DV	E %	
	Error absoluto							Error absoluto							
0+000	0,10	0,60	1,10	0,40	1,40	0,72	2,11	0,80	0,20	2,20	1,80	0,20	1,04	0,84	
0+200	0,30	0,20	0,20	0,80	0,70	0,44	1,29	1,00	2,01	1,01	0,00	2,00	1,20	0,98	
0+400	0,90	1,10	0,60	0,10	0,90	0,72	2,33	1,20	0,80	0,20	0,80	0,20	0,64	0,52	
0+600	0,40	0,10	0,60	0,40	0,10	0,32	1,05	2,60	0,60	0,40	2,40	0,40	1,28	1,30	
0+800	0,20	1,20	0,30	1,30	0,20	0,64	2,19	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,82	
1+000	0,80	0,30	0,20	0,70	0,20	0,44	1,68	2,60	3,40	2,40	1,60	1,60	2,32	2,10	
1+200	0,90	1,40	0,10	1,10	1,10	0,92	3,16	2,40	0,60	0,40	1,60	0,60	1,12	1,13	
1+400	0,07	0,07	1,22	0,93	0,43	0,54	1,70	0,40	0,40	1,40	1,60	0,60	0,88	0,89	
1+600	0,20	1,30	0,70	1,20	0,80	0,84	2,73	0,59	1,41	0,41	1,60	0,41	0,88	0,87	
1+800	0,60	1,60	0,90	0,10	1,40	0,92	3,22	2,40	1,60	0,60	0,40	0,60	1,12	1,06	
2+000	0,90	0,40	1,10	0,10	0,10	0,52	1,85	0,80	0,20	1,20	0,80	0,20	0,64	0,60	
2+200	1,40	0,10	0,90	1,60	0,60	0,92	3,24	1,20	1,80	0,20	0,20	0,20	0,72	0,67	
2+400	0,20	0,70	1,30	0,70	0,30	0,64	2,26	0,60	1,60	4,40	0,60	1,60	1,76	1,58	
2+600	0,40	0,60	0,90	0,40	1,10	0,68	2,39	0,59	1,41	0,41	0,41	1,60	0,88	0,77	
2+800	0,10	0,40	0,10	0,90	1,10	0,52	2,01	2,00	1,00	2,00	1,00	0,00	1,20	1,02	
3+000	0,20	0,70	0,30	0,20	0,80	0,44	1,56	2,01	1,00	2,00	0,00	1,01	1,20	1,01	
3+200	0,20	1,20	0,80	0,20	0,80	0,64	2,48	0,61	0,39	3,61	1,40	2,40	1,68	1,40	
3+400	0,80	1,20	0,30	0,20	0,30	0,56	2,22	0,20	1,20	1,80	1,20	0,80	1,04	0,87	
3+600	2,40	1,10	1,60	0,90	0,60	1,32	4,96	2,60	1,40	1,60	2,40	0,40	1,68	1,40	
3+800	0,80	1,30	0,70	1,20	0,20	0,84	3,27	1,20	1,80	0,20	1,20	0,80	1,04	0,87	
4+000	0,10	0,40	0,40	0,10	0,60	0,32	1,25	1,40	3,60	0,60	1,40	1,40	1,68	1,74	
4+200	0,40	1,10	0,40	0,60	0,90	0,68	2,48	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,80	0,82	
4+400	0,10	1,40	0,10	0,60	0,60	0,56	2,03	1,60	1,40	0,40	0,60	0,40	0,88	0,80	
4+600	0,60	0,60	1,40	1,10	0,90	0,92	3,11	1,60	0,40	1,40	1,60	1,40	1,28	1,22	
4+800	1,40	0,40	1,10	0,60	0,10	0,72	2,52	0,20	1,80	2,21	1,21	1,80	1,44	1,42	
5+000	0,90	0,40	0,60	0,60	0,10	0,52	1,83	0,20	2,21	1,21	0,80	2,80	1,44	1,44	
5+200	0,10	1,10	0,10	0,10	1,40	0,56	2,23	0,20	1,20	2,80	0,80	2,20	1,44	1,16	
5+400	0,60	0,90	0,40	0,60	0,10	0,52	1,90	4,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,02	
5+600	0,00	0,50	1,00	1,00	0,50	0,60	2,22	0,20	1,20	1,80	0,80	1,20	1,04	1,05	
6+000	0,40	0,60	1,10	1,40	0,10	0,72	2,81	1,00	2,01	1,01	0,00	2,00	1,20	1,19	
6+200	1,80	0,20	1,70	0,70	0,80	1,04	3,97	0,59	2,60	3,41	1,41	1,60	1,92	1,80	
6+400	0,90	1,40	0,10	0,60	1,60	0,92	3,46	0,20	2,80	2,21	1,21	0,80	1,44	1,47	
Valor máximo =							4,96	Valor máximo =							2,10

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 36. Tabla de los cálculos para carril de vuelta.

Prog.	FRs	Dp	H = Tx	Sp	FR60	F60
0+000	123,91	34,10	0,27	19,54	9,59	0,18
0+200	123,11	34,20	0,27	19,31	9,24	0,18
0+400	123,32	30,90	0,33	26,24	18,35	0,27
0+600	98,48	30,60	0,34	27,04	15,50	0,24
0+800	97,12	29,20	0,37	30,79	19,14	0,28
1+000	110,52	26,20	0,46	41,13	32,77	0,43
1+200	98,68	29,10	0,38	31,13	19,80	0,29
1+400	98,48	31,93	0,31	23,86	12,11	0,21
1+600	101,51	30,80	0,34	26,58	15,47	0,24
1+800	105,48	28,60	0,39	32,60	22,76	0,32
2+000	106,88	28,10	0,40	34,20	24,77	0,34
2+200	107,92	28,40	0,39	33,29	24,03	0,34
2+400	111,72	28,30	0,39	33,51	25,13	0,35
2+600	114,51	28,40	0,39	33,29	25,50	0,35
2+800	118,12	25,90	0,47	42,38	36,30	0,47
3+000	119,13	28,20	0,40	33,85	27,20	0,37
3+200	119,73	25,80	0,48	42,72	37,14	0,48
3+400	119,92	25,20	0,50	45,33	39,80	0,50
3+600	119,72	26,60	0,45	39,54	33,80	0,44
3+800	119,91	25,70	0,48	43,17	37,66	0,48
4+000	96,68	25,60	0,49	43,63	30,73	0,40
4+200	97,08	27,40	0,42	36,58	24,75	0,34
4+400	110,48	27,60	0,42	35,90	27,44	0,37
4+600	104,71	29,60	0,36	29,65	19,39	0,29
4+800	101,31	28,60	0,39	32,60	21,86	0,31
5+000	100,31	28,40	0,39	33,29	22,34	0,32
5+200	123,91	25,10	0,505	45,79	41,58	0,52
5+400	99,08	27,40	0,42	36,58	25,26	0,35
5+600	99,28	27,00	0,44	38,06	26,69	0,36
6+000	101,05	25,60	0,49	43,63	32,12	0,42
6+200	106,45	26,20	0,46	41,13	31,56	0,42
6+400	98,25	26,60	0,45	39,54	27,74	0,37
Promedio =			0,41	34,87		0,35

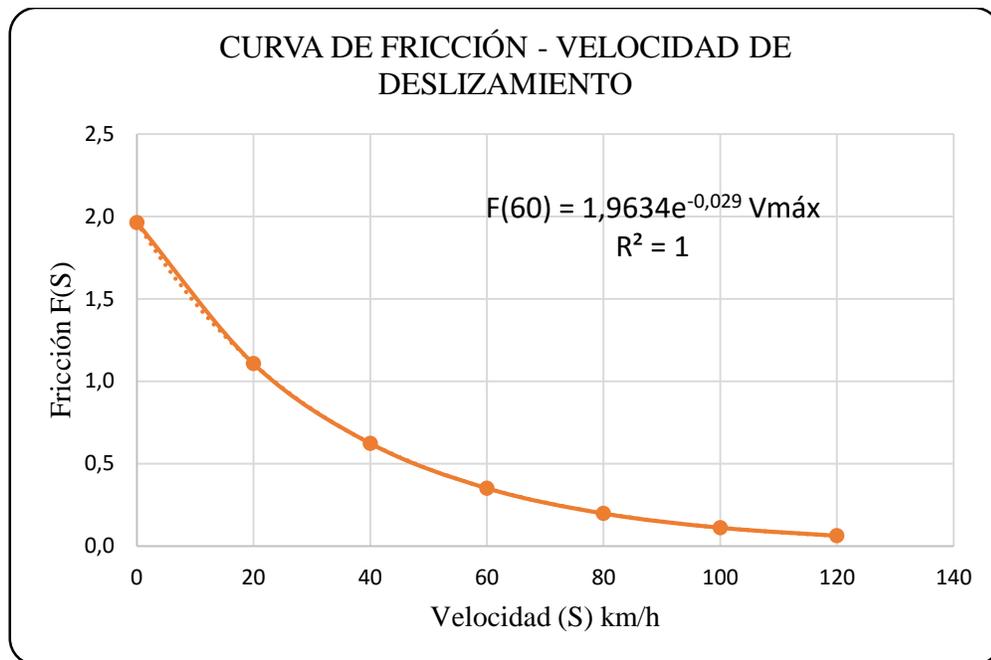
Fuente: Elaboración propia.

TABLA N°37. Fricción encontrada a partir de la velocidad S.

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F (S)	1,96	1,11	0,62	0,35	0,19	0,11	0,06

Fuente: Elaboración propia.

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

GRÁFICA N° 8. Curva de fricción vs velocidad de deslizamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Velocidad máxima segura = 57,27 km/h.

4.1.2.1. Resultados del método IFI.

Según criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta la profundidad de textura (PT) para el carril de ida.

TABLA N°38. Resultados según la PT para carril de ida.

Prog.	Medidas con el círculo de arena (cm)					Promedio (cm)	Promedio (mm)	PT=H=Tx	Calificación
0+000	27,00	26,00	26,50	25,00	27,00	26,30	263	0,46	Media
0+200	35,00	33,00	35,50	34,50	34,50	34,50	345	0,27	Fina
0+400	30,50	30,00	29,50	31,00	30,00	30,20	302	0,35	Fina
0+600	30,00	30,50	30,00	31,50	30,00	30,40	304	0,34	Fina
0+800	29,50	29,00	30,00	30,50	29,00	29,60	296	0,36	Fina
1+000	29,00	29,00	28,00	29,00	28,00	28,60	286	0,39	Fina
1+200	30,50	30,00	30,50	31,00	30,00	30,40	304	0,34	Fina
1+400	31,00	32,00	33,00	32,00	32,00	32,00	320	0,31	Fina
1+600	30,00	30,00	31,50	30,00	29,50	30,20	302	0,35	Fina
1+800	29,00	28,00	29,50	28,00	27,50	28,40	284	0,39	Fina
2+000	28,00	28,50	29,00	29,00	28,50	28,60	286	0,39	Fina
2+200	28,50	29,00	28,00	28,50	28,00	28,40	284	0,39	Fina
2+400	28,00	28,50	28,00	28,50	29,00	28,40	284	0,39	Fina
2+600	29,00	28,50	27,50	28,00	28,00	28,20	282	0,40	Media
2+800	27,00	26,50	27,00	26,50	27,00	26,80	268	0,44	Media
3+000	25,50	26,00	24,50	25,00	25,00	25,20	252	0,50	Media
3+200	25,00	24,50	26,00	25,00	25,50	25,20	252	0,50	Media
3+400	24,50	25,00	25,00	25,50	26,00	25,20	252	0,50	Media
3+600	25,00	25,00	26,00	25,00	25,50	25,30	253	0,49	Media
3+800	25,50	26,00	26,50	25,00	25,00	25,60	256	0,48	Media
4+000	26,00	27,50	27,00	24,50	24,50	25,90	259	0,47	Media
4+200	27,00	28,00	27,00	28,00	26,00	27,20	272	0,43	Media
4+400	27,50	29,00	27,50	27,00	27,00	27,60	276	0,41	Media
4+600	29,00	30,50	28,00	29,50	29,00	29,20	292	0,37	Fina
4+800	29,00	27,50	28,00	29,00	28,00	28,30	283	0,39	Media
5+000	27,50	29,00	27,50	29,00	28,00	28,20	282	0,40	Media
5+200	26,00	28,00	27,00	28,00	27,00	27,20	272	0,43	Media
5+400	27,00	27,50	27,00	27,50	27,50	27,30	273	0,43	Media
5+600	25,50	27,00	25,50	26,50	26,00	26,10	261	0,47	Media
6+000	25,00	25,50	25,50	25,00	25,00	25,20	252	0,50	Media
6+200	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	240	0,55	Media
6+400	26,00	27,00	27,50	26,50	26,00	26,60	266	0,45	Media
						Prom.=	0,42		Media

Fuente: Elaboración propia.

Según criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta los valores de coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) para carril de ida.

TABLA N°39. Resultados según el CRD para carril de ida.

Prog.	Medidas de BPN con péndulo de fricción					Promedio	CRD	Calificación
0+000	91,00	92,00	92,00	92,00	91,00	91,60	0,92	Bueno
0+200	119,00	120,00	121,00	121,00	123,00	120,80	1,21	Bueno
0+400	115,00	112,00	113,00	115,00	114,00	113,80	1,14	Bueno
0+600	94,00	95,00	94,00	92,00	95,00	94,00	0,94	Bueno
0+800	92,00	94,00	92,00	93,00	94,00	93,00	0,93	Bueno
1+000	91,00	92,00	95,00	94,00	91,00	92,60	0,93	Bueno
1+200	95,00	94,00	93,00	94,00	92,00	93,60	0,94	Bueno
1+400	98,00	94,00	95,00	93,00	96,00	95,20	0,95	Bueno
1+600	100,00	99,00	97,00	99,00	100,00	99,00	0,99	Bueno
1+800	103,00	100,00	103,00	104,00	104,00	102,80	1,03	Bueno
2+000	104,00	103,00	104,00	104,00	103,00	103,60	1,04	Bueno
2+200	105,00	106,00	105,00	103,00	103,00	104,40	1,05	Bueno
2+400	107,00	106,00	107,00	108,00	113,00	108,20	1,08	Bueno
2+600	110,00	112,00	113,00	110,00	111,00	111,20	1,11	Bueno
2+800	114,00	114,00	115,00	116,00	117,00	115,20	1,15	Bueno
3+000	118,00	118,00	115,00	117,00	115,00	116,60	1,17	Bueno
3+200	118,00	115,00	115,00	118,00	118,00	116,80	1,17	Bueno
3+400	116,00	116,00	118,00	116,00	117,00	116,60	1,17	Bueno
3+600	117,00	116,00	117,00	118,00	114,00	116,40	1,17	Bueno
3+800	117,00	114,00	116,00	117,00	117,00	116,20	1,16	Bueno
4+000	117,00	112,00	114,00	115,00	116,00	114,80	1,15	Bueno
4+200	113,00	109,00	110,00	112,00	112,00	111,20	1,11	Bueno
4+400	109,00	106,00	107,00	108,00	108,00	107,60	1,08	Bueno
4+600	102,00	100,00	100,00	102,00	100,00	100,80	1,01	Bueno
4+800	96,00	97,00	98,00	97,00	96,00	96,80	0,97	Bueno
5+000	96,00	96,00	97,00	98,00	97,00	96,80	0,97	Bueno
5+200	90,00	92,00	93,00	94,00	94,00	92,60	0,93	Bueno
5+400	93,00	93,00	94,00	95,00	96,00	94,20	0,94	Bueno
5+600	105,00	105,00	107,00	107,00	108,00	106,40	1,07	Bueno
6+000	97,00	99,00	100,00	100,00	99,00	99,00	0,99	Bueno
6+200	102,00	104,00	104,00	106,00	105,00	104,20	1,04	Bueno
6+400	93,00	95,00	96,00	94,00	93,00	94,20	0,94	Bueno
						Prom.=	1,05	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Según criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta la profundidad de textura (PT) para el carril de vuelta.

TABLA N°40. Resultados según la PT para carril de vuelta.

Prog.	Medidas con el círculo de arena (cm)					Promedio (cm)	Promedio (mm)	PT=H =Tx	Calificación
0+000	34,00	33,50	33,00	34,50	35,50	34,10	341	0,27	Fina
0+200	34,50	34,00	34,00	35,00	33,50	34,20	342	0,27	Fina
0+400	30,00	32,00	31,50	31,00	30,00	30,90	309	0,33	Fina
0+600	31,00	30,50	30,00	31,00	30,50	30,60	306	0,34	Fina
0+800	29,00	28,00	29,50	30,50	29,00	29,20	292	0,37	Fina
1+000	27,00	26,50	26,00	25,50	26,00	26,20	262	0,46	Media
1+200	30,00	30,50	29,00	28,00	28,00	29,10	291	0,38	Fina
1+400	32,00	32,00	33,15	31,00	31,50	31,93	319,30	0,31	Fina
1+600	31,00	29,50	31,50	32,00	30,00	30,80	308	0,34	Fina
1+800	28,00	27,00	29,50	28,50	30,00	28,60	286	0,39	Fina
2+000	29,00	28,50	27,00	28,00	28,00	28,10	281	0,40	Media
2+200	27,00	28,50	27,50	30,00	29,00	28,40	284	0,39	Fina
2+400	28,50	29,00	27,00	29,00	28,00	28,30	283	0,39	Fina
2+600	28,00	29,00	27,50	28,00	29,50	28,40	284	0,39	Fina
2+800	26,00	25,50	26,00	25,00	27,00	25,90	259	0,48	Media
3+000	28,00	27,50	28,50	28,00	29,00	28,20	282	0,40	Media
3+200	26,00	27,00	25,00	26,00	25,00	25,80	258	0,48	Media
3+400	26,00	24,00	25,50	25,00	25,50	25,20	252	0,50	Media
3+600	29,00	25,50	25,00	27,50	26,00	26,60	266	0,45	Media
3+800	26,50	27,00	25,00	24,50	25,50	25,70	257	0,48	Media
4+000	25,50	26,00	26,00	25,50	25,00	25,60	256	0,49	Media
4+200	27,00	28,50	27,00	28,00	26,50	27,40	274	0,42	Media
4+400	27,50	29,00	27,50	27,00	27,00	27,60	276	0,42	Media
4+600	29,00	29,00	31,00	28,50	30,50	29,60	296	0,36	Fina
4+800	30,00	29,00	27,50	28,00	28,50	28,60	286	0,39	Fina
5+000	27,50	28,00	29,00	29,00	28,50	28,40	284	0,39	Fina
5+200	25,00	24,00	25,00	25,00	26,50	25,10	251	0,51	Media
5+400	28,00	26,50	27,00	28,00	27,50	27,40	274	0,42	Media
5+600	27,00	26,50	28,00	26,00	27,50	27,00	270	0,44	Media
6+000	26,00	25,00	24,50	27,00	25,50	25,60	256	0,49	Media
6+200	28,00	26,00	24,50	25,50	27,00	26,20	262	0,46	Media
6+400	27,50	28,00	26,50	26,00	25,00	26,60	266	0,45	Media
						Prom.=	0,41		Media

Fuente: Elaboración propia.

Según criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta los valores de coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) para carril de vuelta.

TABLA N°41. Resultados según el CRD para el carril de vuelta.

Prog.	Medidas de BPN con péndulo de fricción					Promedio	CRD	Calificación
0+000	120,00	121,00	123,00	119,00	121,00	120,80	1,21	Bueno
0+200	121,00	118,00	119,00	120,00	122,00	120,00	1,20	Bueno
0+400	119,00	121,00	120,00	121,00	120,00	120,20	1,20	Bueno
0+600	98,00	96,00	95,00	93,00	95,00	95,40	0,96	Bueno
0+800	95,00	94,00	93,00	93,00	95,00	94,00	0,94	Bueno
1+000	110,00	104,00	105,00	109,00	109,00	107,40	1,08	Bueno
1+200	98,00	95,00	96,00	94,00	95,00	95,60	0,96	Bueno
1+400	95,00	95,00	94,00	97,00	96,00	95,40	0,96	Bueno
1+600	99,00	97,00	98,00	100,00	98,00	98,40	0,99	Bueno
1+800	100,00	104,00	103,00	102,00	103,00	102,40	1,03	Bueno
2+000	103,00	104,00	105,00	103,00	104,00	103,80	1,04	Bueno
2+200	106,00	103,00	105,00	105,00	105,00	104,80	1,05	Bueno
2+400	108,00	107,00	113,00	108,00	107,00	108,60	1,09	Bueno
2+600	112,00	110,00	111,00	111,00	113,00	111,40	1,12	Bueno
2+800	113,00	116,00	117,00	114,00	115,00	115,00	1,15	Bueno
3+000	114,00	117,00	118,00	116,00	115,00	116,00	1,16	Bueno
3+200	116,00	117,00	113,00	118,00	119,00	116,60	1,17	Bueno
3+400	117,00	118,00	115,00	118,00	116,00	116,80	1,17	Bueno
3+600	114,00	118,00	115,00	119,00	117,00	116,60	1,17	Bueno
3+800	118,00	115,00	117,00	118,00	116,00	116,80	1,17	Bueno
4+000	95,00	90,00	93,00	95,00	95,00	93,60	0,94	Bueno
4+200	95,00	93,00	93,00	94,00	95,00	94,00	0,94	Bueno
4+400	109,00	106,00	107,00	108,00	107,00	107,40	1,08	Bueno
4+600	100,00	102,00	103,00	100,00	103,00	101,60	1,02	Bueno
4+800	98,00	100,00	96,00	97,00	100,00	98,20	0,98	Bueno
5+000	97,00	95,00	96,00	98,00	100,00	97,20	0,97	Bueno
5+200	121,00	122,00	118,00	120,00	123,00	120,80	1,21	Bueno
5+400	100,00	94,00	97,00	95,00	94,00	96,00	0,96	Bueno
5+600	96,00	95,00	98,00	97,00	95,00	96,20	0,96	Bueno
6+000	99,00	96,00	97,00	98,00	100,00	98,00	0,98	Bueno
6+200	104,00	106,00	100,00	102,00	105,00	103,40	1,04	Bueno
6+400	95,00	98,00	93,00	94,00	96,00	95,20	0,95	Bueno
						Prom.=	1,06	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.2. Análisis de los resultados del método IFI.

Según las recomendaciones de la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC) tomando en cuenta la profundidad de la textura calculada para el carril de ida $H=PT= 0,42$ se tiene una calificación media que según el resultado del diagnóstico es para tramos normales con velocidades moderadas de 80 a 120 km/h, pero durante todo el trayecto del tramo de ida varía de calificación fina en el rango $0,2 \leq PT \leq 0,4$ y media en el rango $0,4 \leq PT \leq 0,8$.

Para la profundidad de la textura calculada para el carril de vuelta $H=PT= 0,41$ también se tiene una calificación media que según del diagnóstico es para tramos normales con velocidades moderadas de 80 a 120 km/h como se observa en la tabla, pero durante todo el trayecto del tramo de vuelta varía de calificación fina en el rango $0,2 \leq PT \leq 0,4$ y media en el rango $0,4 \leq PT \leq 0,8$.

TABLA N° 42. Criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta la profundidad de textura (PT).

Condición	Calificación	Resultado del diagnóstico
$PT < 0,2$	Muy fina	Requiere mantenimiento.
$0,2 \leq PT \leq 0,4$	Fina	Solo para tramos donde raramente se superan los 80 km/h.
$0,4 \leq PT \leq 0,8$	Media	Para tramos normales con velocidades moderadas de 80 a 120 km/h.
$0,8 \leq PT \leq 1,2$	Gruesa	Para tramos normales con velocidades superiores a 120 km/h.
$PT > 1,2$	Muy gruesa	Para casos especiales con peligro de deslizamiento.

Fuente: Asociación Mundial de Carreteras (PIARC).

Según las recomendaciones de la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC) tomando en cuenta el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) para el tramo de ida se tiene un $CRD=1,05$ con una calificación “Bueno”. Y para el tramo de vuelta se tiene un $CDR=1,06$ con una calificación “Bueno”, donde el resultado del diagnóstico nos indica que se tiene una superficie con rugosidad y aspereza aceptable para tránsito medio, propician condiciones satisfactorias de seguridad con pavimento mojado a moderadas velocidades de seguridad, como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA N° 43. Criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta los valores del coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD).

Condición	Calificación	Resultado del diagnóstico
$CRD \geq 1,50$	Excelente	Superficie muy rugosa y áspera apropiada para el tránsito intenso o altas velocidades incluso con pavimento mojado.
$0,82 \leq CRD \leq 1,50$	Bueno	Superficie con rugosidad y aspereza aceptable para tránsito medio, propician condiciones satisfactorias de seguridad con pavimento mojado a moderadas velocidades de seguridad.
$0,45 \leq CRD \leq 0,82$	Regular	Superficie con rugosidad y aspereza adecuada para intensidades bajas o hasta media con precauciones. Condiciones garantizadas de seguridad solo con pavimento seco. Se debe evaluar periódicamente el CRD y PT.
$0,21 \leq CRD \leq 0,45$	Malo	Condiciones inseguras de circulación con pavimento mojado e incluso con pavimento seco. Superficie con rugosidad y aspereza inadecuadas, con peligro, velocidad limitada y marcado pavimento.
$CRD \leq 0,21$	Pésimo	Circulación insegura con pavimento seco y crítico con pavimento mojado. Se debe reponer las características antideslizantes del pavimento. Establecer señalización vertical y horizontal con medidas extremas de control mientras permanezcan las condiciones inseguras.

Fuente: Asociación Mundial de Carreteras (PIARC).

4.1.3. Procedimiento de cálculo del método IRI.

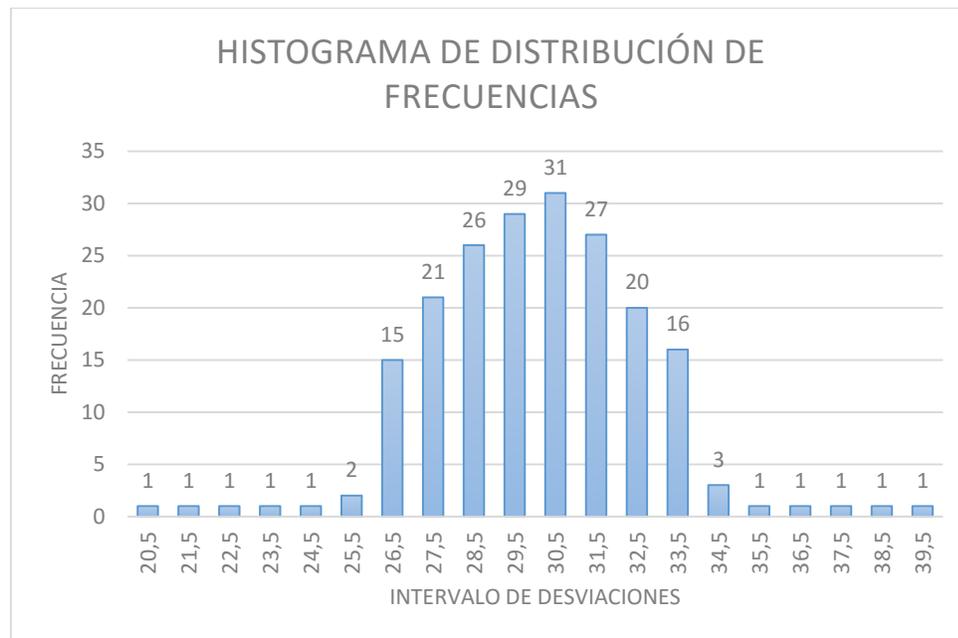
A continuación, se realizará el procedimiento de cálculo de una de las secciones con el método IRI con la rueda de Merlín para determinar rugosidades:

TABLA N° 44. Sección con 200 datos(ida) obtenidos con el rugosímetro de Merlín.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20,00	30,50	27,00	28,50	30,50	31,00	32,00	30,50	29,50	29,00
2	25,50	26,00	27,00	28,50	30,50	31,50	32,00	30,50	29,50	29,00
3	31,50	26,00	27,00	28,50	30,00	31,50	32,50	33,00	29,50	29,00
4	31,50	26,00	27,00	28,50	30,00	31,50	32,50	33,00	27,50	30,50
5	31,50	26,00	27,50	28,50	30,00	31,50	32,50	33,50	27,50	30,50
6	22,50	26,00	27,50	28,50	30,00	31,50	32,50	38,50	27,50	31,50
7	25,50	26,00	27,50	28,50	30,00	31,50	32,50	33,50	27,50	31,50
8	30,50	26,00	27,50	28,50	30,00	31,50	32,50	23,50	27,50	29,50
9	30,50	29,50	27,50	29,00	30,00	31,50	32,50	33,50	31,50	29,50
10	24,00	29,50	27,50	29,00	30,00	31,50	32,50	33,50	34,50	29,50
11	29,50	26,50	27,50	29,00	30,00	31,50	32,50	35,00	31,50	28,50
12	29,50	26,50	27,50	29,00	30,00	32,00	33,00	33,50	28,50	28,50
13	29,50	26,50	28,00	29,00	30,00	32,00	33,00	36,50	28,50	28,50
14	27,50	26,50	28,00	29,00	30,50	32,00	33,00	33,50	28,50	28,50
15	27,50	26,50	28,00	29,00	30,50	32,00	33,00	37,50	28,50	28,50
16	30,50	26,50	28,00	29,00	31,00	32,00	33,00	33,50	28,50	26,50
17	30,50	29,50	28,00	29,00	31,00	32,00	33,00	31,50	29,50	26,50
18	21,50	29,50	28,00	30,50	31,00	32,00	33,00	31,50	29,50	31,50
19	30,50	27,00	28,00	30,50	31,00	32,00	30,50	34,00	29,50	31,50
20	30,50	27,00	28,50	30,50	31,00	32,00	30,50	34,00	29,50	39,00

Fuente: Elaboración propia.

Se depura el 5% de cada lado de los datos de la distribución de frecuencias y se determina el rango D.

GRÁFICA N° 9. Distribución de frecuencias.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del rango D:

$$D = \left(\frac{(15 - 3)}{15} + 6 + \frac{(16 - 2)}{16} \right) * 1[\text{mm}] * 5 = 38,37[\text{mm}]$$

Determinación de la rugosidad en la escala del IRI con las siguientes ecuaciones:

a) Cuando $2,4 < \text{IRI} < 15,9$ $\text{IRI} = 0,593 + 0,0471 D$

b) Cuando $\text{IRI} < 2,4$ $\text{IRI} = 0,0485 D$

$\text{IRI} = 0,0485(38,37) = 1,86 \text{ m/km}$ (Excelente)

Según el manual de Merliner:

Para pavimentos asfálticos nuevos IRI debe ser menor o igual a 2 m/km

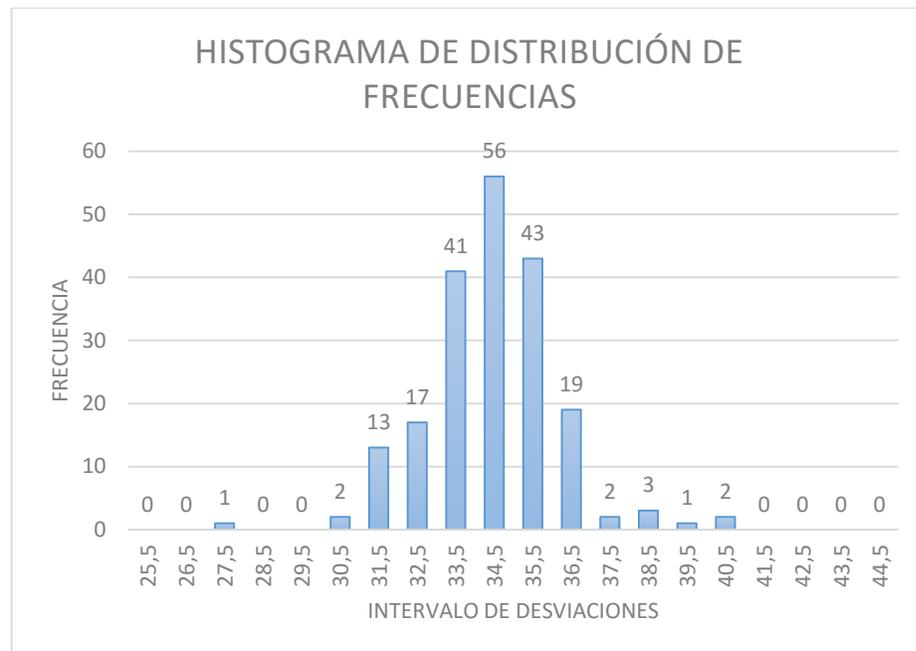
Para pavimentos para recapado asfáltico IRI debe ser menor o igual a 2,5 m/km

Para pavimentos con sellado asfáltico el IRI debe ser menor o igual a 3,0 m/km

TABLA N° 45. Segunda sección(ída) obtenidos con el rugosímetro de Merlín.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	35,00	34,50	35,50	32,50	35,50	33,00	33,50	33,50	34,50	34,50
2	31,50	34,00	34,00	36,50	35,50	34,50	34,00	31,00	35,50	35,50
3	32,50	32,00	36,50	33,50	38,50	37,00	34,50	31,50	32,50	34,50
4	33,00	38,00	27,50	33,00	32,50	30,00	36,00	32,50	36,50	34,50
5	32,00	36,00	35,50	31,00	35,00	33,00	35,00	35,00	35,00	35,50
6	36,50	34,00	34,00	34,50	35,50	31,50	36,00	36,00	35,50	34,30
7	34,00	35,50	34,00	34,50	34,00	36,00	36,00	37,00	34,50	33,50
8	35,00	38,00	35,50	35,50	35,00	33,00	35,50	36,00	35,50	35,00
9	34,50	35,50	33,00	33,00	33,50	34,50	34,50	30,00	35,50	32,50
10	36,00	33,00	34,50	32,50	35,50	34,00	34,50	31,50	34,00	35,50
11	33,50	33,50	33,50	32,00	34,50	39,00	35,00	36,50	33,00	34,50
12	34,50	34,50	34,00	35,00	34,50	34,00	33,50	34,00	34,50	33,50
13	35,00	31,00	34,00	36,00	35,50	33,50	35,50	34,00	34,00	35,00
14	35,50	33,00	36,50	34,50	35,50	33,00	31,00	33,50	33,50	36,50
15	35,00	33,50	32,00	33,00	33,50	40,00	33,00	33,00	34,00	34,50
16	35,50	33,50	32,50	34,00	34,50	31,50	32,00	34,50	31,00	34,50
17	34,50	33,50	33,50	33,50	33,00	32,50	32,00	33,50	31,00	35,00
18	34,00	34,50	35,00	32,50	32,50	34,50	34,50	34,00	35,50	31,00
19	33,50	34,00	40,00	35,00	34,50	34,00	33,50	35,00	36,00	35,00
20	33,50	33,50	36,50	33,50	34,50	33,00	35,00	34,50	31,00	36,00

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICA N° 10. Distribución de frecuencias.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del Rango D:

$$D = \left(\frac{(13 - 7)}{13} + 4 + \frac{(19 - 2)}{19} \right) * 1[\text{mm}] * 5 = 26,80[\text{mm}]$$

Determinación de la rugosidad en la escala del IRI con la siguiente ecuación:

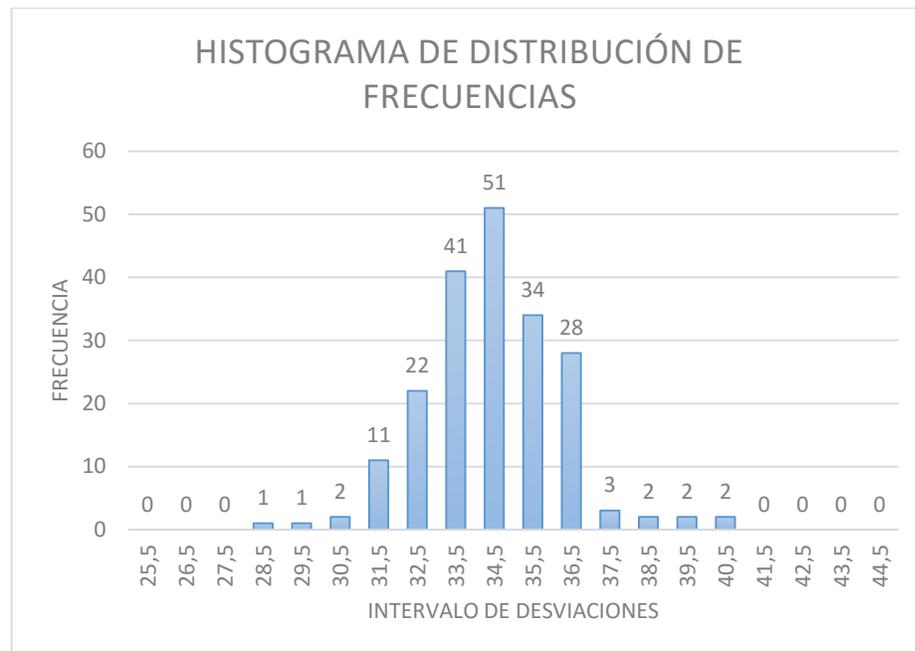
$$\text{IRI} = 0,0485(26,80) = 1,30 \text{ m/km (Excelente)}$$

TABLA N° 46. Primera sección(vuelta) obtenidos con el rugosímetro de Merlín.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	29,50	34,50	35,00	34,00	35,00	33,50	33,50	33,50	35,00	34,50
2	33,50	35,00	34,00	36,50	35,50	34,50	36,50	32,00	35,50	36,00
3	36,50	32,00	33,50	32,50	36,50	36,00	34,50	31,50	32,00	34,50
4	33,00	34,00	28,00	33,00	32,50	30,00	36,00	32,00	36,50	34,00
5	33,50	36,00	36,50	33,50	36,00	37,00	36,50	35,00	36,00	35,50
6	36,50	36,50	34,00	34,50	35,50	31,50	36,00	36,50	35,50	36,00
7	33,00	35,50	35,00	32,00	34,50	32,00	34,00	37,00	34,50	33,50
8	35,00	38,50	35,50	34,00	35,00	33,00	35,50	37,50	35,00	31,00
9	34,00	36,00	33,50	33,00	33,50	35,50	32,50	30,00	35,50	32,50
10	35,50	33,00	34,00	32,50	34,00	34,00	34,50	31,00	36,00	32,00
11	36,00	34,00	36,00	35,50	34,50	34,50	36,00	36,50	33,00	34,50
12	34,50	34,50	31,50	35,00	33,50	34,00	33,50	34,00	34,00	33,00
13	34,00	31,50	34,00	35,00	35,00	33,50	33,50	34,50	34,50	35,00
14	35,50	33,00	32,50	34,50	34,50	39,00	31,00	33,50	33,50	32,00
15	36,50	33,50	32,00	33,00	33,00	39,50	34,50	32,00	34,00	34,50
16	35,00	34,00	33,00	34,50	34,50	35,00	32,00	34,50	31,50	35,50
17	34,50	33,50	33,50	33,50	34,00	32,50	33,00	33,50	32,00	35,00
18	33,00	34,50	32,00	32,00	32,50	33,50	34,50	33,00	35,50	34,50
19	33,50	40,00	40,00	35,00	36,00	34,00	33,50	35,00	35,50	38,00
20	31,00	33,50	36,50	33,50	34,50	34,50	36,00	34,50	31,00	31,00

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICA N° 11. Distribución de frecuencias.



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del Rango D:

$$D = \left(\frac{(11 - 6)}{11} + 4 + \frac{(28 - 1)}{28} \right) * 1[\text{mm}] * 5 = 27,09[\text{mm}]$$

Determinación de la rugosidad en la escala del IRI con la siguiente ecuación:

$$\text{IRI} = 0,0485(27,09) = 1,31 \text{ m/km (Excelente)}$$

4.1.3.1. Resultados del método IRI.

TABLA N° 47. Resultados del IRI de todo el tramo (ida).

N°	Prog.		IRI (m/km)	Calificación
	Inicial	Final		
1	0+000	0+200	1,86	Excelente
2	0+200	0+400	1,30	Excelente
3	0+400	0+600	1,64	Excelente
4	0+600	0+800	1,70	Excelente
5	0+800	1+000	1,46	Excelente
6	1+000	1+200	1,72	Excelente
7	1+200	1+400	1,65	Excelente
8	1+400	1+600	1,69	Excelente
9	1+600	1+800	1,29	Excelente
10	1+800	2+000	1,63	Excelente
11	2+000	2+400	1,39	Excelente
12	2+400	2+600	1,76	Excelente
13	2+600	2+800	1,69	Excelente
14	2+800	3+000	1,46	Excelente
15	3+000	3+200	1,74	Excelente
16	3+200	3+400	1,65	Excelente
17	3+400	3+600	1,66	Excelente
18	3+600	3+800	1,64	Excelente
19	3+800	4+000	1,48	Excelente
20	4+000	4+200	1,56	Excelente
21	4+200	4+400	1,62	Excelente
22	4+400	4+600	1,81	Excelente
23	4+600	4+800	1,54	Excelente
24	4+800	5+000	1,52	Excelente
25	5+000	5+200	1,65	Excelente
26	5+200	5+400	1,38	Excelente
27	5+400	5+600	1,59	Excelente
28	5+600	5+800	1,76	Excelente
29	5+800	6+000	1,68	Excelente
30	6+000	6+200	1,70	Excelente
31	6+200	6+400	1,72	Excelente
Prom=			1,61	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 48. Resultados del IRI de todo el tramo (vuelta).

N°	Prog.		IRI (m/km)	Calificación
	Inicial	Final		
1	0+000	0+200	1,31	Excelente
2	0+200	0+400	1,57	Excelente
3	0+400	0+600	1,43	Excelente
4	0+600	0+800	1,31	Excelente
5	0+800	1+000	1,80	Excelente
6	1+000	1+200	1,71	Excelente
7	1+200	1+400	1,73	Excelente
8	1+400	1+600	1,54	Excelente
9	1+600	1+800	1,57	Excelente
10	1+800	2+000	1,71	Excelente
11	2+000	2+400	1,58	Excelente
12	2+400	2+600	1,66	Excelente
13	2+600	2+800	1,68	Excelente
14	2+800	3+000	1,62	Excelente
15	3+000	3+200	1,59	Excelente
16	3+200	3+400	1,34	Excelente
17	3+400	3+600	1,89	Excelente
18	3+600	3+800	1,75	Excelente
19	3+800	4+000	1,75	Excelente
20	4+000	4+200	1,65	Excelente
21	4+200	4+400	1,59	Excelente
22	4+400	4+600	1,56	Excelente
23	4+600	4+800	1,78	Excelente
24	4+800	5+000	1,58	Excelente
25	5+000	5+200	1,75	Excelente
26	5+200	5+400	1,58	Excelente
27	5+400	5+600	1,56	Excelente
28	5+600	5+800	1,37	Excelente
29	5+800	6+000	1,53	Excelente
30	6+000	6+200	1,75	Excelente
31	6+200	6+400	1,40	Excelente
Prom=			1,60	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.2. Análisis de los resultados del método IRI.

Según el manual de Merliner cumple con la condición ya que el IRI hallado en el ejemplo para la primera sección tiene un IRI= 1,86 m/km notando que es menor o igual a 2 m/km al ser un pavimento asfáltico relativamente nuevo.

Según la clasificación del rango de rugosidad para IRI= 1,86 m/km, tiene una clasificación EXCELENTE como se muestra la siguiente tabla:

TABLA N° 49. Clasificación del rango de rugosidad.

Rango de rugosidad (m/km)	Calificación
0,0-2,0	Excelente
2,0-3,5	Bueno
3,5-5,0	Regular
>5,0	Malo

Fuente: Pacheco N, Marcelo. Texto guía de Carreteras III. (2017).

Para todo el tramo se tiene un IRI= 1,61 m/km que se encuentra entre el rango 0,0-2,0 m/km de un pavimento con calificación EXCELENTE siendo adecuado para el tránsito de los vehículos.

4.2. Evaluación Estructural del tramo.

4.2.1. Procedimiento de cálculo del método de la viga Benkelman.

TABLA N° 50. Planilla de cálculos de la viga Benkelman del carril derecho.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL ESTADO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO SAN MATEO - SELLA
TRAMO: SAN MATEO - SELLA
CARRIL: DERECHO (IDA)
FECHA: 12 DE DICIEMBRE DE 2020

(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	32	36	38	40	60	60,00	28,00	98	56	26	105	18	38	4,00
2	00+200	0	28	22	30	36	56	56,00	28,00	112	51	26	121	24	42	4,00
3	00+400	0	22	25	28	32	48	48,00	26,00	142	44	24	154	24	41	4,00
4	00+600	0	22	20	25	34	46	46,00	24,00	142	42	22	155	24	42	4,00
5	00+800	0	20	18	20	28	46	46,00	26,00	156	42	24	169	24	41	4,00
6	01+000	0	16	10	14	20	42	42,00	26,00	195	39	24	213	24	42	4,00
7	01+200	0	14	14	18	20	37	37,00	23,00	223	34	21	246	24	45	4,00
8	01+400	0	12	16	10	15	36	36,00	24,00	260	33	22	286	24	45	4,00
9	01+600	0	10	17	12	14	34	34,00	24,00	313	31	22	346	24	47	4,00
10	01+800	0	14	22	22	24	34	34,00	20,00	223	31	18	247	25	47	4,00
11	02+000	0	12	18	12	18	36	36,00	24,00	260	32	22	289	25	47	4,00
12	02+200	0	16	22	20	24	40	40,00	24,00	195	36	22	217	25	48	4,00
13	02+400	0	10	12	16	12	32	32,00	22,00	313	29	20	349	25	49	4,00

14	02+600	0	12	12	16	18	36	36,00	24,00	260	32	22	291	25	49	4,00
15	02+800	0	12	10	8	14	36	36,00	24,00	260	32	22	291	28	49	4,00
16	03+000	0	10	13	16	18	30	30,00	20,00	313	27	18	346	28	47	4,00
17	03+200	0	10	15	7	18	32	32,00	22,00	313	29	20	348	29	48	4,00
18	03+400	0	14	12	16	18	36	36,00	22,00	223	32	20	248	29	48	4,00
19	03+600	0	12	13	16	16	28	28,00	16,00	260	25	14	290	29	48	4,00
20	03+800	0	9	10	15	16	23	23,00	14,00	347	21	13	381	29	44	4,00
21	04+000	0	8	16	8	16	24	24,00	16,00	391	22	15	428	28	44	4,00
22	04+200	0	10	12	7	10	25	25,00	15,00	313	23	14	343	28	44	4,00
23	04+400	0	16	22	18	12	28	28,00	12,00	195	25	11	216	28	47	4,00
24	04+600	0	14	16	12	20	30	30,00	16,00	223	27	14	247	27	47	4,00
25	04+800	0	12	14	6	18	36	36,00	24,00	260	32	22	289	27	47	4,00
26	05+000	0	10	8	12	10	24	24,00	14,00	313	22	13	349	27	49	4,00
27	05+200	0	10	12	12	15	22	22,00	12,00	313	20	11	349	27	49	4,00
28	05+400	0	8	6	10	16	23	23,00	15,00	391	21	13	434	27	48	4,00
29	05+600	0	9	12	15	14	20	20,00	11,00	347	18	10	386	27	48	4,00
30	05+800	0	6	8	8	12	22	22,00	16,00	521	20	14	579	28	48	4,00
31	06+000	0	6	10	12	9	20	20,00	14,00	521	18	13	579	28	48	4,00
32	06+200	0	10	9	10	14	26	26,00	16,00	313	23	14	348	28	48	4,00
33	06+400	0	12	13	14	12	28	28,00	16,00	260	25	14	290	28	48	4,00

Fuente: Elaboración propia.

Tratamiento estadístico:**CÁLCULO DEFLEXIÓN
CARACTERÍSTICA (Dc):**

$$Dc = D + t * Ds$$

Donde:

D =Deflexión recuperable
promedio =30,10

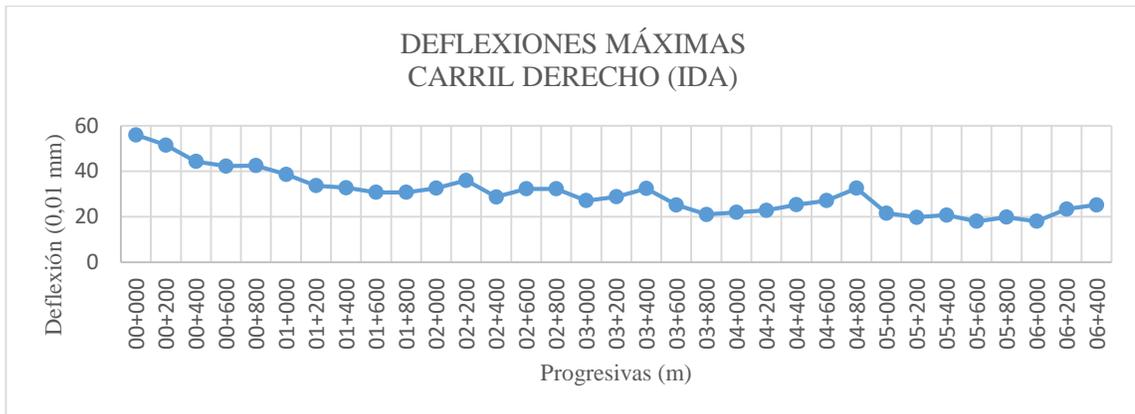
Ds =Desviación standard=9,30

t = constante de probabilidad
al 95% =1,65

$$Dc = 45,51 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

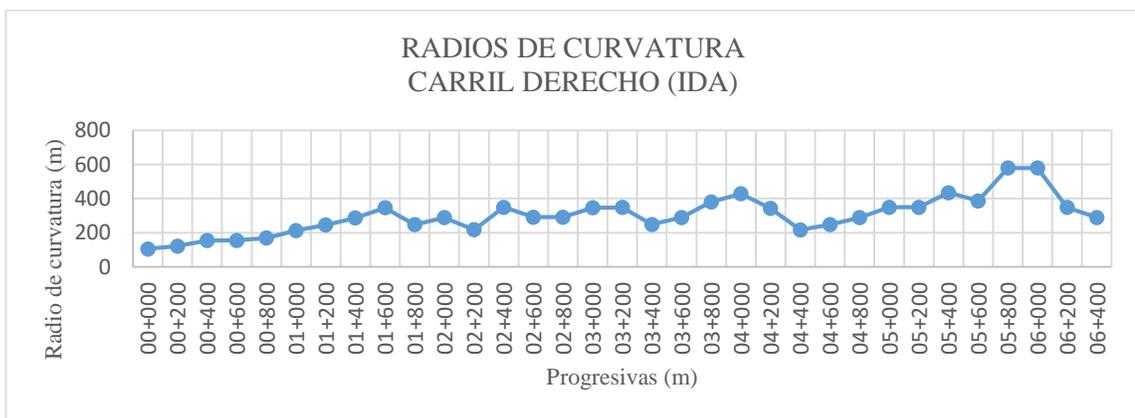
Número de muestras	33	33	33
Sumatoria	995	597	9926
Promedio	30,10	18,10	300,80
Deflexión mínima	18	10	105
Deflexión máxima	56	26	579
Desviación estándar	9,30	4,80	109,70
Varianza	87,30	22,80	12033,30
Coefficiente de var.	31,00	26,40	36,50
Valor característico	45,51	25,90	481,20

GRÁFICA N° 12. Deflexiones máximas.



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICA N° 13. Radios de curvatura.



Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 51. Planilla de cálculos de la viga Benkelman del carril izquierdo.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL ESTADO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO SAN MATEO - SELLA
TRAMO: SAN MATEO - SELLA
CARRIL: IZQUIERDO (VUELTA)
FECHA: 12 DE DICIEMBRE DE 2020

(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	30	22	22	32	58	58,00	28,00	104	52	25	115	28	47	4,00
2	00+200	0	26	28	25	30	56	56,00	30,00	120	51	27	133	28	47	4,00
3	00+400	0	24	16	24	28	54	54,00	30,00	130	49	27	144	28	47	4,00
4	00+600	0	15	20	22	22	40	40,00	25,00	208	36	23	231	28	47	4,00
5	00+800	0	18	15	18	20	42	42,00	24,00	174	38	22	192	28	47	4,00
6	01+000	0	14	14	18	22	36	36,00	22,00	223	32	20	247	28	47	4,00
7	01+200	0	12	15	16	18	32	32,00	20,00	260	29	18	289	28	47	4,00
8	01+400	0	12	14	12	14	34	34,00	22,00	260	31	20	289	28	47	4,00
9	01+600	0	9	14	14	16	24	24,00	15,00	347	22	14	385	28	47	4,00
10	01+800	0	12	16	18	20	28	28,00	16,00	260	25	14	289	28	47	4,00
11	02+000	0	13	8	12	22	32	32,00	19,00	240	29	17	266	29	47	4,00
12	02+200	0	16	16	15	18	38	38,00	22,00	195	34	20	216	29	47	4,00
13	02+400	0	12	9	14	15	32	32,00	20,00	260	29	18	289	29	47	4,00
14	02+600	0	10	12	13	10	34	34,00	24,00	313	31	22	346	29	47	4,00
15	02+800	0	10	8	8	10	36	36,00	26,00	313	32	23	346	29	47	4,00
16	03+000	0	12	10	8	12	34	34,00	22,00	260	31	20	289	29	47	4,00
17	03+200	0	8	15	14	15	30	30,00	22,00	391	27	20	433	28	47	4,00

18	03+400	0	12	10	16	18	35	35,00	23,00	260	31	21	290	28	48	4,00
19	03+600	0	8	13	18	16	26	26,00	18,00	391	23	16	434	28	48	4,00
20	03+800	0	12	10	10	14	30	30,00	18,00	260	27	16	290	28	48	4,00
21	04+000	0	10	13	10	12	26	26,00	16,00	313	23	14	346	28	47	4,00
22	04+200	0	12	10	6	12	26	26,00	14,00	260	23	13	289	28	47	4,00
23	04+400	0	16	14	16	18	30	30,00	14,00	195	27	13	216	28	47	4,00
24	04+600	0	12	14	12	12	28	28,00	16,00	260	25	14	289	28	47	4,00
25	04+800	0	16	10	12	14	34	34,00	18,00	195	31	16	214	28	44	4,00
26	05+000	0	12	2	8	10	22	22,00	10,00	260	20	9	285	28	44	4,00
27	05+200	0	14	6	10	12	24	24,00	10,00	223	22	9	245	28	44	4,00
28	05+400	0	10	8	4	8	25	25,00	15,00	313	23	14	343	28	44	4,00
29	05+600	0	9	7	10	12	22	22,00	13,00	347	20	12	381	28	44	4,00
30	05+800	0	10	4	6	8	23	23,00	13,00	313	21	12	343	28	44	4,00
31	06+000	0	7	6	6	10	28	28,00	21,00	446	26	19	488	27	43	4,00
32	06+200	0	12	10	12	14	26	26,00	14,00	260	24	13	284	27	43	4,00
33	06+400	0	12	6	4	8	26	26,00	14,00	260	24	13	284	27	43	4,00

Fuente: Elaboración propia.

**CÁLCULO DEFLEXIÓN
CARACTERÍSTICA (Dc):**

$$Dc = D + t \times Ds$$

Donde:

D =Deflexión recuperable
promedio =29,40

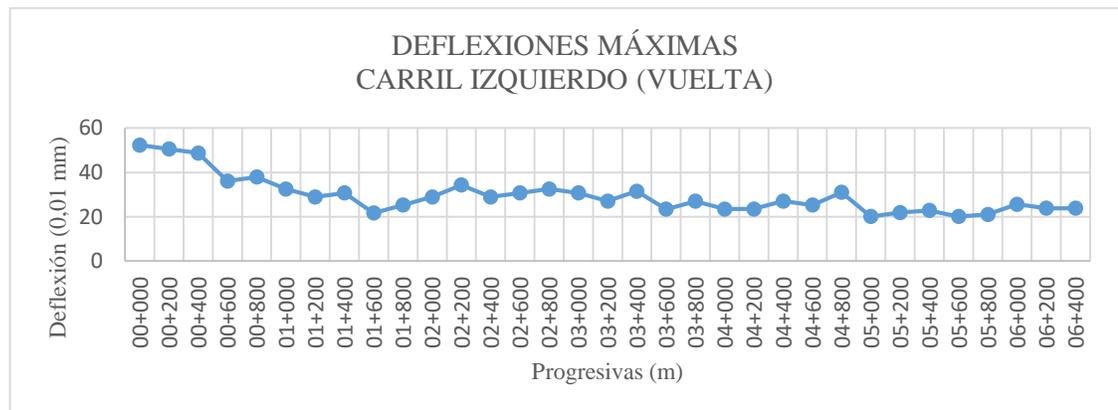
Ds = Desviación standard =8,20

t = constante de probabilidad al
95% =1,65

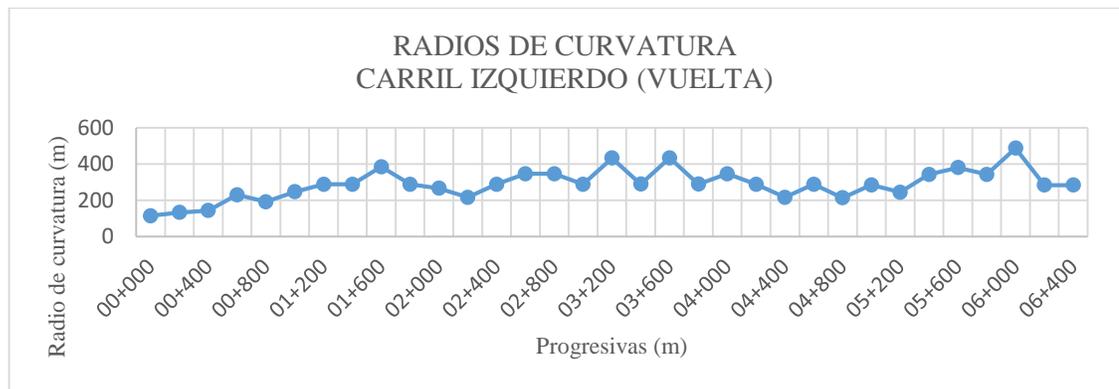
$$Dc = 42,87 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Número de muestras	33	33	33
Sumatoria	969	573	9518
Promedio	29,40	17,40	288,40
Deflexión mínima	20	9	115
Deflexión máxima	52	27	488
Desviación estándar	8,20	4,80	83,40
Varianza	67,50	23,10	6963,20
Coefficiente de var.	28,00	27,60	28,90
Valor característico	42,87	25,30	425,70

GRÁFICA N° 14. Deflexiones máximas.



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICA N° 15. Radios de curvatura.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Análisis de los resultados del método de la viga Benkelman.

Luego de calcular y tabular todos los datos de las deflexiones en tramo San Mateo – Sella, a continuación se realizará un análisis de ambos carriles:

Carril derecho:

En el carril derecho se obtuvo una deflexión máxima con un valor de 56×10^{-2} mm en la progresiva 0+000 que es mayor al valor de la deflexión característica de $45,51 \times 10^{-2}$ mm.

También se puede ver que la gran mayoría de los radios de curvatura están dentro de los rangos de valores aceptados $100 < R_c < 500$ a excepción de solo dos de ellos en las progresivas 5+800 y 6+000 que se pasan un poco del valor aceptado.

Carril izquierdo:

En el carril izquierdo el valor de la deflexión característica es de $42,87 \times 10^{-2}$ mm y el valor de la deflexión máxima es de 52×10^{-2} mm.

También se puede observar que los radios de curvatura en este carril están todos dentro de los valores aceptados según la tabla que se muestra a continuación.

TABLA N° 52. Rangos de la evaluación estructural.

Rangos mínimos y máximos de deflexiones	Rangos mínimos y máximos de radios de curvatura
$D_o < D_c$	$100 < R_c < 500$

Fuente: López Baldivieso, K. (2019).

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Una vez finalizado el trabajo del tramo “San Mateo – Sella” se llegó a las siguientes conclusiones:

- El pavimento flexible está superficialmente en una condición de “Excelente” según los resultados obtenidos en la evaluación superficial con el método PCI realizada siguiendo la norma ASTM D6433-03, con un resultado final del PCI de 98,88.
- En el método IFI nos da una velocidad máxima segura de 58,46 km/h, este valor es bajo, el pavimento tiene buena resistencia a velocidades bajas y mala resistencia a velocidades altas, es decir que si supera la velocidad máxima establecida se corre el riesgo de causar accidente.
- En todo el tramo se tiene un IRI=1,61 m/km que se encuentra dentro del rango de 0,0 – 2,0 m/km con clasificación “Excelente”.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación estructural siguiendo la norma ASTM D4695-03, el pavimento flexible está estructuralmente en buenas condiciones y con capacidad suficiente de seguir resistiendo las cargas de tránsito solicitadas ya que los resultados se encuentran dentro de los rangos aceptables $D_o < D_c$; $100 < R_c < 500$.
- En conclusión, el tramo “San Mateo – Sella” se encuentra en excelentes condiciones actualmente y el pavimento no requiere rehabilitación.
- Al realizar el presente trabajo se pudo aprender el procedimiento correcto para aplicar los métodos de evaluación y servirá como referencia para las personas interesadas en el área.

5.2. Recomendaciones.

- Se recomienda colocar letreros de “hombres trabajando”, letreros de precaución, como también emplear bandera roja para detener el tráfico y bandera verde para que avance el tráfico a la hora de realizar los ensayos.
- Contar con todos los equipos de seguridad necesarios para realizar la evaluación en campo como ser triángulos, conos, chalecos fosforescentes, etc. ya que al ser mayormente carreteras transitadas se trasladan a grandes velocidades.
- Se recomienda verificar la condición del pavimento flexible con el método PCI por que se observa visualmente las fallas siendo un método confiable y económico.
- Se recomienda no emplear el método IRI con Merlín de forma manual en carreteras de gran longitud ya que es un método muy demoroso.