

CAPITULO I
INTRODUCCION

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. Antecedentes.

Desde el principio de la existencia del ser humano se ha observado su necesidad por comunicarse, por lo cual fue desarrollando diversos métodos para la construcción de caminos, hasta alcanzar los que en la actualidad conocemos como las construcciones de carpetas asfálticas basándose en pavimento flexible o rígido.

En la actualidad, los pavimentos flexibles son estructuras de gran importancia para la mayoría de las ciudades y poblaciones, sirviendo de interconexión con el resto del país, los cuales deben recibir los mantenimientos preventivos correspondientes para brindar a la población una estructura apta para su uso.

Los caminos carreteros tienen un periodo de vida útil para el cual son diseñados, sin embargo, no siempre se puede alcanzar el tiempo de vida estimado debido a diferentes factores ajenos al diseño y construcción de los mismos, como ser, la transportabilidad, la falta de mantenimiento, el intemperismo, fallas en el sistema de drenaje, entre otros. Motivo por el cual el pavimento a lo largo de su funcionamiento presenta fallas que pueden ser tanto de origen superficial como estructural, para evitar esta situación, es de suma importancia realizar trabajos de mantenimiento y rehabilitación de las carreteras para así otorgar a los usuarios un servicio de seguridad y confort.

Un primer trabajo corresponde a Rodríguez A. Silvia (2017) quien realizó una “Evaluación superficial y estructural de la carpeta asfáltica del tramo El Puente - Carrizal” el cual aplicó la metodología de evaluación superficial del “Índice de Condición de un Pavimento” PCI la cual tiene como objetivo principal establecer la condición de un pavimento a través de inspecciones visuales para poder determinar y cuantificar las fallas existentes en el tramo, y la metodología de evaluación estructural de la viga Benkelman mediante la cual se obtienen las deflexiones generadas en la estructura.

El trabajo mencionado corresponde a un proyecto de grado y se relaciona con la investigación que fue desarrollada ya que aplica el método propuesto del PCI para conocer las condiciones del pavimento flexible en lo que refiere a una evaluación superficial y el método de la viga Benkelman para determinar su condición estructural.

Un segundo trabajo de López T. Antony E. (2018) titulado “Evaluación con modelo del IFI para vías urbanas en pavimentos aplicados a la ciudad de Tarija.” trata de la aplicación de la metodología del modelo IFI en la evaluación de pavimentos para poder determinar las características de adherencia y textura que presenta el pavimento estudiado.

De la misma manera este trabajo se trata de un Proyecto de grado realizado en la ciudad de Tarija y se relaciona con este proyecto ya que describe el correcto uso y aplicación de los instrumentos para realizar los estudios necesarios y alcanzar resultados más preciosos y confiables.

Un tercer trabajo de Almanza D. (2014) “Evaluación del modelo Quarter car para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) del tramo Huancavelica – Santa Inés” el cual realiza una comparación de la aplicación de métodos para la obtención del IRI del tramo en estudio compara los métodos del rugosímetro de Merlín, el método de mira y nivel y el modelo Quarter car.

Este estudio demostró que la aplicación de rugosímetro de Merlín en la obtención de los valores del IRI en el tramo estudiado brinda datos muy exactos y este equipo puede servir para realizar la calibración de otros equipos que sean de menor precisión.

Este trabajo encuentra relación con la investigación planteada en la aplicación del equipo Rugosímetro de Merlín para la obtención del índice de rugosidad internacional IRI.

Las evaluaciones realizadas con anterioridad muestran claramente que el mantenimiento correcto y oportuno de un pavimento flexible se puede realizar cuando se detectan los factores que ocasionan las fallencias sobre la infraestructura.

Por lo tanto, se debe realizar una evaluación tanto estructural como superficial para así poder contar con una información detallada de las fallas existentes, como de las causas que generan de las mismas, información mediante la cual se pueda establecer una estrategia de mantenimiento oportuna y adecuada para el tramo de carretera en estudio.

1.2. Justificación.

La ciudad de Tarija es una de las regiones con mayor densidad de vehículos existentes lo cual aumenta la transitabilidad en las calles y carreteras que conectan los distintos barrios y municipios del departamento, es por este motivo que las vías de comunicación deben ser constantemente evaluadas y se decidió realizar esta investigación.

Existen tramos carreteros, los cuales por la falta de evaluaciones se encuentran deteriorados o con fallas graves que reducen su serviciabilidad y le quitan seguridad a momento de ser transitados, un claro ejemplo es el tramo de pavimento flexible que parte desde el barrio Tabladita y se extiende hacia San Andrés con una longitud del tramo de aproximadamente 7 km, en el cual se pueden ver que las fallas tanto superficiales como estructurales que presenta el mismo son considerables y notorias, también podemos referirnos a el tramo que conecta el municipio de san lorenzo con Tomatitas el cual tiene una longitud de 10 km aproximadamente en el cual se ve la existencia de fallas e irregularidades superficiales considerables que son notorias a momento de transitar sobre ella, otro tramo que motiva a realizar este proyecto es el conecta los municipios de Entre Ríos con Palos Blancos el cual muy poco tiempo después de haberse realizado la entrega comenzó a presentar considerables fallas de hundimientos, grietas y acolchonamientos sobre la superficie y estructura, motivo por el cual se ve conveniente realizar evaluaciones preventivas que identifiquen a tiempo posibles fallas que puedan ser de mayor magnitud en un futuro.

En este proyecto se realizó una evaluación superficial y estructural del pavimento flexible en el tramo “Sella Cercado – Monte Cercado” ya que se trata de una importante vía de comunicación y principal alternativa para el transporte de vehículos de carga pesada entre el municipio de San Lorenzo perteneciente a la provincia Méndez y el municipio de Tarija perteneciente a la provincia Cercado para conocer cuáles son las condiciones actuales de funcionamiento y serviciabilidad en las cuales se encuentra esta vía.

Desde el punto de vista de la ingeniería se denota mayor importancia a las características estructurales de los pavimentos sobre las superficiales y funcionales, sin embargo, la superficie es la que brinda seguridad y confort a los usuarios por lo que mientras más características se pueda evaluar mejor se conocerá las condiciones que presenta el pavimento flexible.

La evaluación superficial se realizó mediante los métodos PCI, IRI e IFI y la evaluación estructural mediante el uso de la Viga Benkelman para que a través de sus resultados se pueda determinar la condición actual del pavimento flexible y así poder generar un plan de mejoras y mantenimientos pertinente que garanticen el periodo de diseño de la vía.

El índice de condición de un pavimento es un estudio netamente visual que brinda una evaluación de la situación superficial a través de la cual atraviesa el pavimento a momento del estudio, la cual proporciona información de suma importancia para poder evitar daños estructurales en un futuro.

Conocer la regularidad de la superficie aporta de gran manera en el estudio de las características de una vía debido a que esta brinda información que trata netamente sobre la comodidad y confort a momento de circular sobre el pavimento lo cual se encuentra ligado a la seguridad de los usuarios.

El índice de regularidad es un estudio de suma importancia ya que es una forma práctica de medir la resistencia al deslizamiento en la superficie de la estructura a través del modelo IFI y así comprobar y determinar las condiciones de la textura de los pavimentos asegurando una buena adherencia de los neumáticos sobre la superficie.

La evaluación estructural con la viga Benkelman brinda en el estudio resultados que aportan en el conocimiento de las condiciones de funcionalidad del tramo, conociendo a través de este estudio las deflexiones y radios de curvatura generadas en la superficie del pavimento al aplicar una carga sobre la estructura.

El conjunto de resultados obtenidos mediante cada uno de los estudios brinda al proyecto una evaluación más amplia sobre las características del tramo y genera a través de ellos las posibles soluciones a los problemas existentes en el tramo.

La importancia de la realización de este proyecto se refleja en la necesidad que existe de tener un registro actualizado de las condiciones en las que se encuentra una vía, y mediante estos datos realizar un mantenimiento preventivo correspondiente y adecuado para la misma y no así tener que llegar a realizar refacciones grandes que a su vez resten a los usuarios tanto el confort como la seguridad a momento de circular por ella.

Este proyecto será un aporte para la comunidad de la ciudad de Tarija ya que se dispondrá de un estudio actualizado de las condiciones existentes en la vía y se propondrá un plan de mejoras y mantenimientos para de esta manera se pueda conservar el pavimento flexible del tramo en estudio.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática.

La situación o estado actual de los pavimentos flexibles en la ciudad de Tarija, cuenta con uno de los principales problemas de todas las obras de infraestructura vial, que son las diferentes fallas o deterioros que se presentan después de su construcción, es decir; a lo largo de la vida útil del proyecto. Para obtener adecuadamente una vía sin daños superficiales, se debe realizar las acciones de mantenimiento, con la finalidad de efectivizar el periodo para el cual fue diseñado y de esta forma evitar complicaciones durante su tiempo de servicio, un buen mantenimiento vial reduce de gran manera la aparición de inconvenientes durante la vida útil del pavimento.

La evaluación del pavimento existente tiene como objetivo el análisis y estimación del valor estructural remanente, adicionalmente esta evaluación debe proporcionar la información necesaria para la investigación de las causas que originan la falla del pavimento a rehabilitar, es decir debe aportar los elementos de juicio necesarios para el diagnóstico de las fallas observadas con la finalidad de definir las acciones de mantenimiento y/o rehabilitación a ejecutar según las deficiencias encontradas.

Ante esta problemática se encuentra conveniente realizar la evaluación tanto superficial como estructural el tramo “Sella Cercado - Monte Cercado” para poder conocer sus condiciones y efectivizar el periodo para el cual fue diseñado ya que toda infraestructura vial presenta fallas debidas al uso.

El fin de esta evaluación es el de aportar elementos necesarios para el diagnóstico de las fallas existentes en el tramo y proponer un plan de mantenimientos y mejoras.

1.3.2. Problema.

¿Cómo se puede establecer las condiciones de la superficie y la estructura, del pavimento en el tramo “Sella Cercado - Monte Cercado”?

1.4. Objetivos del proyecto.

1.4.1. Objetivo general.

Evaluar superficial y estructuralmente las condiciones del pavimento flexible en el tramo “Sella Cercado - Monte Cercado” mediante los métodos superficiales de PCI, IFI, IRI y el método estructural Viga Benkelman, para determinar su estado y elaborar un plan de mejoras y mantenimiento.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Determinar las unidades y el intervalo de muestreo para realiza la evaluación superficial con método PCI.
- Medir y cuantificar las fallas existentes en cada una de las unidades de muestreo del pavimento flexible del tramo para determinar la condición superficial del pavimento.
- Realizar las mediciones de fricción y textura con el péndulo británico y la mancha de arena y Generar la gráfica “Fricción – Velocidad de deslizamiento” para determinar la velocidad máxima segura de circulación.
- Obtener el valor de las irregularidades que existen en el pavimento mediante el equipo rugosímetro de Merlín y determinar la rugosidad de la superficie de en escala IRI.
- Obtener datos de deflexiones generadas en la estructura del pavimento flexible mediante la aplicación del instrumento viga Benkelman.
- Analizar los resultados obtenidos en cada método.
- Proponer un plan de mantenimiento y mejoras para el pavimento flexible en el tramo.

1.5. Hipótesis.

Si se evalúa el tramo “Sella Cercado – Monte Cercado” por los métodos superficial de “PCI”, “IFI”, “IRI” y el método estructural de la “Viga Benkelman”, se podrá determinar las condiciones del pavimento y proponer soluciones mediante un plan de mejoras.

1.5.1. Identificación de variables.

En este apartado se realiza la identificación y conceptualización de las variables estudiadas a lo largo de este proyecto de investigación.

Tabla 1. 1 Identificación de variables.

Identificación de variables.		
Tipo de variable	Variable	Conceptualización
Variable independiente.	Método de evaluación superficial PCI.	PCI, el Índice de Condición del Pavimento, es una metodología que tiene como objetivo evaluar la condición superficial de un pavimento tanto flexible como rígido según sea necesario. Es un método sencillo de aplicación, solo se necesitan formatos para realizar el levantamiento, manual de daños para clasificarlos y seguir los procedimientos exigidos.
	Método de evaluación superficial IRI.	La regularidad superficial del perfil longitudinal es una medida del comportamiento funcional de un pavimento. Es la única característica que percibe el usuario, a través de la sensación de comodidad en la circulación. El IRI es calculado a partir de la medición del perfil longitudinal de las huellas externas e interna de un pavimento. El promedio estadístico de estos dos valores de IRI es reportado como la rugosidad de una sección del pavimento.
	Método de evaluación superficial IFI.	El índice de fricción es el parámetro que se emplea para determinar el nivel de adherencia entre el neumático y el pavimento. El valor del coeficiente de rozamiento depende de una serie de factores, algunos inherentes a la carretera, mientras que otros son responsabilidad del usuario o de la meteorología. La demanda de rozamiento es función de la velocidad y de la cantidad de agua sobre la carretera. A su vez la capacidad de responder a esa demanda es función del tipo y del estado del pavimento.
	Método de evaluación estructural Viga Benkelman.	Es una metodología que tiene por objetivo determinar la deflexión de un pavimento, como análisis estructural no destructivo. Se trata de un dispositivo, que funciona aplicando la "regla de la palanca". Se usa junto a un camión cargado con carga de alrededor de 8,2 toneladas. El ensayo consiste en colocar el extremo de la viga entre las ruedas traseras del vehículo, midiendo la recuperación vertical de la superficie del pavimento cuando el camión avanza.

Variable dependiente.	Condición superficial y estructural de un pavimento flexible.	Refiere al estado actual en el cual se encuentra un pavimento tanto en magnitud como en severidad, como indicativo referencial de su condición superficial y estructural.
------------------------------	---	---

Fuente: Elaboración propia.

1.5.2. Operacionalización de la variable dependiente.

La operacionalización de variables consiste en determinar el método a través del cual las variables serán medidas o analizadas.

Tabla 1. 2 Operacionalización de la variable dependiente.

Variable	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Condición superficial y estructural de un pavimento flexible.	Fallas	Longitud (m) Superficie (m ²)	Identificación de tipos de fallas, medición de superficies y longitudes y valoración de ellas mediante metodología PCI.
	Regularidad	Índice de regularidad	Valor del movimiento vertical acumulado mediante un perfil longitudinal a lo largo de una distancia dada, obtenido con el rugosímetro de Merlín.
	Fricción	C.R.D (Coeficiente de resistencia al deslizamiento)	Usando el péndulo británico.
	Profundidad de textura	Profundidad (mm)	Cálculo de profundidad mediante el volumen y superficie abarcados por la mancha de arena.
	Deflexión	Milímetros(mm)	Usando viga Benkelman.
	Temperatura	Grados centígrados (°C)	Midiendo con termómetros especiales para pavimentos.

Fuente: Elaboración propia.

1.6. Diseño metodológico

Consiste en el conjunto más o menos coherente y racional de técnicas y procedimientos cuyo propósito fundamental apunta a implementar procesos de recolección, clasificación y validación de datos y experiencias provenientes de la realidad, y a partir de los cuales pueda construirse el conocimiento científico.

1.6.1. Componentes

1.6.1.1. Unidad de estudio

Determinación de las condiciones actuales del pavimento flexible en el tramo “Sella Cercado – Monte Cercado”.

1.6.1.2. Población

Carreteras complementarias construidas con pavimento flexible de conexión intermunicipal con la ciudad de Tarija como, por ejemplo:

Carretera a San Jacinto

Carretera a Tolomosa

Carretera a San Lorenzo

Carretera al Valle

Carretera a Sella

1.6.1.3. Muestra

La muestra seleccionada de la población de carreteras de pavimento flexible de la ciudad de Tarija para realizar el presente trabajo es la “Carretera a Sella”, que une el municipio de San Lorenzo con la Ciudad de Tarija Capital, que es una carretera de conexión interprovincial de gran demanda de tráfico por lo cual se ve conveniente conocer el estado actual tanto de superficie como de estructura del tramo.

1.6.1.4. Muestreo

El muestreo para realizar el estudio del presente trabajo será el tramo de carretera “Sella Cercado – Monte Cercado” con una longitud de 5400 metros.

1.6.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se desarrolla a lo largo de este trabajo corresponde a una investigación aplicada, de tipo descriptiva ya que se observa los fenómenos que se dan de manera natural en el objeto de estudio a fin de evaluar y determina las fallas que presenta

la vía tanto en la superficie como en la estructura caracterizándolas de manera cuantitativa y cualitativa.

A través de la información obtenida a lo largo de este trabajo de investigación se podrá interiorizar el conocimiento acerca de las condiciones que presenta el tramo evaluado y obtendrán juicios de valor que aporten elementos necesarios para la elaboración de un plan de mantenimiento y mejoras adecuado.

1.7. Alcance

Se realizara la evaluación superficial y estructural del pavimento flexible en el tramo “Sella Cercado – Monte Cercado” mediante los métodos del PCI para determinar el índice de condición del pavimento, IFI para determinar los índices tanto de fricción como de textura, IRI para determinar la regularidad superficial de la superficie y la Viga Benkelman para determinar las deflexiones que se generan al aplicar una carga sobre la estructura, estudios que se realizaran con la finalidad de obtener valores para cada estudio que nos brinden información útil con la cual se pueda determinar la condición actual en la que se encuentra el tramo, apoyándose en experiencias tanto locales como internacionales sobre la adecuada aplicación de los métodos mencionados y correcto uso de los equipos para la evaluación de pavimentos.

Se realizará en este proyecto los antecedentes correspondientes al tema en estudio en relación a proyectos o artículos afines al mismo, definiendo de esta manera la situación problemática y la justificación que argumente las razones expuestas para realizar el proyecto, se realizará también una investigación de bibliografías que aporten a la elaboración clara y concisa del objetivo general y los objetivos específicos. Se recolectará toda la información que sea necesaria para conformar un marco teórico solido que respalde los métodos que se emplearan en la evaluación de pavimento flexible con información de normativas vigentes en nuestro país y en el ámbito internacional como así también con proyectos que guarden relación con el tema.

Se realizará la evaluación del índice de condición del pavimento mediante la metodología regida por el método del PCI Basado en la Norma ASTM 5340-98 cumpliendo a cabalidad los criterios que esta propone para determinar la condición superficial en la que el pavimento se encuentra.

Para la determinación del índice de fricción IFI se usarán los métodos de la mancha de arena y el péndulo británico con los cuales se determinará los parámetros de textura y fricción respectivamente, aplicando en la ejecución de los ensayos toda la información obtenida en bibliografías consultadas.

El índice de rugosidad internacional IFI será determinado mediante el equipo llamado rugosímetro de Merlín basándose en información sobre experiencias internacionales y normas vigentes para la correcta obtención de datos y generación de resultados que sean confiables y precisos.

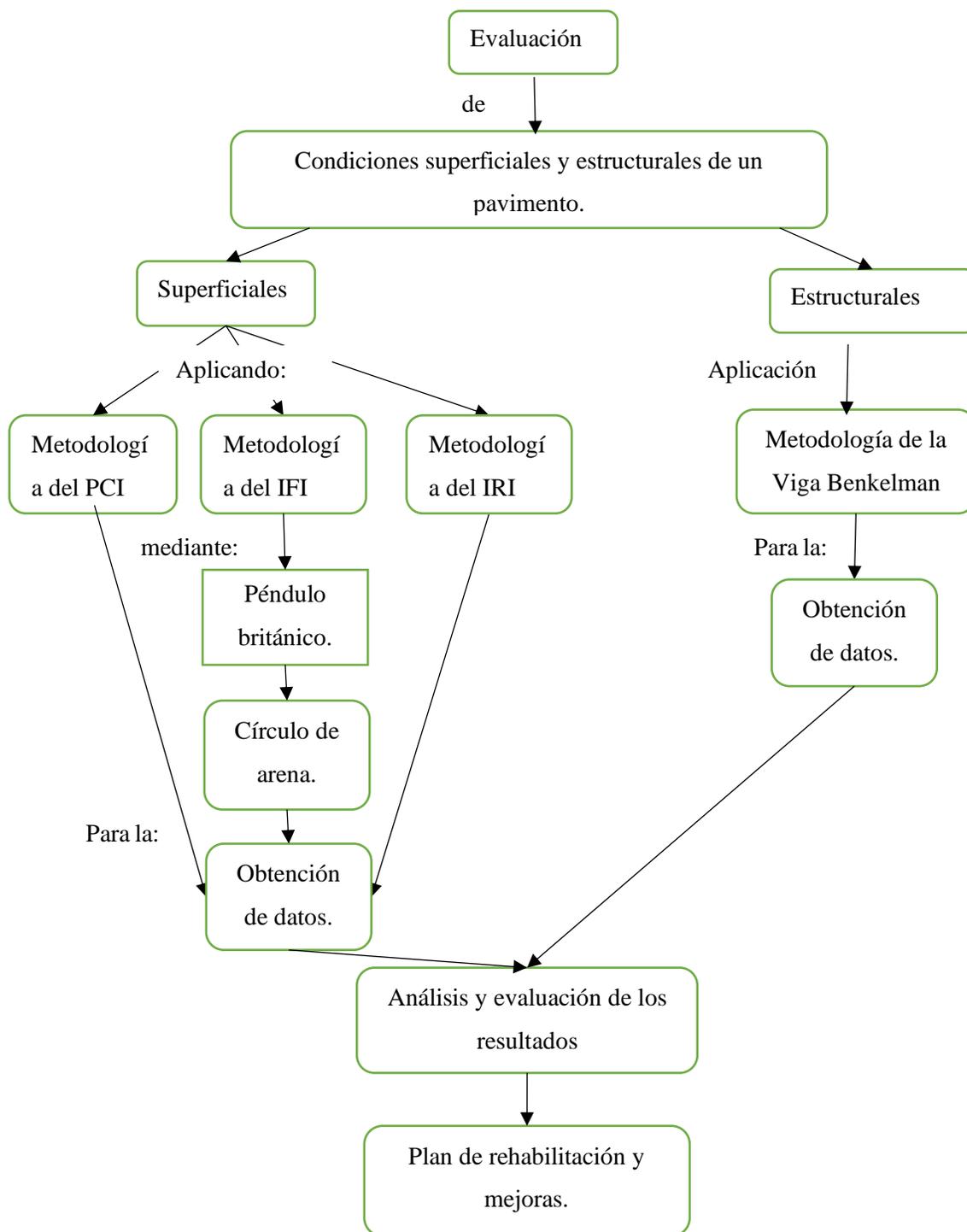
La evaluación estructural se realizará mediante la viga Benkelman, aplicando información sobre experiencias realizadas en nuestra región como así también en artículos y proyectos de carácter internacional, equipo el cual consiste en medir las deflexiones generadas en la estructura al aplicar la una carga en movimiento sobre la misma, ensayo basado en la norma ASTM D-4695.

Una vez obtenidos todos los datos necesarios de los estudios mencionados se procede a realizar el respectivo calculo que indica cada metodología, para obtener resultados que deben ser analizados y valorados para las características que analiza cada método en particular, brindando de esta manera la información útil para emitir juicios de criterio sobre las condiciones actuales en las que se presenta el pavimento flexible del tramo.

A partir de los resultados y las valoraciones realizadas se propondrá un plan de mejoras y mantenimientos que se crea pertinente para la vía.

Finalmente se describirán las conclusiones obtenidas a lo largo del desarrollo de este proyecto de investigación y las recomendaciones que se crean convenientes para las futuras aplicaciones de las metodologías empleadas.

1.8. Esquema de la perspectiva usada.



1.9. Métodos y procedimientos lógicos

PCI (índice de condición del pavimento)

Basado en la Norma ASTM 5340-98, la cual considera muestras de 230 m² de área como valor máximo de una superficie de muestra. Para poder determinar la clasificación se debe seguir una serie de pasos señalados por la norma y registrar de una manera ordenada la información del inventario vial tal como tipo de daño, severidad y la cuantificación de las mismas de acuerdo a una unidad de muestreo.

IRI (Índice de Regularidad Superficial)

Es 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 drenaje (ASTM-E087).

El equipo rugosímetro de merlín el cual se usa en este proyecto denominado por la abreviatura “Machine for Evaluating Roughness using low cost instrumentation”, este consiste en una estructura metálica de 1.8 m de longitud, con una rueda en frente, un pie de apoyo fijo atrás y un apoyo central oscilante. Este último mide las desviaciones de cota de un punto respecto en la rasante que definen los otros dos puntos.

El apoyo central unido al brazo que en su extremo superior posee un puntero permite registrar dichas desviaciones en una planilla.

IFI (Índice de Fricción internacional)

Son las propiedades antideslizantes que brindan seguridad a los usuarios de las vías carreteras y se determinan mediante:

El método del círculo de arena. (Norma Española: NLT-335/92) sirve para determinar las medidas puntuales de la macrotextura (rugosa o lisa), que consiste en extender sobre la superficie de un pavimento un volumen determinado (25 cm³) de arena fina uniforme, de manera que cubra todas las irregularidades de la superficie, quedando enrasada la arena con los picos más sobresalientes. Se procura extender la arena en forma de círculo, con lo que es más fácil determinar el área cubierta por la arena.

El método del péndulo de fricción (ASTM E-303/83 o NLT-175/92) es una indicación directa del grado de rugosidad que proporciona la micro textura del pavimento.

El péndulo de fricción consiste en aplicar el equipo directamente sobre la superficie de la carretera empleando una zapata de goma, sobre la superficie mojada del pavimento para obtener el valor de CDR.

Viga Benkelman

Para la evaluación estructural se utilizará el método de la Viga Benkelman basada en la norma ASTM D-4695, el cual se caracteriza por medir las deflexiones que se presentan en el pavimento debido a diferentes factores como ser cargas vehiculares.

Para emplear dicho método necesitaremos armar el equipo en medio del par de ruedas del eje trasero de una volqueta con un peso en su eje trasero de 8.2tn, luego haremos que la volqueta avance a muy baja velocidad (1cm/s) y anotaremos las lecturas que marque el dial de la viga cuando se presente la deflexión máxima que es a 0.25m y cuando el pavimento esté libre de deflexión que es $\geq 5m$, para finalizar tomaremos la temperatura del pavimento en cada punto de ensayo. Realizaremos este mismo procedimiento 30 veces a lo largo de todo el tramo, en las unidades de muestra que presenten muy bajo PCI y en las unidades de muestra que no presenten fallas o un PCI excelente, para así obtener los valores de las deflexiones máximas y radios de curvatura mediante los cuales se evaluará la condición estructural del pavimento.

CAPITULO II
GENERALIDADES Y METODOLOGIAS APLICADAS EN LA EVALUACIÓN
DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

CAPITULO II

GENERALIDADES Y METODOLOGIAS APLICADAS EN LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Definición de pavimentos

A continuación, mostraremos algunas definiciones de un par de autores que explican de manera muy clara la definición de pavimentos:

“Se define al pavimento como un elemento estructural apoyado sobre un terreno de fundación llamado subrasante. Está conformado por un conjunto de capas de materiales seleccionados y superpuestos que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a cada estrato de forma disipada hasta llegar a la subrasante; todo pavimento debe proporcionar una superficie de rodamiento, capaz de resistir los esfuerzos cortantes y destructivos producidos por las cargas de tránsito durante su vida útil y tener un adecuado funcionamiento”.

“Es una estructura que se encuentra constituida por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de la vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de restringir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento”.

Características que debe reunir un pavimento

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos.
- Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Presentar regularidad superficial, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable y económico.

- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura en el interior de los vehículos que afecten al usuario, así como en el exterior, deben ser adecuadamente moderado.

Clasificación de los pavimentos.

Los pavimentos pueden clasificarse de la siguiente manera:

Pavimentos flexibles.

Pavimentos rígidos.

Pavimentos semirrígidos.

2.1. Pavimentos flexibles

Son aquellos que tienen un revestimiento asfáltico sobre una capa base granular. La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de tensiones cizallantes. En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su fisuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico. Al mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado, y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento fuera significativa.

Los pavimentos flexibles consisten en agregados minerales seleccionados, unidos por una ligante bituminosa. El asfalto incluye una gran variedad de aplicación en pavimentos que van de tratamientos superficiales delgados a gruesas capas de concreto asfáltico.

Pavimento flexible es el que cuenta con una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Este pavimento está compuesto de una carpeta asfáltica, base granular y capa de sub-base. Es más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de 10 a 15 años. Requiere de un mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.

Imagen 2. 1 Sección típica transversal pavimento flexible



Fuente: Minaya S, (2006) “Diseño moderno de pavimentos asfálticos”

Generalmente un pavimento flexible como se muestra en la figura está formado por cuatro capas que se describen a continuación:

Sub rasante: Es la capa más profunda de toda la estructura que conforman al pavimento. Estos suelos pertenecientes a la sub rasante serán adecuados y estables con CBR4 igual o mayor a 6%. En el caso que sea menor (sub rasante 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.

Sub-base: 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.

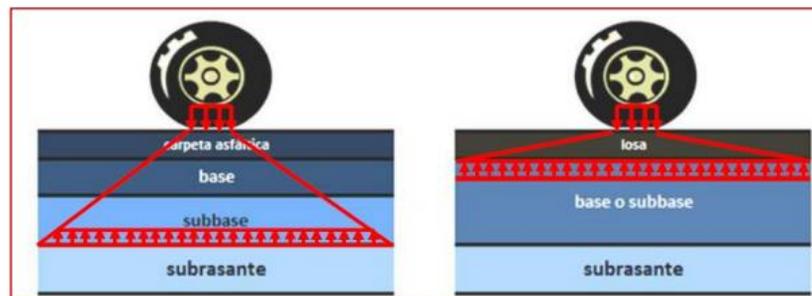
Base granular: Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Esta capa será de material granular ($\text{CBR} \geq 80\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. A su vez esta capa debe ser de mejor calidad y granulometría que la sub-base.

Carpeta asfáltica: Es la capa superior del pavimento flexible y es colocada sobre la base granular con la finalidad de sostener directamente el tránsito. Asimismo, es la capa de mejor calidad debido a que debe ofrecer características como fricción, suavidad, control de ruido y drenaje.

2.1.1. Comportamiento estructural de los pavimentos

Desde el punto de vista de diseño los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema los pavimentos rígidos tienen un gran módulo de elasticidad y distribuyen las cargas sobre un área grande, la consideración más importante es la resistencia estructural del concreto. El comportamiento estructural de un pavimento frente a cargas externas, varía de acuerdo a las capas que lo constituyen. La principal diferencia entre el comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos es la forma cómo se reparten las cargas.

Imagen 2. 2 Comportamiento estructural de los pavimentos



Fuente: Minaya S, (2006) “Diseño moderno de pavimentos asfálticos”

En un pavimento flexible las capas de mejor calidad están cerca de la superficie donde las tensiones son mayores, y estas cargas se distribuyen de mayor a menor a medida que se va profundizando hacia los niveles inferiores. Los pavimentos flexibles tienen menor rigidez, por eso se deforma más que el rígido y se producen tensiones mayores en la subrasante. En el caso de pavimentos rígidos, la losa es la capa que asume casi toda la carga. Las capas inferiores a la losa, en términos de resistencia, son despreciables. Las cargas se distribuyen uniformemente debido a la rigidez del concreto, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. Un factor que influye en el comportamiento de los pavimentos es el tipo de carga que se le aplica y la velocidad con que ello se hace. Los pavimentos están sujetos a cargas móviles, y el hecho que las cargas actuantes sean repetitivas afectan a la resistencia de las capas de pavimento de relativa rigidez, por lo que, en el caso de los pavimentos flexibles, este efecto se presenta sobre todo en las carpetas y las bases estabilizadas.

2.1.2. Fallas en los pavimentos

En todos los métodos de diseño de pavimentos se acepta que durante la vida útil de la estructura se pueden producir dos tipos de fallas, la funcional y la estructural. La falla funcional se deja ver cuando el pavimento no brinda un paso seguro sobre él, los vehículos no viajan de forma cómoda y la falla estructural está asociada con la pérdida de cohesión de algunas o todas las capas del pavimento de tal forma que este no pueden soportar las cargas a la que está sometido. La falla estructural implica una degradación de la estructura del pavimento. Se presenta cuando los materiales que conforman la estructura, al ser sometida a repeticiones de carga por acción del tránsito sufren un agrietamiento estructural relacionado con la deformación o la tensión horizontal por tracción en la base de cada capa, esto se denomina falla por fatiga.

Por otro lado, las fallas en los pavimentos flexibles pueden identificarse de acuerdo a su origen:

Fallas por insuficiencia estructural

Se trata de pavimentos construidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia o con materiales de buena calidad, pero en espesor insuficiente.

Fallas por defectos constructivos

Se trata de pavimentos que estuvieron formados por materiales suficientemente resistentes, pero en cuya construcción se han producido errores o defectos que afectan el comportamiento conjunto.

Fallas por fatiga

Se trata de pavimentos que originalmente estuvieron en condiciones apropiadas, pero que por la continua repetición de las cargas del tránsito sufrieron efectos de fatiga.

Sin embargo, las fallas en los pavimentos tanto flexibles como rígidos pueden ser divididas en dos grandes grupos que son; fallas superficiales y fallas estructurales.

Fallas estructurales

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento, cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir, de una o más capas constitutivas que deben resistir las sollicitaciones que imponen el tránsito y el conjunto de factores climáticos. Para corregir este tipo de fallas es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito presente y el futuro estimado.

Fallas Superficiales.

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento debidos a las fallas de la capa asfáltica y no guardan relación con la estructura de la calzada. La corrección de estas fallas se efectúa con solo regularizar la superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad, o también tratando los daños que presente la vía para una mejor serviciabilidad. Cuando se realiza la inspección de daños, debe evaluarse la calidad de tránsito (o calidad del viaje) para determinar el nivel de severidad de daños tales como las corrugaciones y el cruce de vía férrea. A continuación, se presenta una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito.

L: (Low = Bajo): Se perciben las vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones) pero no es necesaria una reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo, pero creando poca incomodidad.

M: (Medium = Medio): Las vibraciones en el vehículo son significativas y se requiere alguna reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un rebote significativo, creando incomodidad.

H: (High = Alto): Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un excesivo rebote del vehículo, creando una incomodidad importante o un alto potencial de peligro o daño severo al vehículo.

La calidad de tránsito se determina recorriendo la sección de pavimento en un automóvil de tamaño estándar a la velocidad establecida por el límite legal. Las secciones de pavimento cercanas a señales de detención deben calificarse a la velocidad de desaceleración normal de aproximación a la señal.

2.3.1. Descripción de las fallas superficiales

A continuación, se realiza una descripción detallada de las posibles fallas estructurales que pueden presentarse en la superficie de un pavimento flexible:

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 producida 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 o Sobre carpeta.

M: Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobre carpeta. Reconstrucción.

H: Parcheo parcial o Full Depth. Sobre carpeta. Reconstrucción.

Imagen 2. 3 Piel de cocodrilo de baja severidad.



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

Imagen 2. 4 Piel de cocodrilo de severidad media.



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

Imagen 2. 5 Piel de cocodrilo de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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 (ó 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).

Imagen 2. 6 Exudación de baja severidad.



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

Imagen 2. 7 Exudación de severidad media.



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

Imagen 2. 8 Exudación de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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 (ó metros cuadrados) de área afectada. Generalmente, se presenta un sólo 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 sobre carpeta.

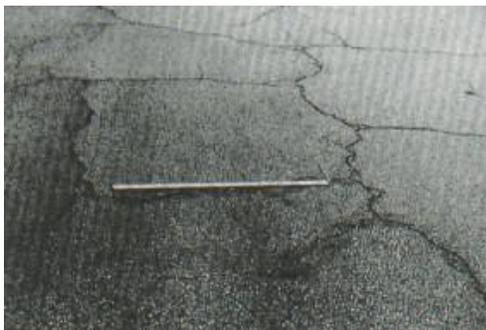
H: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobre carpeta.

Imagen 2. 9 Grietas en bloque de baja severidad.



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

Imagen 2. 10 Grietas en bloque de baja severidad.



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

Imagen 2. 11 Grietas en bloque de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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:

Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento Pórtland con una sobre carpeta de concreto asfáltico.

Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo).

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 (ó 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.

Imagen 2. 12 Grietas en bloque de alta severidad.

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

Imagen 2. 13 Abultamientos y hundimientos de severidad media.

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

Imagen 2. 14 Abultamientos y hundimientos de alta severidad.

Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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 (ó metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

Imagen 2. 15 Corrugación de baja severidad.



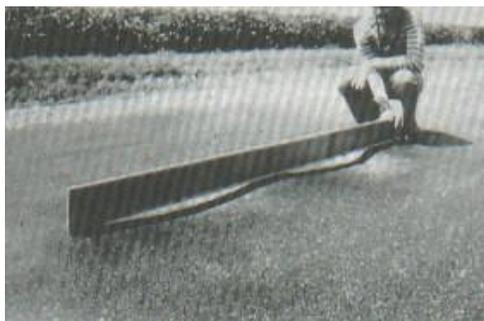
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (Manual del PCI).

Imagen 2. 16 Corrugación de severidad media.



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

Imagen 2. 17 Corrugación de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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 sólo 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 hidropneumático.

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 (ó metros cuadrados) del área afectada

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

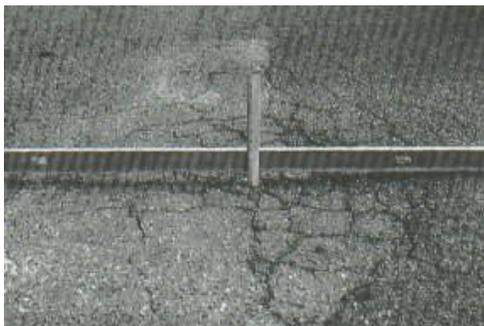
H: Parcheo superficial, parcial o profundo.

Imagen 2. 18 Depresión de baja severidad.



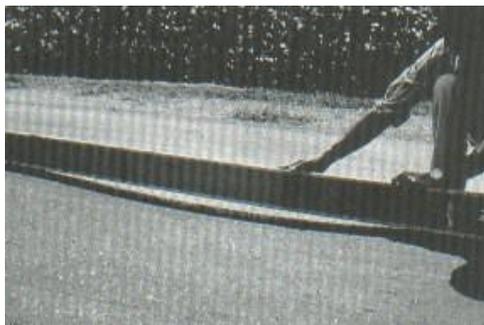
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (Manual del PCI).

Imagen 2. 19 Depresión de severidad media.



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

Imagen 2. 20 Depresión de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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 como 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 (ó 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.

Imagen 2. 21 Grieta de borde de baja severidad.



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

Imagen 2. 22 Grieta de borde de severidad media.



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

Imagen 2. 23 Grieta de borde de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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 Pórtland. 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 Pórtland, 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:

Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.

Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.

Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad.

Grietas sin relleno de más de 76.0 mm.

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 este también debe registrarse.

Opciones de Reparación.

L: Sellado para anchos superiores a 3.00 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

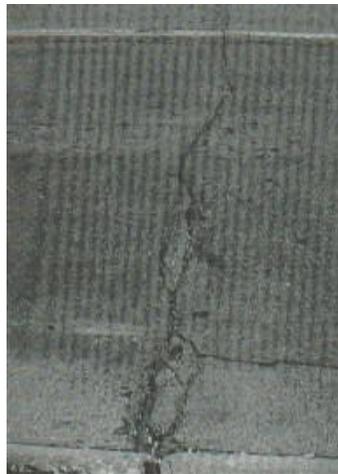
H: Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta.

Imagen 2. 24. Grieta de reflexión de junta de baja severidad.



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

Imagen 2. 25 Grieta de reflexión de junta de severidad media.



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

Imagen 2. 26 Grieta de reflexión de junta de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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 sobre carpetas 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 (ó metros lineales).

Opciones de reparación

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

Imagen 2. 27 Desnivel carril / berma de baja severidad.



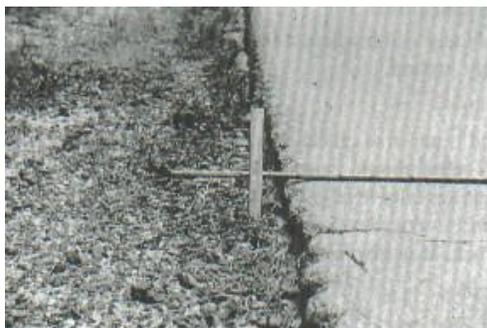
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (Manual del PCI).

Imagen 2. 28 Desnivel carril / berma de severidad media.



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

Imagen 2. 29 Desnivel carril / berma de alta severidad.



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

10. Grietas longitudinales y transversales

Descripción

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

Una junta de carril del pavimento pobremente construida.

Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.

Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Pórtland, 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:

Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.

Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.

Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.

Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.

Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.

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 (ó 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, estos deben registrarse.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3.0 mm.

M: Sellado de grietas.

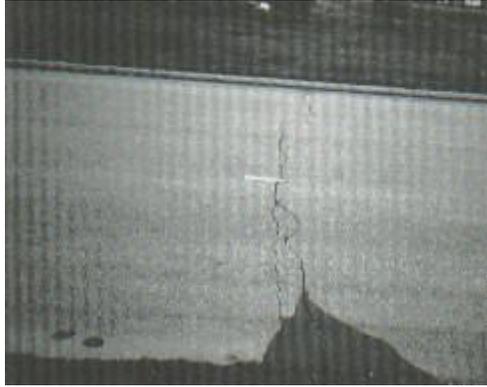
H: Sellado de grietas. Parcheo parcial.

Imagen 2. 30 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de baja severidad.



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

Imagen 2. 31 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de severidad media.



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

Imagen 2. 32 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de alta severidad.



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

11. Parcheo

Descripción

Un parche es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa que 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 buena 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 sólo parche tiene áreas de diferente severidad, estas 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; aún 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 o sustitución del parche.

H: Sustitución del parche.

Imagen 2. 33 Parcheo y acometidas de servicios públicos de baja severidad.

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

Imagen 2. 34 Parcheo y acometidas de servicios públicos de severidad media.

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

Imagen 2. 35 Parcheo y acometidas de servicios públicos de alta severidad.

Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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 (ó 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, sobre carpeta o fresado y sobre carpeta.

Imagen 2. 36 Pulimento de agregados.

Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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 el Cuadro 13.1.

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 2. 1 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 D6433-03 (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.

Imagen 2. 37 Hueco de baja severidad.



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

Imagen 2. 38 Hueco de severidad media.



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

Imagen 2. 39 Hueco de severidad alta.



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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 (ó 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.

Imagen 2. 40 Cruce de vía férrea de baja severidad.



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

Imagen 2. 41 Cruce de vía férrea de severidad media.



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

Imagen 2. 42 Cruce de vía férrea de severidad alta.



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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 sólo 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 debidos 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 (ó 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 aquel para calcular su profundidad media.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado y sobre carpeta.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobre carpeta.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobre carpeta.

Imagen 2. 43 Ahuellamiento de baja severidad.



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

Imagen 2. 44 Ahuellamiento de severidad media.



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

Imagen 2. 45 Ahuellamiento de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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 sólo 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 Pórtland. La longitud de los pavimentos de concreto de cemento Pórtland 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 (ó 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.

Imagen 2. 46 Desplazamiento de baja severidad.



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

Imagen 2. 47 Desplazamiento de severidad media.



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

Imagen 2. 48 Desplazamiento de severidad alta.



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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:

Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm.

El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm.

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 (ó 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.

Imagen 2. 49 Grieta parabólica (slippage) de baja severidad.



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

Imagen 2. 50 Grieta parabólica (slippage) de severidad media.



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

Imagen 2. 51 Grieta parabólica (slippage) de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (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 (ó metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

Imagen 2. 52 Ejemplo de hinchamiento.



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

19. Meteorización / desprendimiento de agregados

Descripción

La meteorización y el desprendimiento son la pérdida de la superficie del pavimento debida 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 debidos 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 (ó metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

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

M: Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobre carpeta.

H: Tratamiento superficial. Sobre carpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

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

Imagen 2. 53 Meteorización / desprendimiento de agregados de baja severidad.

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

Imagen 2. 54 Meteorización / desprendimiento de agregados de severidad media.

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

Imagen 2. 55 Meteorización / desprendimiento de agregados de alta severidad

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

2.2. Evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie y estructura del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas necesarias de reparación y mantenimiento. Con la evaluación se pretende determinar cómo intervenir un pavimento para prolongar su vida útil.

La importancia de la evaluación radica en que permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima. Asimismo, con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto.

Por último, la evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio ahorrando de esta manera gastos mayores.

Tipos de evaluación de pavimentos

Una correcta evaluación de pavimentos incluye estudios sobre el estado de la condición superficial y estructural.

2.2.1. Evaluación superficial de pavimentos flexibles

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

Entre este tipo de deficiencias se encuentran: La rugosidad, fallas superficiales y pérdida de fricción, costo de usuario y el medio ambiente.

En lo que se refiere a la evaluación superficial, la misma debe considerar las fallas presentes en el pavimento de tal manera de valorarlas, tanto en magnitud como en severidad, para así tener un indicativo referencial de su condición. Para ello se dispone de la evaluación funcional del pavimento mediante la determinación del índice de condición del pavimento (PCI).

2.2.1.1. Evaluación mediante el Índice de Condición de un Pavimento (PCI)

El Índice de Condición de Pavimentos (PCI) con sus siglas en inglés, es un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento. El PCI proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie, indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales (rugosidad localizada y seguridad). El PCI no puede medir la capacidad estructural del pavimento, y tampoco proporciona determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción o la rugosidad general. Proporciona una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento.

El PCI fue desarrollado por el cuerpo de Ingenieros de la US Army con fondos provistos por la US Air Force, para pavimentos de aeropuertos. Posteriormente fue verificado y adoptado por la FAA y la US Naval Facilities Engineering Command. La metodología PCI esta descrita en la norma ASTM D6433-03, la cual da los lineamientos para determinar el Índice de Condición del Pavimento en caminos y estacionamientos.

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

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En la Tabla 2.2 se

presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 2. 2 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)

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

2.2.1.1.1. Procedimiento para la evaluación del PCI

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. La imagen 2.55 muestra el formato para la inspección de pavimentos asfálticos. La figura es ilustrativa y en la práctica debe proveerse el espacio necesario para consignar toda la información pertinente.

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.

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, ósea, 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 transito:

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.

Imagen 2. 56 Formato de exploración de condición.

Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)						
Hoja de registro						
Vía:			Sección:		Unid. De muestra:	
Ejecutor:			Fecha:		Área (m ²):	
Fallas		Unidad		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			Nº
4. Abultamientos y hundimientos		m ²	14. Cruce de puente			m ²
5. Corrugación		m ²	15. Ahuellamiento			m ²
6. Depresión		m ²	16. Desplazamiento			m ²
7. Fisura de borde		m	17. Fisura Parabólica			m ²
8. Fisura de reflexión de junta		m	18. Hinchamiento			m ²
9. Desnivel carril-berma		m	19. Desprendimiento de agregados			m ²
10. Fisuras longitudinales y transversales		m				
Falla	Severidad	Cantidad			Total	

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.1.2. División del pavimento en unidades de muestra

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

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 2.3 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla 2. 3 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 D6433-03)

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

Determinación de las unidades de muestra para la evaluación

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

En la “Evaluación de un proyecto”, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 1, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95 %.

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

Donde:

n= Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

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

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

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

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

Selección de las unidades de muestra para la evaluación

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

El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la Ecuación 2:

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

Donde:

N = Número total de unidades de muestreo disponible.

n = Número mínimo de unidades para evaluar.

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

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

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

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

Selección de las unidades de muestra adicionales

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez

(por ejemplo, “cruce de línea férrea”) queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

Materiales necesarios y evaluación de la condición del pavimento

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

Equipo

Hoja de registro para anotar todos los datos levantados en la evaluación.

Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.

Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.

Manual de daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

Conos de seguridad vial.

Plano de distribución donde se esquematiza el tramo que será evaluado.

Procedimiento

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

Seguridad

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

2.2.1.1.3. Cálculo del PCI en una capa de rodadura

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

Etapa 1. Cálculo de los “Valores deducidos”:

1. a. Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna total del formato PCI-01. El daño puede medirse en área, longitud ó por número según su tipo.
1. b. Divida la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje. Esta es la densidad del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
1. c. Determine el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas “Valor deducido del daño”, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

Etapa 2. Cálculo del “Número máximo admisible de valores deducidos (m)”.

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

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

Donde:

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

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

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

Etapa 3. Cálculo del “Máximo valor deducido corregido”, CDV.

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

3. a. Determine el número de valores deducidos, q, mayores que 2.0.
 3. b. Determine el “Valor deducido total” sumando todos los valores deducidos individuales.
 3. c. Determine el CDV con “q” y el “Valor deducido total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
 3. d. Reduzca a 2.0 el menor de los “Valores deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repita las etapas 3.a. a 3.c. hasta que q sea igual a 1.
 3. e. El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.
- Etapa 4. Calcule el PCI de la unidad con la ecuación 4, restando de 100 el máximo CDV obtenido en la etapa 3.

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

En la imagen 2.56 se presenta un formato para el desarrollo del proceso iterativo de obtención del “Máximo valor deducido corregido”, CDV.

Imagen 2. 57 Formato para las iteraciones del cálculo del CDV.

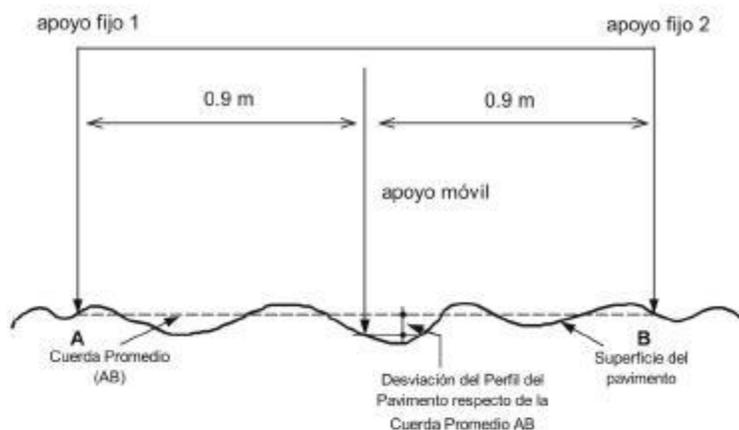
N°	Valores deducidos							VDT	q	VDC
1										
2										
3										

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

2.2.1.2. Metodología para la determinación de la rugosidad (IRI)

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. La imagen 2.58. ilustra como el Merlín mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

Imagen 2. 58 Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio.



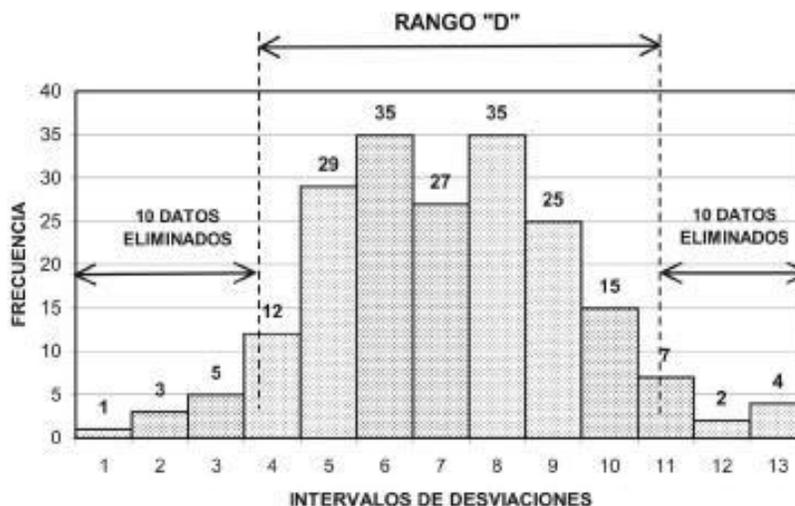
Fuente: Manual del usuario (Merliner)

La longitud de la cuerda promedio es 1.80m, por ser la distancia que proporciona los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos. Si se define el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad (imagen 2.59).

El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades Merlín”. El concepto de usar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, como una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento no es nuevo ni original del TRRL. Varios parámetros de rugosidad precedentes, tal como el

conocido Quarter-car Index (QI), han sido propuestos por otros investigadores basándose en el mismo concepto, los que son analizados en la referencia.

Imagen 2. 59 Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva.



Fuente: Manual del usuario (Merliner)

Correlaciones del rango D versus IRI

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

- Cuando $2.4 < IRI < 15.9$, entonces $IRI = 0.593 + 0.0471 D$
- Cuando $IRI < 2.4$, entonces $IRI = 0.0485 D$

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

La expresión b es la ecuación de correlación establecida de acuerdo a la experiencia peruana y luego de comprobarse, después de ser evaluados más de 3,000 km de pavimentos, que la ecuación original del TRRL no era aplicable para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o poco deformados. Se desarrolló entonces, siguiendo la

misma metodología que la utilizada por el laboratorio británico, una ecuación que se emplea para el control de calidad de pavimentos recién construidos.

Existen otras expresiones que han sido estudiadas para el caso de superficies que presentan cierto patrón de deformación que incide, de una manera particular, en las medidas que proporciona en MERLIN. M.A. Cundill del TRRL estableció en 1996, para el caso de superficies con macadam de penetración de extendido manual, la siguiente expresión:

$$\text{IRI} = 1.913 + 0.0490 D$$

2.2.1.2.1. El rugosímetro Merlín.

El rugosímetro Merlín, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo. Fue introducido en el Perú por iniciativa personal del autor en 1993, existiendo en la fecha (Junio 1999) mas de 15 unidades pertenecientes a otras tantas empresas constructoras y consultoras.

De acuerdo con la clasificación del Banco Mundial los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases, siendo los de Clase 1 los más exactos (Mira y Nivel, TRRL Beam, perfilómetros estáticos). La Clase 2 agrupa a los métodos que utilizan los perfilómetros estáticos y dinámicos, pero que no cumplen con los niveles de exactitud que son exigidos para la Clase 1. Los métodos Clase 3 utilizan ecuaciones de correlación para derivar sus resultados a la escala del IRI (Bump integrator, Mays meter). Los métodos Clase 4 permiten obtener resultados meramente referenciales y se emplean cuando se requieren únicamente estimaciones gruesas de la rugosidad.

El método de medición que utiliza el Merlín, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el Merlín, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ($R^2=0.98$). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros.

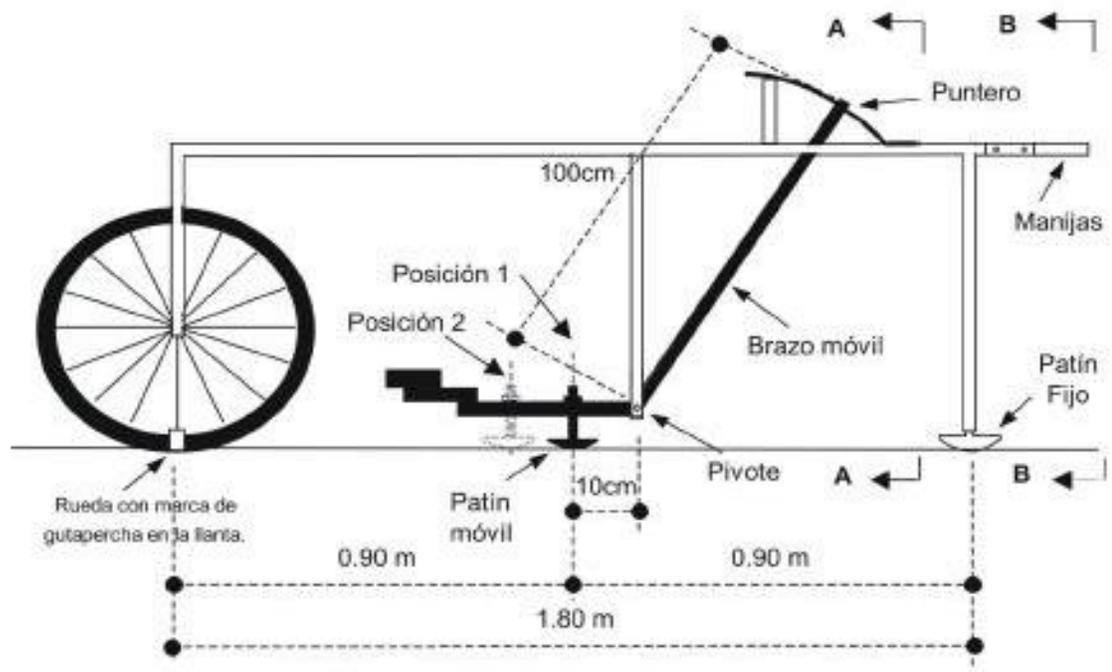
El Merlín es un equipo de diseño simple. La imagen 2.60 presenta un esquema ilustrativo del instrumento. Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es

una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla.

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

El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el cual se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento. La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de manera tal que un movimiento vertical de 1 mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero.

Imagen 2. 60 Esquema del rugosímetro del Merlín.



CORTE A-A

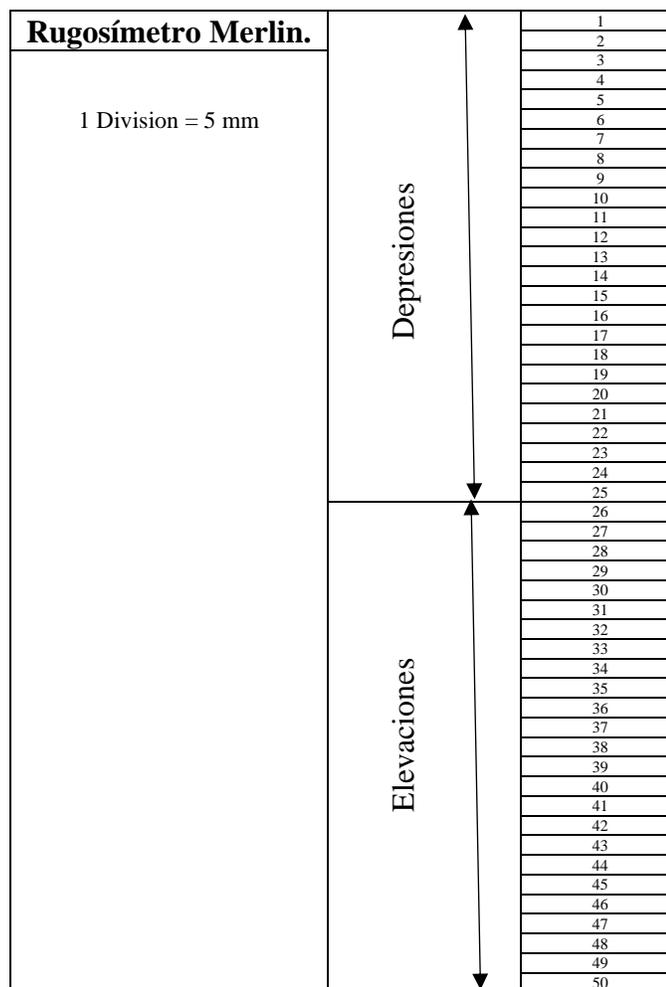


CORTE B-B

Fuente: Manual del usuario (Merliner)

Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cuál se desliza el puntero (imagen 2.61)

Imagen 2. 61 Escala grafica del rugosímetro de Merlín.



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.1.2.2. Ejecución de ensayos

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un trecho de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del Merlín, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse

estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del Merlín, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo (imagen 2.60, Corte B-B). La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como el mostrado en el imagen 2.62. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

Imagen 2. 62 Planilla de recolección de datos

ENSAYOS PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN (HOJA DE CAMPO)											
PROYECTO:											
SECTOR:			FECHA:								
TRAMO:											
CARRIL:											
ENSAYO Nº <input type="text"/>			KM <input type="text"/>			HORA <input type="text"/>					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											TIPO DE PAVIMENTO
2											Afirmado <input type="text"/>
3											Base Granular <input type="text"/>
4											Base Imprimada <input type="text"/>
5											Trat. Bicapa <input type="text"/>
6											Carpeta en Frio <input type="text"/>
7											Carpeta en Caliente <input type="text"/>
8											Recapeo Asfaltico <input type="text"/>
9											Sello <input type="text"/>
10											Otros <input type="text"/>
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

Fuente: Elaboración propia.

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar. Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con gutapercha fosforescente, por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

2.2.1.2.3. Método para el cálculo de la rugosidad

Cálculo del rango “D”

Como se ha explicado, para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del rugosímetro, la que sirve para registrar las doscientas posiciones que adopta el puntero del brazo móvil. La división N° 25 debe ser tal que corresponda a la posición central del puntero sobre el tablero cuando el perfil del terreno coincide con la línea o cuerda promedio. En la medida que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división 25 o con alguna cercana (dispersión baja), el ensayo demostrará que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a una línea recta (baja rugosidad). Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la división N°25 (dispersión alta), se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada).

La dispersión de los datos obtenidos con el Merlín se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma (Imagen 2.59).

Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco

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

Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos. En la imagen 2.59, por ejemplo, en el extremo inferior del histograma, se tiene que por efecto del descarte de los 10 datos se eliminan los intervalos 1, 2 y 3, y un dato de los doce que pertenecen al intervalo 4, en consecuencia, resulta una unidad fraccionada igual a $11/12=0.92$. Caso similar sucede en el extremo superior del histograma, en donde resulta una unidad fraccionada igual a $3/7=0.43$. Se tiene en consecuencia un Rango igual a $0.92+6+0.43=7.35$ unidades.

El Rango D determinado se debe expresar en milímetros, para lo cuál se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros ($7.35 \times 5\text{mm}=36.75\text{mm}$).

Factor de corrección para el ajuste de “D”

Las ecuaciones 1 y 2 representan correlaciones entre el valor D y la rugosidad en unidades IRI, las cuales han sido desarrolladas para una condición de relación de brazos del rugosímetro de 1 a 10 (imagen 2.62). Esta relación en la práctica suele variar, y depende del desgaste que experimenta el patín del brazo móvil del instrumento. En consecuencia, para corregir los resultados se verifica la relación de brazos actual del instrumento, y, se determina un factor de corrección que permita llevar los valores a condiciones estándar. Para determinar el factor de corrección se hace uso de un disco circular de bronce de aproximadamente 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor, y se procede de la siguiente manera:

1. Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm. El espesor se calculará como el valor promedio considerando 4 medidas diametralmente opuestas. Por ejemplo: el espesor medido es 6.2mm
2. Se coloca el rugosímetro sobre una superficie plana (un piso de terrazo, por ejemplo) y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el patín móvil se encuentra sobre el piso (por ejemplo, lectura=25). Se levanta el patín y se coloca la pastilla de calibración debajo de él, apoyándola sobre el piso.

Esta acción hará que el puntero sobre el tablero se desplace, asumiendo una relación de brazos estándar de 1 a 10, una distancia igual al espesor de la pastilla multiplicado por 10 (es decir: $6.2 \times 10 = 62 \text{ mm}$), lo que significa, considerando que cada casillero mide 5 mm, que el puntero se ubicará aproximadamente en el casillero 12, siempre y cuando la relación de brazos actual del equipo sea igual a la asumida. Si no sucede eso, se deberá encontrar un factor de corrección (F.C.) usando la siguiente expresión:

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

Donde:

EP = Espesor de la pastilla

LI = Posición inicial del puntero

LF = Posición final del puntero

Por ejemplo:

Si la posición inicial del puntero fue 25 y la final fue 10, entonces el Factor de Corrección será:

$$\mathbf{FC = (6.2 \times 10) / [(25-10) \times 5] = 0.82666}$$

$$\mathbf{FC = 0.82666}$$

Variación de relación de brazos

Para facilidad del trabajo, el rugosímetro admite dos posiciones para el patín del brazo pivotante (imagen 2.60):

- a. Una posición ubicada a 10 cm del punto de pivote, posición standard que se utiliza en el caso de pavimentos nuevos o superficies muy lisas (baja rugosidad). En ese caso la relación de brazos utilizada será 1 a 10.
- b. Una posición ubicada a 20 cm del punto de pivote, posición alterna que se utiliza en el caso de pavimentos afirmados muy deformados o pavimentos muy deteriorados.

En ese caso la relación de brazos será 1 a 5. De usar esta posición, el valor D determinado deberá multiplicarse por un factor de 2.

Cálculo del rango “D” corregido

El valor D calculado en la sección 2.6.1.2.5.1., deberá modificarse considerando el Factor de Corrección (FC=0.82666) definido en la sección 2.6.1.2.5.2. y la Relación de Brazos empleada en los ensayos (RB=1). El valor D corregido será $36.75\text{mm} \times 0.82666 \times 1 = 30.38\text{mm}$. Este valor llevado a condiciones estándar es la rugosidad en “unidades Merlín”.

Determinación de la rugosidad en la escala del IRI

Para transformar la rugosidad de unidades Merlín a la escala del IRI, se usa las expresiones (a) y (b). Aplicando la expresión para el caso de $IRI < 2.5$, se obtiene finalmente, para el ejemplo seguido, una rugosidad igual a 1.47 m/km.

2.2.1.3. Evaluación mediante el índice de fricción internacional, IFI

El modelo PIARC descrito 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 2.4.

Tabla 2. 4 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: López, V. D., y Garnica, A. P. (2002) Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México.

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 la Tabla 2.5.

Tabla 2. 5 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 Sen α , donde α = ángulo de esviaje

Fuente: López, V. D., y Garnica, A. P. (2002) Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México.

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, de donde despejando FR60 se obtiene:

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

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

$$F60 = A + (B \cdot FR60)$$

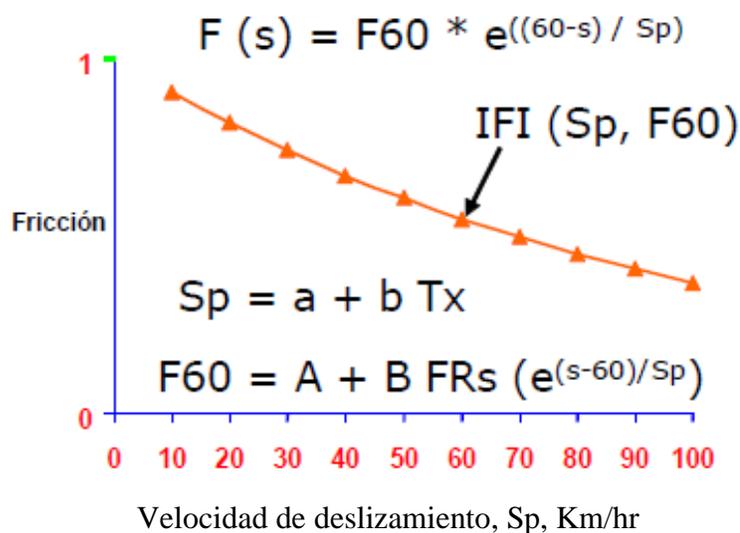
Donde A y B son constantes según el equipo utilizado para medir la Fricción y sus valores.

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 como se observa en la imagen 2.63 con una ecuación análoga a la anterior que se expresa como:

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

Imagen 2. 63 Modelo del Índice de Fricción Internacional, según documento PIARC Modelo



Fuente: López, V. D., y Garnica, A. P. (2002) Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México.

2.2.1.3.1. Medición de la textura por medio de la prueba del círculo de arena

Descripción de la prueba del círculo de arena

Este método de prueba (imagen 2.64) es adecuado para pruebas de campo el cual determina el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento. El conocimiento del espesor de la macrotextura sirve como una herramienta en la caracterización de las texturas superficiales de los pavimentos.

Cuando se utiliza en conjunción con otras pruebas físicas, el espesor de la macrotextura derivada de este método de prueba puede ser utilizado para determinar la capacidad de resistencia al deslizamiento de los materiales en pavimentos o la sugerencia de un mejor acabado. Cuando se utiliza con otras pruebas, se debe tener cuidado de que todas ellas se apliquen al mismo lugar. Se pueden obtener mejoras en la evaluación del acabado de pavimentos y planes de mantenimiento del uso de este método.

Imagen 2. 64 Círculo de arena (ASTM E 965)



Fuente: Elaboración propia.

Las mediciones del espesor de la textura producidos utilizando este método de prueba se ve influenciada por las características de la macrotextura de la superficie. La forma de la partícula del agregado, tamaño y distribución son características de la textura superficial no tomada en cuenta en este procedimiento. Este método de prueba no intenta proporcionar una calificación completa de las características de la textura superficial.

Los valores del espesor de la macrotextura superficial en el pavimento determinados por este método, con el material y procedimientos establecidos aquí, no necesariamente concuerda o se correlaciona directamente con otras técnicas de medición de textura superficial. Este método también es adecuado para propósitos de investigación y desarrollo, en donde se realizan comparaciones entre superficies de pavimento en la misma evaluación.

La superficie del pavimento a ser muestreado utilizando este método de prueba debe estar seca y libre de cualquier residuo de construcción, escombros superficiales, y partículas agregados sueltos que se pudieran remover o desplazar durante condiciones ambientales y de servicio normales.

Procedimiento

Los materiales y método de prueba estándar constan de una cantidad de material uniforme, un recipiente de volumen conocido, una pantalla adecuada para protección contra el viento, brochas para limpiar la superficie, un disco plano para dispersar al material sobre a la superficie y una regla o cualquier otro dispositivo para determinar el área cubierta por

el material. Se recomienda también una balanza de laboratorio para asegurarse de la consistencia de las mediciones de cada ensaye.

El procedimiento de prueba involucra la dispersión de un volumen conocido de material sobre una superficie de pavimento limpia y seca, la medición de dicha área cubierta, y subsecuentemente se calcula el promedio del espesor entre la parte inferior de los vacíos y la parte superior de los agregados. Esta medición del espesor de la textura superficial refleja las características de la macrotextura. En la dispersión del material especificado en este método, la superficie de los vacíos está completamente llena hasta los picos de las partículas circundantes.

Este método de prueba no se considera conveniente para utilizarse en superficies estriados o pavimentos con vacíos grandes (≥ 1.0 plg (25mm)).

Superficie de prueba: Inspeccione la superficie del pavimento por ser evaluada y seleccione una área seca y homogénea que no contenga características únicas o localizadas tales como grietas y juntas. Debe estar completamente limpia utilizando primeramente la brocha de alambre y posteriormente la brocha de cerdas suaves para remover cualquier residuo, escombros o partículas de agregado sueltas de la superficie. Colocar la pantalla contra viento alrededor de la superficie por ensayar.

Material de prueba: Llene el volumen de material conocido con material seco, golpee suavemente la base del cilindro varias veces sobre una superficie rígida. Llene con material hasta la parte superior del cilindro y nivele con una regleta. Si se dispone de una balanza, determine la masa del material en el cilindro y utilice esta misma masa de material de prueba en cada determinación.

Medición del ensayo: Vierta el volumen del material en la superficie limpia dentro del área protegida por la pantalla contra viento. Disperse cuidadosamente el material en el parche circular con la herramienta de disco, con la parte cubierta con hule hacia abajo, llenando los vacíos superficiales hasta los picos de las partículas de agregados, también puede realizarse con una regleta.

Mida y registre el diámetro del área cubierta por el material como mínimo de cuatro localizaciones igualmente espaciadas alrededor de la circunferencia de la muestra. Calcule y registre el diámetro promedio.

Número de mediciones de prueba: El mismo operador deberá desarrollar al menos cuatro mediciones del espesor de la macrotextura, espaciadas aleatoriamente sobre un tipo de superficie de pavimento ensayado. El promedio aritmético de los valores de espesor de la macrotextura se debe considerar como el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento bajo estudio.

Equipo

Material Esferas de vidrio sólido con 90% de redondez de acuerdo con el método de prueba ASTM D 1155 o podría utilizarse arena graduada de tal manera que tengan un mínimo de 90% en peso que pase la malla No. 60 y se retenga en una No. 80.

Recipiente de prueba. Se puede utilizar un recipiente cilíndrico metálico o de vidrio, con volumen interno predeterminado de al menos 1.5 pulgadas cúbicas (25,000 mm³), el cual se utilizará para determinar el volumen de arena dispersa. Herramienta de dispersión. Se deberá utilizar un disco plano duro de aproximadamente 1 pulgada (25mm) de espesor y 2.5 a 3 pulgadas (60 a 75 mm) de diámetro para dispersar la arena. La parte inferior del disco deberá estar cubierta con un material de hule duro y se puede acoplar un asa conveniente a la parte superior del disco. O si no se cuenta con esta herramienta, puede ser remplazada por una regleta, lo suficientemente larga para abarcar el diámetro formado por la arena dispersa.

Brochas: Se deberán utilizar una brocha de alambre y una de cerdas suaves se deberán utilizar para limpiar completamente a la superficie del pavimento antes de la aplicación del material de prueba.

Pantalla contra viento: Se utiliza para proteger al material del viento y la turbulencia creada por el tráfico.

Escala: Se deberá utilizar una escala estándar (regla o cinta métrica) de 12 plg. (305 mm) o de longitud mayor que contenga divisiones de 0.1 plg. (2.5mm) o 1 mm (0.04 plg.).

Utilice una balanza de laboratorio, con sensibilidad de 0.1 g, se recomienda con este método de prueba para proporcionar un control adicional y para asegurar que la cantidad de material utilizado para cada medición del espesor de la macrotextura es igual tanto en masa como en volumen.

Cálculo

Volumen del cilindro: Calcule el volumen interno del cilindro de prueba como sigue:

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

V = Volumen interno del cilindro, plg³ (mm³),

d = Diámetro del cilindro de prueba, plg (mm), y

H = Altura del cilindro, plg (mm)

Espesor promedio de la macrotextura del pavimento.

Calcule el promedio de la macrotextura de la superficie utilizando la siguiente ecuación:

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

En donde:

H = Promedio del espesor de la macrotextura de la superficie, plg (mm),

V = Volumen de la muestra, plg³ (mm³), y

d = Diámetro promedio del área cubierta por el material plg, (mm)

2.2.1.3.2. Medición de la fricción por medio del péndulo inglés

Descripción

El procedimiento tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.D.R) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de rozamiento, valore las características antideslizantes de la superficie de un pavimento. Los resultados obtenidos mediante este ensayo no son necesariamente proporcionales o correlativos con medidas de rozamiento hechas con otros equipos o procedimientos.

Imagen 2. 65 Péndulo de fricción británico (ASTM E 274)



Fuente: Elaboración propia.

Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo. El método de ensayo se puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas.

Procedimiento de ensayo

Preparación del aparato

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

Ajuste a ceros: Se eleva la cabeza del aparato, de tal forma que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el cero de la escala de medida. Para ello se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo. Después se desplaza la aguja indicadora hasta el tope situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo del péndulo. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre la aguja y el brazo. Seguidamente, por presión sobre el pulsador se dispara el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia delante. Se denota la lectura señalada por la aguja de la escala del panel y se vuelve el brazo a su posición inicial de disparo. La correlación de la lectura del cero se realiza mediante el ajuste de los anillos de fricción. Si la aguja sobre pasa el cero de la escala, la corrección exigirá apretar los anillos de fricción. Si la aguja no alcanza el cero de la escala, la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción.

Ajuste de la longitud de deslizamiento: Con el péndulo colgando libre colocar el espaciador abajo del tornillo de ajuste o regulación del brazo del péndulo. Bajar el brazo del péndulo de manera que la superficie de la goma apenas toque la superficie. Bloquear la cabeza del péndulo firmemente, levantar el brazo del péndulo, y remover el espaciador. Colocar el calibrador al lado y paralelo a la dirección del balanceo para verificar la longitud de la trayectoria de contacto.

Elevar el brazo del péndulo, entonces suavemente bajar hasta la superficie de deslizamiento otra vez se apoye o descansa en la superficie. Si la longitud de la trayectoria de contacto no está entre 124 y 127 mm (4 7/8 y 5.0 pulgadas) en superficies de prueba planas o entre 75 y 78 mm (2 15/16 y 3 1/16 de pulgada) en superficies curvas del ensaye medidos con la zapata de goma, se puede corregir ajustando la elevación del péndulo o bajar el instrumento con los tornillos niveladores frontales.

Equipo

Se utiliza el péndulo británico (imagen 2.65) o también conocido como Péndulo del TRRL (Transport and Road Research Laboratory), una regleta graduada, termómetro, recipientes para agua, cepillo, cinta métrica.

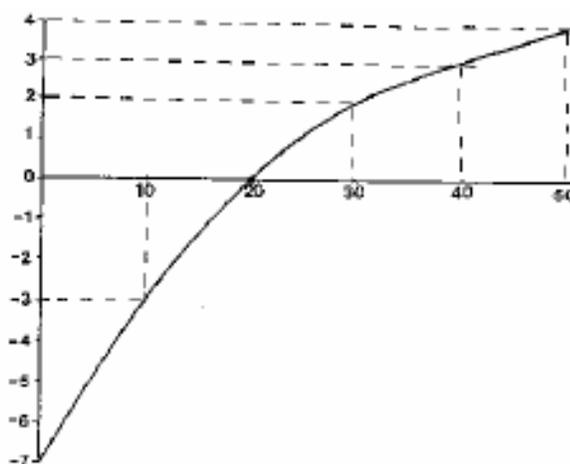
2.2.1.3.3. Calculo

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

$$C. D. R. = \frac{100}{LecturaEfectiva}$$

Las medidas efectuadas sobre el pavimento están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada; es por esto, que al valor obtenido del péndulo se le adiciona un factor (imagen 2.66) a la lectura efectiva. Por ejemplo, si obtenemos una lectura de promedio de 78 y tenemos una temperatura de 30°C, le adicionaremos a 78 el factor de 2 y tendremos 80.

Imagen 2. 66 Factor de corrección por temperatura.



Fuente: López, V. D., y Garnica, A. P. (2002) Consideraciones para la aplicación del Índice de fricción internacional en carreteras de México.

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

En pavimentos distintos de calzadas, si no se hubiese hecho distribución de franjas, el resultado de las medidas efectuadas será el valor de la media aritmética de las lecturas efectuadas en cada zona.

Rangos de fricción

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

Tabla 2. 6 Criterio para evaluar los valores de fricción.

Fricción, Valor de CDR, adimensional	Calificación
< 0.5	Malo (derrapamiento del vehículo)
0.51 – 0.6	De regular a bueno
0.61 – 0.8	Bueno
0.81 – 0.9	De bueno a regular
> 0.91	Malo (desgaste de neumáticos)

Fuente: López, V. D., y Garnica, A. P. (2002) Consideraciones para la aplicación del Índice de fricción internacional en carreteras de México.

Aplicación e interpretación del IFI

En el diseño y administración de pavimentos para carreteras es fundamental tener un parámetro que mida la fricción en el pavimento, de ahí la importancia de homologar la forma de interpretación de los resultados. Para el análisis de resultados es necesario realizar mediciones de la textura y la resistencia al deslizamiento (o fricción).

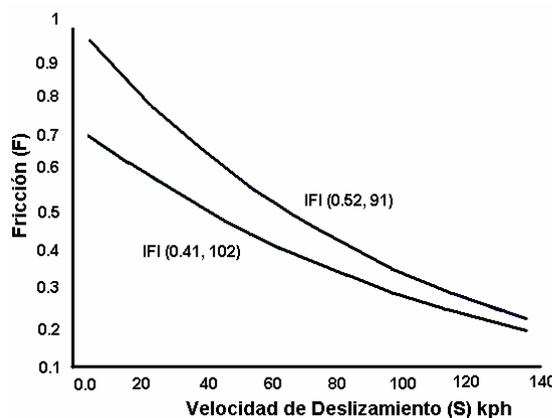
Relación entre fricción (F) y deslizamiento(S)

Con la ecuación 8 del Modelo para cálculo de IFI:

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

se sustituyen los valores de S_p y F_{60} representativos para cada tramo y se trazan las curvas de comportamiento de la superficie de pavimento, como muestra la imagen 2.67 a manera de ejemplo:

Imagen 2. 67 Comparación de dos tramos con IFI (F_{60} , S_p)



Fuente: López, V. D., y Garnica, A. P. (2002) Consideraciones para la aplicación del Índice de fricción internacional en carreteras de México.

En esta gráfica se puede observar que a mayor velocidad la fricción va disminuyendo, esto es debido a la reducción del área de contacto en la interfase pavimento – neumático.

2.2.2. Evaluación estructural de pavimentos flexibles

Es la cuantificación de la capacidad estructural remanente presente en las distintas capas que componen la estructura del pavimento. Para evaluar la capacidad estructural del pavimento existen diversos procedimientos los cuales se estudiaron, clasificaron y analizaron.

Existe una gran diferencia entre el proceso de diseño de un pavimento nuevo y el proceso de diseño de la rehabilitación de un pavimento existente. En lo que se refiere a éste último, se dispone de un conjunto de materiales que ya están colocados y que han sufrido un deterioro por efecto del tránsito, de los agentes climáticos y el tiempo. Dichos materiales presentan un cierto valor estructural remanente, el cual es necesario considerar como aporte a los fines del diseño de la rehabilitación del pavimento, por lo tanto se impone como tarea previa en estos casos, a diferencia del diseño de un pavimento nuevo, la valoración o evaluación del pavimento en cuestión, la cual sólo es posible a través de procedimientos específicos.

La evaluación estructural se realiza mediante ensayos no destructivos, en los que se miden las deflexiones con equipos como: Viga Benkelman, dynaflect, deflectometer, falling weight deflectometer y se realiza una evaluación empírica para la vida remanente; y ensayos destructivos, en los que se realizan calicatas, extracción de testigos, placa de carga, penetrómetro dinámico de cono.

2.2.2.1. Medición de deflexiones usando viga Benkelman

Las deflexiones forman parte del estudio de pavimentos, ellas encierran valiosa información de la respuesta del sistema pavimento-subrasante a consecuencia de la acción de cargas móviles y/o estáticas. Su medición y evaluación ayudan a descubrir fallas y carencias estructurales, de esta manera permite tomar decisiones de las necesidades de mantenimiento o reconstrucción de los pavimentos.

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado "Viga Benkelman". Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la ASSHO Road Test. Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

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 1, 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.

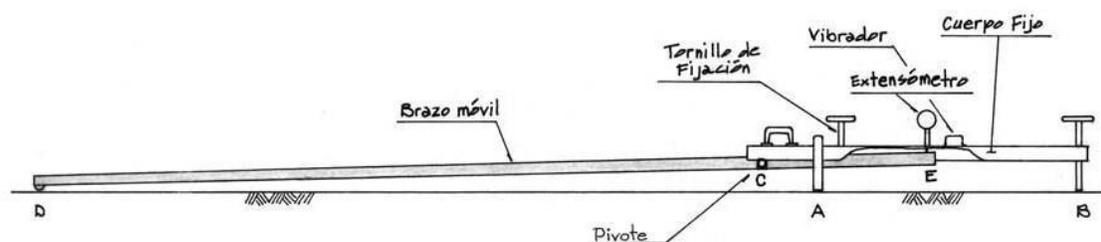
Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el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

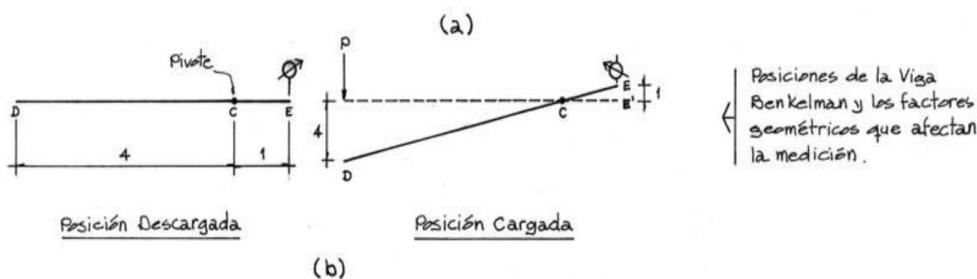
Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes.

Imagen 2. 68 Esquema y principio de operación de la viga Benkelman.



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

Imagen 2. 69 Posiciones de la viga Benkelman



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

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

Deflectómetro viga Benkelman, con relación de brazos 1:2

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 al personal y equipo (camioneta).

Balanza portátil para pesaje del camión, con capacidad de 10 toneladas.

Accesorios de medición y varios (Cinta métrica de 3 m, plumones de punta gruesa, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lápices, señales de seguridad, termómetro, cincel, martillo, varilla de metal o madera de 2 m, alambre de amarre, etc.).

2.2.2.1.1. Procedimiento de medición aplicando la viga Benkelman

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.

Distancia del punto de ensayo.

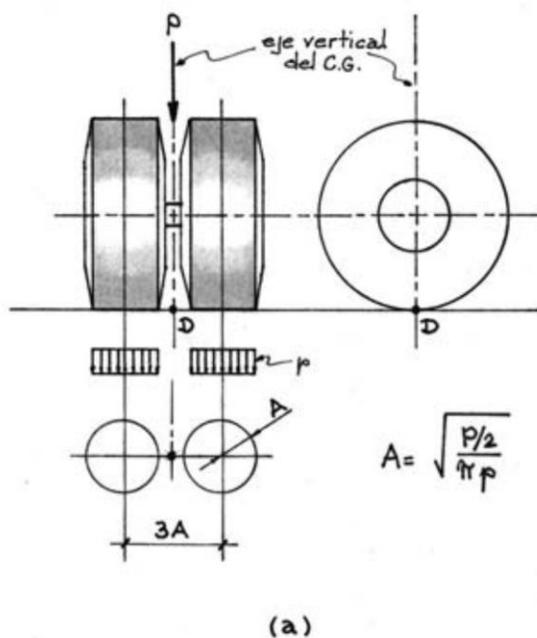
Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo
2.70 m	0.45 m
3.00 m	0.60 m
3.30 m	0.75 m
3.60 m o más	0.90 m

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 imagen 2.59.

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:

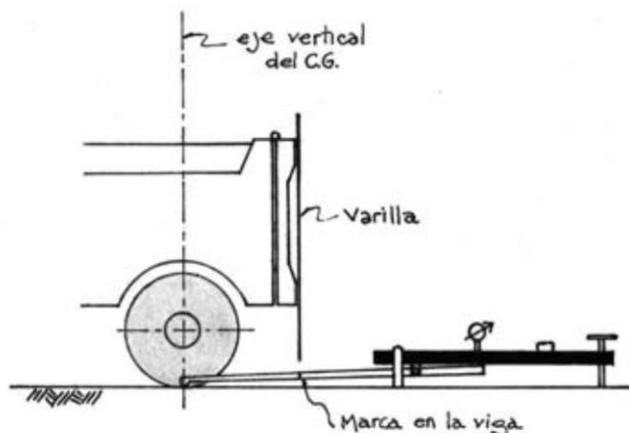
El extremo de la viga Benkelman se coloca en el eje gravedad, pero al exterior de las llantas, de tal manera que pueda realizarse una marca con una plomada adosando una varilla de madera en la parte trasera del camión. De esta manera en los siguientes puntos a tomar solo basta hacer coincidir desde la 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 imagen 2.60.

Imagen 2. 70 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.

Imagen 2. 71 Geometría de colocación de la viga Benkelman.



(b)

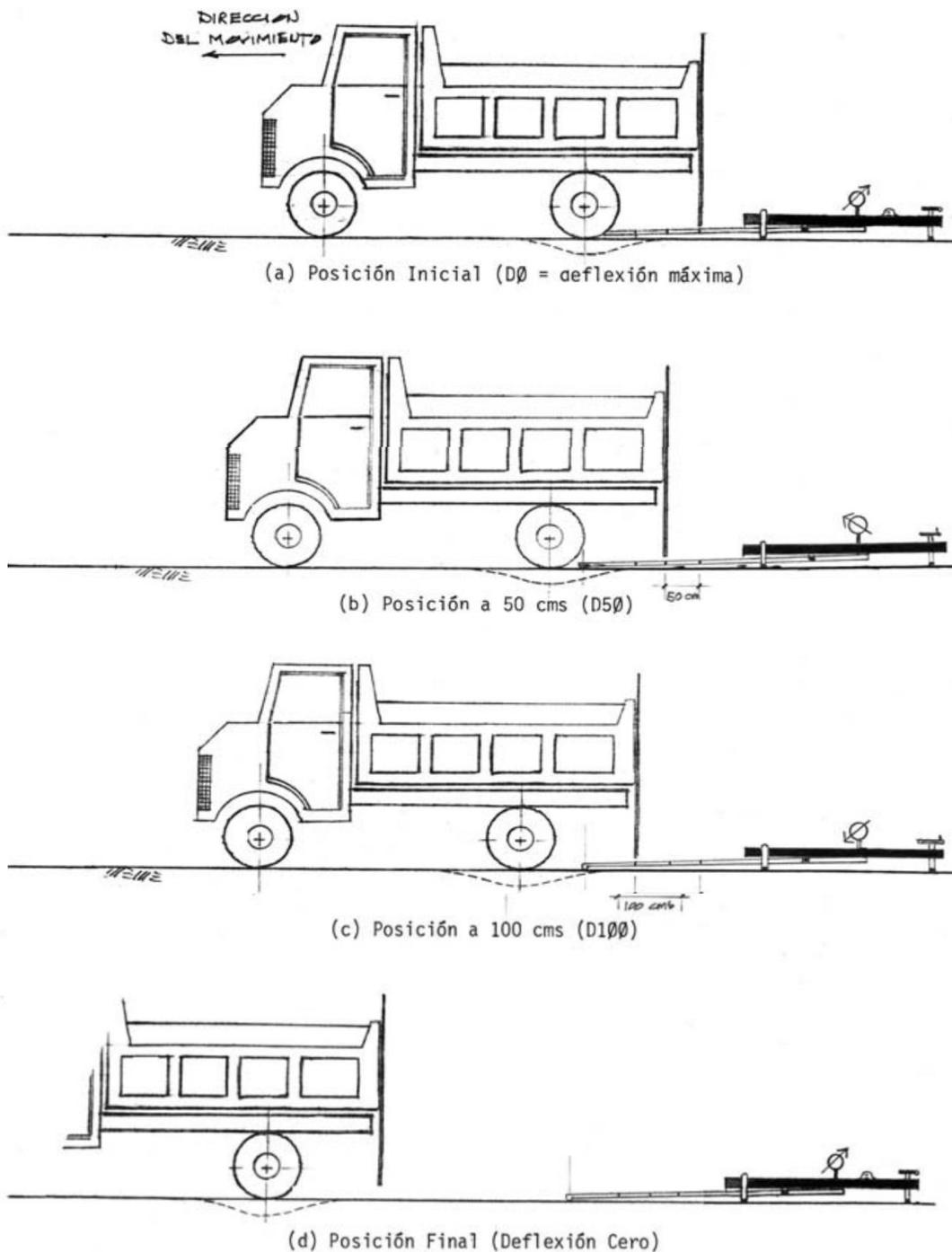
Fuente: Hoffman y Del Águila. 1985. Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones.

Las mediciones en un punto, se realizarán a diferentes distancias, puede ser cada 25, 30, 40 o 50 cm, estas 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 imagen 2.61.

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).

Imagen 2. 72 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 de 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.

2.2.2.1.2. Cálculo de las deflexiones

Cálculo de la deflexión máxima:

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

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:

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

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:

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

Donde:

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

D_t = Deflexión a la temperatura t.

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

t= Temperatura del asfalto medida para cada ensayo.

e= Espesor de la carpeta asfáltica.

2.2.2.1.3. 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.

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

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 “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” se podrá calificar como satisfactorio siempre y cuando cumpla lo siguiente:

$$500 > R_c > 100$$

$$D_c > D_o$$

2.3. Manteniendo y rehabilitación de pavimentos

El presente punto tiene por objeto discutir los aspectos más comunes relativos a las acciones de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles. Existen distintos niveles de intervención en la conservación vial, estos se clasifican en función a la magnitud de los trabajos necesarios, desde una intervención simple hasta una intervención más complicada y por ende más costosa.

El mantenimiento reduce la velocidad del deterioro del pavimento corrigiendo pequeños defectos antes de que ellos empeoren y conduzcan a deterioros mayores. Buscando recuperar el deterioro de la capa de rodadura ocasionados por el tránsito y por los efectos del clima. Más allá de cierto punto, el simple mantenimiento no es suficiente y se

requieren obras de rehabilitación que conducen a un mejoramiento en la condición del pavimento, recuperando las condiciones iniciales de la vía.

Las actividades de mantenimiento se agrupan en dos categorías, las cuales son: preventivas y correctivas. El mantenimiento preventivo incluye aquellas actividades realizadas para proteger el pavimento y reducir su tasa de deterioro. Por su parte el mantenimiento correctivo consiste en aquellas actividades ejecutadas para corregir fallas específicas del pavimento o áreas deterioradas. A continuación, se presentan la tabla 2.4 donde se relacionan los rangos de PCI de un pavimento flexible a la categoría de acción a utilizar.

Tabla 2. 7 Correlación de categoría de acción con el rango de PCI

Rango de PCI	Categoría de acción
100 a 85	Mantenimiento Preventivo o Mínimo
85 a 60	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico
60 a 40	Mantenimiento Correctivo
40 a 25	Rehabilitación – Refuerzo Estructural
Menor a 25	Rehabilitación – Reconstrucción

Fuente: Elaboración propia.

El mantenimiento preventivo se puede clasificar en rutinario y periódico. El rutinario se ejecuta con regularidad, una o más veces al año, dependiendo de la condición del camino y el periódico se realiza cada cierto número de años.

2.3.1. Técnicas de mantenimiento de pavimentos

Para el mantenimiento de la superficie de rodadura pretende conservarla en buen estado, de tal manera preste el servicio para el cual fue diseñada; por lo cual aplica varios tipos de tratamientos superficiales.

Fresado

El fresado de pavimentos asfálticos consiste en la remoción del pavimento asfáltico mediante un cortador giratorio de ángulos diversos, o de varios freses, en movimiento giratorio continuo.

El fresado también denominado perfilado en frío permite la ventaja de aplicar una reparación apropiada restableciendo de una superficie uniforme.

El fresado de pavimentos es una técnica de remoción de la carpeta asfáltica, cuyo uso ha

ido en aumento paulatino en las actividades de mantenimiento y reconstrucción de carreteras.

La remoción de la capa superficial por fresado hace uso de máquinas especializadas denominadas fresadoras o perfiladoras de pavimentos (imagen 2.73), cuya característica principal es la de poseer un sistema de corte rotatorio que consta de un cilindro fresador, al que se le suministran movimientos simultáneos de avance y de rotación en el que la velocidad tangencial en la herramienta de corte es significativamente mayor que la velocidad de avance.

El desplazamiento propio de la máquina en su conjunto constituye el movimiento de avance requerido para el corte, mientras que el movimiento de giro se gobierna directamente con el motor principal, accionando medio hidráulicos y mecánicos o una combinación de ambos para transmitir la potencia del giro al tambor de fresado.

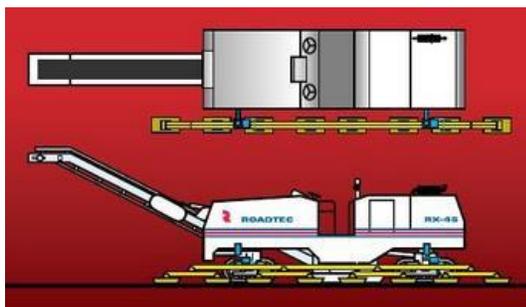
Imagen 2. 73 Máquina fresadora de pavimentos CAT PR-450



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

En maquinaria para fresado se tiene con patín y con barredoras incorporadas. Como se muestra a continuación en las imágenes 2.74 y 2.75 respectivamente.

Imagen 2. 74 Máquina fresadora de patín



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Imagen 2. 75 Máquina fresadora con barredora incorporados



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Un ejemplo de la aplicación del fresado es en un pavimento que presenta rodadas profundas como lo muestra en la imagen 2.76.

Imagen 2. 76 Métodos de fresado y reciclado en frío



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible.

Al aplicar un tratamiento de fresado se tendrá como resultado una superficie plana, que genera material de reciclaje con una densidad uniforme en todo el carril. Como lo muestra en la imagen 2.77.

Imagen 2. 77 Pavimento después de aplicar fresado



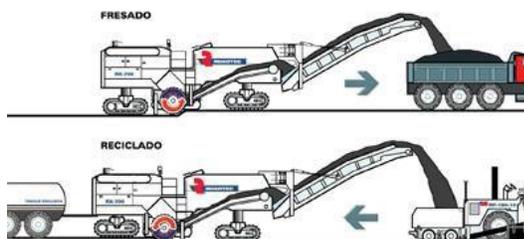
Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Imagen 2. 78 Mantenimiento de fresado en carretera



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Imagen 2. 79 Métodos de fresado y reciclado en frío



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Reciclado de pavimentos asfálticos

En el reciclado de pavimentos se utiliza el fresado para el mantenimiento periódico y en los procesos de rehabilitación por reciclado. De esta forma se retiran capas asfálticas superficiales deterioradas y envejecidas, a fin de facilitar la reparación de las capas asfálticas inferiores y/o disminuir la deformación transversal como es el ahuellamiento.

Tipos de reciclado

Este tipo de métodos se basan en la reutilización de los materiales del firme defectuoso. Junto con estos materiales envejecidos, se pueden añadir otros elementos como agentes rejuvenecedores, nueva mezcla bituminosa, etc. Estas técnicas se pueden dividir en varios tipos diferentes.

Reciclado “In Situ” en caliente

Reciclado “In Situ” en frío con cemento

Reciclado “In Situ” en frío con emulsiones asfálticas

Reciclado en planta

Recuperación full – Depth

Reciclado “in situ” en frío con cemento

Este es un procedimiento que se basa en el fresado en frío de un cierto grosor del firme envejecido y el mezclado de este material con un conglomerante hidráulico (cemento normalmente). El nuevo material se extiende y se compacta definiendo una sólida base para posteriores refuerzos. Como lo muestra imagen 2.80.

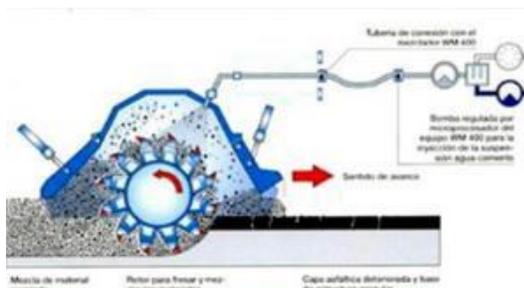
Imagen 2. 80 Reciclado “in situ” en frío con cemento



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

También se presenta el reciclado de cal y cemento, utilizado en bases granulares con cierta plasticidad o contaminación de arcilla. La cal flocula y neutraliza la arcilla y el cemento incrementando rápidamente la capacidad del soporte. Como lo muestra en la imagen 2.81.

Imagen 2. 81 Reciclado “in situ” en frío con cal y cemento



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Reciclado “in situ” en frío con emulsiones asfálticas

Esta técnica, permite reutilizar la totalidad de los materiales extraídos del firme envejecido en condiciones técnicas, económicas, sociales y ambientales muy favorables. El procedimiento usual y básico consiste fundamentalmente en las siguientes operaciones:
Fresado en frío de un cierto grosor del firme.

Mezclado del material obtenido con una proporción determinada de emulsión y otros aditivos.

Extensión en obra de la nueva mezcla.

Compactación enérgica.

Curado de la capa reciclada.

Extensión de una capa delgada de rodadura a base de mezcla en caliente.

Imagen 2. 82 Reciclado “in situ” en frío con emulsiones asfálticas



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Reciclado “in situ” en frío proceso general

El reciclado en frío puede ser realizado en planta o in-situ. En planta, el reciclado se logra mediante el transporte del material recuperado de un pavimento existente a un depósito central, donde el material se trabaja con una unidad de procesamiento In-situ, el reciclado se logra utilizando una máquina recicladora móvil.

En general, el proceso en planta es la opción más cara en términos de costo por metro cúbico de material. Esto se debe principalmente a los costos de transporte, que no existen en el reciclado in situ. Sin embargo, ambos métodos de reciclado tienen su campo en la industria de la construcción y la decisión sobre cuál debe ser aplicado está definido básicamente por:

Imagen 2. 83 Reciclado “in situ”



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Imagen 2. 84 Reciclado en planta



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Tipo de construcción: El proceso en planta habitualmente es considerado donde el material reciclado se puede utilizar en la construcción de un nuevo pavimento asfáltico, y en el refuerzo de un pavimento existente.

El material in-situ del pavimento existente que va a ser reciclado: Cuando el material de la capa superior de un pavimento existente va a ser reciclado, la variabilidad o condición del material en ocasiones requiere un proceso de selección o pre- tratamiento, por ejemplo, reducir el tamaño de una capa asfáltica gruesa.

En la actualidad, el tratamiento in-situ de los materiales de pavimentos es de uso generalizado,

debido a la llegada de potentes máquinas recicladoras que pueden rehabilitar pavimentos a una fracción del costo de los métodos de reconstrucción convencionales. Además, considerando la situación de los pavimentos a nivel mundial, la rehabilitación de pavimentos existentes excede ampliamente la demanda por caminos nuevos. Como consecuencia de esto, el reciclado in- situ ha sido adoptado en muchos países como el método recomendado para abordar el enorme trabajo pendiente en términos de rehabilitación de pavimentos.

Reconstrucción

Esta alternativa contempla el retiro y reemplazo total o parcial de toda la estructura de pavimentos, siendo estas la que más costos representa, motivo por el cual se recomienda se utilice cuando el índice de deterioro superficial se encuentre entre 5 y 7, y la estructura no cuente con vida residual adicional. El tipo de reconstrucción básicamente depende del tipo de estructura existente, por lo cual esta se clasifica de la siguiente manera en flexible:

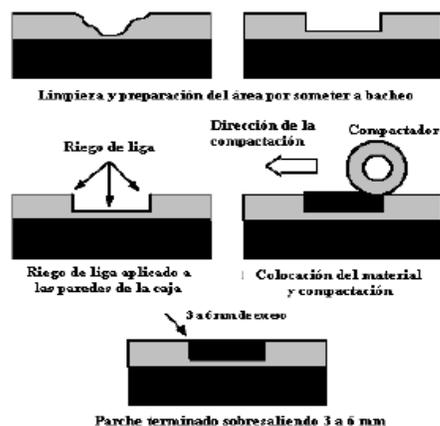
Reconstrucción tipo flexible

Reconstrucción de tipo semiflexible o semirrígido

Parcheo en superficie de rodadura asfáltica

Reparación manual de pequeñas áreas fracturadas o con baches de las carpetas asfálticas. La reparación se realiza usando mezcla asfáltica en frío o en caliente. Como se muestra en la imagen 2.85.

Imagen 2. 85 Parcheo en carretera



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Esta reparación debe realizarse tan pronto sea detectada, en una inspección (diagnóstico). Manual: Consiste en la remoción manual de la zona deteriorada, la limpieza de las paredes resultantes para posteriormente colocar una imprimante o riego de liga, según sea el caso, para al final colocar una mezcla asfáltica.

La remoción debe realizarse hasta alcanzar una profundidad en que la mezcla no presente daños con el uso de sierra. Como se muestra en la imagen 2.86.

Imagen 2. 86 Aserrado de los bordes del área por reparar



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Para el relleno después de la remoción debe limpiarse mediante un barrido enérgico, que elimine todas las partículas sueltas y luego de preferencia mediante soplado, retirar el polvo; las paredes de quedarán firmes y limpias.

La superficie es rellenada con el ligante que corresponda, cumpliendo con las especificaciones, se utiliza escobillones u otros elementos similares que permitan un esparcido uniforme. Como se muestra en la imagen 2.87.

Imagen 2. 87 Riego de liga a las paredes de la caja



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

En la colocación de la mezcla asfáltica de relleno debe verificarse que la emulsión de la liga haya quebrado, o la imprimación haya penetrado según lo especificado.

La colocación de la mezcla asfáltica de relleno es mediante la extensión y nivelación con rastrillos, colocando la cantidad adecuada de 6 mm. Como se muestra en la imagen 2.88.

Imagen 2. 88 Extensión y distribución de la mezcla asfáltica



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

La compactación con rodillo neumático o liso es de 3 a 5 toneladas de peso. Como alternativa puede usarse un rodillo manual dependiendo del espesor de la capa. Se permite un desnivel máximo tolerable de 3mm. Como se muestra en la imagen 2.89.

Imagen 2. 89 Compactación de la mezcla



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Se considera bacheo o parcheo superficial a pocas profundidades menores a 50 mm.

Imagen 2. 90 Parcheo terminado.



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Mecanizado: Un equipo limpia el área afectada, coloca un imprimante o riego de liga a presión y rellena y compacta el bacheo mediante una mezcla asfáltica. Como se muestra en la imagen 2.91.

Imagen 2. 91 Excavación de los materiales inadecuados



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Parqueo profundo

Baches de profundidad mayor de 50 mm. Se debe delimitar el área por remover.

La mezcla asfáltica deberá cortarse de manera que las paredes queden verticales. Puede utilizarse sierra o taladros, debe removerse hasta el punto más profundo.

Solo cuando la extensión del área a reemplazar sea superior o igual a 50 mm, se debe optar por reemplazar base y/o sub base, para lo cual deben cortarse de manera que sus paredes queden con una inclinación del orden 1:3.

En el reemplazo de bases y/o sub bases antes de iniciar la colocación de materiales, debe revisar y verificar que no existan escurrimientos de aguas, en el caso que ocurriera instalar drenaje que aseguren que el escurrimiento sea adecuado para el futuro.

Se sigue el mismo procedimiento de parqueo superficial para el relleno de con mezcla asfáltica de pues de realizar el relleno de bases y sub bases.

Sellado de arena – Asfalto

Aplicación de emulsión asfáltica de una rotura rápida seguida por la extensión y compactación de una capa delgada de arena. Como se muestra en la imagen 2.92.

Imagen 2. 92 Riego de emulsión.



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Cuan se presentan excesos de vacíos con aire y susceptibles a deterioro por envejecimiento y alta plasticidad una capa de impermeabilizante.

Imagen 2. 93 Extensión de arena.



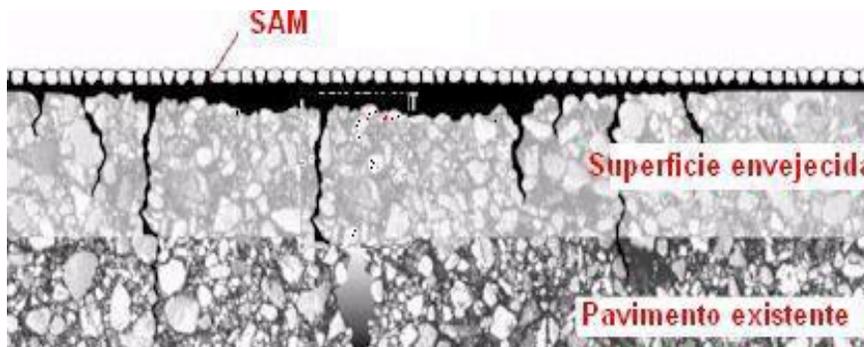
Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Tratamiento superficial

Este tratamiento es utilizado para el rejuvenecimiento e impermeabilización y el mejoramiento de la fricción de un pavimento flexible.

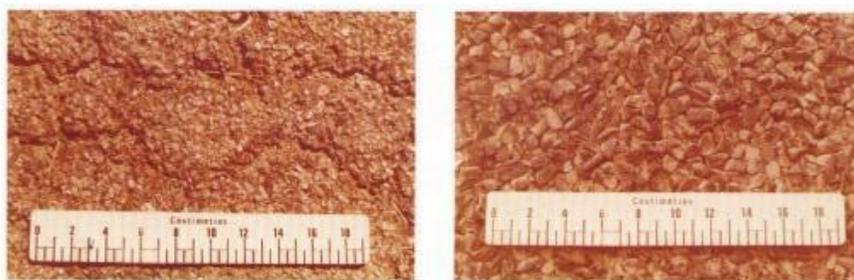
Un tratamiento con asfalto modificado con polímeros o caucho ayuda a minimizar el reflejo de las grietas existente y se denomina SAM (Strain Alleviating Membrane).

Imagen 2. 94 Pavimento que presenta SAM



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Imagen 2. 95 Pavimento antes y después del tratamiento superficial



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Capa drenante

Mejoramiento del drenaje superficial y de la resistencia al desplazamiento.

Beneficia en una mejor visibilizas y la seguridad en condiciones de pavimento húmedo y disminuye el ruido de la circulación vehicular.

En la siguiente imagen 2.96 muestra en la izquierda una mezcla convencional y la condiciones después de aplicar una capa drenante.

Imagen 2. 96 Pavimento antes y después de la capa drenante



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Lechada asfáltica y microglomerado en frío.

Para aplicación de este tratamiento el pavimento no debe tener deformaciones excesivas y debe ser estable, es efectivo en el sello de áreas de áreas agrietadas de escasa abertura.

Mejora la fricción, usa impermeabilizante y rejuvenece la superficie.

Imagen 2. 97 Aplicación de la lechada asfáltica.



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Microglomerado en caliente.

Utilizada para reestablecer la resistencia al deslizamiento de pavimentos estructuralmente competentes.

Efectivos en el mejoramiento del drenaje y se puede usar como mantenimiento periódico sin incrementar excesos de costos.

Imagen 2. 98 Resultado de microglomerado en caliente.

Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

Sobrecapa asfáltica.

Corrige deficiencias superficiales del pavimento relacionadas con la comodidad de circulación y la resistencia al deslizamiento e incrementa la capacidad estructural.

La Sobrecapa más común es la elaborada con mezcla asfáltica caliente preparada con asfalto convencional, el espesor del esfuerzo varía entre 25mm y 200 mm.

Su vida útil dependerá de la mezcla utilizada y del espesor.

Imagen 2. 99 Colocación de Sobrecapa asfáltica.

Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

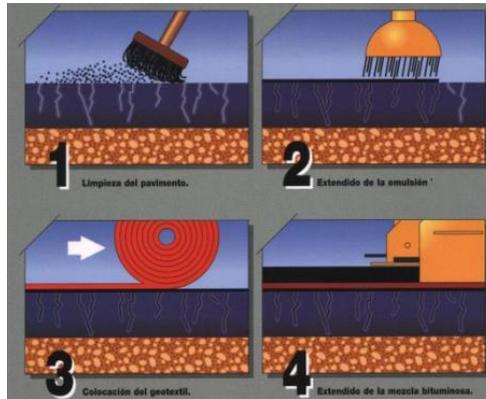
La mezcla asfáltica se la complementa con medidas de para retardar el reflejo prematuro de grietas del pavimento existente con

Geosintéticos.

Membrana absorbente de esfuerzos (SAMI)

Capas de alivio de reflejo de grietas.

Imagen 2. 100 Colocación de Geosintéticos



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible

En la colocación del geotextil se coloca primero la emulsión asfáltica, se coloca el geotextil y se coloca la mezcla asfáltica al final.

Imagen 2. 101 Acabado con el geotextil



Fuente: Guevara L., Valencia R. y Chuico P., (2016) Tipos de Tratamientos Superficiales para Mantenimiento Vial para Pavimento Flexible.

En la membrana absorbente esfuerzo se coloca una capa tipo microglomerado en frío o tratamiento superficial o similar.

Elaborado con asfalto modificado con polímeros sobre la cual se coloca la Sobrecapa.

Tiene características de flexibilidad, cohesión, elasticidad y susceptibilidad térmica que permite soportar y no sufrir fisuramiento prematuro.

2.4. Marco Normativo.

Viga Benkelman.

Para la evaluación estructural se utilizará el método de la Viga Benkelman basada en la norma **ASTM D-4695**, **AASHTO T 256-01** el cual se caracteriza por medir las deflexiones que se presentan en el pavimento debido a diferentes factores como ser cargas vehiculares.

PCI

Para definir adecuadamente las alternativas de intervención, se realizó previamente la evaluación del pavimento mediante la aplicación del método Pavement Condition Index (PCI) basado en la Norma **ASTM D6433-07**

IFI

Con los valores promedios de las mediciones obtenidas del péndulo de fricción y corregidas a una temperatura de 20°C y de las alturas promedio del círculo de arena, se procede a determinar los parámetros que definen al Índice de Fricción Internacional, IFI, empleando la Norma **ASTM E 1960**

En cuanto a la textura, los análisis se han centrado en la macrotextura. La medida de referencia ha sido el ensayo del Círculo de Arena (**ASTM E965**)

Péndulo de fricción británico (**ASTM E 274**)

IRI

En la norma de ensayo **ASTM E 867-06,1** se define el concepto de Roughness como: “desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal.”

La norma que hace referencia a la naturaleza y medición del IRI es la **NLT-330/98.2**

2.5. Análisis y Tendencias

En función a las conclusiones realizadas por diferentes estudios de evaluación de pavimentos flexibles se pudo observar que las fallas superficiales encontradas en la zona de estudio de mayor incidencia son las fisuras longitudinales y transversales, seguidas de ahuellamientos, desgaste superficial y otras; estas se producen por deficiencias en el diseño, construcción y operación, las cuales influyen negativamente en el resultado final del proyecto. Por ello realizar una adecuada evaluación de la vía es indispensable para determinar el tipo de mantenimiento a emplear, factor que nos ayuda a la conservación vial de manera adecuada.

Con los tratamientos de conservación vial sugeridos en cada estudio se logra reparar el daño de forma puntual y precisa mejorando el nivel de serviciabilidad. Si en un determinado tipo de falla no se realiza la actividad de conservación adecuada no se logrará disminuir de manera óptima el daño. Por lo que el mantenimiento permanente de las infraestructuras viales ayuda a la conservación de las vías, reflejándose en comodidad y tiempo de transporte.

2.6. Posición del investigador

Después de realizar un amplio estudio consultando distintas bibliografías, tesis, artículos y fuentes de información disponibles con relación a la evaluación estructural y superficial de un pavimento flexible se hace notar en este segmento la importancia que tiene este tipo de estudio en las estructuras viales sin importar su edad ya que es imprescindible verificar el correcto funcionamiento de la misma con estudios que garanticen un mantenimiento adecuado en función a las normas vigentes en nuestro país.

Es importante conceptualizar cada variable de estudio para conocer con mayor profundidad las acciones a realizar en el procedimiento experimental del estudio, como así también interiorizar el conocimiento acerca de la aplicación de normas vigentes para la evaluación de carreteras con las cuales se podrá respaldar los resultados obtenidos.

Se debe conocer las acciones de rehabilitación y mantenimiento de pavimentos flexibles para poder proponer un plan de mejoras al tramo estudiado con un análisis de costo presupuesto para la refacción de los posibles daños existentes.

CAPITULO III
CARACTERISTICAS DEL TRAMO SELLA CERCADO - MONTE CERCADO
Y CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE INFORMACION

CAPITULO III

CARACTERISTICAS DEL TRAMO SELLA CERCADO - MONTE CERCADO Y CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE INFORMACION

3.1. Zona de estudio.

El tramo “Sella Cercado – Monte Cercado” se encuentra ubicado en el departamento de Tarija, provincia Cercado, carretera a Sella la cual conecta al municipio de Tarija Capital de la provincia Cercado con el municipio de San Lorenzo de la provincia Méndez.

Imagen 3. 1 Ubicación geográfica del tramo.



Fuente: Elaboración propia

El tramo a ser evaluado tiene una longitud de 5400 metros tomando como punto inicial y progresiva 0+000 el cruce a Sella Cercado el cual se dirige a la capital de departamento y finaliza en la comunidad de Monte Cercado alcanzando la progresiva 5+400.

Imagen 3. 2 Ubicación del tramo



Fuente: Elaboración propia

El tramo se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas geograficas:

Coordenadas Sexagesimales:	Coordenadas UTM:
Inicio del tramo.	
Latitud: 21°23'47.85"S	Zona: 20 K
Longitud: 64°41'41.43"O	Abscisa: 324308.40 m E
Altura: 2034 m.s.n.m.	Norte: 7633006.25 m S
Final del tramo.	
Latitud: 21°25'28.99"S	Zona: 20 K
Longitud: 64°42'1.75"O	Abscisa: 323726.72 m E
Altura: 2102 m.s.n.m.	Norte: 7627624.85 m S

3.2. Relevamiento de información.

Define las características del tramo en estudio y los métodos que se deben aplicar en la obtención de datos de cada tipo de estudio que se realizó a lo largo del proyecto de investigación tanto para la evaluación superficial como para la estructural del pavimento flexible.

Capa de rodadura

Para conocer las características de la carpeta asfáltica se procedió a recopilar información del tramo en la Alcaldía de la ciudad de Tarija, la cual indica que esta cuenta con un espesor de asfalto de aproximadamente 6 cm.

Se procedió a realizar una verificación practica en campo muestreando en la progresiva 3+525 donde se pudo verificar que la carpeta asfáltica cumple con las dimensiones proporcionadas.

De esta manera se realizó una tabla descriptiva de las características del paquete estructural que presenta el tramo “Sella Cercado - Monte Cercado”:

Tabla 3. 1 Descripción paquete estructural del tramo.

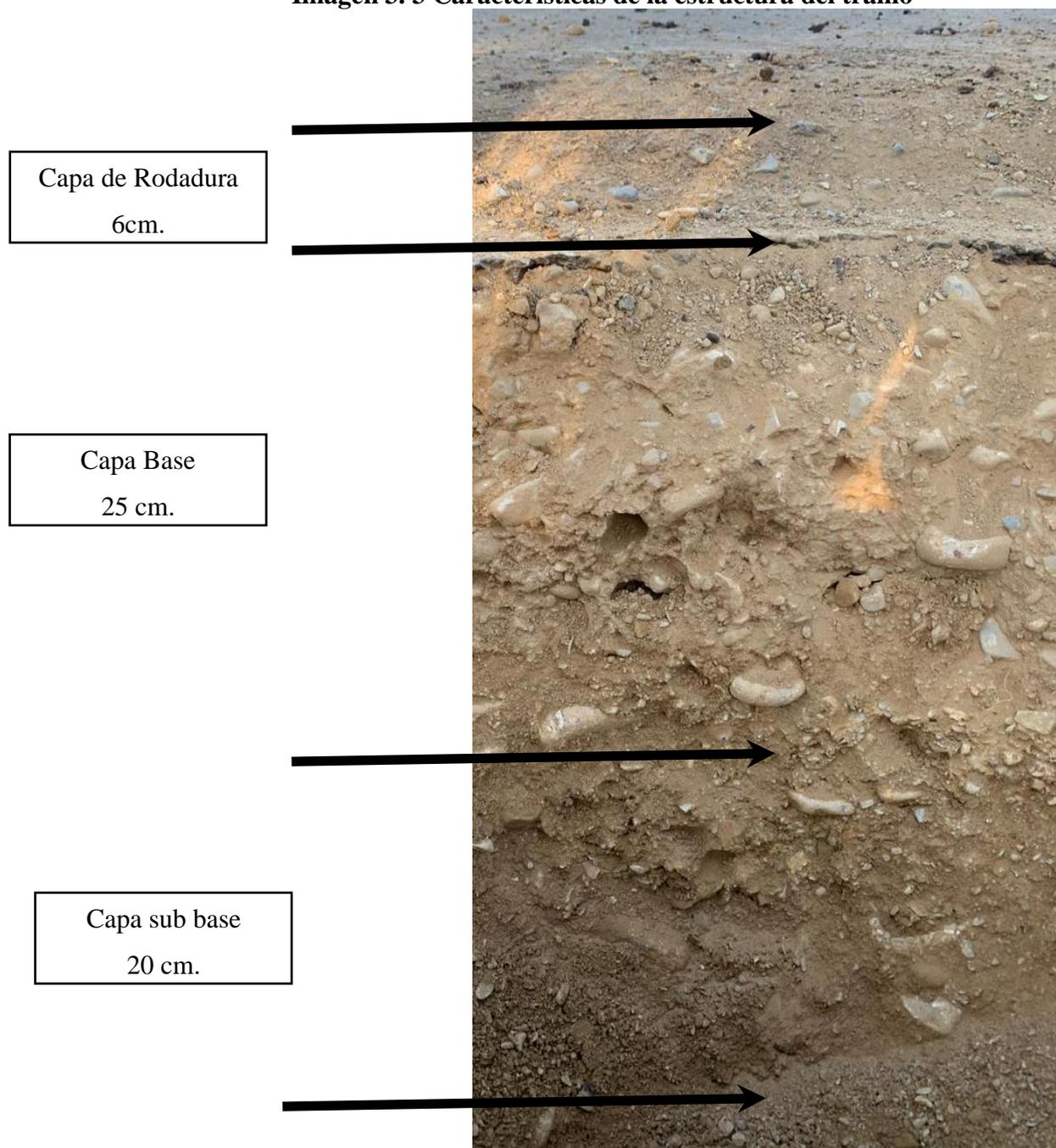
Tramo	Espesor de la carpeta asfáltica	Espesor de la capa base	Espesor de la capa sub base	Espesor de la sub rasante mejorada
Tramo “Sella Cercado - Monte Cercado”:	6 cm	25 cm	20 cm	20 cm

Fuente: Alcaldía municipal de Tarija

Con el fin de verificar la información acerca del paquete estructural del tramo en estudio brindada por la Alcaldía del departamento y así poder realizar un estudio más confiable

de las condiciones tanto superficiales como estructurales, es que realizamos un muestreo en la progresiva 3+525 donde se pudo observar los espesores de la capa de rodadura, de la capa base y de la capa su base, extrayendo muestras de cada una de ellas para realizar un análisis de laboratorio mediante los ensayos de granulometría, límites de atterberg, clasificación, Proctor T – 180 y CBR.

Imagen 3. 3 Características de la estructura del tramo



Fuente: Elaboración Propia.

Granulometría

Para realizar en ensayo de la granulometría se procedió a sacar una parte de aproximadamente 5 kg de muestra de cada capa para luego tamizarlas en los 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8" y N°4.

Luego se pesó 500gr del pasante de estos tamices para realizar la granulometría por el método del lavado obteniendo los pesos retenidos de los tamices N°10, N°40 y N°200 para así con estos pesos retenidos obtener la curva granulométrica.

Imagen 3. 4 Ensayo de granulometría.



Fuente: Elaboración propia.

Límites de atterberg

Se realizó el ensayo de Límites de atterberg mediante el equipo de Casa grande para poder obtener el Índice de plasticidad de las capas base y sub base, una vez realizados los ensayos se observó que el suelo presenta características de un suelo bien graduado y se pudo constatar según información de la Alcaldía municipal de Tarija que la estructura está conformada por material granular obtenido de banco con porcentaje de proveniencia coluvial granular con bajo contenido de suelos finos cohesivos por lo cual tanto la capa base como la capa sub base no presentan características de limite líquido y de límite plástico, clasificándolo de esta manera como un suelo no plástico (NP).

Imagen 3. 5 Ensayo de límites de atterberg.



Fuente: Elaboración propia.

Clasificación

Luego de realizar los anteriores ensayos y con los resultados obtenidos se pudo proceder a clasificar el suelo de la capa base y sub base mediante la metodología AASHTO, la cual nos dio una clasificación A-1-a en ambas capas.

Proctor T-180

Se realizó el ensayo de Proctor T-180 ya que mediante este ensayo podremos conocer la densidad máxima y humedad óptima del suelo que son imprescindibles para poder realizar

los ensayos siguiente, primero pesamos el molde de compactación sacamos su volumen, luego seleccionamos 6 kg de muestra para cada punto (se hicieron 5 puntos) y procedimos a golpear cada punto con cierta cantidad de agua para luego llevar al horno y posteriormente obtener la gráfica de los 5 puntos de la cual saldrá la densidad máxima y humedad óptima.

Imagen 3. 6 Ensayo de proctor T - 180.



Fuente: Elaboración propia.

CBR

Se realizó el ensayo del CBR para conocer la capacidad de soporte del suelo, para esto se separó 3 muestras de 3000 grs y como ya conocemos la humedad óptima y densidad máxima se echa el agua necesaria para proceder a compactar con la humedad óptima del suelo. La primera muestra se compactará con 12 golpes, la segunda con 25 golpes y la tercera con 56 golpes. Una vez compactadas las muestras se les pone las pesas con sus vástagos y van a saturación durante cuatro días. Luego de los cuatro días las muestras son llevadas a la prensa del CBR para ver la penetración en mm a determinados segundos hasta obtener la curva del CBR y conocer su capacidad de soporte.

Imagen 3. 7 Ensayo de CBR.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar con más detalle el estudio de la granulometría, la clasificación del suelo, el Proctor t-180 y el CBR tanto de la capa Base como de la capa Sub base en el Anexo 1

3.3. Evaluación superficial

Para la evaluación superficial del tramo “Sella Cercado – Monte Cercado” se utilizó la metodología del PCI (Índice de Condición del Pavimento), este método nos permitirá conocer las fallas que presente la superficie de dicho tramo mediante el cálculo de los valores deducidos, al ser un método muy moroso y que requiere de mucho tiempo para realizarlo en la bibliografía mostrada en el estado de conocimiento nos dice que se debe seleccionar cierta cantidad de unidades de muestreo con una confiabilidad del 95 % y una margen de error admisible de 5 %, pero para este estudio se realizó un relevamiento de fallas con una confiabilidad del 97.5 % y un error admisible de 2.5 % para así tener mejores resultados y más representativos, IRI (Índice internacional de Rugosidad) e IFI (Índice de Fricción Internacional)

A continuación, se detalla el procedimiento establecido:

3.3.1. Procedimiento de la aplicación del método del PCI

3.3.1.1. Unidades de muestreo

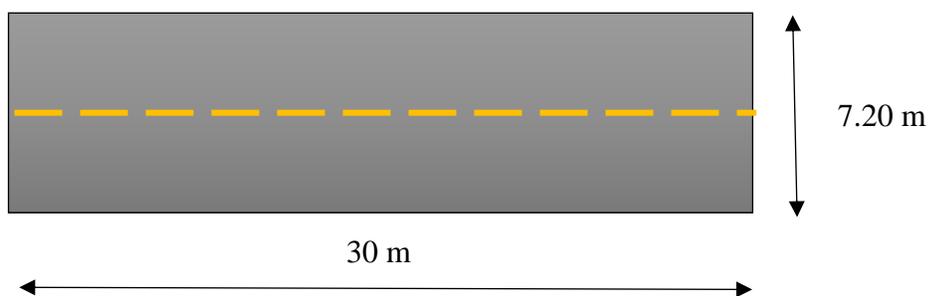
Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía, en carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$. En la tabla 3.2 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla 3. 2 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 D6433-03)

El ancho de la calzada del tramo “Sella Cercado – Monte Cercado” es de 7,20 m, se optó por tomar una longitud de cada unidad de muestra de 30 m, por tanto, se tiene que hay 180 unidades de muestra y cada unidad de muestra tiene un área de 216 m² que están dentro del rango establecido en el PCI.



3.3.1.2. 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:

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

Donde:

n= Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

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

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

Pero en el presente trabajo para tener mejores resultados y más representativos se realizó con una confiabilidad del 97.5 % y un error admisible de 2.5 %.

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

$$n = \frac{180 \times 10^2}{\frac{2.5^2}{4} \times (180 - 1) + 10^2}$$

$$n = 48$$

3.3.1.3. 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:

$$i = \frac{N}{n} = \frac{180}{48}$$

$$i = 3.75 \approx 3$$

Con el intervalo (i) igual a 3, se procedió a identificar la unidad de muestra inicial que fue la numero 3, 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 cómo se mencionó anteriormente sumando la inicial más el intervalo de muestreo (3+3; 6+3; 9+3, etc.) hasta realizar todas las unidades de muestreo necesarias.

3.3.1.4. Cálculo del Índice de Condición del Pavimento

Se inspecciono cada una de las unidades de muestra seleccionadas para cuantificar el tipo, cantidad y severidad de daños que presente de acuerdo al manual de daños del PCI y se registra la información en la tabla 3.3:

Tabla 3. 3 Hoja de registro de fallas por el método del 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		Nº
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	Total	Densidad	VD	

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra un ejemplo de los datos que se recopilaron de la unidad de muestra número 135:

Tabla 3. 4 Ejemplo de relevamiento de fallas.

Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)						
Hoja de registro						
Vía: Sella Cercado - Monte Cercado			Sección:	4+020	Unidad de muestra:	135
Ejecutor: Zamora Negrette Sergio			Fecha:	17/09/2019	Área (m ²):	216
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			Nº
4. Abultamientos y hundimientos		m ²	14. Cruce de puente			m ²
5. Corrugación		m ²	15. Ahuellamiento			m ²
6. Depresión		m ²	16. Desplazamiento			m ²
7. Fisura de borde		m	17. Fisura Parabólica			m ²
8. Fisura de reflexión de junta		m	18. Hinchamiento			m ²
9. Desnivel carril-berma		m	19. Desprendimiento de agregados			m ²
10. Fisuras longitudinales y transversales		m				
Falla	Severidad	Cantidad				Total
3	L	38,06	13,72		51,78	
7	L	8,52	11,48	8,43	28,43	
9	L	30,00	30,00		60,000	
10	L	10,15	16,72		26,87	
10	M	5,45			5,45	

Fuente: Elaboración propia.

Una vez registrada la información levantada, se procede a calcular las densidades y los valores deducidos para así luego poder obtener el valor de la calificación del PCI que presenta cada muestra, dicho procedimiento se mostrara detalladamente en el capítulo 4. Las planillas de registros obtenidas a lo largo del tramo tras la aplicación de la metodología PCI se las puede apreciar a detalle en el anexo 2.

3.3.2. Procedimiento para el método de aplicación del IRI

3.3.2.1. Ejecución de ensayos

Para la ejecución de los ensayos mediante la aplicación del Rugosímetro de Merlín se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un trecho de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del Merlín, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del Merlín, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo. La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como el mostrado la tabla 3.5. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h.

La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar. Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma

posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con gutapercha fosforescente, por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

Tabla 3. 5 Formato de recolección de datos de campo

ENSAYOS PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN (HOJA DE CAMPO)											
PROYECTO:											
SECTOR:			FECHA:								
TRAMO:											
CARRIL:											
ENSAYO N° <input type="text"/>			KM <input type="text"/>			HORA <input type="text"/>					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											TIPO DE PAVIMENTO
2											Afirmado <input type="text"/>
3											Base Granular <input type="text"/>
4											Base Imprimada <input type="text"/>
5											Trat. Bicapa <input type="text"/>
6											Carpeta en Frio <input type="text"/>
7											Carpeta en Caliente <input type="text"/>
8											Recapeo Asfaltico <input type="text"/>
9											Sello <input type="text"/>
10											Otros <input type="text"/>
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo del levantamiento de datos en campo con el Rugosímetro de Merlín.

Tabla 3. 6 Ejemplo de levantamiento de datos IRI

ENSAYOS PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN (HOJA DE CAMPO)											
PROYECTO Evaluacion superficial y estructural de las condiciones del pavimento flexible											
SECTOR:					FECHA: 19/09/2019						
TRAMO: Sella Cercado - Monte Cercado											
CARRIL: Derecho											
ENSAYO Nº <input type="text" value="1"/>			KM <input type="text" value="0+000"/>			HORA <input type="text"/>					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	26	36	18	24	26	31	28	29	27	27	TIPO DE PAVIMENTO
2	30	24	29	25	25	22	31	31	30	31	
3	28	31	25	30	31	21	22	27	25	29	Afirmado <input type="text"/>
4	30	34	28	29	28	25	27	26	29	27	
5	25	32	29	24	26	33	28	27	31	28	Base Granular <input type="text"/>
6	27	28	27	27	28	24	29	27	29	29	
7	25	28	26	22	16	32	24	30	26	29	Base Imprimada <input type="text"/>
8	30	30	25	30	30	29	24	25	30	30	
9	28	35	33	31	22	31	29	27	29	28	Trat. Bicapa <input type="text"/>
10	28	26	30	23	31	28	35	33	31	34	
11	33	28	28	28	33	31	31	21	30	28	Carpetas en Frio <input type="text"/>
12	29	27	28	22	28	29	35	27	33	30	
13	30	27	29	33	31	28	39	28	30	29	Carpetas en Caliente <input checked="" type="checkbox"/>
14	30	29	27	26	31	25	33	28	25	29	
15	20	23	30	26	25	29	33	36	29	27	Recapeo Asfaltico <input type="text"/>
16	34	30	32	29	29	25	27	30	29	30	
17	34	29	27	25	24	23	24	25	28	31	Sello <input type="text"/>
18	29	28	30	27	26	28	24	31	31	29	
19	34	26	32	25	33	29	32	29	30	31	Otros <input type="text"/>
20	25	31	26	31	26	28	27	27	29	30	

Fuente: Elaboración Propia.

Las tablas de registro de información para la metodología IRI aplicadas a cada carril se las puede encontrar a detalle en el anexo 3 del proyecto.

3.3.3 Procedimiento de aplicación para el método IFI.

3.3.3.1. Ejecución de ensayos mediante el círculo de arena

Los materiales y método de prueba estándar constan de una cantidad de material uniforme, un recipiente de volumen conocido, una pantalla adecuada para protección contra el viento, brochas para limpiar la superficie, un disco plano para dispersar al material sobre a la superficie y una regla o cualquier otro dispositivo para determinar el área cubierta por el material. Se recomienda también una balanza de laboratorio para asegurarse de la consistencia de las mediciones de cada ensaye.

El procedimiento de prueba involucra la dispersión de un volumen conocido de material sobre una superficie de pavimento limpia y seca, la medición de dicha área cubierta, y subsecuentemente se calcula el promedio del espesor entre la parte inferior de los vacíos y la parte superior de los agregados. Esta medición del espesor de la textura superficial refleja las características de la macrotextura. En la dispersión del material especificado en este método, la superficie de los vacíos está completamente llena hasta los picos de las partículas circundantes.

Este método de prueba no se considera conveniente para utilizarse en superficies estriados o pavimentos con vacíos grandes (≥ 1.0 plg (25mm)).

Superficie de prueba. Inspeccione la superficie del pavimento por ser evaluada y seleccione una área seca y homogénea que no contenga características únicas o localizadas tales como grietas y juntas. Debe estar completamente limpia utilizando primeramente la brocha de alambre y posteriormente la brocha de cerdas suaves para remover cualquier residuo, escombros o partículas de agregado sueltas de la superficie. Colocar la pantalla contra viento alrededor de la superficie por ensayar.

Material de prueba. - Llene el volumen de material conocido con material seco, golpee suavemente la base del cilindro varias veces sobre una superficie rígida. Llene con material hasta la parte superior del cilindro y nivele con una regleta. Si se dispone de una balanza, determine la masa del material en el cilindro y utilice esta misma masa de material de prueba en cada determinación.

Medición del ensaye. – Vierta el volumen del material en la superficie limpia dentro del área protegida por la pantalla contra viento. Disperse cuidadosamente al material en el parche circular con la herramienta de disco, con la parte cubierta con hule hacia abajo,

llenando los vacíos superficiales hasta los picos de las partículas de agregados, también puede realizarse con una regleta.

Mida y registre el diámetro del área cubierta por el material como mínimo de cuatro localizaciones igualmente espaciadas alrededor de la circunferencia de la muestra. Calcule y registre el diámetro promedio.

Número de mediciones de prueba. El mismo operador deberá desarrollar al menos cuatro mediciones del espesor de la macrotextura, espaciadas aleatoriamente sobre un tipo de superficie de pavimento ensayado. El promedio aritmético de los valores de espesor de la macrotextura se debe considerar como el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento bajo estudio.

Tabla 3. 7 Ejemplo de levantamiento de datos con el equipo Circulo de Arena

Progresiva	Mancha de arena					
	Muestra para 25 ml de muestra en gr.	Lecturas (adimensionales)				
		1	2	3	4	5
0+000	30,6	21,00	20,50	21,00	20,50	21,50
0+200	31,4	24,00	23,00	23,00	24,50	23,30
0+400	32,5	22,50	23,00	24,00	25,00	24,50
0+600	31,2	22,50	24,00	25,00	24,00	24,50
0+800	32,6	24,00	25,00	25,50	25,50	24,00
1+000	30,9	26,00	25,00	23,00	25,00	26,00

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.3.2. Ejecución de ensayos mediante el Péndulo Británico

Preparación del aparato

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

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

corregir el paralelismo entre la aguja y el brazo. Seguidamente, por presión sobre el pulsador se dispara el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia delante. Se denota la lectura señalada por la aguja de la escala del panel y se vuelve el brazo a su posición inicial de disparo. La correlación de la lectura del cero se realiza mediante el ajuste de los anillos de fricción. Si la aguja sobre pasa el cero de la escala, la corrección exigirá apretar los anillos de fricción. Si la aguja no alcanza el cero de la escala, la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción.

Ajuste de la longitud de deslizamiento. Con el péndulo colgando libre colocar el espaciador abajo del tornillo de ajuste o regulación del brazo del péndulo. Bajar el brazo del péndulo de manera que la superficie de la goma apenas toque la superficie. Bloquear la cabeza del péndulo firmemente, levantar el brazo del péndulo, y remover el espaciador. Colocar el calibrador al lado y paralelo a la dirección del balanceo para verificar la longitud de la trayectoria de contacto.

Elevar el brazo del péndulo, entonces suavemente bajar hasta la superficie de deslizamiento otra vez se apoye o descance en la superficie. Si la longitud de la trayectoria de contacto no está entre 124 y 127 mm (4 7/8 y 5.0 pulgadas) en superficies de prueba planos o entre 75 y 78 mm (2 15/16 y 3 1/16 de pulgada) en superficies curvas del ensaye medidos con la zapata de goma, se puede corregir ajustando la elevación del péndulo o bajar el instrumento con los tornillos niveladores frontales.

Tabla 3. 8 Ejemplo de levantamiento de datos péndulo británico.

Progresiva	Péndulo británico					
	Temp.	Lecturas (adimensionales)				
		1	2	3	4	5
0+000	41	62	76	76	77	77
0+200	42	72	79	78	79	79
0+400	42	71	76	77	78	77
0+600	42	65	81	84	84	84
0+800	42	81	86	85	85	84
1+000	43	82	85	83	83	83

Fuente: Elaboración Propia.

En el anexo 4 podemos observar a detalle los datos obtenidos en campo para la aplicación de la metodología IFI para ambos carriles.

3.4. Evaluación estructural

La evaluación estructural del tramo “Sella Cercado – Monte Cercado” se la realizó mediante la viga Benkelman como se explica a continuación.

3.4.1. Procedimiento de medición con la viga Benkelman

Primero, en el laboratorio de asfaltos de la universidad donde se encuentra la viga Benkelman se efectuó la calibración del equipo para que este en óptimas condiciones para su manejo y así ir listos a la zona de estudio, luego nos dirigimos a pesar la volqueta que se usara para verificar que esté con un peso de 8.2 toneladas y con una presión de llantas de 80 psi como nos indica el método de la viga Benkelman.

Ya en la zona de estudio en el tramo seleccionado, se procedió a marcar los puntos donde se realizar el ensayo, estos puntos fueron marcados a cada 200 m de distancia entre cada punto y a 0.9 m del borde de la carpeta asfáltica coincidiendo con la huella que dejan los vehículos que transitan por la vía para así tener resultados más óptimos.

Para realizar el ensayo de la viga Benkelman se procedió a ensamblar la viga y en cada punto de medición se tuvo que ajustar el tornillo de apoyo principal de tal manera que el puntero del brazo de la viga este en contacto con la superficie asfáltica a la altura del eje vertical de las ruedas traseras de la volqueta.

Con los puntos ya seleccionados y la viga Benkelman armada se inició los ensayos en cada punto, realizando lecturas a 50 cm, 1 m, 1.5 m, 2 m y 7 m.

En cada punto que se realice el ensayo es necesario tomar la temperatura del asfalto que será necesaria para realizar los cálculos en capítulos siguientes.

Se realiza el mismo procedimiento indicado para todos los puntos a lo largo del tramo.

A continuación, se muestra la planilla que se utilizó para la toma de datos en el ensayo de la viga Benkelman.

Tabla 3. 9 Hoja de relevamiento de fallas para la viga Benkelman.

Evaluación Estructural								
Tramo: "Sella cercado – Monte Cercado"								
Medición de deflexiones por el método de la viga Benkelman								
Estructura:				Carga Eje(tn):		Presión(Psi)		
Carril:				Fecha:				
Relación de brazos:						Ejecutor:		
N° Ensayo	Progresiva	Temp °C	Lecturas del extensómetro (0.01 mm)					
			Lo 0 cm	La 50 cm	La 100 cm	La 150 cm	La 200 cm	La 700 cm

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 10 Ejemplo de relevamiento de datos Viga Benkelman

Evaluación Estructural								
Tramo: "Sella Cercado - Monte Cercado"								
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:	10/11/2019			
Relación de brazos:			1 a 2		Ejecutor:	Sergio Zamora Negrette		
N° Ensayo	Progresiva	Temp °C	Lecturas del extensómetro (0.01mm)					
			Lo 0 cm	La 50 cm	La 100 cm	La150 cm	La 200 cm	La 700 cm
1	0+000	41	0	10	16	9	8	21
2	0+200	42	0	11	9	8	14	22
3	0+400	42	0	10	10	10	9	21
4	0+600	42	0	11	11	8	11	23
5	0+800	42	0	10	10	9	15	23
6	1+000	43	0	11	11	11	18	22
7	1+200	44	0	9	12	8	4	20
8	1+400	46	0	10	12	11	13	22
9	1+600	46	0	8	9	10	12	21
10	1+800	46	0	7	9	10	14	20

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el mismo procedimiento hasta llegar a la progresiva 5+400.

Se puede apreciar con mayor detalle los datos obtenidos en campo para la evaluación estructural en el anexo 5 del proyecto.

CAPITULO IV
DETERMINACION DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL PAVIMENTO
FLEXIBLE

CAPITULO IV
DETERMINACION DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL PAVIMENTO
FLEXIBLE

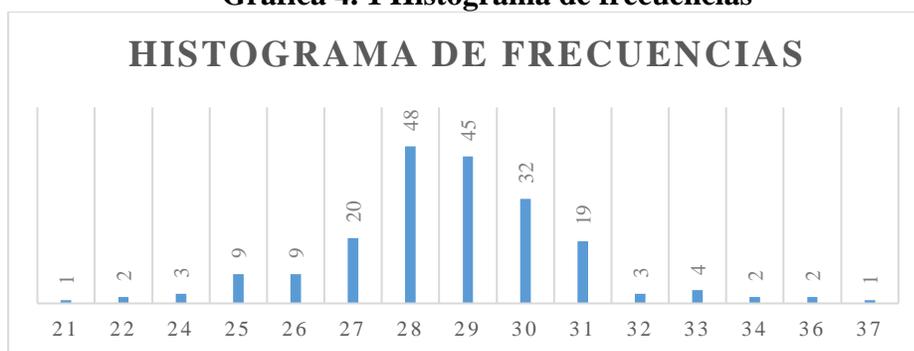
4.1. Evaluación superficial por el método del IRI

4.1.1. Procedimiento de calculo

Cálculo del rango “D”

La dispersión de los datos obtenidos para el tramo “Sella Cercado – Monte Cercado” con el rugosímetro MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma (Grafica4.1).

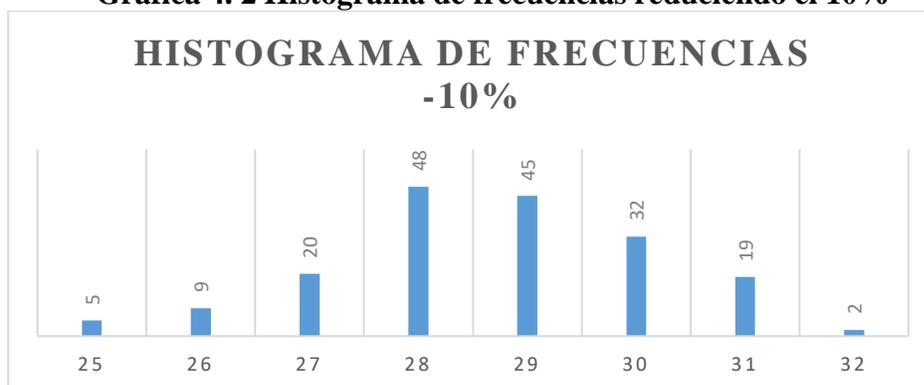
Gráfica 4. 1 Histograma de frecuencias



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior. (grafica 4.2)

Gráfica 4. 2 Histograma de frecuencias reduciendo el 10%



Fuente: Elaboración propia.

$$D = \frac{5}{9} + 6 + \frac{2}{3}$$

$$D = 7.22 \text{ unidades}$$

El Rango D determinado se debe expresar en milímetros, para lo cual se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros:

$$D = 7.22 \text{ unidades} \times 5 \text{ mm}$$

$$D = 36.11 \text{ mm}$$

Factor de corrección para el ajuste de “D”

$$F.C. = \frac{(EP \times 10)}{(LI - LF) \times 5}$$

$$FC = \frac{(5.5 \times 10)}{(85 - 15) \times 5}$$

$$FC = 0.846$$

Cálculo del Rango “D·” corregido

$$D \cdot = D \times FC \times RB$$

$$D \cdot = 36.11 \text{ mm} \times 0.846 \times 1$$

$$D \cdot = 30.556 \text{ mm}$$

Determinación de la rugosidad en la escala del IRI

- | | | | |
|------------------------|---------------|-----------|---------------------------------------|
| a. $IRI=0.593+0.0471D$ | $IRI = 2,032$ | No aplica | |
| b. $IRI=0.0485D$ | $IRI = 1,482$ | Aplica | $\rightarrow IRI = 1,48 \text{ m/km}$ |

Tabla 4. 1 Resultados de la unidad de muestra 14 carril derecho

PROYECTO Evaluación superficial y estructural de las condiciones del pavimento flexible			
EJECUTOR: Sergio Zamora Negrette		FECHA: 24/09/2019	
TRAMO: Sella Cercado - Monte Cercado			
CARRIL: Izquierdo			
ENSAYO N° 14		KM 5+200	
HORA			
Frecuencia		Frecuencia -10%	
23	3	25	1
24	1	26	18
25	7	27	24
26	18	28	45
27	24	29	45
28	45	30	25
29	45	31	16
30	25	32	6
31	16	180	
32	12		
33	2		
34	1		
37	1		
200			

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS

**HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS
-10%**

Calculo de factor de correccion FC:

$$F.C. = (EP \times 10) / [(LI - LF) \times 5] \quad FC = 0,85$$

EP = 5,5
LI = 28
LF = 15

Calculo del Rango D:

$$\begin{matrix} \text{Izq.} & + & \text{Centro} & + & \text{Der.} & = & \text{Total} & = & \text{Rango D} & = & \text{D corregido} \\ 0,143 & + & 6 & + & 0,5 & = & 6,643 & = & 33,214286 & = & 28,104396 \end{matrix}$$

Calculo del IRI

$$\begin{matrix} \text{IRI} = 0.593 + 0.0471D & \text{IRI} = 1,917 & \text{NO APLIC} \\ \text{IRI} = 0.0485D & \text{IRI} = 1,363 & \text{APLICA} \end{matrix} \rightarrow \text{IRI} = 1,36 \text{ m/km}$$

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Resultados de la evaluación superficial mediante el método IRI

Los resultados obtenidos de la evaluación superficial para cada carril de la vía mediante el método IRI se detallan a continuación:

Tabla 4. 2 Clasificación del rango de rugosidad.

Rango de Rugosidad (m/km)	Clasificación
0.0 - 2.0	Excelente
2.0 - 3.5	Bueno
3.5 - 5.0	Regular
> 5	Malo

FUENTE: Pacheco, M. (2017) Texto de Apoyo UAJMS Materia Carreteras III

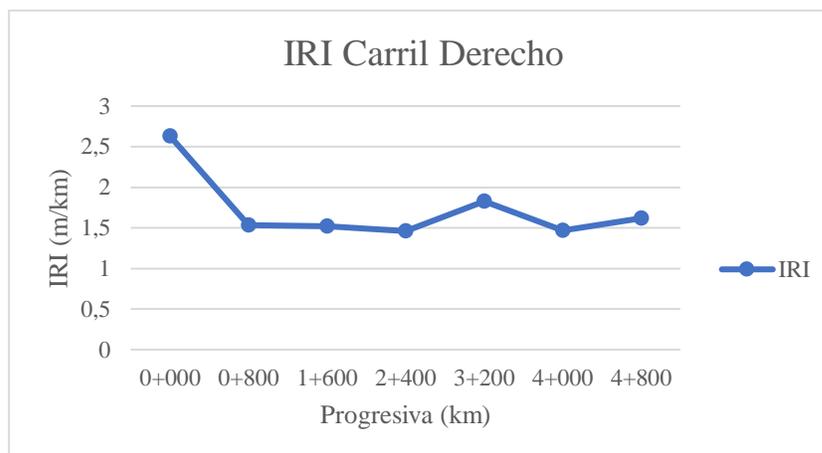
Resultados para el carril derecho.

Tabla 4. 3 Resultados IRI carril derecho

Carril Derecho		
Progresiva	IRI	Condición
0+000	2,63	Bueno
0+800	1,53	Excelente
1+600	1,52	Excelente
2+400	1,46	Excelente
3+200	1,83	Excelente
4+000	1,47	Excelente
4+800	1,62	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

Se describe con más detalle la obtención de los resultados generados en a través de la aplicación de la metodología IRI para índice de regularidad superficial en el anexo 3

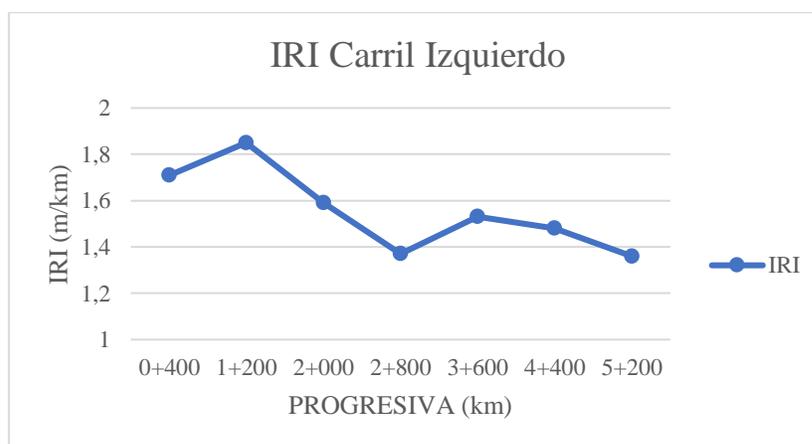
Gráfica 4. 3 Valores del IRI para el carril derecho

Fuente: Elaboración propia.

Resultados para el carril izquierdo**Tabla 4. 4 Resultados IRI carril izquierdo**

Carril Izquierdo		
Progresiva	IRI	Condición
0+400	1,71	Excelente
1+200	1,85	Excelente
2+000	1,59	Excelente
2+800	1,37	Excelente
3+600	1,53	Excelente
4+400	1,48	Excelente
5+200	1,36	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 4 Valores del IRI para el carril izquierdo

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Tratamiento Estadístico.

A continuación, se mostrará el tratamiento estadístico realizado para cualificar y cuantificar el comportamiento de las variables, en este caso la variable del IRI es una variable cualitativa ordinal ya que presenta una modalidad no numérica y toma valores ordenados siguiendo una escala establecida, por lo tanto, se realiza el siguiente tratamiento estadístico.

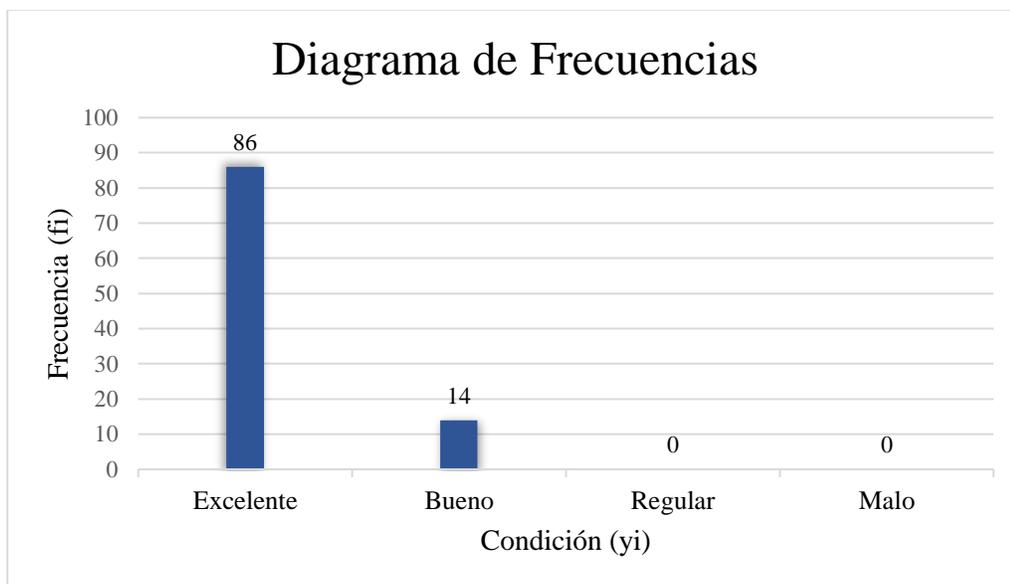
Carril derecho

Tabla 4. 5 Tratamiento estadístico del IRI carril derecho.

n	Condición (yi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia relativa (hi)		
			Fracción	Decimal	Porcentual (%)
1	Excelente	6	6/7	0.86	86
2	Bueno	1	1/7	0.14	14
3	Regular	0	0/7	0	0
4	Malo	0	0/7	0	0
	Σ	7	7/7	1	100

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 5 Diagrama de frecuencias del IRI.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar gracias al tratamiento estadístico que la mayor cantidad de muestras en el carril derecho se encuentran en una condición de excelente y bueno, lo cual nos indica que según el método del IRI el carril se encuentra en condiciones aptas para los usuarios.

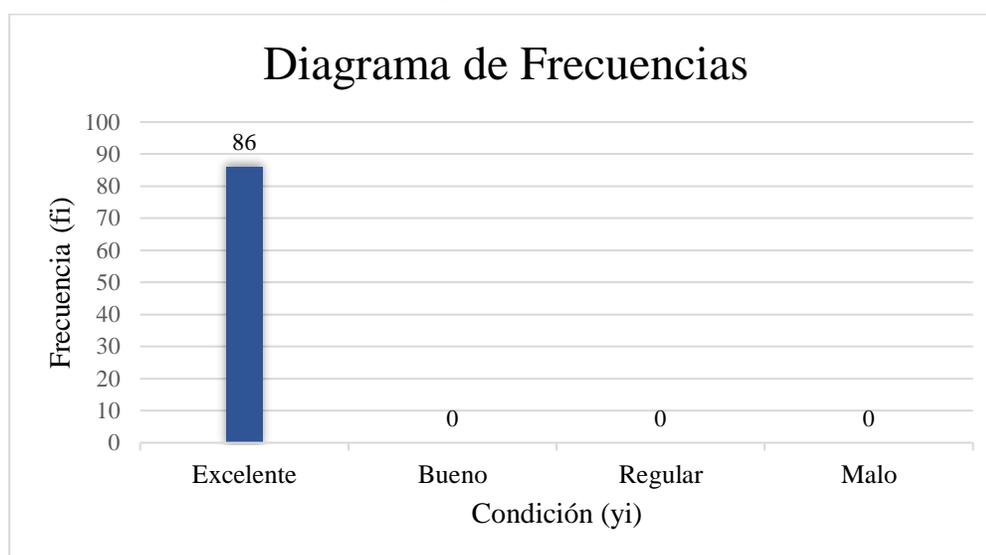
Carril izquierdo:

Tabla 4. 6 Tratamiento estadístico del IRI carril derecho.

n	Condición (yi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia relativa (hi)		
			Fracción	Decimal	Porcentual (%)
1	Excelente	7	7/7	1	100
2	Bueno	0	0/7	0	0
3	Regular	0	0/7	0	0
4	Malo	0	0/7	0	0
	Σ	7	7/7	1	100

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 6 Diagrama de frecuencias del IRI.



Fuente: Elaboración propia.

En el carril izquierdo se puede observar gracias al tratamiento estadístico que las muestras en su totalidad se encuentran en una condición de excelente, lo cual nos da indica que a través del método IRI que el carril se encuentra en condiciones aptas para los usuarios.

4.1.4. Análisis de Resultados

Después de haber registrado los datos generados en campo con el equipo Rugosímetro de Merlín, se procedió a realizar los cálculos correspondientes los cuales nos brindan la siguiente información:

El mayor valor de IRI registrado en el tramo se encuentra en el carril derecho en la progresiva 0+000 con un valor de 2.63 que es donde comienza nuestro tramo en estudio a la altura del cruce a sella, el cual según el rango de clasificación nos indica que se encuentra en la condición de Bueno.

El resto del tramo mantiene valores de IRI no muy dispersos que se encuentran en un rango de 1.36 a 1.85 lo cual indica que la vía se encuentra en excelentes condiciones cuando se hace referencia la rugosidad de la vía.

Una vez analizados ambos carriles de la vía en función a los resultados obtenidos por el método de estudio aplicado de se puede determinar que la vía se encuentra en excelentes condiciones de servicio para el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) debido a que el rango de dispersión para los datos obtenidos en campo mediante el ensayo realizado con el equipo no es muy disperso lo cual indica que se trata de una superficie regular.

4.2. Evaluación superficial por el método IFI

4.2.1. Procedimiento para el cálculo.

Obtención de valores promedios y depuración de valores extremos:

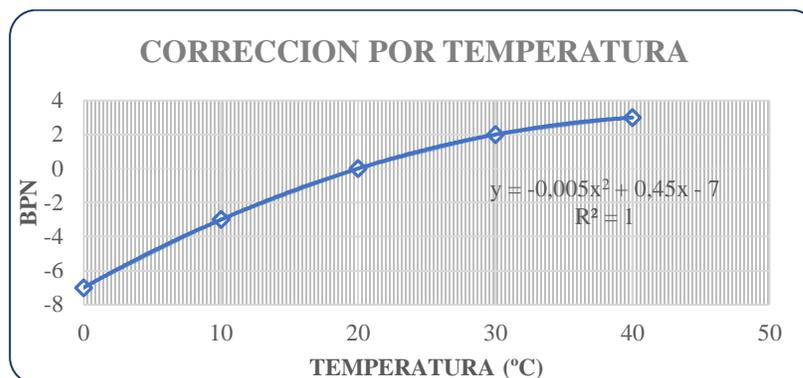
Tabla 4. 7 Valores promedios de datos tomados en campo

prog.	Medidas con el Circulo de arena					prom	T °C	Medidas de BPN con pendulo de fricción					prom
0+000	21,00	20,50	21,00	20,50	21,50	20,90	41,00	62,00	76,00	76,00	77,00	77,00	73,60
0+200	24,00	23,00	23,00	24,50	23,30	23,56	42,00	72,00	79,00	78,00	79,00	79,00	77,40

Fuente: Elaboración propia

Corrección por temperatura de los datos de BPN obtenidos en el ensayo del péndulo británico de acuerdo a la ecuación generada por la siguiente grafica de corrección por temperatura:

Gráfica 4. 7 Corrección por temperatura para las medidas de BPN con el péndulo de fricción.



Fuente: López, V. D., y Garnica, A. P. (2002) Consideraciones para la aplicación del Índice de fricción internacional en carreteras de México.

Corrección de datos por temperatura:

Tabla 4. 8 Datos de BPN corregidos por temperatura

Prog.	T °C	Corrección	Datos corregidos					prom
0+000	41,00	3,045	65,05	79,05	79,05	80,05	80,05	76,65
0+200	42,00	3,08	75,08	82,08	81,08	82,08	82,08	80,48

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de cálculo para la progresiva 0+000

Determinación de la textura del pavimento.

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

$$H = \frac{4 * (24.22 * 1000)}{\pi * (20.90 * 10)^2}$$

$$H = 0,706$$

Determinación de la constante de velocidad Sp.

Las constantes según norma ASTM E 965 son:

$$\begin{array}{cc} a & b \\ -11,5981 & 113,63246 \end{array}$$

$$Sp = a + b * Tx$$

$$Sp = -11.5981 + 113.63246 * 0.706 = 68.63$$

$$Sp = 68.63$$

c) Determinación del parámetro F60.

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

$$FR60 = 76.65 * e^{\frac{10-60}{68.63}} = 36.99$$

$$FR60 = 36.99$$

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

A	B
0,078	0,0107

$$F60 = A + B * FR60$$

$$F60 = 0.078 + 0.0107 * 36.99$$

$$F60 = 0.474$$

Cálculo de la fricción a cualquier velocidad.

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

4.2.2. Resultados de la evaluación superficial mediante el método IFI.

Los resultados obtenidos de la evaluación superficial para cada carril de la vía mediante el método IRI se detallan a continuación:

Resultados para el carril derecho:

Tabla 4. 9 Resultados para el carril derecho IFI

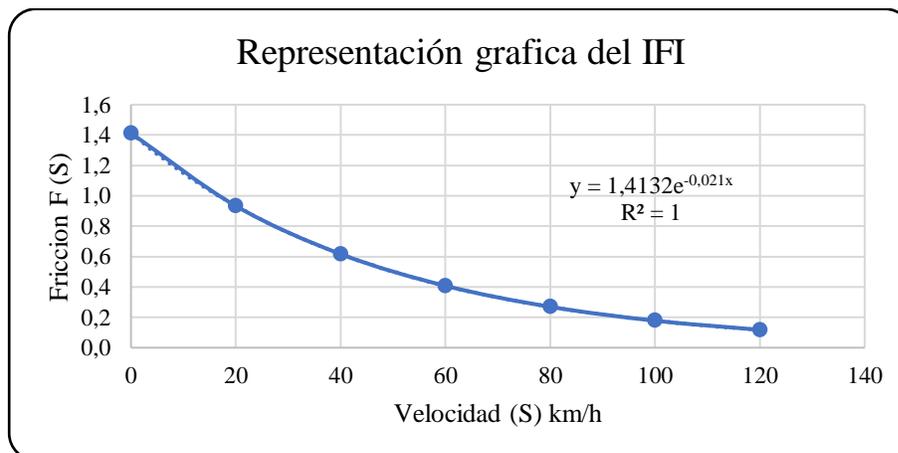
prog	FRs	Dp	H = Tx	Sp	FR60	F60
0+000	76,65	20,90	0,706	68,63	36,99	0,474
0+200	80,48	23,56	0,584	54,76	32,30	0,424
0+400	78,88	23,80	0,548	50,67	29,41	0,393
0+600	82,68	24,00	0,549	50,79	30,89	0,409
0+800	87,28	24,80	0,524	47,95	30,76	0,407
1+000	86,31	25,00	0,505	45,79	28,96	0,388
1+200	84,32	25,40	0,480	42,95	26,32	0,360
1+400	91,12	23,76	0,552	51,13	34,27	0,445
1+600	92,72	23,40	0,572	53,40	36,35	0,467
1+800	89,72	23,40	0,576	53,85	35,45	0,457
2+000	80,72	25,50	0,491	44,20	26,04	0,357
2+200	84,91	23,96	0,548	50,67	31,65	0,417
2+400	87,91	24,40	0,523	47,83	30,91	0,409
2+600	82,51	22,90	0,584	54,76	33,11	0,432
2+800	86,28	22,50	0,625	59,42	37,19	0,476

3+000	88,88	24,90	0,520	47,49	31,01	0,410
3+200	83,65	25,50	0,477	42,60	25,87	0,355
3+400	81,05	25,54	0,477	42,60	25,07	0,346
3+600	96,40	25,50	0,470	41,81	29,15	0,390
3+800	92,40	23,20	0,560	52,04	35,35	0,456
4+000	94,35	28,70	0,383	31,92	19,70	0,289
4+200	94,00	25,70	0,468	41,58	28,24	0,380
4+400	93,00	26,10	0,461	40,79	27,29	0,370
4+600	93,45	22,80	0,584	54,76	37,50	0,479
4+800	95,88	24,70	0,509	46,24	32,52	0,426
5+000	99,92	26,70	0,433	37,60	26,44	0,361
5+200	95,92	24,50	0,510	46,35	32,62	0,427
Promedio =				48,244		0,407

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F (S)	1,413	0,934	0,617	0,407	0,269	0,178	0,117

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 8 Representación gráfica del IFI para el carril derecho



Fuente: Elaboración propia.

Resultados para el carril izquierdo:

Tabla 4. 10 Resultados para el carril izquierdo IFI

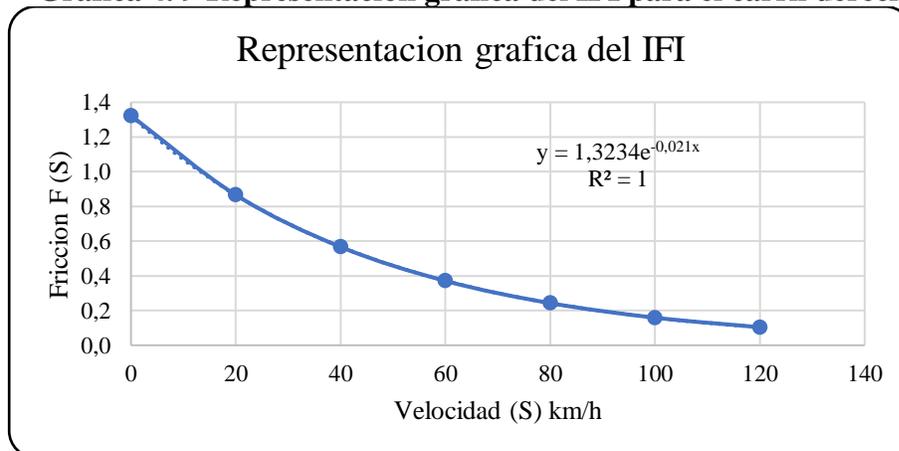
prog	FRs	Dp	H = Tx	Sp	FR60	F60
5+400	88,88	22,50	0,601	56,70	36,80	0,472
5+200	92,48	25,45	0,482	43,17	29,05	0,389
5+000	88,60	24,30	0,547	50,56	32,96	0,431
4+800	87,80	24,90	0,501	45,33	29,14	0,390
4+600	74,48	25,50	0,499	45,10	24,58	0,341

4+400	84,48	24,40	0,516	47,04	29,18	0,390
4+200	81,88	25,70	0,455	40,10	23,54	0,330
4+000	92,32	24,60	0,523	47,83	32,46	0,425
3+800	80,92	26,60	0,425	36,70	20,72	0,300
3+600	80,32	23,80	0,534	49,08	29,00	0,388
3+400	77,52	25,00	0,495	44,65	25,30	0,349
3+200	78,72	24,80	0,522	47,72	27,61	0,373
3+000	76,32	23,10	0,587	55,10	30,80	0,408
2+800	74,88	23,60	0,555	51,47	28,34	0,381
2+600	84,12	24,30	0,514	46,81	28,91	0,387
2+400	73,08	25,20	0,512	46,58	24,98	0,345
2+200	75,88	24,20	0,537	49,42	27,59	0,373
2+000	80,08	23,30	0,563	52,38	30,83	0,408
1+800	86,40	21,70	0,638	60,90	38,01	0,485
1+600	65,00	26,60	0,467	41,47	19,47	0,286
1+400	75,40	24,20	0,545	50,33	27,92	0,377
1+200	67,28	23,70	0,563	52,38	25,90	0,355
1+000	73,88	28,00	0,264	18,40	4,88	0,130
0+800	77,28	26,30	0,473	42,15	23,60	0,331
0+600	87,32	23,30	0,575	53,74	34,44	0,446
0+400	76,88	25,10	0,512	46,58	26,28	0,359
0+200	70,52	23,70	0,560	52,04	26,98	0,367
Promedio =				47,175		0,371

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F(S)	1,323	0,866	0,567	0,371	0,243	0,159	0,104

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 9 Representación gráfica del IFI para el carril derecho



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de este estudio se pueden observar con mas detalle en el anexo 4.

4.2.3. Tratamiento estadístico.

Tratamiento estadístico mediante error porcentual de los ensayos.

El tratamiento estadístico aplicado para este método nos señala que el valor máximo de error para el ensayo del Círculo de arena no debe exceder de 5% y para el ensayo del péndulo británico no debe ser superior al 10%.

Carril derecho.

Tabla 4. 11 Tabla de tratamiento estadístico para el carril derecho

PROG	CIRCULO DE ARENA					DV	E %	PENDULO BRITANICO					DV	E %	
	ERROR ABSOLUTO							ERROR ABSOLUTO							
0+000	0,10	0,40	0,10	0,40	0,60	0,32	1,53	11,61	2,40	2,40	3,40	3,40	4,64	6,05	
0+200	0,44	0,56	0,56	0,94	0,26	0,55	2,34	5,40	1,60	0,60	1,60	1,60	2,16	2,68	
0+400	1,30	0,80	0,20	1,20	0,70	0,84	3,53	4,80	0,20	1,20	2,20	1,20	1,92	2,43	
0+600	1,50	0,00	1,00	0,00	0,50	0,60	2,50	14,60	1,40	4,40	4,40	4,40	5,84	7,06	
0+800	0,80	0,20	0,70	0,70	0,80	0,64	2,58	3,20	1,80	0,80	0,80	0,20	1,36	1,56	
1+000	1,00	0,00	2,00	0,00	1,00	0,80	3,20	1,21	1,80	0,20	0,20	0,20	0,72	0,84	
1+200	0,40	0,60	1,10	0,90	0,40	0,68	2,68	1,20	0,80	0,20	0,80	0,20	0,64	0,76	
1+400	0,24	0,24	0,24	0,76	0,04	0,30	1,28	3,00	0,00	2,00	1,00	0,00	1,20	1,32	
1+600	0,40	1,40	0,60	1,60	0,40	0,88	3,76	3,60	0,40	0,40	1,40	1,40	1,44	1,55	
1+800	0,10	0,60	0,60	0,90	0,40	0,52	2,22	2,60	0,40	0,40	1,40	0,40	1,04	1,16	
2+000	0,50	0,00	1,00	0,50	0,00	0,40	1,57	2,60	0,40	1,40	0,40	0,40	1,04	1,29	
2+200	0,04	0,34	0,96	0,04	0,54	0,38	1,60	1,80	0,20	0,20	1,20	0,20	0,72	0,84	
2+400	0,40	0,60	0,60	0,40	0,40	0,48	1,97	8,80	0,20	3,20	3,20	2,20	3,52	4,00	
2+600	0,10	0,90	0,10	0,10	0,60	0,36	1,57	1,41	0,41	1,60	1,60	1,41	1,28	1,55	
2+800	0,50	0,50	0,50	0,00	0,50	0,40	1,78	1,20	0,80	0,80	0,20	0,20	0,64	0,74	
3+000	0,10	0,40	0,10	0,10	0,10	0,16	0,64	1,80	0,20	0,80	1,20	1,20	1,04	1,17	
3+200	0,50	0,50	0,50	0,00	0,50	0,40	1,57	0,61	2,61	0,39	1,40	1,40	1,28	1,53	
3+400	0,54	0,54	0,66	0,04	0,46	0,45	1,75	1,01	1,00	1,00	0,00	1,01	0,80	0,99	
3+600	0,50	0,50	1,00	0,50	1,50	0,80	3,14	8,40	0,60	1,60	3,60	2,60	3,36	3,49	
3+800	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,24	1,03	1,40	0,60	0,40	1,60	0,40	0,88	0,95	
4+000	0,30	0,30	1,80	1,70	0,70	0,96	3,34	2,41	2,60	1,41	0,59	0,59	1,52	1,61	
4+200	0,70	0,80	0,20	0,30	0,20	0,44	1,71	5,00	0,00	1,00	1,00	3,00	2,00	2,13	
4+400	1,10	0,90	0,40	0,10	0,10	0,52	1,99	1,00	2,00	0,00	2,00	1,00	1,20	1,29	
4+600	1,20	0,20	1,30	0,30	0,20	0,64	2,81	6,41	2,60	1,60	1,60	0,59	2,56	2,74	
4+800	0,30	0,80	0,70	0,30	0,70	0,56	2,27	0,80	0,20	0,80	1,20	0,20	0,64	0,67	
5+000	0,70	0,30	0,20	1,30	0,70	0,64	2,40	0,20	1,80	0,20	1,20	0,20	0,72	0,72	
5+200	0,50	0,00	0,50	0,50	0,50	0,40	1,63	0,80	0,20	2,20	1,80	0,20	1,04	1,08	
VALOR MAXIMO =							3,76	VALOR MAXIMO =							7,06

Fuente: Elaboración propia.

Gracias a la estadística realizada se puede observar que en el carril derecho el valor máximo de error para el círculo de arena es de 3.76 y para el péndulo británico es de 7.06 cumpliendo ambos con las condicionantes de error aceptable para cada método.

Carril izquierdo.

Tabla 4. 12 Tabla de tratamiento estadístico para el carril izquierdo

PROG	CIRCULO DE ARENA					DV	E %	PENDULO BRITANICO					DV	E %	
	ERROR ABSOLUTO							ERROR ABSOLUTO							
5+400	1,50	1,00	0,50	1,50	0,50	1,00	4,44	0,80	0,20	0,20	1,20	0,80	0,64	0,72	
5+200	0,55	0,55	0,45	0,20	0,45	0,44	1,73	0,80	0,20	0,80	1,20	0,20	0,64	0,69	
5+000	0,20	0,30	0,30	0,30	0,70	0,36	1,48	2,40	1,40	0,60	4,60	1,40	2,08	2,35	
4+800	0,90	0,60	0,60	0,10	0,40	0,52	2,09	3,80	2,20	1,20	0,20	0,20	1,52	1,73	
4+600	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,40	1,57	0,20	0,80	0,80	1,20	0,20	0,64	0,86	
4+400	0,40	0,10	0,40	0,60	0,10	0,32	1,31	0,20	0,20	0,80	0,20	0,20	0,32	0,38	
4+200	0,30	0,30	0,70	0,30	0,20	0,36	1,40	0,60	0,40	0,60	0,40	0,40	0,48	0,59	
4+000	0,40	0,40	0,60	0,40	0,60	0,48	1,95	2,20	0,20	0,20	1,80	0,80	1,04	1,13	
3+800	0,40	0,40	0,60	0,40	0,60	0,48	1,80	0,40	0,60	0,60	0,40	0,40	0,48	0,59	
3+600	0,80	0,20	0,20	0,20	0,20	0,32	1,34	3,20	0,80	0,80	1,80	0,20	1,36	1,69	
3+400	3,00	2,00	0,00	0,00	1,00	1,20	4,80	2,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,60	2,06	
3+200	0,80	0,20	0,70	0,30	0,20	0,44	1,77	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,40	0,51	
3+000	0,10	0,90	0,10	0,10	0,60	0,36	1,56	1,60	1,40	0,60	0,60	1,40	1,12	1,47	
2+800	0,40	0,60	0,40	0,40	0,60	0,48	2,03	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,80	1,07	
2+600	0,70	0,30	0,30	0,80	0,70	0,56	2,30	0,60	0,60	0,60	1,40	0,40	0,72	0,86	
2+400	0,80	1,20	1,20	0,80	0,80	0,96	3,81	2,20	0,20	0,20	0,80	1,80	1,04	1,42	
2+200	0,20	0,80	0,20	0,20	0,20	0,32	1,32	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,53	
2+000	0,30	0,20	0,20	0,30	0,20	0,24	1,03	0,20	0,80	0,20	0,80	1,20	0,64	0,80	
1+800	1,30	0,70	0,70	0,20	0,30	0,64	2,95	2,40	0,40	1,60	1,60	0,40	1,28	1,48	
1+600	0,40	0,40	0,60	0,40	0,60	0,48	1,80	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00	0,80	1,23	
1+400	0,20	0,80	0,20	0,30	0,70	0,44	1,82	1,40	0,60	1,40	1,60	0,60	1,12	1,49	
1+200	0,30	0,70	0,20	0,30	0,30	0,36	1,52	3,80	1,20	1,20	2,20	0,80	1,84	2,73	
1+000	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,20	0,71	4,80	1,20	2,20	1,20	0,20	1,92	2,60	
0+800	0,70	0,70	1,30	0,80	0,70	0,84	3,19	0,20	0,80	0,80	0,20	1,20	0,64	0,83	
0+600	0,30	1,70	1,30	0,30	0,20	0,76	3,26	0,80	0,20	0,20	0,20	0,20	0,32	0,37	
0+400	0,10	0,90	1,10	0,40	0,10	0,52	2,07	1,80	2,20	2,20	0,20	2,80	1,84	2,39	
0+200	0,30	0,70	0,70	0,30	0,80	0,56	2,36	2,60	0,60	0,60	2,40	1,40	1,52	2,16	
VALOR MAXIMO =							4,80	VALOR MAXIMO =							2,73

Fuente: Elaboración propia.

Gracias a la estadística realizada se puede observar que en el carril derecho el valor máximo de error para el círculo de arena es de 4.80 y para el péndulo británico es de 2.73 cumpliendo ambos con las condicionantes de error aceptable para cada método.

4.2.4. Análisis de resultados.

Una vez tabulados y procesados los valores de los datos obtenidos en campo a treves de los métodos del círculo de arena y el péndulo británico se puede determinar los siguiente: En el carril derecho se obtiene un valor de IFI de (0,407;48,244) siendo estos los valores de Sp y F60 respectivamente, lo cual indica que se trata de un pavimento con una textura ligeramente áspera que según el valor de fricción mínima la ABC de 0.373 nos genera una velocidad máxima segura de 63,43 Km/hr.

En el carril izquierdo se obtiene un valor de IFI de (0,371; 47,175) siendo estos los valores de Sp y F60 respectivamente, lo cual indica que se trata de un pavimento con una textura un poco más cerrada que según el valor de fricción mínima la ABC de 0.373 nos genera una velocidad máxima segura de 60,31 Km/hr.

Realizando un análisis general del tramo se puede determinar que la vía cuenta con una textura sobre la superficie ligeramente áspera que admite valores de velocidades máximas seguras por encima de los 60 km/hr el cual es un valor aceptable considerando que la velocidad de diseño de la vía es de 80 km/hr según datos obtenidos a través del municipio de Tarija.

4.3. Evaluación superficial por el método del PCI

4.3.1. Procedimiento de cálculo

Las fallas pueden ser medidas en areas o longitudes dependiendo cada tipo falla:

Tabla 4. 13 Fallas existentes en la unidad de muestra.

Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)					
Hoja de registro					
Vía: sella cercado - monte cercado			Sección:	0+240	Unidad de muestra: 9
Ejecutor: Zamora Negrette Sergio			Fecha:	05/09/2019	Area (m ²): 216
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		Nº
4. abultamientos y hundimientos		m ²	14. cruce de puente		m ²
5. corrugación		m ²	15. ahuellamiento		m ²
6. depresión		m ²	16. desplazamiento		m ²

7. fisura de borde		m	17. fisura parabólica			m ²
8. fisura de reflexión de junta		m	18. hinchamiento			m ²
9. desnivel carril-berma		m	19. desprendimiento de agregados			m ²
10. fisuras longitudinales y transversales		m				
Falla	Severidad	Cantidad				Total
3	1	6,12			6,12	
10	1	5,40	7,20		12,60	
7	1	10,10	15,40		25,50	

Fuente: Elaboración propia.

Se calculará para la falla de fisura en bloque (3) con un nivel de severidad leve (L), se repite el procedimiento para todas las fallas y las severidades.

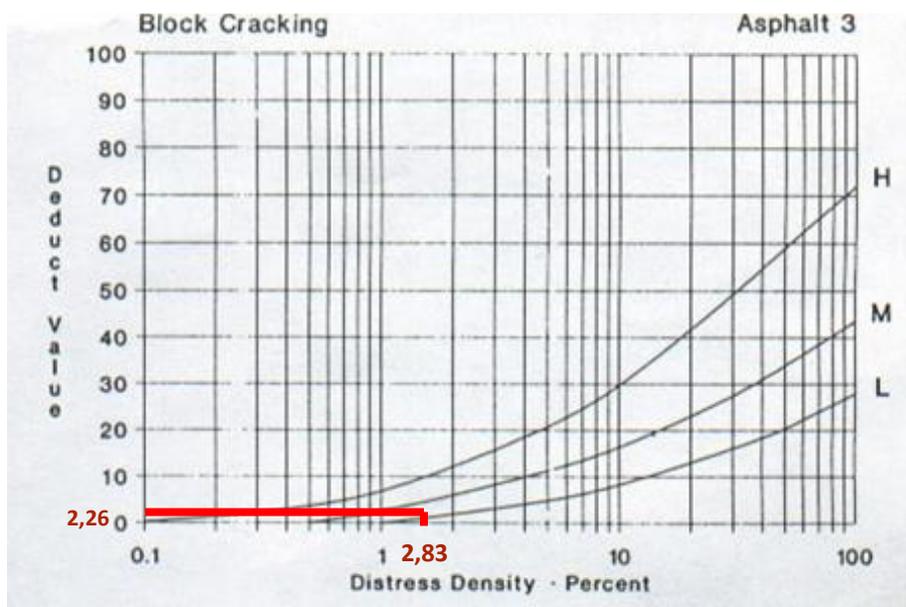
Cálculo de la densidad:

$$D = \frac{\text{Afalla}}{\text{Aunidad de muestra}} \times 100$$

$$D = \frac{6.12}{216} \times 100 = 2.83 \%$$

$$D = 2.83 \%$$

Imagen 4. 1 Curva de valor deducido de fisuras en bloque.



Fuente: Norma ASTM D6433-03.

Mediante la tabla se debe calcular en función a los valores de la densidad y del nivel de severidad presentes en la tabla, si estos valores no coinciden con los encontrados, se debe interpolar para obtener el valor deducido.

10. Fisura longitudinal y transversal

Tabla 4. 14 Valores deducidos para fisuras en bloque.

Densidad	Valor deducido		
	Bajo	Medio	Alto
0.10			
0.20			
0.30			
0.40			4.30
0.50			4.90
0.60		1.40	5.60
0.70		1.70	6.20
0.80		1.90	6.70
0.90		2.10	7.30
1.00		2.40	7.80
2.00	0.10	4.60	12.30
3.00	2.00	6.90	16.10
4.00	3.30	9.20	19.50
5.00	4.30	11.50	22.60
6.00	5.10	13.00	25.50
7.00	5.80	14.30	28.20
8.00	6.40	15.80	30.80
9.00	7.00	17.10	32.50
10.00	8.00	18.30	34.30
20.00	12.20	26.10	50.30
30.00	15.10	30.60	59.70
40.00	17.70	33.90	66.30
50.00	19.90	36.40	71.50
60.00	22.00	38.40	75.70
70.00	23.90	40.10	79.30
80.00	25.60	41.60	82.30
90.00	27.30	43.00	85.10
100.00	28.90	44.20	87.50

Fuente: Método del PCI en pavimentos flexibles (Armijos Christian)

En nuestro caso, con una densidad de 2.83 % y un nivel de severidad de leve (L), se realiza la interpolación y nos da un valor deducido (VD) de 2.26.

Se repite la misma operación para cada tipo y severidad de falla.

Tabla 4. 15 Obtención de los valores deducidos.

Falla	Severidad	Total	Densidad	VD
3	L	6,12	2,83	2,26
10	L	12,60	5,83	3,79
7	L	25,50	11,81	9,12
Total		44.22		

Fuente: Elaboración propia.

Determinar el “Número máximo admisible de valores deducidos” (m):

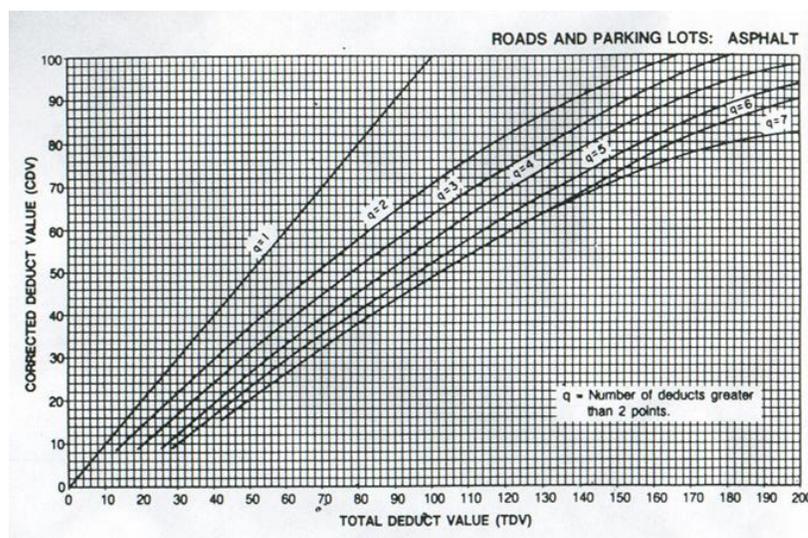
$$m = 1 + \frac{9}{98} \times (100 - \text{VDMáx})$$

$$m = 1 + \frac{9}{98} \times (100 - 9.12)$$

$$m = 9.34 \approx 9$$

Por último, calculamos el VDC con “q” y el “valor deducido total” en la curva de corrección o con las tablas del VDC.

Imagen 4. 2 Curva de los valores deducidos corregidos.



Fuente: Norma ASTM D6433-03.

Tabla 4. 16 Valores deducidos corregidos.

VDT	Valor deducido corregido						
	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7
0.0	0.0						
10.0	10.0						
12.0	12.0	8.0					
18.0	18.0	12.5	8.0				
20.0	20.0	14.0	10.0				
25.0	25.0	18.0	13.5	8.0			
28.0	28.0	20.4	15.6	10.4	8.0		
30.0	30.0	22.0	17.0	12.0	10.0		
40.0	40.0	30.0	24.0	19.0	17.0		
42.0	42.0	31.4	25.4	20.4	18.2	15.0	15.0
50.0	50.0	37.0	31.0	26.0	23.0	20.0	20.0
60.0	60.0	44.0	38.0	33.0	29.0	26.0	26.0
70.0	70.0	51.0	44.5	39.0	35.0	32.0	32.0
80.0	80.0	58.0	50.5	45.0	41.0	38.0	38.0
90.0	90.0	64.0	57.0	51.0	46.0	44.0	44.0
100.0	100.0	71.0	63.0	57.0	52.0	49.0	49.0
110.0		76.0	68.0	62.0	57.0	54.0	54.0
120.0		81.0	73.0	68.0	62.0	59.0	59.0
130.0		86.0	78.5	73.0	67.0	63.0	63.0
135.0		88.5	81.5	75.5	69.5	65.0	65.0
140.0		91.0	84.0	78.0	72.0	68.0	67.0
150.0		94.0	88.0	82.0	76.0	72.0	70.0
160.0		98.0	93.0	86.0	81.0	76.0	74.0
166.0		100.0	94.8	88.4	83.4	79.0	75.2
170.0			96.0	90.0	85.0	81.0	76.0
180.0			99.0	93.0	88.0	84.0	79.0
182.0			100.0	93.6	88.6	84.8	79.6
190.0				96.0	91.0	88.0	82.0
200.0				98.0	94.0	90.0	84.0

Fuente: Método del PCI en pavimentos flexibles (Armijos Christian)

Para nuestro ejemplo nos dan los siguientes resultados.

Tabla 4. 17 Obtención de los valores deducidos corregidos.

N°		Valores Deducidos		VDT	q	VDC
1	9,12	3,79	2,26	15,17	3	5,17
2	9,12	3,79	2,00	14,91	2	10,12
3	9,12	2,00	2,00	13,12	1	13,12

Fuente: Elaboración propia.

Y por último el cálculo del PCI que es la resta de 100 menos el máximo valor deducido corregido.

$$\text{PCI} = 100 - \text{VDCmáx}$$

$$\text{PCI} = 100 - 13.12$$

$$\text{PCI} = 86.88 \text{ [Excelente]}$$

Tabla 4. 18 Resultados de la unidad de muestra N°9

Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)			
Hoja de registro			
Nombre de la vía: Sella Cercado - Monte Cercado			Esquema: 1er Kilómetro
Ejecutor:	Sergio Zamora Negrette		
Sección:	0+240		
Fecha:	05/09/2019		
Área(m²):	216		
Unidad de muestra:	9		
Fallas	Unidad de medida	Fallas	Unidad de medida
1. Piel de cocodrilo	m²	11. Parches	m²
2. Exudación	m²	12. Agregado pulido	m²
3. Fisuras en bloque	m²	13. Huecos	N°
4. Abultamientos y hundimientos	m²	14. Ahuellamiento	m²
5. Corrugación	m²	15. Desplazamiento	m²
6. Depresión	m²	16. Fisura Parabólica	m²
7. Fisura de borde	m	17. Hinchamiento	m²
8. Fisura de reflexión de junta	m	18. Desprendimiento de agregados	m²
9. Desnivel carril-berma	m	19. Cruce de puentes	m²
10. Fisuras longitudinales y transversales	m		

Falla	Severidad	Total	Densidad	VD
3	L	6,12	2,83	2,26
10	L	12,60	5,83	3,79
7	L	25,50	11,81	9,12
Total		44,22		

N°				Valores Deducidos				VDT	q	VDC
1	9,12	3,79	2,26					15,17	3	5,17
2	9,12	3,79	2,00					14,91	2	10,12
3	9,12	2,00	2,00					13,12	1	13,12

VDCmáx =	13,12
----------	-------

PCI=	86,88
------	-------

Condición:	
	Excelente

PCI=	100-VDCmáx
------	------------

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Resultados de la evaluación superficial

Las tablas de resultados de PCI de cada unidad de muestra se describen en el anexo 2.

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos en todas las unidades de muestra en cada kilómetro a lo largo de todo el tramo. Estos resultados se los clasificó según los rangos establecidos en el manual del PCI (Norma ASTM D643303) como se muestra a continuación.

Tabla 4. 19 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)

4.3.2.1. Resultados de la clasificación del PCI para cada kilómetro

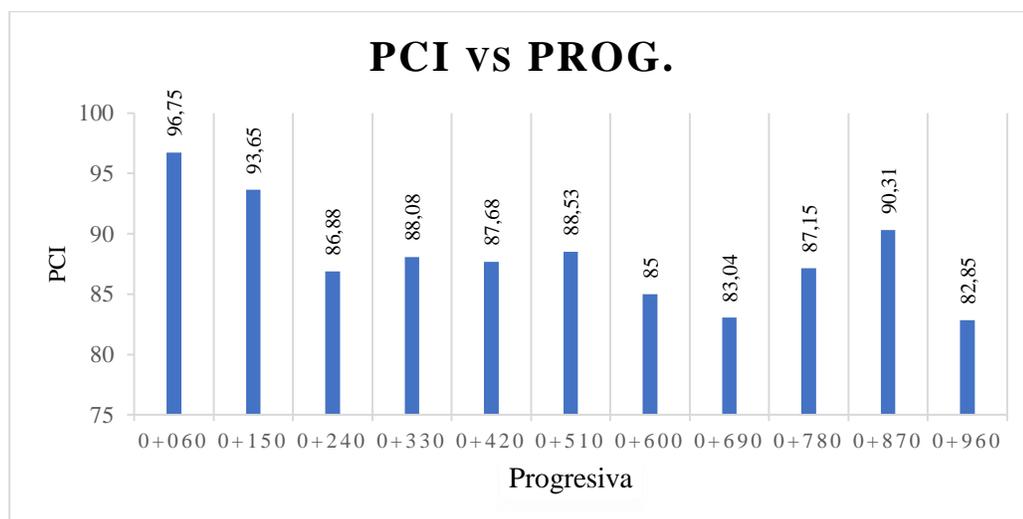
Resultados para el kilómetro 1

Tabla 4. 20 Resultados del PCI para el km 1.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
		m	m	m ²			
0+060	3	30	7.20	216	3.25	96.75	Excelente
0+150	6	30	7.20	216	6.35	93.65	Excelente
0+240	9	30	7.20	216	13.12	86.88	Excelente
0+330	12	30	7.20	216	11.92	88.08	Excelente
0+420	15	30	7.20	216	12.32	87.68	Excelente
0+510	18	30	7.20	216	11.47	88.53	Excelente
0+600	21	30	7.20	216	15.00	85.00	Excelente
0+690	24	30	7.20	216	16.96	83.04	Muy bueno
0+780	27	30	7.20	216	12.85	87.15	Excelente
0+870	30	30	7.20	216	9.70	90.31	Excelente
0+960	33	30	7.20	216	17.15	82.85	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 10 PCI vs progresiva del km 1.



Fuente: Elaboración propia.

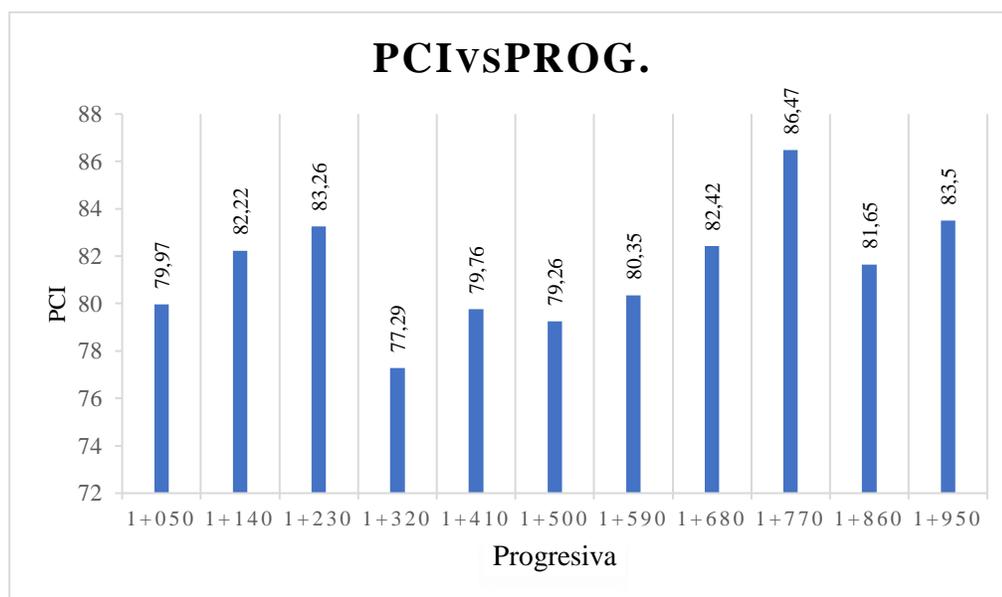
Resultados para el kilómetro 2

Tabla 4. 21 Resultados del PCI para el km 2.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
		m	m	m ²			
1+050	34	30	7.20	216	20.03	79.97	Muy bueno
1+140	37	30	7.20	216	17.78	82.22	Muy bueno
1+230	40	30	7.20	216	16.74	83.26	Muy bueno
1+320	43	30	7.20	216	22.74	77.29	Muy bueno
1+410	46	30	7.20	216	20.24	79.76	Muy bueno
1+500	49	30	7.20	216	20.74	79.26	Muy bueno
1+590	52	30	7.20	216	19.65	80.35	Muy bueno
1+680	55	30	7.20	216	17.58	82.42	Muy bueno
1+770	58	30	7.20	216	13.53	86.47	Excelente
1+860	61	30	7.20	216	18.35	81.65	Muy bueno
1+950	64	30	7.20	216	16.50	83.50	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 11 PCI vs progresiva del km 2.



Fuente: Elaboración propia.

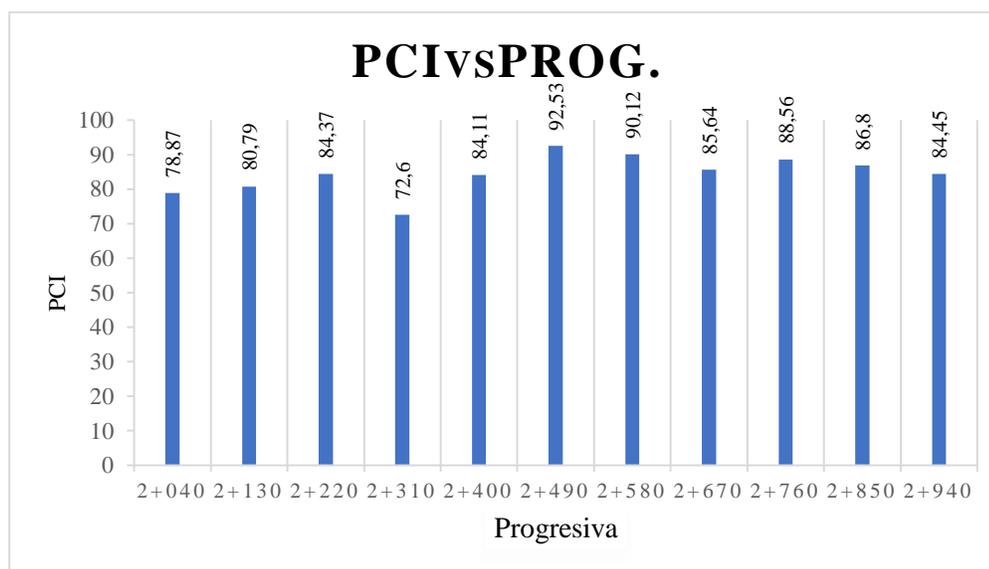
Resultados para el kilómetro 3

Tabla 4. 22 Resultados del PCI para el km 3.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
		m	m	m ²			
2+040	67	30	7.20	216	21.13	78.87	Muy bueno
2+130	70	30	7.20	216	19.21	80.79	Muy bueno
2+220	73	30	7.20	216	15.63	84.37	Muy bueno
2+310	76	30	7.20	216	27.40	72.60	Muy bueno
2+400	79	30	7.20	216	15.89	84.11	Muy bueno
2+490	82	30	7.20	216	7.47	92.53	Excelente
2+580	85	30	7.20	216	9.88	90.12	Excelente
2+670	88	30	7.20	216	14.36	85.64	Excelente
2+760	91	30	7.20	216	11.44	88.56	Excelente
2+850	94	30	7.20	216	13.12	86.80	Excelente
2+940	97	30	7.20	216	15.55	84.45	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 12 PCI vs progresiva del km 3.



Fuente: Elaboración propia.

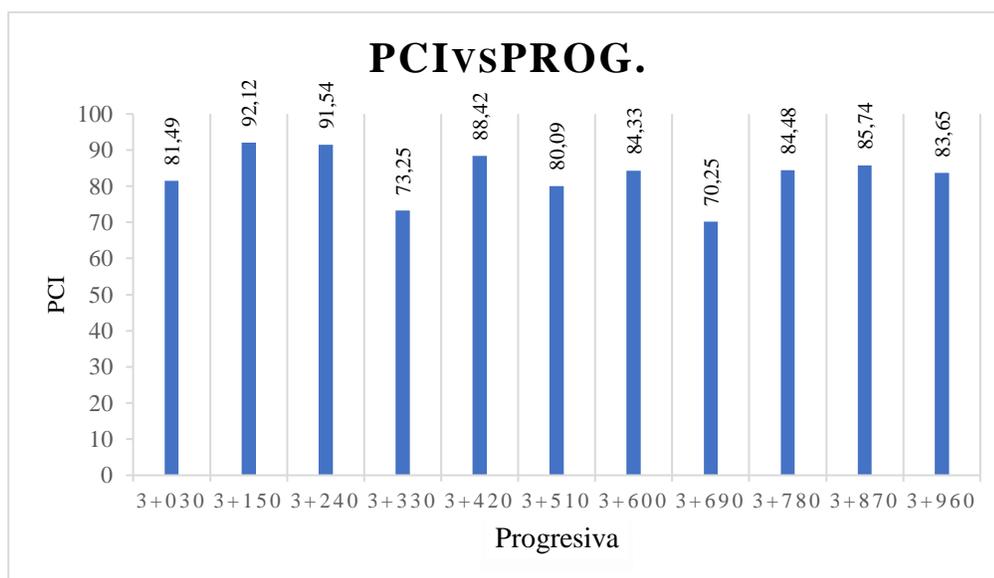
Resultados para el kilómetro 4

Tabla 4. 23 Resultados del PCI para el km 4.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
		m	m	m ²			
3+030	103	30	7.20	216	18.51	81.49	Muy bueno
3+120	106	30	7.20	216	7.88	92.12	Excelente
3+210	109	30	7.20	216	8.46	91.54	Excelente
3+300	112	30	7.20	216	20.75	73.25	Muy bueno
3+390	115	30	7.20	216	11.58	88.42	Excelente
3+480	118	30	7.20	216	19.91	80.09	Muy bueno
3+570	121	30	7.20	216	15.67	84.33	Muy bueno
3+660	124	30	7.20	216	29.75	70.25	Muy bueno
3+750	127	30	7.20	216	15.52	84.48	Muy bueno
3+840	130	30	7.20	216	14.26	85.74	Excelente
3+930	133	30	7.20	216	16.35	83.65	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 13 PCI vs progresiva del km 4.



Fuente: Elaboración propia.

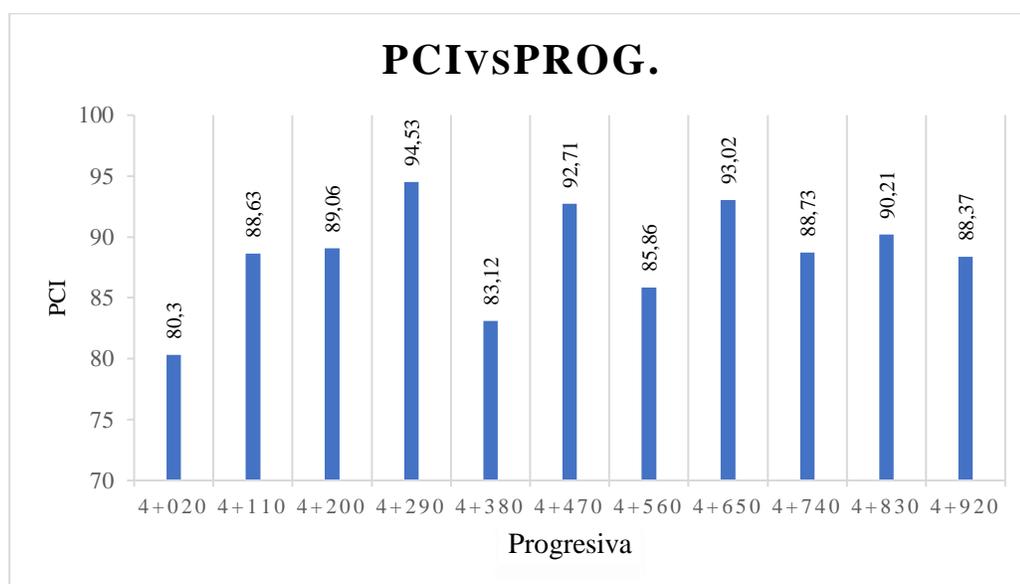
Resultados para el kilómetro 5

Tabla 4. 24 Resultados del PCI para el km 5.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
		m	m	m ²			
4+020	136	30	7.20	216	19.70	80.30	Muy bueno
4+110	139	30	7.20	216	11.37	88.63	Excelente
4+200	142	30	7.20	216	10.94	89.06	Excelente
4+290	145	30	7.20	216	5.47	94.53	Excelente
4+380	148	30	7.20	216	16.88	83.12	Muy bueno
4+470	151	30	7.20	216	7.29	92.71	Excelente
4+560	154	30	7.20	216	14.14	85.86	Excelente
4+650	157	30	7.20	216	6.98	93.02	Excelente
4+740	160	30	7.20	216	11.27	88.73	Excelente
4+830	163	30	7.20	216	9.79	90.21	Muy bueno
4+920	166	30	7.20	216	11.63	88.37	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 14 PCI vs progresiva del km 5.



Fuente: Elaboración propia.

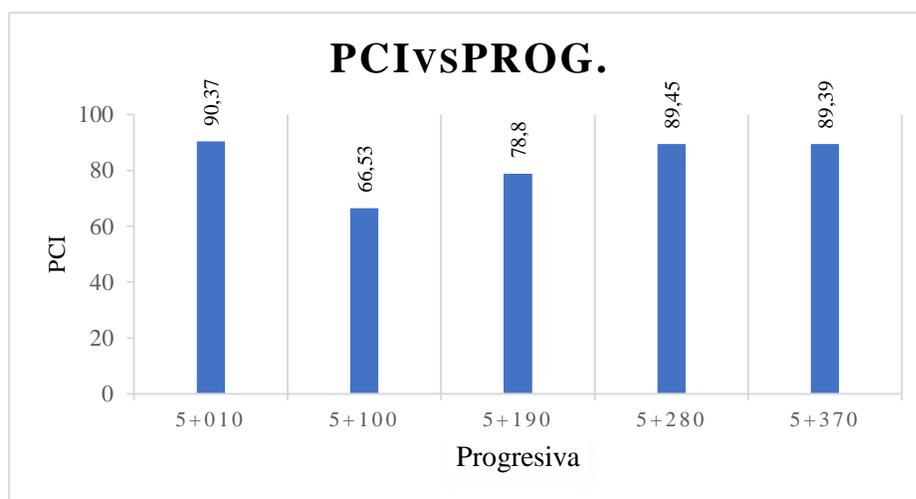
Resultados para el kilómetro 6

Tabla 4. 25 Resultados del PCI para el km 6.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
		m	m	m ²			
5+010	169	30	7.20	216	9.63	90.37	Excelente
5+100	172	30	7.20	216	33.47	66.53	Bueno
5+190	175	30	7.20	216	21.20	78.80	Muy bueno
5+280	178	30	7.20	216	10.55	89.45	Excelente
5+370	181	30	7.20	216	10.61	89.39	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 15 PCI vs progresiva del km 6.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.2. Cantidad de metros de cada falla según su severidad en cada km.

Kilómetro 1

Tabla 4. 26 Metrado de fallas según severidad en el km 1.

N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
2	Exudación	m ²	L	19.1
			M	
3	Fisuras en bloque	m ²	L	27.155
			M	
7	Fisura de borde	m	L	68.04
			M	
9	Desnivel carril berma	m	L	226.48
			M	
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	175.04
			M	
13	Huecos	und	L	0.24
			M	
19	Desprendimiento de agregados	m ²	L	182.812
			M	

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 2

Tabla 4. 27 Metrado de fallas según severidad en el km 2.

N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
3	Fisuras en bloque	m ²	L	110.73
			M	13.09
7	Fisura de borde	m	L	95.68
			M	
9	Desnivel carril berma	m	L	534.15
			M	105.13
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	441.61
			M	
19	Desprendimiento de agregados	m ²	L	58.5
			M	3.63

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 3

Tabla 4. 28 Metrado de fallas según severidad en el km 3.

N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
3	Fisuras en bloque	m ²	L	127.18
			M	
7	Fisura de borde	m	L	14.64
			M	
9	Desnivel carril berma	m	L	459.26
			M	95.33
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	218.52
			M	21.51
11	Parcheo	m ²	L	7.03
			M	
19	Desprendimiento de agregados	m ²	L	1.23
			M	

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 4

Tabla 4. 29 Metrado de fallas según severidad en el km 4.

N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
3	Fisuras en bloque	m ²	L	77.495
			M	0
4	Abultamientos y Hundimientos	m ²	L	0.25
			M	0
7	Fisura de borde	m	L	25.67
			H	23.48
9	Desnivel carril berma	m	L	375.02
			M	60
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	323.24
			M	41.75
11	Parcheo	m ²	L	10.31
			M	0
19	Desprendimiento de agregados	m ²	L	8.55
			M	0

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 5

Tabla 4. 30 Metrado de fallas según severidad en el km 5.

N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
3	Fisuras en bloque	m ²	L	57.11
			M	0
7	Fisura de borde	m	L	28.43
			H	0
9	Desnivel carril berma	m	L	5528.29
			M	0
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	131.25
			M	13.99

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 6

Tabla 4. 31 Metrado de fallas según severidad en el km 6.

N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
2	Exudación	m ²	L	6.6
			M	0
7	Fisura de borde	m	L	60
			M	0
9	Desnivel carril berma	m	L	232.6
			M	60
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	35.27
			M	16.42

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.3. Resultados del porcentaje de cada tipo de falla en cada kilómetro

Kilómetro 1

Tabla 4. 32 Porcentaje de fallas en el km 1.

Tramo " Sella Cercado – Monte Cercado "	
Tipo de falla	% Falla
2. Exudación	2.73

3. Fisuras en bloque	2.89
7. Fisura de borde	9.74
9. Desnivel carril - berma	32.41
10. Fisuras longitudinales y transversales	25.05
11. Parches	1.50
13. Huecos	0.03
16. Desplazamiento	26.16

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 2

Tabla 4. 33 Porcentaje de fallas en el km 2.

Tramo " Sella Cercado – Monte Cercado "	
Tipo de falla	% Falla
3. Fisuras en bloque	9.09
7. Fisura de borde	7.02
9. Desnivel carril - berma	46.92
10. Fisuras longitudinales y transversales	32.41
19. Desprendimiento de agregados	4.56

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 3

Tabla 4. 34 Porcentaje de fallas en el km 3.

Tramo " Sella Cercado – Monte Cercado "	
Tipo de falla	% Falla
3. Fisuras en bloque	13.46
7. Fisura de borde	1.55
9. Desnivel carril - berma	58.71
10. Fisuras longitudinales y transversales	25.41
11. Parches	0.74
19. Desprendimiento de agregados	0.13

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 4

Tabla 4. 35 Porcentaje de fallas en el km 4.

Tramo " Sella Cercado – Monte Cercado "	
Tipo de falla	% Falla
3. Fisuras en bloque	8.19
4. Abultamientos y hundimientos	0.05
7. Fisura de borde	5.19
9. Desnivel carril - berma	45.99
10. Fisuras longitudinales y transversales	38.59
11. Parches	1.09
19. Desprendimiento de agregados	0.90

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 5

Tabla 4. 36 Porcentaje de fallas en el km 5.

Tramo "Sella Cercado – Monte Cercado"	
Tipo de falla	% Falla
3. Fisuras en bloque	7.52
7. Fisura de borde	3.75
9. Desnivel carril - berma	69.60
10. Fisuras longitudinales y transversales	19.13

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 6

Tabla 4. 37 Porcentaje de fallas en el km 6.

Tramo "Sella Cercado – Monte Cercado"	
Tipo de falla	% Falla
2. Exudación	1.61
7. Fisura de borde	14.60
9. Desnivel carril - berma	71.21
10. Fisuras longitudinales y transversales	12.58

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Tratamiento estadístico

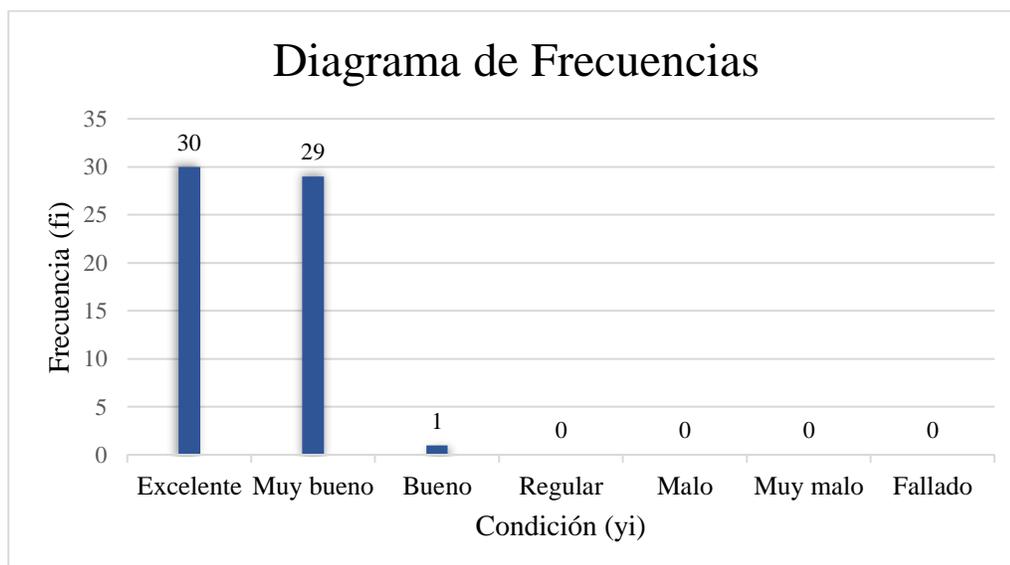
A continuación, se mostrará el tratamiento estadístico realizado para cualificar y cuantificar el comportamiento de las variables, en este caso la variable del PCI es una variable cualitativa ordinal ya que presenta una modalidad no numérica y toma valores ordenados siguiendo una escala establecida, por lo tanto se realiza el siguiente tratamiento estadístico.

Tabla 4. 38 Tratamiento estadístico del PCI.

n	Condición (yi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia relativa (hi)		
			Fracción	Decimal	Porcentual (%)
1	Excelente	30	30/60	0.5	50
2	Muy bueno	29	29/60	0.48	48
3	Bueno	1	1/60	0.02	2
4	Regular	0	0/60	0	0
5	Malo	0	0/60	0	0
6	Muy malo	0	0/60	0	0
7	Fallado	0	0/60	0	0
	Σ	60	60/60	1	100

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 16 Diagrama de frecuencias del PCI.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar gracias al tratamiento estadístico que la mayor cantidad de muestras se encuentran en una condición de excelente y muy bueno, lo cual nos indica que según el método del PCI la vía se encuentra en condiciones aptas para los usuarios.

4.3.4. Análisis de los resultados

A continuación, se hará un análisis de los resultados obtenidos para así tener una idea más clara de los resultados que se consiguieron.

4.3.4.1. Análisis de resultados según el porcentaje de cada tipo de falla

Después de realizar la evaluación superficial del tramo “Sella Cercado – Monte Cercado” y con los resultados obtenidos anteriormente se pudo observar que la mayor cantidad de fallas se encuentran en el kilómetro 2 y en segundo lugar en el kilómetro 4 pero no muy distante a la cantidad de fallas existentes en los demás tramos como se muestra en la tabla 4.39, esto se podría deber a que en el kilómetro 2 existe mayor circulación de vehículos de carga que se incorporan a la vía a través de las intersecciones existentes justamente en el tramos mencionado. En el kilómetro 4 se puede considerar las fallas debido a que en ese tramo se encuentra el ingreso a la comunidad Monte Cercado y existe una unidad educativa motivo por el cual se incrementa el flujo vehicular. En los kilómetros siguientes las fallas reducen, pero a excepción del kilómetro 2 se puede notar que el porcentaje de fallas a lo largo del tramo es similar por lo que se puede asumir que el comportamiento de la superficie es constante a lo largo de la vía. En el kilómetro 6 se nota el menor porcentaje de fallas debido a que el estudio se realizó en los 400 metros a partir de kilómetro 5.

Tabla 4. 39 Porcentaje de fallas en cada km.

Tramo “Sella Cercado – Monte Cercado”		
Progresiva: 0+000 – 6+030		
Kilómetro N°	Progresiva	% de Fallas
1	0+000 – 1+000	13.65
2	1+001 – 2+000	26.60
3	2+001 – 3+000	18.44
4	3+001 – 4+000	18.47
5	4+001 – 5+000	14.82
6	5+001 – 5+400	8.02

Fuente: Elaboración propia.

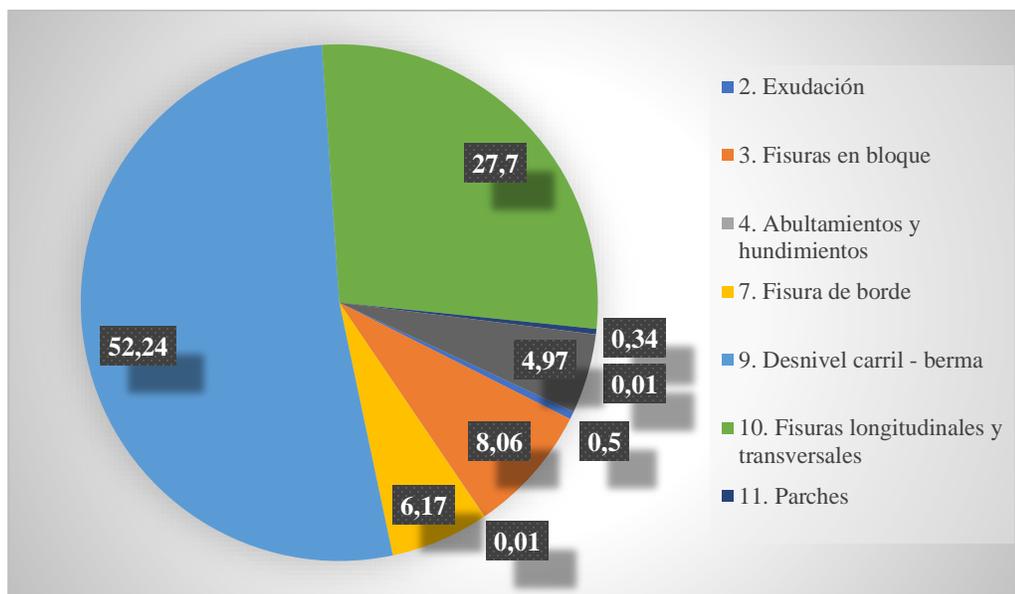
A continuación se muestra el porcentaje de cada tipo falla en todo el tramo estudiado.

Tabla 4. 40 Porcentaje de cada falla en todo el tramo.

Tramo “Sella Cercado – Monte Cercado”	
Progresiva: 0+000 – 6+030	
Tipo de falla	% Falla
2. Exudación	0.5
3. Fisuras en bloque	8.06
4. Abultamientos y hundimientos	0.01
7. Fisura de borde	6.17
9. Desnivel carril – berma	52.2
10. Fisuras longitudinales y transversales	27.70
11. Parches	0.34
13. Huecos	0.01
19. Desprendimiento de agregados	4.97

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 17 Porcentaje de cada tipo de falla en todo el tramo.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 4.40 y en la gráfica 4.19, la falla predominante en el tramo “Sella Cercado - Monte Cercado” son el desnivel carril berma con un con un 52.24 %, otra falla considerable en el tramo es las Fisuras longitudinales y transversales con un 27.7 %. El resto de las fallas son menos considerables y con porcentajes mucho más bajos comparado al de las fallas ya mencionadas, es por eso que se mostrara un análisis de las dos fallas más influyentes en tramo estudiado.

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 sobre carpetas 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 (ó metros lineales).

Opciones de reparación

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

Fisuras longitudinales y transversales

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

Una junta de carril del pavimento pobremente construida.

Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.

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:

Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.

Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.

Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.

Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.

Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.

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

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.

4.3.4.2. Análisis de resultados según la clasificación del PCI en todo el tramo

Tabla 4. 41 Calificación del PCI por kilómetro en todo el tramo.

Tramo " Sella Cercado - Monte Cercado"							
Progresiva: 0+000 - 5+400							
Progresiva	Km	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
	Nº	m	m	m ²			
0+000 - 1+000	1	30	7.20	216	11.83	88.17	Excelente
1+001 - 2+000	2	30	7.20	216	18.53	81.47	Muy bueno
2+001 - 3+000	3	30	7.20	216	15.55	84.45	Muy bueno
3+001 - 4+000	4	30	7.20	216	16.24	83.76	Muy bueno
4+001 - 5+000	5	30	7.20	216	11.41	88.59	Excelente
5+001 - 5+400	6	30	7.20	216	17.09	82.91	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 42 Calificación del PCI de todo el tramo.

Tramo " Sella Cercado – Monte Cercado"			
Clasificación del PCI en todo el tramo			
Progresiva	VCD máx.	PCI calculado	Calificación de la condición del pavimento
0+000 - 6+030	15.11	84.89	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia.

Realizado el análisis en la totalidad del tramo estudiado en sus 5.4 km, se obtiene un valor del PCI de 84.89 que nos da una calificación del pavimento de MUY BUENO, este es un resultado que se esperaba ya que como se pudo ver en el tratamiento estadístico mayoría de las muestras estaban en una condición de excelente y muy bueno, por lo tanto esto quiere decir que la superficie del pavimento flexible en el tramo está aún en muy buenas condiciones de seguridad y serviciabilidad, de igual manera serán muy importantes los trabajos de mantenimiento y prevención para solucionar las fallas que presente la vía y así la vía pueda seguir brindando comodidad y calidad de tránsito a los usuarios como también garantizar el cumplimiento de la vida útil de la obra..

También cabe mencionar que de los resultados obtenidos solo hay un tramo que se encuentran en condición de BUENO según el PCI, que es la unidad de muestra número

171 en la progresiva 5+100, esto se debe a que en la unidad de muestra número 171 existe la falla de fisura de borde con severidad H de gran magnitud y por lo tanto la vía en este tramo reduce sus condiciones de seguridad para los usuarios ya que existe una desintegración considerable a lo largo del borde.

4.3.4.3. Cantidad de metros de cada falla según su severidad en todo el tramo

Tabla 4. 43 Metrado de fallas según severidad en todo el tramo.

Tramo " Sella Cercado – Monte Cercado "				
Progresiva: 0+000 – 5+400				
N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
2	Exudación	m ²	L	25.7
			M	0
			H	0
3	Agrietamiento en bloque	m ²	L	399.67
			M	13.09
			H	0
4	Abultamientos y hundimientos	m ²	L	0.25
			M	0
			H	0
7	Grieta de borde	m	L	292.46
			M	0
			H	23.48
9	Desnivel carril berma	m	L	2355.8
			M	320.46
			H	0
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	1324.93
			M	93.67
			H	30.73
11	Parcheo	m ²	L	17.34
			M	
			H	0
19	Desprendimiento de agregados	m ²	L	251.092
			M	3.6
			H	0

Fuente: Elaboración propia.

De la cuantificación de fallas de todo el tramo evaluado se puede observar que la falla que predomina es el desnivel carril berma, el cual se debe por el deterioro del terreno a los lados de la vía, como también de fallas constructivas.

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 sobre carpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.

Opciones de reparación

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

Las operaciones de mantenimiento y rehabilitación para estas fallas podrían ser:

La segunda falla con más valor es la de Fisuras longitudinales y transversales, esta podría deberse a una junta de carril del pavimento mal construida o a una contracción de la superficie del concreto asfáltico debido a las bajas temperaturas, al endurecimiento del asfalto o al cambio climático diario.

Las operaciones de mantenimiento y rehabilitación para estas fallas podrían ser:

Para un nivel de severidad bajo (L), no se hace nada.

Para un nivel de severidad medio (M), sellado de grietas.

Para un nivel de severidad alto (H), sellado de grietas o un parcheo parcial.

Otra falla con un valor considerable es la de fisuras en bloque, estas son fisuras que dividen al pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares, se originan principalmente por contracciones del concreto asfáltico o por los ciclos de temperatura diarios. Las operaciones de mantenimiento y rehabilitación según su nivel de severidad podrían ser:

Bajo (L), sellado de grietas con ancho mayor a 3mm o riego de sello.

Medio (M), sellado de grietas, escarfinado en caliente y sobre carpeta.

Alto (H), sellado de grietas, escarfinado en caliente y sobre carpeta.

Las operaciones de mantenimiento y rehabilitación en el nivel de severidad bajo no se hace nada ya que no afectan en la calidad de tránsito, en los niveles medio y alto consiste mayormente en sellado de grietas, parcheo parcial o profundo, tratamiento superficial, sobre carpeta y en algún caso que se necesite una reconstrucción. La información brindada en la tabla 4.43 será de mucha importancia para seleccionar las operaciones de

mantenimiento y rehabilitación de la vía como también para realizar el presupuesto para la ejecución de las operaciones de mantenimiento y rehabilitación.

4.3.4.4. Alternativas de solución

El estado del pavimento flexible del tramo aún se encuentra en una condición Muy buena, por lo tanto, es un buen momento para intervenir el tramo y evitar mayores fallas y por lo tanto mayor costo de mantenimiento.

En la tabla 4.32 se muestran los trabajos de mantenimiento y rehabilitación de la vía según el tipo de falla y nivel de severidad presentes.

Tabla 4. 44 Operaciones de mantenimiento y rehabilitación para cada falla.

Mantenimiento y rehabilitación tramo " Sella Cercado – Monte Cercado "							
Falla	Severidad	Sellado de fisuras(m)	Corte de carpeta asfáltica (m ²)	Trazado y replanteo (m ²)	Limpieza y retiro de material (m ³)	Imprimación (m ²)	Carpeta asfáltica en caliente (m ²)
2. Exudación	L						
	M		X	X	X	X	X
	H		X	X	X	X	X
3. Agrietamiento en bloque	L	X					
	M	X					
	H		X	X	X	X	X
4. Abultamientos y hundimientos	L						
	M		X	X	X	X	X
	H		X	X	X	X	X
7. Grieta de borde	L	X					
	M	X					
	H	X					
9. Desnivel carril berma	L						
	M		X	X	X	X	X
	H		X	X	X	X	X
10. Fisuras longitudinales y transversales	L	X					
	M	X					
	H	X					
11. Parcheo	L						
	M		X	X	X	X	X
	H		X	X	X	X	X
19.Desprendimiento de agregados	L						
	M		X	X	X	X	X
	H		X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 45 Presupuesto general de mantenimiento de la vía.

Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario (Bs)	Parcial (Bs)
1	Señalización áreas de trabajo	glb	1,00	3.854,94	3854,94
2	Replanteo y trazado en carpeta asfáltica	m ²	601,93	13,36	8041.78
3	Sello de grietas y fisuras	m	2178,03	16,76	36503.78
4	Corte de carpeta asfáltica	m ²	601,93	36,53	21938.50
5	Imprimación	m ²	601,93	6,40	3852.352
6	Carpeta asfáltica	m ²	601,93	205,30	123579.23
7	Limpieza y retiro de material	m ³	32.12	53,60	1721.63
	Total, presupuesto:				199492.21

Son: Ciento Noventa y Nueve Mil Cuatrocientos Noventa y Dos con 21/100 Bolivianos

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de precio unitarios se puede estudiar a detalle en el anexo 2 del presente proyecto.

4.3.4.5. Descripción de material, personal, herramientas y equipo por ítem.

Ítem: Señalización de áreas de trabajo

La señalización es una técnica que pretende, mediante estímulos indicativos, condicionar la actuación de la persona que los recibe, frente a los riesgos o peligros que desean ser resaltados para que sean eludidos. El objetivo es brindar herramientas que permitan conocer el uso correcto de la señalización y del color en el ambiente de trabajo como elemento funcional en la prevención de accidentes, dando información oportuna acerca de los riesgos a los cuales se ve expuesto en su entorno laboral el trabajador y los usuarios. Peón. - Los peones de construcción llevan a cabo una serie de tareas prácticas para ayudar a otros trabajadores más calificados. Su trabajo consiste en la realización de tareas tales como el traslado de materiales, la manipulación de maquinaria y la excavación. El trabajo a menudo resulta muy exigente físicamente.

Material de señalización. - Los dispositivos de señalización de obra son utilizados para la regulación del tráfico en zonas de construcción, rehabilitación, mantenimiento y ejecución de obras viales. Dicha señalización de obra debe ser reflectiva mínimo tipo I.

Ítem: Replanteado y trazado en carpeta asfáltica

El replanteo y trazado es la ubicación de todos los puntos necesarios para materializar los elementos de estudio previamente realizados, tomando como base las indicaciones establecidas en los estudios respectivos como paso previo a la refacción de la obra.

Pintura látex para demarcación. - Pintura que puede ser aplicada sobre pavimentos asfálticos o de concreto hidráulico, de

buena resistencia a los cambios bruscos de temperatura, humedad, grasas y aceites derivados del petróleo y a la abrasión severa y constante. La pintura debe conservar durante mucho tiempo sus propiedades de adherencia, resistencia al desgaste y visibilidad tanto en el día como en la noche. Así también, la pintura no debe contener plomo, mercurio, cadmio, cromo u otros metales pesados tóxicos.

Capataz. - El capataz es el responsable del equipo de operarios al que se asigna la ejecución material de un trabajo de obra determinado. En una obra pequeña, las funciones del encargado y el capataz suelen recaer en una misma persona.

Ayudante. - Persona que ayuda en un trabajo u ocupación a otra que generalmente es de formación o categoría superior y desempeña la labor principal

Ítem: Sello de grietas y fisuras

Este trabajo consiste en definir el procedimiento para el sello de grietas y fisuras en los pavimentos, debidas a daños superficiales. Esta técnica de conservación tiene como principal objetivo impedir el acceso del agua producto de la precipitación a las capas subyacentes del pavimento. Se aplica a pavimentos con fisuras aisladas de tipo funcional o levemente ramificadas. No es aconsejable para daños tipo piel de cocodrilo (falla estructural)

Sellante SI 58.- Es un revestimiento asfáltico resistente a la humedad, para mantenimiento preventivo, para sellar y proteger superficies recubiertas de asfalto. Está diseñado para proporcionar una protección máxima en áreas de estacionamiento, caminos de acceso, rampas de carga, y virtualmente todas las superficies exteriores recubiertas de asfalto.

Emulsión CSS-1H.- La emulsión CSS-1H es una emulsión catiónica de quiebre lento, de color café y estado líquido. Estas emulsiones muestran buena estabilidad al almacenamiento y transporte, así como o excelente adherencia y cubrimiento con diferentes agregados pétreos. No se recomienda su uso cuando la temperatura está por debajo de los 10°C.

Agua. - Es un componente esencial para disolver cierto tipo de elementos, para limpieza de superficies, para la hidratación de materiales y también para la elaboración de concretos y morteros.

Arena. - Conjunto de partículas pequeñas de rocas que se acumulan en las orillas del mar o de los ríos, que se usan para elaborar morteros y hormigones, denominada en la construcción agregados finos.

Ayudante. - Persona que ayuda en un trabajo u ocupación a otra que generalmente es de formación o categoría superior y desempeña la labor principal

Operador de equipo. - Un Operador de equipo es una persona capacitada y con amplio conocimiento en el uso de equipos empleados en la construcción y mantenimiento de cualquier tipo de construcción civil.

Compresora. - Un compresor de aire es una máquina diseñada para tomar el aire del ambiente, almacenarlo y comprimirlo dentro de un tanque llamado calderín y con ese aire, darles potencia a otras herramientas neumáticas o bien realizar múltiples tareas.

Equipo de sellador de juntas. - Equipo diseñado y construido principalmente para la toma de juntas y el sellado de fisuras con agregado de polímeros y/o ruberizados.

Ítem: Corte de carpeta asfáltica

En este trabajo se presentan los fundamentos mecánicos para el análisis del proceso de remoción de pavimentos asfálticos. La remoción de la capa superior del pavimento se realiza mediante el corte de la carpeta de rodadura con maquinaria que tienen un funcionamiento en trayectoria circular.

Disco de corte para pavimento rígido. - es una herramienta, usada para cortar o desbastar distinto tipo de materiales por medio de la rotación del disco abrasivo.

Especialista. - Persona que tiene un conocimiento profundo sobre un tema en específico dentro de un campo determinado en la obra de construcción.

Ayudante. - Persona que ayuda en un trabajo u ocupación a otra que generalmente es de formación o categoría superior y desempeña la labor principal

Equipo de corte de hormigón. - Es el equipo de trabajo que pone en funcionamiento el disco de corte.

Ítem: Imprimación

En este trabajo de Riegos de imprimación y de adherencia se realiza la aplicación de un ligante hidrocarbonado sobre una capa granular, previa a la colocación sobre ésta de una capa o de un tratamiento bituminoso

Emulsión CSS-1H.- La emulsión CSS-1H es una emulsión catiónica de quiebre lento, de color café y estado líquido. Estas emulsiones muestran buena estabilidad al almacenamiento y transporte, así como o excelente adherencia y cubrimiento con diferentes agregados pétreos. No se recomienda su uso cuando la temperatura está por debajo de los 10°C.

Agua. - Es un componente esencial para disolver cierto tipo de elementos, para limpieza de superficies, para la hidratación de materiales y también para la elaboración de concretos y morteros.

Operador carro imprimador. – persona con amplio conocimiento sobre el correcto uso y operación del carro imprimador.

Ayudante. - Persona que ayuda en un trabajo u ocupación a otra que generalmente es de formación o categoría superior y desempeña la labor principal.

Bomba de emulsión. - Maquina que se utiliza para impulsar la emulsión asfáltica.

Carro imprimador. - Es un equipo que se utiliza en la aplicación de tratamientos superficiales, en la imprimación de capas base antes de colocar la carpeta asfáltica, en los riegos de liga.

Ítem: Carpeta asfáltica

Este trabajo consiste en el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos de granulometría densa y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando calor como vehículo de incorporación para proporcionar a la superficie de la vía una carpeta de rodadura uniforme.

Grava de gradación "D" 3/8"-Nº4.- Conjunto de rocas pequeñas denominados agregados gruesos en la construcción con tamaño limitado de partículas entre retenidas en los tamices 3/8" - Nº4

Grava de gradación "B" 3/4" - 3/8". - Conjunto de rocas pequeñas denominados agregados gruesos en la construcción con tamaño limitado de partículas entre retenidas en los tamices 3/4"- 3/8"

Arena. - Conjunto de partículas pequeñas de rocas que se acumulan en las orillas del mar o de los ríos, que se usan para elaborar morteros y hormigones, denominada en la construcción agregados finos.

Gas natural. - El gas natural es un hidrocarburo mezcla de gases ligeros de origen natural. Usado para generar calor y aumentar la temperatura de ciertos materiales que reducen su densidad con un incremento de temperatura.

Asfalto CA 85-100.- Es un material asfáltico de uso vial. Es una combinación de compuestos orgánicos e hidrocarburos de alto peso molecular (>C 25), con cierto contenido de metales como Hierro, Níquel y Vanado, así como presencia de Azufre, Oxígeno y Nitrógeno.

Diesel. - El diésel es un combustible no renovable que se utiliza para la generación de electricidad, transporte y calefacción. Se emplea para los motores de vehículos de grandes cargas.

Operador de planta asfáltica. - Persona con amplio conocimiento sobre el correcto uso de la planta asfáltica.

Ayudante de planta asfáltica. – Persona que ayuda exclusivamente en labores necesarias para el uso de la planta asfáltica.

Maestro de asfaltos. – Persona con conocimientos técnicos y prácticos para la elaboración, tratamiento y refacción de asfaltos.

Operador. - Persona con amplio conocimiento sobre el correcto uso y operación del saltarín.

Chofer. – Persona capacitada para conducir un vehículo motorizado capaz de trasportar carga o pasajeros.

Planta asfáltica. – es un equipo donde se combinan los materiales necesarios para producir mezclas asfálticas con todas las especificaciones requeridas.

Volqueta. - Son vehículos automóviles que poseen un dispositivo mecánico para volcar la carga que transportan en un cajón que reposa sobre el chasis del vehículo.

Saltarín. - es una poderosa herramienta de impacto vibratorio alimentada por un motor de combustión, aplica fuerza sobre una superficie del suelo en impactos consecutivos, nivelando y apisonando uniformemente los espacios vacíos entre las partículas del suelo para elevar su densidad seca, esto es, el peso de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen.

Plancha vibratoria. - La plancha vibratoria está diseñada para realizar trabajos de compactación de materiales granulares y materiales levemente cohesivos; de asfalto

caliente o frío en áreas confinadas tales como estacionamientos, construcción de carreteras y puentes, en áreas adjuntas a estructuras, bordes de calle y soportes.

Ítem: Limpieza y retiro de material

Comprende todos los trabajos necesarios para mantener la obra libre de desechos, además de contemplar el carguío, traslado y disposición de todos los desechos generados en la obra.

Ayudante. - Persona que ayuda en un trabajo u ocupación a otra que generalmente es de formación o categoría superior y desempeña la labor principal.

Volqueta. - Son vehículos automóviles que poseen un dispositivo mecánico para volcar la carga que transportan en un cajón que reposa sobre el chasis del vehículo. El análisis de los precios unitarios de cada ítem se encuentra detallado en los anexos.

4.4. Evaluación estructural por el método de la viga Benkelman

4.4.1. Procedimiento de cálculo de deflexiones

Con el equipo ya en campo y el material o instrumentos necesarios se procede a tomar los datos de las deflexiones en el tramo como se muestra en la tabla 4.46, estas deflexiones fueron tomadas en puntos de ensayos a 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 4. 46 Datos de deflexiones en el carril derecho del tramo.

Evaluación estructural								
Tramo: "Sella Cercado - Monte Cercado"								
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:	10/11/2019					
Relación de brazos:	1 a 2	Ejecutor:	Sergio Zamora Negrette					
N° Ensayo	Progresiva	Temp °C	Lecturas del extensómetro (0.01mm)					
			Lo 0cm	La 50cm	La 100cm	La 150 cm	La 200 cm	La 700 cm
1	0+000	41	0	10	16	9	8	21
2	0+200	42	0	11	9	8	14	22
3	0+400	42	0	10	10	10	9	21
4	0+600	42	0	11	11	8	11	23
5	0+800	42	0	10	10	9	15	23

6	1+000	43	0	11	11	11	18	22
7	1+200	44	0	9	12	8	4	20
8	1+400	46	0	10	12	11	13	22
9	1+600	46	0	8	9	10	12	21
10	1+800	46	0	7	9	10	14	20
11	2+000	46	0	8	11	8	11	19
12	2+200	47	0	12	12	8	12	20
13	2+400	47	0	11	2	9	10	21
14	2+600	47	0	10	11	10	2	21
15	2+800	48	0	9	10	12	12	22
16	3+000	48	0	12	11	11	15	17
17	3+200	49	0	9	10	12	8	20
18	3+400	49	0	10	10	13	6	21
19	3+600	50	0	12	11	12	9	21
20	3+800	50	0	10	12	10	13	22
21	4+000	51	0	11	14	11	11	21
22	4+200	50	0	11	9	12	14	22
23	4+400	50	0	12	10	10	8	23
24	4+600	49	0	10	9	8	2	20
25	4+800	48	0	11	11	12	8	21
26	5+000	46	0	12	10	12	4	22
27	5+200	46	0	10	9	11	12	21
28	5+400	44	0	10	11	13	8	22

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:

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

$$D_o = 1x(21 - 0)$$

$$D = 21x10^{-2} \text{ mm}$$

Factor de corrección por temperatura:

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

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

$$\text{Dot} = \frac{\mathbf{21}}{\mathbf{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (41 - 20) * 6 + 1}}$$

$$\text{Dot} = \mathbf{18.65 \times 10^{-2} \text{ mm}}$$

Deflexión a 50 cm:

$$\mathbf{D_{50} = K * (Lf - L_{50})}$$

$$\mathbf{D_{50} = 1 * (21 - 10)}$$

$$\mathbf{D_{50} = 11 \times 10^{-2} \text{ mm}}$$

Factor de corrección por temperatura:

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

$$\mathbf{D_{50t} = \frac{\mathbf{11}}{\mathbf{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (41 - 20) * 6 + 1}}}$$

$$\text{Dot} = \mathbf{9.77 \times 10^{-2} \text{ mm}}$$

Radio de curvatura:

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

$$\mathbf{Rc = \frac{6250}{\mathbf{2 * (18.65 - 9.77)}}$$

$$\mathbf{Rc = 351.88 \times 10^{-2} \text{ mm}}$$

Se puede observar con mayor detalle los resultados del método en el anexo 5

4.4.2. Resultados de la evaluación estructural

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

Tabla 4.47. Rangos de la evaluación estructural.

Rangos mínimos y máximos de deflexiones	Rangos mínimos y máximos de radios de curvatura
$D_o < D_c$ $18.77 < 20.77$	$100 < R_c < 500$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 47 Resultados de la viga Benkelman en el carril derecho.

Evaluación estructural del tramo "Sella Cercado - Monte Cercado"																
Medición de las deflexiones por el método de la Viga Benkelman																
Estructura:	Pavimento flexible	Carga (tn):	8,2	Presión (Psi):	80	Carril:	Derecho (ida)	Fecha:	11/10/2019							
(N°)	Progres. (m)	LECTURAS DEL DIAL						PARÁMETROS DE EVALUACION			PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS POR TEMP. A 20 °C			TEMPERATURAS		Espesor del asfalto (cm)
		L- a 0cm	L- a 50cm	L- a 100cm	L- a 150cm	L- a 200cm	L- a 700cm	Do	D50	Rc	Do	D50	Rc	Amb	Asfalto	
		0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(m)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(m)	°C	°C	
1	0+000	0	10	16	9	8	21	21,00	11,00	312,50	18,65	9,77	351,88	36,0	41	6,0
2	0+200	0	11	9	8	14	22	22,00	11,00	284,09	19,43	9,72	321,59	36,0	42	6,0
3	0+400	0	10	10	10	9	21	21,00	11,00	312,50	18,55	9,72	353,75	36,0	42	6,0
4	0+600	0	11	11	8	11	23	23,00	12,00	284,09	20,32	10,60	321,59	36,0	42	6,0
5	0+800	0	10	10	9	15	23	23,00	13,00	312,50	20,32	11,48	353,75	36,0	42	6,0
6	1+000	0	11	11	11	18	22	22,00	11,00	284,09	19,33	9,67	323,30	36,0	43	6,0
7	1+200	0	9	12	8	4	20	20,00	11,00	347,22	17,48	9,62	397,22	36,0	44	6,0
8	1+400	0	10	12	11	13	22	22,00	12,00	312,50	19,03	10,38	361,25	36,0	46	6,0
9	1+600	0	8	9	10	12	21	21,00	13,00	390,63	18,17	11,25	451,56	36,0	46	6,0
10	1+800	0	7	9	10	14	20	20,00	13,00	446,43	17,30	11,25	516,07	36,0	46	6,0
11	2+000	0	8	11	8	11	19	19,00	11,00	390,63	16,44	9,52	451,56	36,0	46	6,0
12	2+200	0	12	12	8	12	20	20,00	8,00	260,42	17,21	6,88	302,60	36,0	47	6,0
13	2+400	0	11	2	9	10	21	21,00	10,00	284,09	18,07	8,61	330,11	36,0	47	6,0
14	2+600	0	10	11	10	2	21	21,00	11,00	312,50	18,07	9,47	363,13	36,0	47	6,0
15	2+800	0	9	10	12	12	22	22,00	13,00	347,22	18,84	11,13	405,56	36,0	48	6,0
16	3+000	0	12	11	11	15	17	17,00	5,00	260,42	14,55	4,28	304,17	36,0	48	6,0
17	3+200	0	9	10	12	8	20	20,00	11,00	347,22	17,04	9,37	407,64	36,0	49	6,0
18	3+400	0	10	10	13	6	21	21,00	11,00	312,50	17,89	9,37	366,88	36,0	49	6,0
19	3+600	0	12	11	12	9	21	21,00	9,00	260,42	17,80	7,63	307,29	36,0	50	6,0
20	3+800	0	10	12	10	13	22	22,00	12,00	312,50	18,64	10,17	368,75	36,0	50	6,0
21	4+000	0	11	14	11	11	21	21,00	10,00	284,09	17,71	8,43	336,93	36,0	51	6,0

22	4+200	0	11	9	12	14	22	22,00	11,00	284,09	18,64	9,32	335,23	36,0	50	6,0
23	4+400	0	12	10	10	8	23	23,00	11,00	260,42	19,49	9,32	307,29	36,0	50	6,0
24	4+600	0	10	9	8	2	20	20,00	10,00	312,50	17,04	8,52	366,88	36,0	49	6,0
25	4+800	0	11	11	12	8	21	21,00	10,00	284,09	17,98	8,56	331,82	36,0	48	6,0
26	5+000	0	12	10	12	4	22	22,00	10,00	260,42	19,03	8,65	301,04	36,0	46	6,0
27	5+200	0	10	9	11	12	21	21,00	11,00	312,50	18,17	9,52	361,25	36,0	46	6,0
28	5+400	0	10	11	13	8	22	22,00	12,00	312,50	19,23	10,49	357,50	36,0	44	6,0

Tratamiento estadístico:

Cálculo deflexión característica (Dc):

$$Dc = D + t * Ds$$

Donde:

$$\begin{aligned}
 D &= \text{Deflexión recuperable promedio} = & 18,2 \\
 Ds &= \text{Desviación standard} = & 1,2 \\
 t &= \text{constante de probabilidad al} & \\
 & 95\% = & 1,96
 \end{aligned}$$

$$Dc = 20,58 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Número de muestras	28	28	28
Sumatoria	510,42	262,67	10057,58
Promedio (x):	18,23	9,38	359,20
Deflexión mínima	14,55	4,28	301,04
Deflexión máxima	20,32	11,48	516,07
Desviación estándar (s)	1,20	1,47	50,83
Varianza (s ²)	1,44	2,15	2583,24
Coefficiente de var.	6,59	15,64	14,15
Error medio de la media (ex)	0,23	0,28	9,61
Error probable (ep)	0,45	0,54	18,83
Valor aceptado sup.	21,03	12,80	477,64
Valor característico	20,58	12,26	458,82

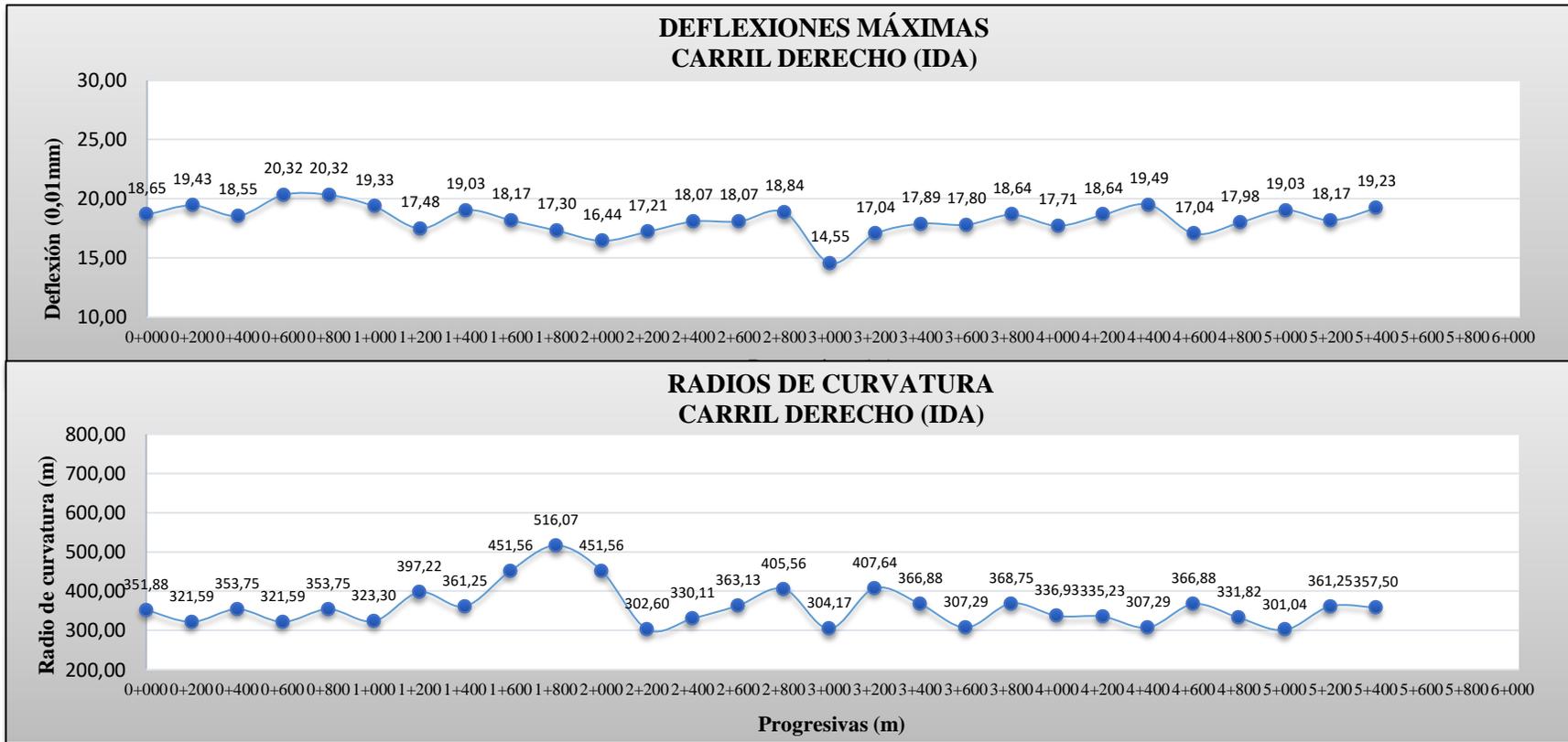
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 18 Deflexiones máximas y radios de curvatura carril derecho.

Evaluación estructural del tramo "Sella Cercado - Monte Cercado"

Medición de las deflexiones por el método de la Viga Benkelman

GRÁFICAS DE DEFLEXIONES Y RADIOS DE CURVAURA EN TODO EL TRAMO



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 48 Resultados de la viga Benkelman en el carril izquierdo.

Evaluación estructural del tramo "Sella Cercado - Monte Cercado"																			
Medición de las deflexiones por el método de la Viga Benkelman																			
Estructura:		Pavimento flexible		Carga (tn):		8,2		Presión (Psi):		80		Carril:		Izquierdo (vuelta)		Fecha:		12/10/2019	
(N°)	Progresiva	LECTURAS DEL DIAL						Parámetros de evaluación			Parámetros de evaluación corregidos por temp. A 20 °c			TEMPERATURAS		Espesor del asfalto (cm)			
		L- a 0cm	L- a 50cm	L- a 100cm	L- a 150cm	L- a 200cm	L- a 700cm	Do	D50	Rc	Do	D50	Rc	Amb	Asfalto				
		0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(m)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(m)	°C	°C				
1	0+000	0	11	10	13	15	19	19,00	8,00	284,09	18,13	7,63	297,73	29,0	28	6,0			
2	0+200	0	12	11	12	14	19	19,00	7,00	260,42	18,13	6,68	272,92	29,0	28	6,0			
3	0+400	0	11	4	14	16	20	20,00	9,00	284,09	18,87	8,49	301,14	29,0	30	6,0			
4	0+600	0	12	16	12	2	21	21,00	9,00	260,42	19,81	8,49	276,04	29,0	30	6,0			
5	0+800	0	12	8	13	13	22	22,00	10,00	260,42	20,52	9,33	279,17	29,0	32	6,0			
6	1+000	0	11	10	4	14	21	21,00	10,00	284,09	19,59	9,33	304,55	29,0	32	6,0			
7	1+200	0	10	12	15	16	20	20,00	10,00	312,50	18,66	9,33	335,00	29,0	32	6,0			
8	1+400	0	10	9	14	17	22	22,00	12,00	312,50	20,30	11,07	338,75	29,0	34	6,0			
9	1+600	0	11	10	13	16	21	21,00	10,00	284,09	19,37	9,23	307,95	29,0	34	6,0			
10	1+800	0	13	11	12	15	21	21,00	8,00	240,38	19,37	7,38	260,58	29,0	34	6,0			
11	2+000	0	13	10	14	16	22	22,00	9,00	240,38	20,30	8,30	260,58	29,0	34	6,0			
12	2+200	0	12	4	13	16	22	22,00	10,00	260,42	20,07	9,12	285,42	29,0	36	6,0			
13	2+400	0	9	10	13	15	21	21,00	12,00	347,22	19,16	10,95	380,56	29,0	36	6,0			
14	2+600	0	10	10	12	2	23	23,00	13,00	312,50	20,76	11,73	346,25	29,0	38	6,0			
15	2+800	0	12	8	11	12	22	22,00	10,00	260,42	20,07	9,12	285,42	29,0	36	6,0			
16	3+000	0	11	4	10	15	22	22,00	11,00	284,09	19,86	9,93	314,77	29,0	38	6,0			
17	3+200	0	12	11	2	16	21	21,00	9,00	260,42	18,95	8,12	288,54	29,0	38	6,0			
18	3+400	0	10	14	12	4	20	20,00	10,00	312,50	18,05	9,03	346,25	29,0	38	6,0			
19	3+600	0	13	12	11	15	22	22,00	9,00	240,38	19,64	8,04	269,23	29,0	40	6,0			
20	3+800	0	12	11	10	16	21	21,00	9,00	260,42	18,75	8,04	291,67	29,0	40	6,0			
21	4+000	0	11	10	11	16	21	21,00	10,00	284,09	18,75	8,93	318,18	29,0	40	6,0			
22	4+200	0	10	2	12	15	20	20,00	10,00	312,50	17,67	8,83	353,75	29,0	42	6,0			

23	4+400	0	11	9	4	4	21	21,00	10,00	284,09	18,55	8,83	321,59	29,0	42	6,0
24	4+600	0	11	10	2	16	22	22,00	11,00	284,09	19,43	9,72	321,59	29,0	42	6,0
25	4+800	0	12	11	13	14	22	22,00	10,00	260,42	19,23	8,74	297,92	29,0	44	6,0
26	5+000	0	13	2	14	12	23	23,00	10,00	240,38	20,32	8,83	272,12	29,0	42	6,0
27	5+200	0	12	11	2	15	21	21,00	9,00	260,42	18,36	7,87	297,92	29,0	44	6,0
28	5+400	0	12	12	13	16	23	23,00	11,00	260,42	20,10	9,62	297,92	29,0	44	6,0

Cálculo deflexión característica (Dc):

$$D_c = D + t \times D_s$$

Donde:

D =Deflexión recuperable promedio = 19,3
 Ds = Desviación standard = 0,8
 t = constante de probabilidad al 95% = 1,96

$$D_c = 20,96 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Número de muestras	28	28	28
Sumatoria	540,77	250,71	8523,47
Promedio:	19,31	8,95	304,41
Deflexión mínima	17,67	6,68	260,58
Deflexión máxima	20,76	11,73	380,56
Desviación estándar	0,84	1,10	30,20
Varianza	0,71	1,21	911,97
Coefficiente de var.	4,35	12,27	9,92
Error medio de la media (ex)	0,16	0,21	5,71
Error probable (ep)	0,31	0,41	11,19
Valor aceptado sup.	21,27	11,51	374,79
Valor característico	20,96	11,11	363,60

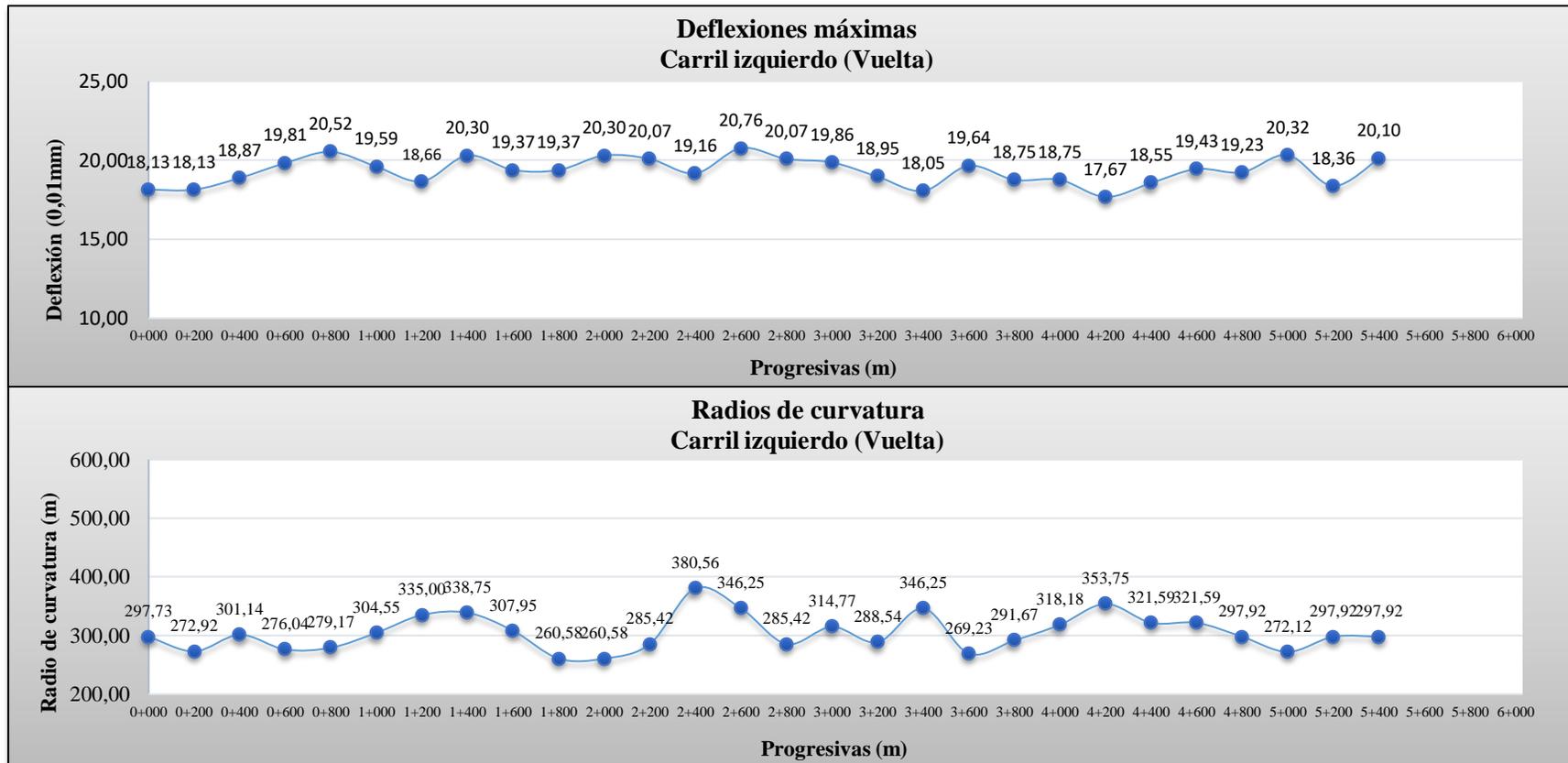
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 19 Deflexiones máximas y radios de curvatura carril izquierdo.

Evaluación estructural del tramo "Sella Cercado - Monte Cercado"

Medición de las deflexiones por el método de la Viga Benkelman

GRÁFICAS DE DEFLEXIONES Y RADIOS DE CURVAURA EN TODO EL TRAMO



Fuente: Elaboración propia.

4.4.3. Tratamiento estadístico

Carril derecho

Estadística descriptiva

$$n = 28$$

$$\bar{X} = 18.23$$

$$R = 20,32 - 14,55 = 5.77$$

$$N^\circ = 1 + 3.332 * \log(n) = 4$$

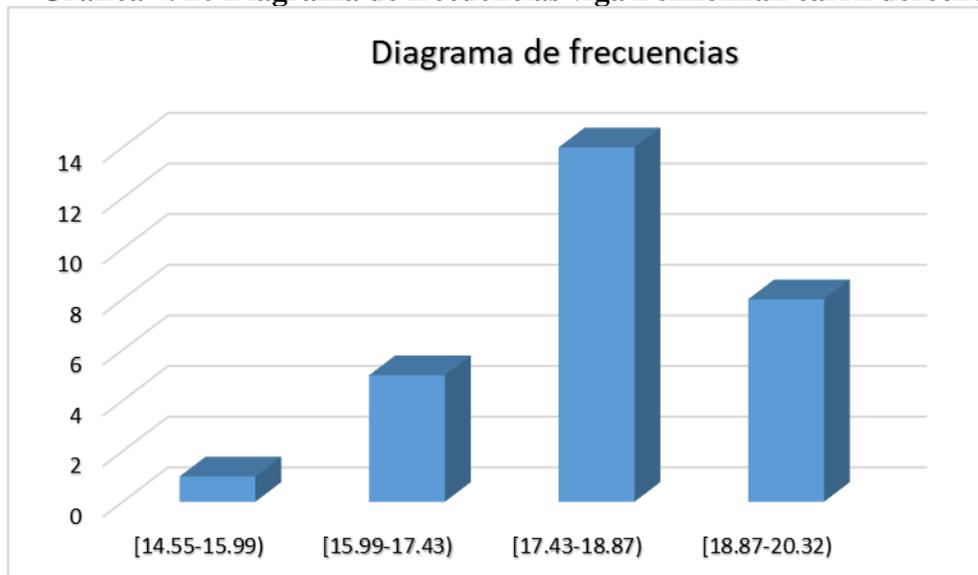
$$a = 1.44$$

Tabla de frecuencias viga Benkelman carril derecho.

n	Intervalos de deflexiones (yi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia relativa (hi)		
			Fracción	Decimal	Porcentual (%)
1	[14.55-15.99)	1	1/28	0.04	4
2	[15.99-17.43)	5	5/28	0.17	17
3	[17.43-18.87)	14	14/28	0.5	50
4	[18.87-20.32)	8	8/28	0.29	29
	Σ	28	1	1	100

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 20 Diagrama de frecuencias viga Benkelman carril derecho.



Fuente: Elaboración propia.

Estadística inferencial

Número de muestras	28	28	28
Sumatoria	510,42	262,67	10057,58
Promedio (x):	18,23	9,38	359,20
Deflexión mínima	14,55	4,28	301,04
Deflexión máxima	20,32	11,48	516,07
Desviación estándar (s)	1,20	1,47	50,83
Varianza (s ²)	1,44	2,15	2583,24
Coefficiente de var.	6,59	15,64	14,15
Error medio de la media (ex)	0,23	0,28	9,61
Error probable (ep)	0,45	0,54	18,83
Valor aceptado sup.	21,03	12,80	477,64
Valor característico	20,58	12,26	458,82

Cálculo deflexión característica (Dc):

$$Dc = D + t * Ds$$

Donde:

D =Deflexión recuperable promedio = 18,2

Ds = Desviación standard = 1,2

t = constante de probabilidad al 95% = 1,96

$$Dc = 20,58 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Prueba de hipótesis

Cálculos Estadísticos

Nivel de Significancia	
5%	Valor de la media (\bar{x})
$\alpha=0.05$	
Tipo de contrastación de la Hipótesis	en Ho:
Menor que	18,23

$$H_0: \bar{x} \geq u \quad (18.23 \geq 20.58)$$

$$H_1: \bar{x} < u \quad (18.23 < 20.58)$$

$$\text{Valor teórico (u)} \Rightarrow 20,58$$

$$\text{Desviación Estándar de la muestra} \Rightarrow 1,20$$

$$\text{Tamaño de la Muestra} \Rightarrow 28,00$$

$$\text{Desviación Estándar de la Media muestral} \Rightarrow 0,23$$

$$\text{Valor Tabular: Dist.Normal} \Rightarrow -1,96 \quad -1,70$$

Mayor que Valor Ta

27 con -1 g.l.

Determinación de la hipótesis	
Ho: Media	18,23
H1: Media	18,23

Tipo de contrastación de la Hipótesis: Menor que

CASO I : Si el tamaño de muestra es grande ($n \geq 30$)

$$\text{Estadístico de Prueba } Z_p: \quad Z_p = \frac{\text{media} - u}{G/\sqrt{n}} = -10,36$$

$$\text{Si } Z_p = -10,36 > Z_c = -1,96 \quad \text{Aceptamos } H_0$$

$$\text{Si } Z_p = -10,36 < Z_c = -1,96 \quad \text{Rechazamos } H_0$$

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula (H_0), por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Conclusión: Gracias a la prueba de hipótesis se puede afirmar que el contenido promedio de cada deflexión es menor de 20.58, con un nivel de significancia (α) de 5 %.

Carril izquierdo

Estadística descriptiva

$$n = 28$$

$$\bar{X} = 19.31$$

$$R = 20.76 - 17.67 = 3.09$$

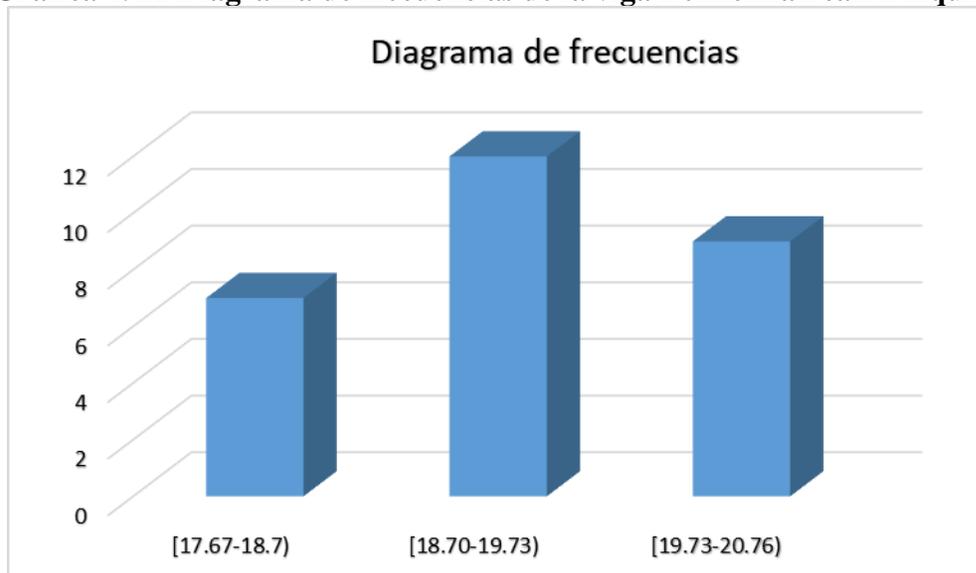
$$N^\circ = 1 + 3.332 * \log(n) = 3.00$$

$$a = 1.03$$

Tabla de frecuencias viga Benkelman carril izquierdo.

n	Intervalos de deflexiones (yi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia relativa (hi)		
			Fracción	Decimal	Porcentual (%)
1	[17.67-18.7)	7	7/28	0.25	25
2	[18.70-19.73)	12	12/28	0.43	43
3	[19.73-20.76)	9	9/28	0.32	32
	Σ	31	1	1	100

Gráfica 4. 21 Diagrama de frecuencias de la viga Benkelman carril izquierdo.



Fuente: Elaboración propia.

Estadística inferencial

Número de muestras	28	28	28
Sumatoria	540,77	250,71	8523,47
Promedio:	19,31	8,95	304,41
Deflexión mínima	17,67	6,68	260,58
Deflexión máxima	20,76	11,73	380,56
Desviación estándar	0,84	1,10	30,20
Varianza	0,71	1,21	911,97
Coefficiente de var.	4,35	12,27	9,92
Error medio de la media (ex)	0,16	0,21	5,71
Error probable (ep)	0,31	0,41	11,19
Valor aceptado sup.	21,27	11,51	374,79
Valor característico	20,96	11,11	363,60

**CÁLCULO DEFLEXIÓN
CARACTERÍSTICA (D_c):**

$$D_c = D + t \times D_s$$

Donde:

$$D = \text{Deflexión recuperable promedio} = 19,3$$

$$D_s = \text{Desviación standard} = 0,8$$

$$t = \text{constante de probabilidad al 95\%} = 1,96$$

$$D_c = 20,96 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Prueba de hipótesis

Cálculos Estadísticos

Nivel de Significancia	
5%	Valor de la media (\bar{x})
$\alpha=0.05$	en Ho:
Tipo de contrastación de la Hipótesis	19,31
Menor que	

$$H_0: \bar{x} \geq u \quad (19.31 \geq 20.96)$$

$$H_1: \bar{x} < u \quad (19.31 < 20.96)$$

$$\text{Valor teórico (u)} \Rightarrow 20,96$$

$$\text{Desviación Estándar de la muestra} \Rightarrow 0,84$$

$$\text{Tamaño de la Muestra} \Rightarrow 28,00$$

$$\text{Desviación Estándar de la Media muestral} \Rightarrow 0,16$$

$$\text{Valor Tabular: Dist.Normal} \Rightarrow -1,96 \quad -1,70$$

Mayor que Valor Ta 27 con -1 g.l.

Determinación de la hipótesis	
Ho: Media 19,31	
H1: Media 19,31	

Tipo de contrastación de la Hipótesis: Menor que

CASO I: Si el tamaño de muestra es grande ($n \geq 30$)

$$\text{Estadístico de Prueba } Z_p: \quad Z_p = \frac{\text{media} - u}{G/\sqrt{n}} = -10,39$$

$$\text{Si } Z_p = -10,39 > Z_c = -1,96 \quad \text{Aceptamos } H_0$$

$$\text{Si } Z_p = -10,39 < Z_c = -1,96 \quad \text{Rechazamos } H_0$$

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula (H_0), por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Conclusión: Gracias a la prueba de hipótesis se puede afirmar que el contenido promedio de cada deflexión es menor de 20.96, con un nivel de significancia (α) de 5 %.

4.4.4. Análisis de resultados de la evaluación estructural

Una vez registrados y calculados todos los datos de las deflexiones en tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro”, se realizará un análisis de ambos carriles continuación:

Carril derecho

Según el desarrollo de los cálculos realizados en el carril derecho se obtuvo una deflexión máxima con un valor de 20.32×10^{-2} mm en la progresiva 0+800 que es menor al valor de la deflexión característica de 20.58×10^{-2} mm y menor al valor aceptado de 21.03×10^{-2} mm calculados gracias a la estadística, sin embargo se puede observar que todos los datos de deflexiones calculadas a lo largo del tramo se encuentran dentro del rango aceptable determinado por la estadística. Al observar los valores calculados de los radios de curvatura para el carril se puede notar que en la progresivas 1+800 existe un valor de 516.07 que sobre pasa los valores aceptables a excepción de todos los demás los cuales se mantienen dentro del rango aceptable.

Carril izquierdo

En el carril izquierdo se puede observar que el valor de la deflexión máxima es de 20.76×10^{-2} mm en la progresiva 3.600 el cual es menor al valor de la deflexión característica de 20.96×10^{-2} mm, y menor al valor aceptado de 21.27×10^{-2} mm estando de esta manera todos los valores de las deflexiones a lo largo del carril dentro del rango esperado. También se puede observar que los radios de curvatura en este carril están todos dentro de los valores aceptados de 100-500 presentando un valor de radio de curvatura mínimo igual a 256.58 y un valor máximo de 380.56, pudiendo indicar de esta manera que el tramo se encuentra en buen estado de funcionamiento en lo que refiere a lo estructural.

Una vez analizados ambos carriles gracias a las gráficas se puede determinar que la vía se encuentra en “Excelentes” condiciones de servicio para los usuarios presentando un solo valor de radio de curvatura fuera de rango el cual se puede deber a la alta transitabilidad de vehículos de carga pesada en el tramo.

Se realizó un estudio de resistencia de la estructura mediante el ensayo de CBR el cual corrobora los resultados obtenidos con la viga Benkelman ya que cumple con las especificaciones de valores mínimos aceptables para el valor del CBR obteniendo resultados de 90.01 para la capa base y 54.1 para la capa sub base, comprobando de esta

manera que la estructura se recupera satisfactoriamente de las deformaciones generadas por las cargas que se aplican sobre ella.

Para finalizar se puede decir gracias a la prueba de la hipótesis, que la estructura de la vía estudiada es capaz de soportar las solicitudes de tránsito ya que el promedio de todas las deflexiones está con un valor muy por debajo del característico como se puede ver en las tablas de resultados para cada carril de la vía y que el 96 % de los resultados está dentro del rango de confianza como también se observa que de acuerdo a la hipótesis tomada los valores promedio de las deflexiones están por debajo del valor teórico.

Tabla 4. 51 Valores promedio de deflexiones en todo el tramo.

Deflexión promedio de ambos carriles (mm)	Deflexión promedio característica (mm)
18.77×10^{-2}	20.77×10^{-2}

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 52 Porcentaje de resultados en todo el tramo.

Número de resultados de la evaluación estructural	Resultados dentro del rango de confianza	Resultados fuera del rango de confianza
112	111	1
100%	99%	1%

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Después de haber concluido con la evaluación superficial y estructural de la vía se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se determinó que la cantidad mínima necesaria de unidades de muestras que se deben evaluar según la metodología PCI es de 48 unidades de muestra para tener un rango de datos confiables del 97.5% y se determinó que el intervalo de muestreo que se aplicara en el ensayo es cada 3 unidades de muestra, para el cual se realizó el levantamiento de datos en la planilla correspondiente al método detallando el tipo de falla e índice de severidad.
- Después de haber aplicado el método PCI se pudo determinar que el pavimento flexible del tramo “Sella Cercado – Monte Cercado” está superficialmente en una condición de MUY BUENO según los resultados obtenidos en la evaluación superficial realizada siguiendo la norma ASTM D6433-03, debido a que las fallas existentes a lo largo del tramo no son de gran severidad, con un resultado final del PCI de 80.43.
- Según los resultados obtenidos para cada kilómetro en el tramo, se determinó que el kilómetro 2 es el más dañado con un porcentaje de fallas del 26.60 % del total de fallas en los 5.4 kilómetros y el valor mínimo de PCI se encuentra en la progresiva 5+100 con un valor de PCI de 66.53.
- A partir de los resultados obtenidos se puede determinar que la falla predominante en el tramo “Sella Cercado - Monte Cercado” son el desnivel carril berma con un 52.24 %, otra falla considerable en el tramo es las Fisuras longitudinales y transversales con un 27.7 %. El resto de las fallas son menos considerables y con porcentajes mucho más bajos comparado al de las fallas ya mencionadas.
- Para el método IFI se realizó el levantamiento de los datos en campo mediante el uso de los métodos de la mancha de arena y el péndulo británico los cuales brindan un promedio de datos de diámetro del círculo de arena de 24.49 cm para el carril derecho y 24.59 cm para el carril izquierdo y el índice de fricción CDR de 88.20

para el carril derecho y 79.73 para el carril izquierdo del pavimento a cada 200 metros de distancia sobre la longitud total del tramo evaluado.

- Según el método de evaluación superficial IFI se puede determinar que la velocidad máxima segura para la vía tomando en cuenta el coeficiente de fricción mínima sugerido por la ABC que es de 0.373 obtenemos valores de velocidad máxima segura de 63.43 Km/hr para el carril derecho y 60,31 Km/hr para el carril izquierdo, para una vía con velocidad de diseño que de 80 Km/hr según datos obtenidos por la posta municipal de Tarija, lo cual indica que se trata de una superficie ligeramente cerrada y fricción no muy elevada.
- Mediante los resultados obtenidos a lo largo de la evaluación superficial para el IRI del tramo “Sella Cercado – Monte Cercado” aplicando el método del rugosímetro de Merlín para la vía en general se pudo determinar que se encuentra en “Excelentes” condiciones de servicio para los usuarios ya que la clasificación del rango de rugosidad se encuentra entre 1.36 y 1.85 m/km, lo cual indica que se trata de una superficie regular.
- Se realizó la obtención de las deflexiones generadas sobre la estructura usando la viga Benkelman con una volqueta cargada de un peso aproximado de 8 toneladas a distancias de movimiento del mismo de 0.5, 1, 1.5, 2 y 7 metros.
- Según los resultados obtenidos en la evaluación estructural siguiendo la norma ASTM D4695-03, el pavimento flexible del tramo “Sella Cercado- Monte Cercado” está estructuralmente en buenas condiciones de servicio y esta cuenta con la capacidad suficiente para resistir la sollicitación de cargas de tránsito, ya que todos los valores promedio de deflexiones son menores a los teóricos y el 99 % de los resultados de deflexiones y radios de curvatura están dentro del rango de confianza admitido, $D_{op} = 18.77 \times 10^{-2} \text{ mm} < D_c = 20.77 \times 10^{-2} \text{ mm}$.
- Dentro de los resultados obtenidos para los radios de curvatura se puede observar que existe un valor de 516,07 el cual se sale del parámetro aceptable que es de 100 a 500 por norma para el método, el cual se puede ser originado por las altas sollicitaciones de cargas que producen los vehículos de carga que transitan por el tramo.

- Se debe verificar que toda deformación generada sobre la superficie sea recuperable comprobando que el ensayo de capacidad de resistencia de la estructura CBR tanto de la capa base como de la capa sub base se encuentren dentro de los rangos establecidos por la norma de construcción de pavimentos, lo cual establece que el CBR para la capa sub base debe ser superior al 20% y para la capa base superior al 80%, obteniendo en laboratorio para el tramo en estudio los valores de CBR de 51.5% para la capa sub base y 89.0% para la capa base, ambas por encima del parámetro mínimo según la normativa vigente para la construcción de carreteras con lo cual se puede corroborar los resultados de la viga Benkelman.
- Con conocimiento de las fallas superficiales existentes en la vía se propone un plan de mejoras y mantenimientos preventivos como ser sellado de grietas y fisuras, cortes de carpeta asfáltica imprimación y recapado para evitar futuros daños de mayor severidad a lo largo de la vía y así garantizar que se pueda cumplir la vida útil de la estructura.
- Se deben realizar evaluaciones constantes a las carreteras para así poder conocer las condiciones en las que se encuentra y de esta manera detectar a tiempo las posibles fallas que puedan afectar al normal desarrollo del funcionamiento de la vía.

5.2. Recomendaciones

En base a experiencias adquiridas a lo largo de la ejecución del proyecto se sugiere tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Realizar un estudio minucioso y adecuado acerca de los métodos a emplear para no tener problemas en la ejecución de los mismos.
- Calibrar de manera adecuada siguiendo el manual del usuario del equipo Rugosímetro de Merlín para obtener datos más precisos a lo largo de la ejecución del método, y así poder obtener resultados más confiables.
- Se recomienda optar por la medición del IRI con el rugosímetro de Merlín para las distintas calles, avenidas y carreteras de la ciudad de Tarija ya que es un método de alta precisión y brinda confiabilidad en sus resultados.

- Para la ejecución del método del círculo de arena se debe tomar en cuenta el factor climático ya que la vía se debe encontrar seca y no debe existir corrientes de viento ya que esos motivos general dificultades a la hora de realizar la práctica.
- Es recomendable realizar la medición tanto del ensayo del círculo de arena como del péndulo británico en conjunto para los distintos estudios en pavimentos ya que las variables que ambos implican en su medición brindan un análisis más completo a la hora de asumir criterios para un tratamiento adecuado en caso de fallas.
- Para la evaluación superficial mediante el método PCI siguiendo la norma ASTM D6433-03 se debe llevar al campo las correspondientes planillas para la toma de datos y el manual de fallas para aplicar los criterios correctos en cada caso en particular.
- En la evaluación superficial con el método del PCI se recomienda que si un área de muestreo dañada no entra en el intervalo asumido se realice un apartado de casos especiales y se realice la medición correspondiente de sus fallas y valoraciones y estas sean analizadas de manera especial para no influir en el resultado total de la evaluación.
- Se debe verificar el peso del camión a ser utilizado para la evaluación con la viga Benkelman ya que la normativa exige un peso mínimo de 8 toneladas para validar los resultados.
- La evaluación estructural mediante el equipo Viga Benkelman se debe realizar bajo la supervisión de un personal técnico capacitado ya que se trata de un equipo de alta precisión y el uso indebido del mismo puede generar datos no erróneos.
- Es de suma importancia contar con los equipos de seguridad vial adecuados a la hora de realizar los estudios ya que al tratarse de tramos carreteros los vehículos circulan a velocidades elevadas.